



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005*

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES OBTIDAS NA SUPERESTRUTURA DE  
UMA PONTE EM CONCRETO ARMADO DEVIDO A MUDANÇA DAS  
CARGAS MÓVEIS**

**DORATH JULIANA DE GOES SOUZA**

**PALMAS – TO**

**2015**

**DORATH JULIANA DE GOES SOUZA**

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES OBTIDAS NA SUPERESTRUTURA DE  
UMA PONTE EM CONCRETO ARMADO DEVIDO A MUDANÇA DAS  
CARGAS MÓVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Daniel Iglesias de Carvalho.

**PALMAS – TO  
2015**

DORATH JULIANA DE GOES SOUZA

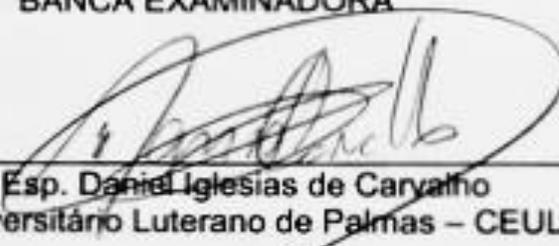
**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES OBTIDAS NA SUPERESTRUTURA DE  
UMA PONTE EM CONCRETO ARMADO, DEVIDO A MUDANÇA DAS  
CARGAS MÓVEIS**

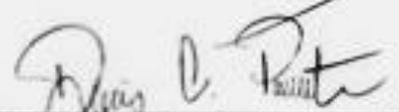
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

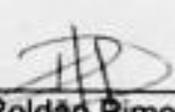
Orientador: Prof. Esp. Daniel Iglesias.

Aprovado em: 04 / 11 / 2015

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Esp. Daniel Iglesias de Carvalho  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Esp. Denis Cardoso Parente  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Msc. Roldão Pimentel de Araújo Júnior  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

**Palmas – TO**

**2015**

Dedico este trabalho a toda minha família,  
meus professores, meus amigos e  
principalmente a Deus por ter sempre me  
colocado no caminho certo.

Agradeço primeiramente a Deus por eu ter conseguido chegar até aqui.

Sou eternamente grata a duas pessoas que eu mais amo na vida, que são os meus pais. Sempre acreditaram em mim e me apoiaram em todas as minhas decisões, me dando forças para que eu continuasse na luta durante essa etapa da minha vida.

Agradeço a minha irmã pelo seu apoio e por ter me dado dois sobrinhos lindos que eu amo muito.

Agradeço ao meu orientador Daniel Iglesias por ter sido paciente comigo e ter me ajudado no decorrer deste trabalho, me dando todo o suporte necessário.

A todos os meus amigos que sempre estiveram ao meu lado quando eu precisei e àqueles que eu conquistei na faculdade e fizeram parte desta trajetória, dividindo momentos de descontração, estudos, experiências, discussões, conquistas e se tornaram muito importantes para a minha vida.

Agradeço também aos meus professores por conseguirem passar seus conhecimentos para nos tornar profissionais.

E a todas as pessoas que fizeram parte dessa minha importante trajetória.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

## RESUMO

SOUZA, Dorath Juliana de Goes. Análise das alterações obtidas na superestrutura de uma ponte em concreto armado, devido a mudança das cargas móveis. 2015. 108 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2015.

As pontes integram-se à paisagem urbana. Devido ao rápido crescimento populacional e a uma maneira fácil de locomoção nos grandes centros ou em locais onde seja difícil o acesso. Têm como objetivo, transpor um obstáculo para estabelecer a continuidade de uma via de qualquer natureza. A estrutura de uma ponte pode ser dividida em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. A superestrutura é o conjunto de elementos estruturais, como as lajes e vigas. Este trabalho tem o objetivo de analisar as alterações nos esforços solicitantes, assim como, nas áreas de aço dos elementos estruturais da superestrutura de uma ponte rodoviária em concreto armado, obtidas pelo dimensionamento para dois tipos de cargas móveis. Para que não ocorra a necessidade de ter que reforçar futuramente esta estrutura devido a essa mudança de carga, é importante conhecer, na fase da elaboração de um projeto estrutural de pontes, a diferença entre projetos que atendam a situação presente do tráfego e outros que possam atender a uma carga superior, já se pensando numa situação futura. Este trabalho apresenta os acréscimos obtidos nas áreas de aço das armaduras de flexão e cisalhamento das vigas e lajes, devido a alteração das cargas móveis de uma ponte de classe 30 para a uma de classe 45.

**Palavras-chave:** Pontes. Superestrutura. Cargas móveis. Dimensionamento.

## ABSTRACT

SOUZA, Dorath Juliana Goes. Analysis of the changes obtained in the superstructure of a bridge in reinforced concrete, due to changing traffic loads. 2015. 108 p. Work Completion of course (Graduation) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center Palmas, Palmas / TO 2015.

The bridges are integrated into the urban landscape, due to rapid population growth and an easy way of transportation in large cities or in places where access is difficult. They aim to transpose an obstacle to establish the continuity of a path of any kind. The structure of a bridge superstructure can be divided into, mesostructure and infrastructure. The superstructure is the set of structural elements such as slabs and beams. This work aims to analyze the changes in internal forces as well as in the fields of steel structural elements of the superstructure of a road bridge in reinforced concrete, obtained by sizing for two types of mobile charges. So that there is the need of having to eventually strengthen this framework due to the load change, it is important to know, at the stage of elaboration of a structural bridge design, the difference between projects that address traffic this situation and others who may meet a higher burden, already thinking of a future state. This paper presents the additions made in the areas of steel reinforcement bending and shear of beams and slabs, due to change of moving loads of a bridge class 30 to a class of 45.

**Keywords:** Bridge. Superstructure. Moving loads. Scaling.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	Objetivos .....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos .....	15
1.2	Justificativa.....	16
1.3	Problema.....	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
2.1	Pontes .....	18
2.1.1	Principais características .....	19
2.2	Ações nas pontes de concreto armado .....	34
2.3	Trem-tipo.....	36
3	METODOLOGIA.....	39
3.1	Características geométricas e dos materiais da superestrutura da ponte a ser trabalhada .....	39
3.2	Cálculo das cargas permanentes .....	41
3.3	Cálculo das cargas móveis .....	41
3.4	Determinação do coeficiente de impacto vertical .....	43
3.5	Apresentação das envoltórias das solicitações de serviço.....	43
3.6	Dimensionamento da armadura à flexão das vigas principais .....	44
3.7	Dimensionamento da armadura de cisalhamento das vigas principais .....	45
3.8	Dimensionamento das lajes .....	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	52
4.1	Dimensionamento das longarinas .....	52
4.1.1	Cálculo das cargas permanentes .....	52
4.1.2	Cálculo das cargas móveis .....	55
4.1.3	Determinação do coeficiente de impacto vertical .....	56
4.1.4	Envoltória das solicitações de serviço .....	56
4.1.5	Dimensionamento da armadura à flexão das vigas principais.....	63
4.1.6	Dimensionamento da armadura ao cisalhamento das vigas principais .....	64
4.2	Dimensionamento das lajes .....	66
5	Conclusão .....	68
6	Sugestões para trabalhos futuros.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74
	APÊNDICES.....	75
	ANEXOS .....	104

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Galeria com carregamento dinâmico.....	18
<b>Figura 2</b> - Galeria com carregamento estático.....	18
<b>Figura 3</b> - Estrutura da ponte.....	21
<b>Figura 4</b> - Ponte rodoviária .....	22
<b>Figura 5</b> - Ponte ferroviária .....	23
<b>Figura 6</b> - Passarela para pedestres .....	23
<b>Figura 7</b> - Ponte-aqueduto.....	24
<b>Figura 8</b> - Ponte-canal .....	24
<b>Figura 9</b> - Ponte mista (rodoviária-ferroviária) .....	25
<b>Figura 10</b> - Desenvolvimento planimétrico .....	25
<b>Figura 11</b> - Desenvolvimento altimétrico .....	26
<b>Figura 12</b> - Estrutura isostática.....	27
<b>Figura 13</b> - Estrutura hiperestática .....	27
<b>Figura 14</b> - Seções transversais das pontes de concreto.....	27
<b>Figura 15</b> - Elementos que aparecem na seção transversal .....	28
<b>Figura 16</b> - Elementos relativos à seção longitudinal .....	29
<b>Figura 17</b> - Posições do tabuleiro da laje .....	30
<b>Figura 18</b> - Ponte em pórtico .....	30
<b>Figura 19</b> - Ponte em arco.....	31
<b>Figura 20</b> - Ponte estaiada .....	32
<b>Figura 21</b> - Ponte em vigas.....	32
<b>Figura 22</b> - Seção transversal da ponte.....	39
<b>Figura 23</b> - Seção longitudinal da ponte .....	40
<b>Figura 24</b> - Posições das faixas para gerar o trem-tipo .....	42
<b>Figura 25</b> - Seção da viga.....	44
<b>Figura 26</b> - Lajes 1 e 8.....	47
<b>Figura 27</b> - Lajes 2 a 7.....	48
<b>Figura 28</b> - Dados do trem-tipo.....	50
<b>Figura 29</b> - Valores das cargas móveis .....	51
<b>Figura 30</b> - Trechos da seção transversal da ponte .....	52

<b>Figura 31</b> - Reações geradas dos carregamentos distribuídos na seção transversal da ponte .....	54
<b>Figura 32</b> - Área de aço das lajes 1 e 8 da ponte de classe 30 .....	66
<b>Figura 33</b> - Área de aço das lajes 1 e 8 da ponte de classe 45 .....	66
<b>Figura 34</b> - Área de aço das lajes 2 e 7 da ponte de classe 30 .....	67
<b>Figura 35</b> - Área de aço das lajes 2 e 7 da ponte de classe 45 .....	67

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Cargas dos veículos-tipo .....	37
<b>Tabela 2</b> - Características dos veículos .....	37
<b>Tabela 3</b> - Carga permanente .....	53
<b>Tabela 4</b> - Carga permanente distribuída das longarinas .....	54
<b>Tabela 5</b> - Trens-tipos da ponte de classe 30 .....	55
<b>Tabela 6</b> - Trens-tipos da ponte de classe 45 .....	55
<b>Tabela 7</b> - Envoltória das solicitações da longarina 1 para ponte de classe 30 .....	57
<b>Tabela 8</b> - Envoltória das solicitações da longarina 2 para ponte de classe 30 .....	57
<b>Tabela 9</b> - Envoltória das solicitações da longarina 3 para ponte de classe 30 .....	57
<b>Tabela 10</b> - Envoltória das solicitações da longarina 4 para ponte de classe 30 .....	58
<b>Tabela 11</b> - Envoltória das solicitações da longarina 5 para ponte de classe 30 .....	58
<b>Tabela 12</b> - Envoltória das solicitações da longarina 6 para ponte de classe 30 .....	58
<b>Tabela 13</b> - Envoltória das solicitações da longarina 7 para ponte de classe 30 .....	59
<b>Tabela 14</b> - Envoltória das solicitações da longarina 8 para ponte de classe 30 .....	59
<b>Tabela 15</b> - Envoltória das solicitações da longarina 9 para ponte de classe 30 .....	59
<b>Tabela 16</b> - Envoltória das solicitações da longarina 1 para ponte de classe 45 .....	60
<b>Tabela 17</b> - Envoltória das solicitações da longarina 2 para ponte de classe 45 .....	61
<b>Tabela 18</b> - Envoltória das solicitações da longarina 3 para ponte de classe 45 .....	61
<b>Tabela 19</b> - Envoltória das solicitações da longarina 4 para ponte de classe 45 .....	61
<b>Tabela 20</b> - Envoltória das solicitações da longarina 5 para ponte de classe 45 .....	62
<b>Tabela 21</b> - Envoltória das solicitações da longarina 6 para ponte de classe 45 .....	62
<b>Tabela 22</b> - Envoltória das solicitações da longarina 7 para ponte de classe 45 .....	62
<b>Tabela 23</b> - Área de aço (cm <sup>2</sup> /m) da armadura longitudinal das longarinas.....	64
<b>Tabela 24</b> - Área de aço (cm <sup>2</sup> /m) da armadura longitudinal das longarinas 8 e 9.....	64
<b>Tabela 25</b> - Área de aço (cm <sup>2</sup> /m) da armadura transversal das longarinas .....	65
<b>Tabela 26</b> - Área de aço (cm <sup>2</sup> /m) da armadura transversal das longarinas 8 e 9 .....	66
<b>Tabela 27</b> - Acréscimo da taxa de aço das armaduras à flexão .....	69
<b>Tabela 28</b> - Acréscimo da taxa de aço das armaduras de cisalhamento .....	70

# 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho contempla no dimensionamento e análise das taxas de aço dos elementos estruturais da superestrutura de uma ponte em concreto armado a partir de um modelo arquitetônico já projetado.

As pontes integram-se à paisagem urbana. Devido ao rápido crescimento populacional e a uma maneira fácil de locomoção nos grandes centros ou em locais onde seja difícil o acesso. Têm como objetivo, transpor um obstáculo para estabelecer a continuidade de uma via de qualquer natureza. Estes obstáculos podem ser rios, braços de mar, vales profundos, outras vias, dentre outras.

A estrutura de uma ponte pode ser dividida em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

A superestrutura é o conjunto de elementos estruturais, como as lajes e vigas. Esses elementos suportam diretamente as cargas móveis e as transfere à infraestrutura por intermédio da mesoestrutura. Já a mesoestrutura compõe os elementos de transição, como os pilares e encontros, entre a superestrutura e a infraestrutura. Por fim, a infraestrutura compõe os elementos da fundação, que podem ser em: blocos, sapatas, tubulões e estacas, funciona como apoios intermediários que suportam toda a estrutura.

O dimensionamento da superestrutura é uma parte da composição do projeto de ponte. Portanto é indispensável, antes de chegar nesta etapa de dimensionamento da superestrutura, fazer os levantamentos dos elementos geométricos, topográficos, hidrológicos, geotécnicos, dentre outros.

As pontes são projetadas para suportarem, além do peso próprio dos seus elementos, uma determinada carga móvel, para que não sofram sérios danos e causem o comprometimento na estabilidade da estrutura. Esta carga é um sistema de cargas representativo dos valores característicos dos carregamentos provenientes do tráfego a que a estrutura está sujeita em serviço. A carga móvel em ponte rodoviária é também referida pelo termo trem-tipo.

Segundo a NBR-7188/1982 – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre – procedimento (antiga NB6/1960), as cargas móveis nas pontes classificam-se em três classes: Classe 45 – na qual a base do sistema é um veículo-tipo de 450kN de peso total; Classe 30 – na qual a base do sistema é um veículo-tipo de 300kN de peso total; e Classe 12 – na qual a base do sistema é um veículo-tipo de 120kN de peso total.

Há casos de alterações quanto à classe da ponte, devido ao aumento da carga do veículo-tipo. Como por exemplo, uma ponte que foi projetada para uma área sem muito fluxo de veículos pesados, no entanto passa a aumentar este fluxo.

Devido a essa alteração de classe, serão apresentados dois dimensionamentos, um para a ponte de classe 30 e outro para de classe 45, para que sejam observadas as variações nas taxas de aço.

Quando há alteração de classe das cargas móveis de uma ponte, toda a estrutura (superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura) tende a se modificar. Os elementos da superestrutura como lajes e vigas, por exemplo, podem sofrer com flexão. Pode ocorrer flambagem nos pilares, que é um elemento da mesoestrutura. Assim como na infraestrutura, devido o aumento da carga poderá ocasionar a punção na fundação.

Contudo, este trabalho apresentará as alterações ocasionadas na superestrutura. Enfatizando o seu dimensionamento para duas classes de cargas móveis e a análise das alterações nas áreas de aço decorrentes desta mudança.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é analisar as alterações nos esforços solicitantes, assim como, nas áreas de aço dos elementos estruturais da superestrutura de uma ponte rodoviária em concreto armado, obtidas pelo dimensionamento para dois tipos de cargas móveis.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Apresentar o modelo arquitetônico da superestrutura da ponte a ser trabalhada;
- Calcular as cargas provenientes dos seus elementos permanentes e móveis;
- Obter as envoltórias de solicitações e dimensionar as armaduras destes elementos estruturais para dois tipos de cargas móveis;
- Comparar as variações obtidas nos esforços solicitantes e nas áreas de aço geradas pela alteração dessas cargas.

## 1.2 Justificativa

Com o crescimento das cidades, pode ocasionar a vinda de grandes construções, como por exemplo, as indústrias, podendo gerar um fluxo de veículos mais pesados. É possível que estas construções sejam realizadas em áreas onde o fluxo de veículos pesados não era frequente. Portanto, as pontes rodoviárias que ali foram construídas e projetadas para atender determinada carga passam a não conseguir atender a essa nova situação. Para que não ocorra a necessidade de ter que reforçar futuramente esta estrutura devido a essa mudança de carga, é importante conhecer, na fase da elaboração de um projeto estrutural de pontes, a diferença entre projetos que atendam a situação presente do tráfego e outros que possam atender a uma carga superior, já se pensando numa situação futura.

Este trabalho apresentará o percentual da alteração na área de aço dos elementos estruturais da superestrutura da ponte, para que seja possível analisar se compensaria executar a estrutura superdimensionada ou não.

Este trabalho se torna relevante, pois o curso de graduação de Engenharia Civil não se aprofunda na análise de alteração de cargas em pontes, já que é comum haver crescimento das cidades, fazendo gerar este tipo de mudança no tráfego. Contudo, é interessante já projetar pensando neste crescimento para evitar gastos com reforços e/ou recuperações estruturais.

### **1.3 Problema**

Quais as variações obtidas, devido à alteração do tipo de carga móvel, nos esforços solicitantes e nas áreas de aço dos elementos estruturais da superestrutura de uma ponte rodoviária em concreto armado?

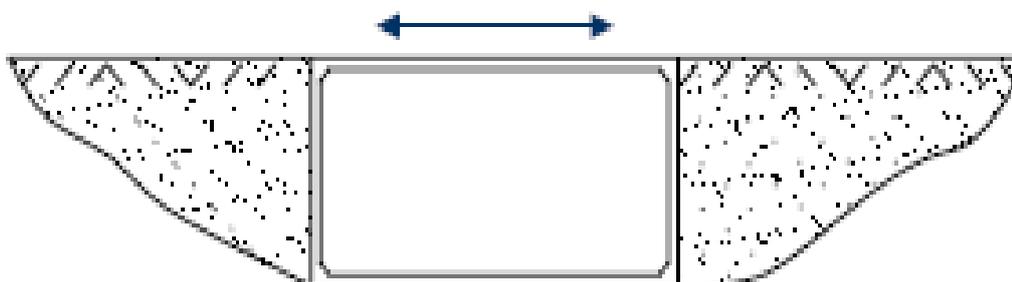
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Pontes

“Denomina-se Ponte a obra destinada a permitir a transposição de obstáculos à continuidade de uma via de comunicação qualquer. Os obstáculos podem ser: rios, braços de mar, vales profundos, outras vias etc.” (MARCHETTI, 2008).

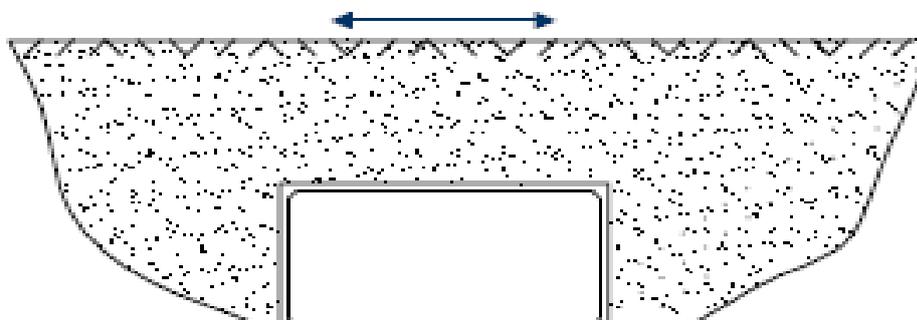
São chamadas de pontes quando o obstáculo é um rio, córrego, braço de mar ou qualquer outro elemento que houver água, porém se não houver é chamado de viaduto. Há, também, um tipo de estrutura que em determinadas situações pode se integrar na categoria de pontes, que são as galerias. Esta última estrutura pode ter características de uma ponte se tiver carregamento dinâmico. Caso contrário, se o carregamento for estático ela não terá característica de uma ponte.

**Figura 1** - Galeria com carregamento dinâmico



Fonte: MATA, 2013.

**Figura 2** - Galeria com carregamento estático



Fonte: MATA, 2013.

Historicamente, segundo LEONHARDT (1979), encontravam-se pontes de madeira ou de cordas, na forma de vigas escoradas e armada simples, na antiguidade construída pelos povos primitivos. Já os povos civilizados construíam

pontes com arte. Com isso os chineses venciam vãos de até mais de 18 metros com vigas de granito, e os carpinteiros alemães e suíços no século XVIII atingiram um elevado grau de perfeição na construção de pontes de madeira. A ponte de madeira sobre o rio Reno em Schaffhausen, construída em 1758 pelo mestre J. U. Grubenmann, tinha o vão de 118 metros.

As pontes de pedra começaram a ser construídas antes de Cristo, pelos chineses e romanos. Os romanos construíam pontes com arcos semicirculares de até 30 metros de vão, como a Ponte dos Anjos sobre o Tiber, em Roma e a Ponte Pietra, em Verona. Vales inteiros eram vencidos para a canalização de água.

As pontes de ferro fundido em forma de arco surgiram no fim do século XVIII. Foi necessária a construção de destas pontes para suportar cargas pesadas, devido ao surgimento das ferrovias.

Com o passar dos anos foram descobrindo novos materiais como o ferro forjado e o aço, e diferentes tipos estruturais, pontes em vigas, em treliças metálicas, pontes pênséis, pontes em balanço, que conseguiam vencer vãos de até 512 metros.

As pontes em concreto surgiram a partir de 1900. No início o concreto era utilizado só para substituir a pedra como material de construção. O concreto armado era utilizado, inicialmente, para lajes de tabuleiros e para nervuras de arcos. Somente em 1912, executaram pontes em vigas e em pórticos, os vãos venciam até 30 metros. As pontes em arco de concreto armado atingiam vãos cada vez maiores. As pontes em concreto protendido começaram a ser executadas a partir de 1938, mas foram interrompidas devido à guerra e só retornaram a construção depois de 1948, em vigas que venciam vãos de até 230 metros.

### **2.1.1 Principais características**

Neste tópico serão apresentadas as principais características das pontes, como são classificadas e alguns processos construtivos, nos quais são relevantes para a elaboração de um pré-dimensionamento. Entretanto, será enfatizada a superestrutura da ponte, por ser o tema tratado neste trabalho.

Osvaldemar Marchetti (2008) define os requisitos principais que uma ponte deve atender, como as funções para qual foi projetada, sejam elas de tráfego, vazão etc. Deverá ter seus materiais constituintes solicitados por esforços que nele provoquem tensões menores que as admissíveis ou que possam provocar ruptura, mantendo esse fator de segurança para torná-la segura e inspirar sensação de estabilidade. Apresentando ainda um aspecto agradável para se harmonizar com o ambiente em que se situa. Deve-se fazer também um estudo comparativo de várias soluções, escolhendo-se a mais econômica, desde que atenda todos os outros quesitos. Deve ser projetada para atender às exigências de uso durante certo período previsto.

Ainda segundo MARCHETTI (2008) diz que a estrutura da ponte é dividida em infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

A infraestrutura é a parte da ponte constituída por elementos que se destinam a apoiar no terreno (rocha ou solo) os esforços transmitidos da superestrutura para a mesoestrutura. É constituída por blocos de estacas, sapatas, tubulões etc. É a fundação da ponte.

A parte da ponte constituída pelos pilares, encontros e aparelho de apoio é chamada de mesoestrutura. Ela recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura.

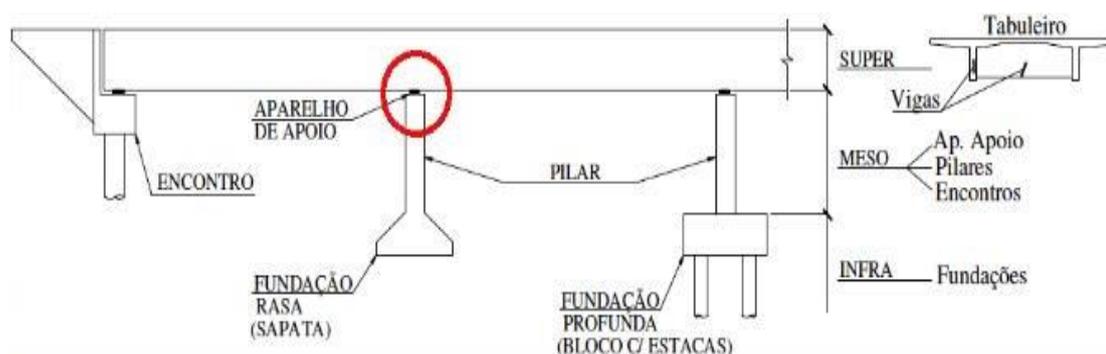
O aparelho de apoio é destinado a transmitir as reações de apoio e permitir determinados movimentos da superestrutura. O encontro e o pilar são considerados elementos de suportes. O encontro fica situado nas extremidades da ponte, na transição de ponte com o aterro da via, e que tem a dupla função, de suporte, e de arrimo do solo. Já o último fica, normalmente, situado na região intermediária, e que não tem a finalidade de arrimar o solo.

A superestrutura é constituída de vigas e lajes, é o suporte do estrado por onde se trafega.

EL DEBS e TAKEYA (2007) relatam que a superestrutura é a parte da ponte destinada a vencer o obstáculo e pode ser subdividida em estrutura principal e estrutura secundária. A estrutura principal (ou sistema estrutural principal ou

simplesmente sistema estrutural) tem a função de vencer o vão livre, e a estrutura secundária (ou tabuleiro ou estrado) recebe a ação direta das cargas e a transmite para a estrutura principal.

**Figura 3 - Estrutura da ponte**



Fonte: disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgiEAA/aparelhos-apoio>> Acesso em: 04 abr. 2015

De acordo com MARCHETTI (2008) a classificação das pontes é dada pelo(a):

- **Comprimento do vão**

São denominadas pontes, por ter o vão acima de 10 metros de comprimento. Estruturas que apresentam vãos de 2 a 10 metros são chamados de pontilhões, e as que têm vãos com comprimento menor que 2 metros são chamadas de galerias. (MARCHETTI, 2008)

- **Durabilidade**

Pontes construídas em caráter definitivo, sendo que sua durabilidade deverá atender até que forem alteradas as condições da estrada, são denominadas pontes permanentes. (MARCHETTI, 2008)

As pontes provisórias tem duração limitada, geralmente até que se construa uma ponte permanente, ou são construídas para atender determinada situação de tráfego. Depois de retirada não tem mais utilização. (MARCHETTI, 2008)

As pontes desmontáveis, assim como as pontes provisórias, têm uma duração limitada, porém são pontes reaproveitáveis. (MARCHETTI, 2008)

- **Natureza do tráfego**

Segundo a natureza do tráfego, as pontes podem ser classificadas em: rodoviárias, ferroviárias, passarelas (pontes para pedestres), aquedutos (pontes para conduzir água), canal (pontes hidroviárias), ou mistas. (MARCHETTI, 2008)

“As pontes mistas são aquelas destinadas a mais de um tipo de tráfego, por exemplo ponte rodo-ferroviária que serve para estabelecer a continuidade de uma rodovia e de uma ferrovia.” (EL DEBS e TAKEYA, 2007)

**Figura 4 - Ponte rodoviária**



Fonte: disponível em: <<http://stgguindastes.com.br/wp-content/uploads/2014/04/pontesobrerioniteroi.jpg>> Acesso em: 04 abr. 2015

**Figura 5 - Ponte ferroviária**



Fonte: disponível em: <<http://i103.photobucket.com/albums/m158/cacobianchi/PontaHumait.jpg>> Acesso em: 04 abr. 2015

**Figura 6 - Passarela para pedestres**



Fonte: disponível em: <[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Pedestrian\\_separation\\_structure\\_in\\_Recife,\\_Pernambuco,\\_Brazil.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Pedestrian_separation_structure_in_Recife,_Pernambuco,_Brazil.jpg)> Acesso em: 04 abr. 2015

**Figura 7 - Ponte-aqueduto**



Fonte: disponível em: < [http://www.institutodeengenharia.org.br/site/userfiles/pont\\_1.jpg](http://www.institutodeengenharia.org.br/site/userfiles/pont_1.jpg) > Acesso em: 04 abr. 2015

**Figura 8 - Ponte-canal**



Fonte: disponível em: <[http://voies-hydrauliques.wallonie.be/opencms/export/sites/met.dg2/fr/promotion/album/pont\\_canal\\_du\\_sart\\_1366\\_m.jpg](http://voies-hydrauliques.wallonie.be/opencms/export/sites/met.dg2/fr/promotion/album/pont_canal_du_sart_1366_m.jpg)> Acesso em: 04 abr. 2015

**Figura 9** - Ponte mista (rodoviária-ferroviária)

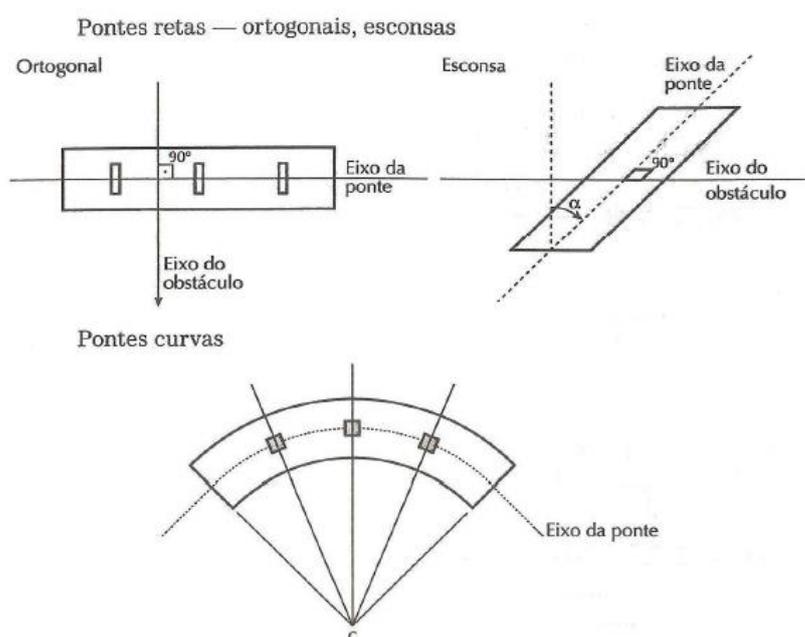


Fonte: disponível em: < <http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/22635297.jpg>> Acesso em: 04 abr. 2015

- **Desenvolvimento planimétrico**

Segundo o desenvolvimento em planta do traçado, as pontes podem ser retas ortogonais ou retas esconsas, mas que apresentem o eixo reto; ou podem apresentar o eixo curvo, neste último caso são pontes curvas. (MARCHETTI, 2008)

**Figura 10** - Desenvolvimento planimétrico

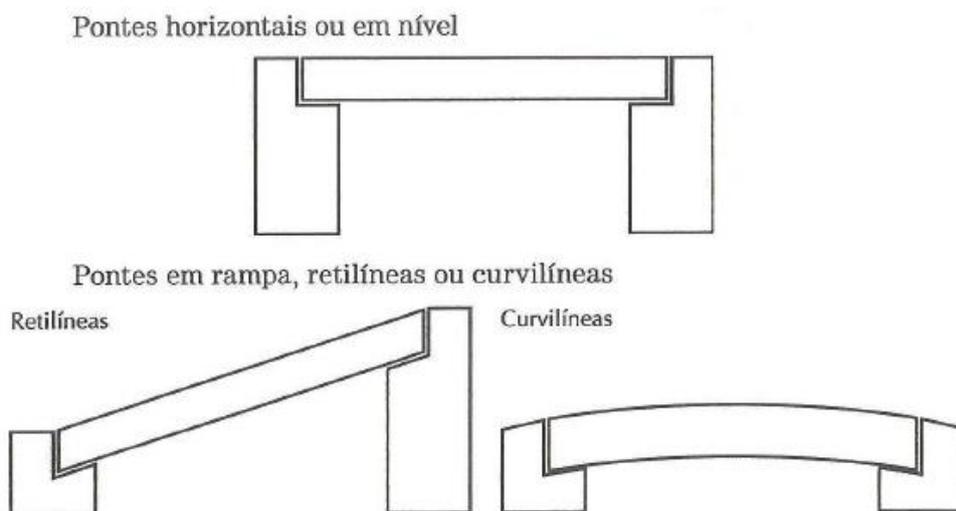


Fonte: MARCHETTI, 2008.

- **Desenvolvimento altimétrico**

As pontes se classificam segundo o plano vertical em retas em rampa ou retas horizontal. Ou quando curvas podem apresentar o tabuleiro convexo ou côncavo. (MARCHETTI, 2008)

**Figura 11 - Desenvolvimento altimétrico**



Fonte: MARCHETTI, 2008.

- **Material da superestrutura**

Os materiais da superestrutura podem ser de madeira, alvenaria (pedras/tijolos), concreto simples, concreto armado, concreto protendido e aço. (MARCHETTI, 2008)

- **Tipo estático da superestrutura**

A superestrutura de uma ponte pode ser isostática ou hiperestática. É considerada isostática quando a quantidade de restrições ao movimento estrutural é igual a três. Já quando a quantidade de restrições ao movimento estrutural é superior a três ela é então considerada hiperestática.

**Figura 12 - Estrutura isostática**



Fonte: disponível em: <2015[http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/mec1/aulas\\_praticas/elementos\\_apoio/Estruturas\\_Hipo\\_Iso\\_Hiper.pdf](http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/mec1/aulas_praticas/elementos_apoio/Estruturas_Hipo_Iso_Hiper.pdf)> Acesso em: 04 abr. 2015

**Figura 13 - Estrutura hiperestática**

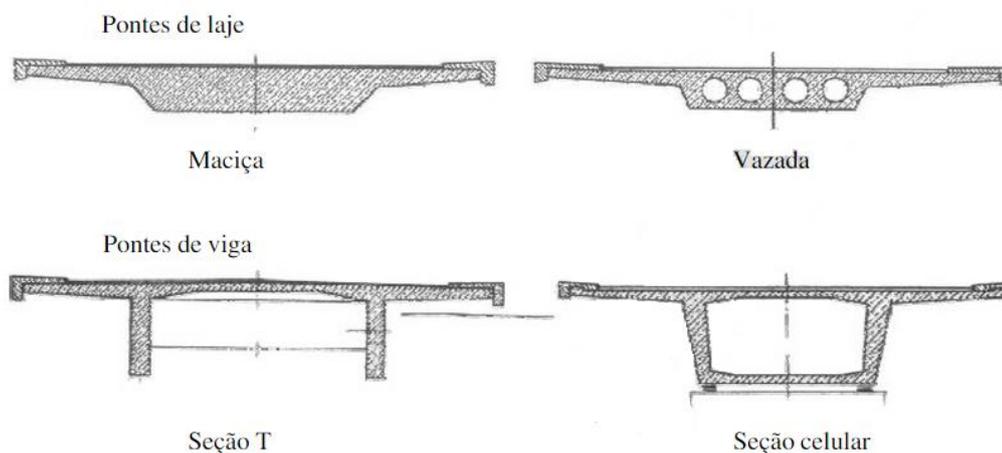


Fonte: disponível em: <2015[http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/mec1/aulas\\_praticas/elementos\\_apoio/Estruturas\\_Hipo\\_Iso\\_Hiper.pdf](http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/mec1/aulas_praticas/elementos_apoio/Estruturas_Hipo_Iso_Hiper.pdf)> Acesso em: 04 abr. 2015

- **Seção transversal da superestrutura**

A seção transversal das pontes de concreto pode ser de laje, sendo ela vazada ou maciça; ou de viga, que poderá ser em seção T ou em seção celular.

**Figura 14 - Seções transversais das pontes de concreto**

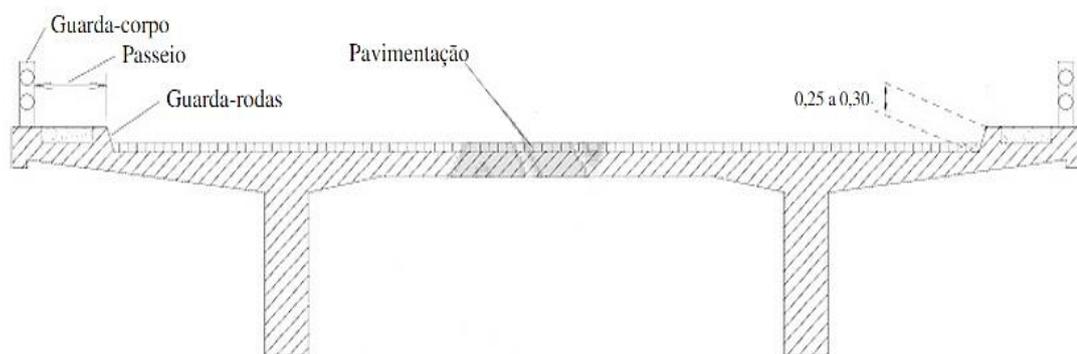


Fonte: EL DEBS e TAKEYA (2007)

EL DEBS e TAKEYA (2007) citam alguns elementos que podem aparecer na seção transversal, são eles:

- Pista de rolamento - largura disponível para o tráfego normal dos veículos, que pode ser subdividida em faixas;
- Acostamento - largura adicional à pista de rolamento destinada à utilização em casos de emergência, pelos veículos;
- Defesa - elemento de proteção aos veículos, colocado lateralmente ao acostamento;
- Passeio - largura adicional destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres;
- Guarda-roda - elemento destinado a impedir a invasão dos passeios pelos veículos;
- Guarda corpo - elemento de proteção aos pedestres.

**Figura 15** - Elementos que aparecem na seção transversal



Fonte: EL DEBS e TAKEYA (2007)

As vigas principais, as transversinas, laje do tabuleiro e outros elementos estruturais podem também aparecer dependendo do arranjo estrutural da seção transversal.

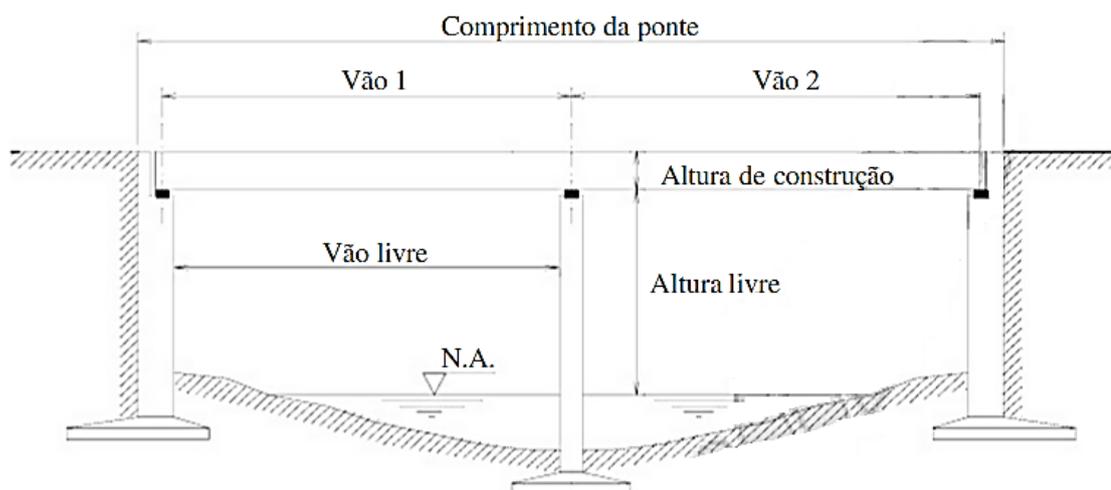
As vigas principais são chamadas de longarinas, são as que sustentam a laje do tabuleiro.

- **Seção longitudinal da ponte**

EL DEBS e TAKEYA (2007) descrevem as seguintes denominações em relação à seção longitudinal:

- Comprimento da ponte (também denominado de vão total) - distância, medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte;
- Vão (também denominado de vão teórico e de tramo) - distância, medida horizontalmente, entre os eixos de dois suportes consecutivos;
- Vão livre - distância entre as faces de dois suportes consecutivos;
- Altura de construção - distância entre o ponto mais baixo e o mais alto da superestrutura;
- Altura livre - distância entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo.

**Figura 16** - Elementos relativos à seção longitudinal



Fonte: EL DEBS e TAKEYA (2007)

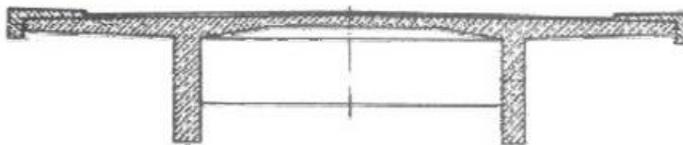
- **Posição do tabuleiro**

A posição do tabuleiro pode estar localizada na parte superior, intermediária ou inferior.

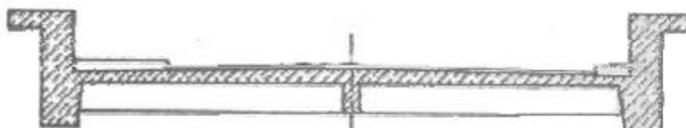
“As pontes com tabuleiro superior recebem também a denominação de pontes com tabuleiro normal, e as pontes com tabuleiro intermediário e inferior são também chamadas de pontes com tabuleiro rebaixado.” Mounir e Toshiaki (2007).

**Figura 17 - Posições do tabuleiro da laje**

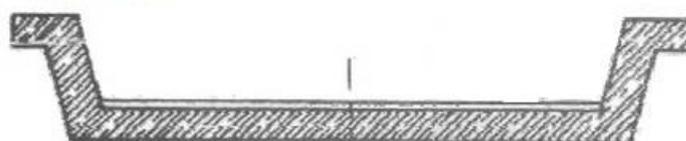
Tabuleiro superior (Normal)



Tabuleiro intermediário (Rebaixado)



Tabuleiro inferior (Rebaixado)



Fonte: EL DEBS e TAKEYA (2007)

- **Sistema estrutural da superestrutura**

Os sistemas estruturais normalmente empregados nas pontes de concreto são:

- **Pontes em pórtico**

Quando a ligação entre a superestrutura e a infraestrutura transmitir momentos fletores tem-se as pontes em pórticos. Neste tipo estrutural, parte da flexão da viga é transmitida para os pilares, possibilitando a redução dos momentos fletores na superestrutura à custa da flexão da infraestrutura. (EL DEBS e TAKEYA, 2007)

**Figura 18 - Ponte em pórtico**



Fonte: MARCHETTI, 2008.

- **Pontes em arco**

Segundo EL DEBS e TAKEYA (2007), a estrutura em arco apresenta a possibilidade de ter os esforços de flexão reduzidos em função da sua forma. No caso de arcos de concreto, essa possibilidade de redução da flexão resultando na predominância da compressão, é adequada ao material.

**Figura 19 - Ponte em arco**



Fonte: disponível em: < [http://wwwo.metalica.com.br/images/stories/ld2547/maiores/finalizacao/hover\\_bridge.jpg](http://wwwo.metalica.com.br/images/stories/ld2547/maiores/finalizacao/hover_bridge.jpg)> Acesso em: 06 abr. 2015

- **Pontes estaiadas**

Segundo EL DEBS e TAKEYA (2007), nas pontes estaiadas de concreto, normalmente, apenas o tabuleiro é de concreto; pontes com tirantes de concreto são de uso muito restrito. Este esquema estrutural, que pode ser considerado igual ao de uma viga atirantada em vários pontos, é empregado para vãos muito grandes.

**Figura 20** - Ponte estaiada



Fonte: disponível em: < <https://miliauskasarquitetura.files.wordpress.com/2011/07/ponte-da-normandia.jpg>> Acesso em: 06 abr. 2015

- **Pontes em viga**

**Figura 21** - Ponte em vigas



Fonte: disponível em: < <https://miliauskasarquitetura.files.wordpress.com/2011/07/ponte-da-normandia.jpg>> Acesso em: 06 abr. 2015

É a mais empregada no Brasil. Caracterizam-se por apresentarem vinculações que não transmitem momentos fletores da superestrutura para a infraestrutura.

Quanto às vinculações típicas podem ser simplesmente apoiadas sem balanços ou com balanços, contínuas ou Gerber.

As pontes em vigas contínuas conseguem vencer grandes vão chegando a vãos da ordem de 300 metros. Já as pontes em vigas simplesmente apoiadas chegam a atingir a casa dos 70 metros, mas em condições excepcionais.

- **Processos de construção da superestrutura de uma ponte em concreto armado**

De acordo com EL DEBS e TAKEYA (2007) o processo de execução tem influência no arranjo estrutural e na avaliação dos esforços solicitantes durante a fase construtiva das pontes em concreto armado e são classificadas em:

- Construção com concreto moldado no local;
- Construção com elementos pré-moldados;
- Construção com balanços sucessivos;
- Construção com deslocamentos progressivos

A construção com concreto moldado no local é o método tradicional de execução de concreto armado, por ser o processo construtivo mais antigo. Consiste na concretagem da superestrutura no local, com o emprego de formas apoiadas em cimbramento fixo ou móvel. (EL DEBS e TAKEYA, 2007)

O cimbramento é considerado fixo quando após a sua utilização, ele deve ser desmontado, podendo ou não ser reutilizado em outras partes da ponte. O cimbramento é considerado móvel quando existem dispositivos que permitem deslocar o cimbramento, sem desmontá-lo, após a desmoldagem de um segmento ou tramo da ponte. (EL DEBS e TAKEYA, 2007)

A construção com elementos pré-moldados consiste no lançamento de vigas pré-moldadas por meio de dispositivo adequado, seguido da aplicação de parcela adicional de concreto moldado no local, em formas que se apoiam nas vigas pré-moldadas, para eliminar ou reduzir o cimbramento. (EL DEBS e TAKEYA, 2007)

A construção das pontes em balanços sucessivos é feita a partir dos lados dos pilares, em segmentos. A forma para a moldagem de cada segmento é sustentada pelo segmento anterior, de forma progressiva, a partir dos apoios até cobrir todo o vão. Portanto é necessário que o concreto desse segmento anterior esteja com a resistência adequada. Também, neste caso, elimina-se - ou reduz-se drasticamente - o cimbramento. Existe também a alternativa de se fazer estes segmentos pré-moldados. O processo é particularmente indicado para quando a altura da ponte em relação ao terreno é grande, ou para locais onde há rios com correnteza violenta e súbita, ou onde há rios e canais onde é necessário obedecer gabaritos de navegação durante a construção. (EL DEBS e TAKEYA, 2007)

A construção com deslocamentos progressivos consiste na execução da ponte em segmentos, em local apropriado junto à cabeceira da ponte; à medida que o concreto de cada segmento vai adquirindo a resistência adequada, a ponte é progressivamente deslocada para o local definitivo, também eliminando - ou reduzindo drasticamente - o cimbramento. (EL DEBS e TAKEYA, 2007)

Segundo LEONHARDT (1979) este processo de construção é adequado para pontes com no mínimo 150 m de comprimento e também no mínimo 3 vãos. Os vãos podem variar de 30 a 140 metros, não devendo ser muito diferentes entre si.

## **2.2 Ações nas pontes de concreto armado**

Segundo a NBR 8681:2003 - Ações e segurança nas estruturas, as ações são as causas que provocam o aparecimento de esforços ou deformações nas estruturas. Sendo que as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes geradas por ações indiretas e as forças, por ações diretas. São classificadas como ações permanentes que podem ser diretas e indiretas, e ações variáveis, que podem ser normais e especiais.

Nas ações permanentes diretas são considerados os pesos próprios dos elementos da construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas. Enquanto que nas ações permanentes indiretas são considerados apenas a protensão, os recalques de apoio e a retração dos materiais.

Neste trabalho serão consideradas as ações permanentes, provocadas na superestrutura de uma ponte rodoviária, provenientes do peso próprio dos elementos estruturais e dos elementos não estruturais que estão permanentemente fixos na estrutura da ponte, tais como a pavimentação, os revestimentos, os guarda-rodas e os guarda-corpos.

De acordo com MARCHETTI (2008), os carregamentos gerados por estes elementos podem ser distribuídos ou concentrados. No caso de carregamentos distribuídos, usa-se o volume relativo ao comprimento unitário do elemento. É necessário conhecer o volume ( $v$ ) do elemento da ponte e o peso específico ( $\gamma$ ) do material que a constitui para determinar o peso próprio.

No entanto, para as cargas permanentes distribuídas, o peso próprio será  $q = \gamma \cdot v$  (kN/m); para as cargas permanentes concentradas  $q = \gamma \cdot v$  (kN).

Para determinar o peso próprio dos elementos estruturais, as NBR 7187 e NBR 6118 descrevem que o peso específico deve ser no mínimo o valor de 25 kN/m<sup>3</sup> para o concreto armado.

São consideradas como ações variáveis as cargas acidentais das construções, as cargas móveis, as cargas de vento, o empuxo de terra provocado por cargas móveis, a pressão da água em movimento, o efeito dinâmico do movimento das águas e as variações de temperatura. Em função de sua probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, as ações variáveis são classificadas em normais ou especiais.

As ações variáveis normais tem probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de

um dado tipo de construção. Nas ações variáveis especiais são consideradas as ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais.

Há também as ações excepcionais que consideram as ações decorrentes de causas tais como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais.

### **2.3 Trem-tipo**

Segundo a NBR 7188, a carga móvel é um sistema de cargas representativo dos valores característicos dos carregamentos provenientes do tráfego a que a estrutura está sujeita em serviço. A carga móvel em ponte rodoviária é também chamada de trem-tipo.

A ponte é dividida em três classes :

Classe 45 - na qual a base do sistema do trem-tipo é um veículo-tipo de 450kN de peso total;

Classe 30 - na qual a base do sistema do trem-tipo é um veículo-tipo de 300kN de peso total;

Classe 12 - na qual a base do sistema do trem-tipo é um veículo-tipo de 120kN de peso total.

A passarela para pedestres tem classe única, na qual a carga móvel é uma carga uniformemente distribuída de intensidade  $p = 5\text{kN/m}^2$  ( $500\text{kgf/m}^2$ ), não majorada pelo coeficiente de impacto.

Os trens-tipo compõem-se de um veículo e de cargas uniformemente distribuídas, como é mostrado a seguir.

Tabela 1 - Cargas dos veículos-tipo

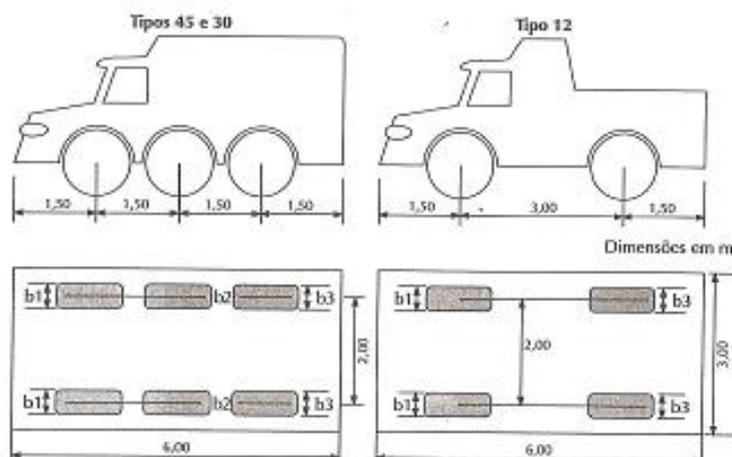
Cargas dos veículos								
Classe de ponte	Veículo			Cargas uniformemente distribuídas				Disposição da carga
	Tipo	Peso total		$p$		$p'$		
		kN	tf	kN/m <sup>2</sup>	kgf/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kgf/m <sup>2</sup>	
45	45	450	45	5	500	3	300	Carga $p$ em toda a pista Carga $p'$ nos passeios
30	30	300	30	5	500	3	300	
12	12	120	12	4	400	3	300	

Fonte: Marchetti (2008)

Os veículos são de três tipos, suas características são mostradas a seguir.

Tabela 2 - Características dos veículos

Características dos veículos				
	Unidade	Tipo 45	Tipo 30	Tipo 12
Quantidade de eixos	Eixo	3	3	2
Peso total do veículo	kN - tf	450 - 45	300 - 30	120 - 12
Peso de cada roda dianteira	kN - tf	75 - 7,5	50 - 5	20 - 2
Peso de cada roda traseira	kN - tf	75 - 7,5	50 - 5	40 - 4
Peso de cada roda intermediária	kN - tf	75 - 7,5	50 - 5	-
Largura de contato $b$ , roda dianteira	m	0,50	0,40	0,20
Largura de contato $b$ , roda traseira	m	0,50	0,40	0,30
Largura de contato $b$ , roda intermediária	m	0,50	0,40	-
Comprimento de contato de cada roda	m	0,20	0,20	0,20
Área de contato de cada roda	m <sup>2</sup>	$0,20 \times b$	$0,20 \times b$	$0,20 \times b$
Distância entre eixos	m	1,50	1,50	3,00
Distância entre os centros de roda/eixo	m	2,00	2,00	2,00



Fonte: MARCHETTI (2008)

De acordo com MARCHETTI (2008), para o cálculo de elementos da ponte, as cargas dos veículos e da multidão são utilizadas em conjunto, formando os chamados “trem-tipo”. O trem-tipo da ponte é sempre colocado no sentido longitudinal da parte e a sua ação, uma determinada seção do elemento a calcular, é obtida por meio do carregamento da correspondente linha de influência. Não devem ser consideradas nesse carregamento as cargas dos eixos ou rodas que produzam a redução da solicitação em estudo. As cargas concentradas e distribuídas que constituem o trem-tipo mantêm entre si distâncias constantes, mas a sua posição com a linha de influência é variável e deve ser tal que produza n seção considerada do elemento em estudo (viga principal, transversina, laje etc.) um máximo ou mínimo da solicitação.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Características geométricas e dos materiais da superestrutura da ponte a ser trabalhada

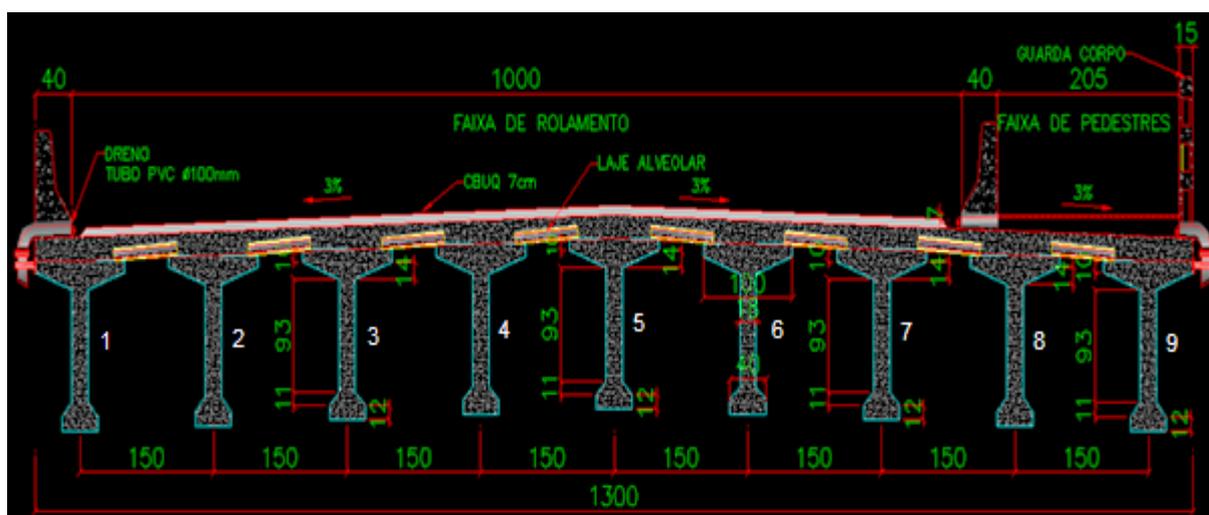
Para a realização dos cálculos das cargas permanentes provenientes dos elementos estruturais da superestrutura, assim com as cargas móveis, é necessário apresentar geometricamente a ponte a ser analisada neste trabalho e os materiais a serem utilizados para o dimensionamento das armaduras destes elementos.

Portanto, a superestrutura da ponte tem largura de 13 m e comprimento de 50,20 m. A ponte é constituída por dois vãos de 25 m e uma junta de dilatação de 20 cm entre eles. Cada um dos vãos é composto por nove longarinas biapoiadas.

As longarinas sustentam o tabuleiro, que é composto pelas pré-lajes (lajes alveolares) e lajes maciças. Também, sustentam os elementos não estruturais como o revestimento asfáltico, o guarda-corpo e as barreiras, assim como os carregamentos móveis provenientes do tráfego.

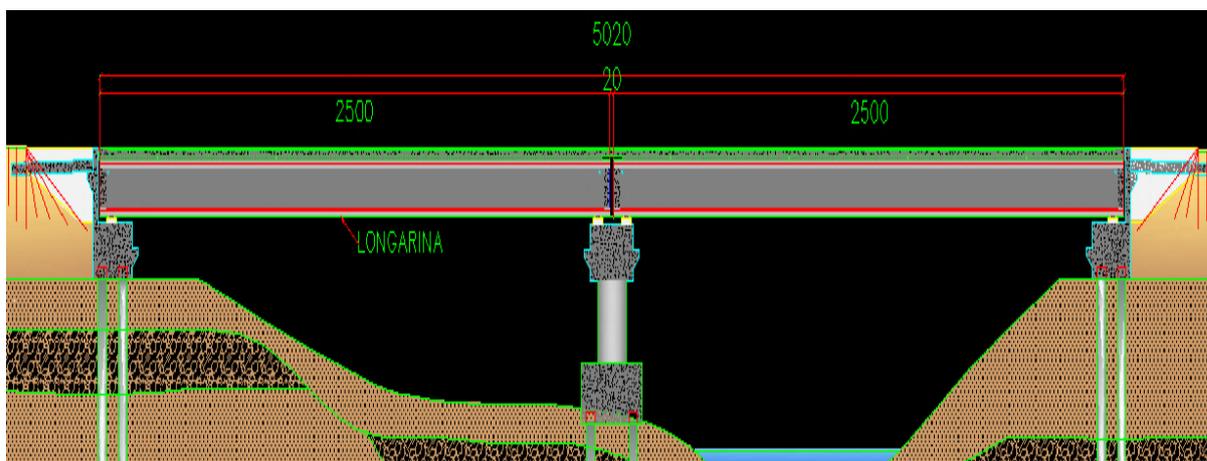
A figura abaixo apresenta a seção transversal dos elementos estruturais e não estruturais da superestrutura

Figura 22 - Seção transversal da ponte



Fonte: Autora

**Figura 23** - Seção longitudinal da ponte



Fonte: Autora

Na faixa de rolamento foi empregado o CBUQ (concreto betuminoso usinado à quente), mais conhecido como revestimento asfáltico, com espessura de 7 cm. Há também dois guarda-rodas de concreto armado e um guarda-corpo na faixa de pedestre.

Foram utilizados dois softwares, o Ftool – Versão 3.00 para a elaboração dos diagramas de esforços solicitantes dos carregamentos permanentes e móveis; e o AutoCAD 2010 para encontrar as áreas e dimensões dos elementos da superestrutura da ponte.

O local sugerido para a construção desse projeto é num ambiente urbano. Portanto, segundo a NBR 6118/2014 ambiente urbano é classificado com classe de agressividade II (moderada) com pequeno risco de deterioração da estrutura.

A resistência característica do concreto para esse tipo de classe tem que ser maior ou igual 25 Mpa, com isso foi determinado para essa estrutura um fck de 30 Mpa para o dimensionamento das armaduras de vigas e lajes.

O concreto armado tem peso específico de 25 kN/m<sup>3</sup>, e a laje alveolar tem peso específico de 17,15 kN/m<sup>3</sup>

O tipo de aço empregado para esse projeto é o CA50, e a pavimentação será de revestimento asfáltico com peso específico de 22 kN/m<sup>3</sup>.

### **3.2 Cálculo das cargas permanentes**

Foram calculadas as cargas permanentes em cada longarina, que são provenientes dos pesos dos elementos estruturais, dos elementos complementares como pavimentação, e não estruturais da superestrutura, como o guarda-corpo e guarda-rodas. Logo após, apresentou-se o esquema das cargas nos elementos estruturais para lançar no FTOOL e obter os diagramas do esforço cortante e momento fletor.

Para determinar os carregamentos permanentes em cada longarina foi necessária a divisão em trechos da seção transversal da ponte.

Cada trecho recebeu um carregamento distribuído e/ou pontual que foi gerado a partir do peso próprio dos elementos. Este peso próprio é dado pela área da seção transversal de cada elemento, que estiver distribuído em cada trecho, multiplicado pelo seu peso específico; e assim determinou-se o carregamento no trecho. Depois de encontrados todos os carregamentos distribuídos pelos trechos da seção transversal da ponte, lançou-se no FTOOL o esquema estrutural da seção transversal com os todos os carregamentos para que se obtivesse as reações em cada longarina.

Estas reações foram, então, os carregamentos distribuídos por toda a extensão de 25 metros da seção longitudinal da longarina, que se somaram ao carregamento obtido pelo peso próprio da longarina, que também é determinado pela área da seção transversal da longarina multiplicado ao seu peso específico.

### **3.3 Cálculo das cargas móveis**

A carga móvel é a representação dos veículos que circulam na ponte. Será apresentada a distribuição do trem-tipo sobre a seção longitudinal do elemento estrutural para lançar no FTOOL e obter os esforços cortantes e momento fletor.

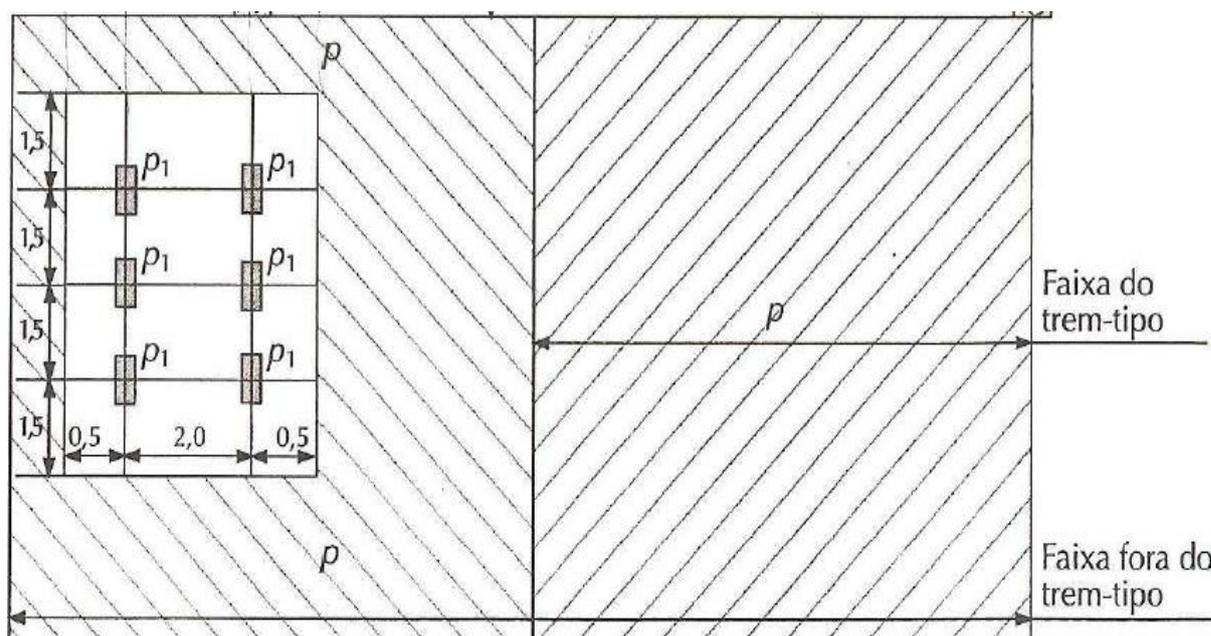
A classe da ponte de início é de 30, que segundo a NBR 7188 (1984) é um veículo tipo que tem peso total de 300 kN ou 30 tf e três eixos com peso de 50 kN

em cada roda. As cargas uniformemente distribuídas para essa classe é de  $5 \text{ kN/m}^2$  na faixa de rolamento e  $3 \text{ kN/m}^2$  nos passeios.

Posteriormente foi recalculada as cargas móveis para a classe de ponte de 45, que é um veículo tipo com peso total de  $450 \text{ kN}$  e três eixos com peso de  $75 \text{ kN}$  em cada roda. Tendo, também, as cargas uniformemente distribuídas de  $5 \text{ kN/m}^2$  na faixa de rolamento e  $3 \text{ kN/m}^2$  nos passeios.

Para gerar os trens-tipos na seção longitudinal de cada longarina foi necessário colocar as cargas uniformemente distribuídas e o peso das rodas na seção transversal na posição mais desfavorável, que segundo a NBR 7188 (1984) para obter efeitos mais desfavoráveis deve-se encostar a roda do veículo no guarda-rodas.

**Figura 24** - Posições das faixas para gerar o trem-tipo



Fonte: Marchetti (2008)

A carga externa do trem-tipo foi obtida pela reação encontrada na seção transversal quando o carregamento estava na faixa fora do trem-tipo. A carga interna do trem-tipo foi obtida pela reação encontrada na seção transversal quando o carregamento estava na faixa dentro do trem-tipo. E a pontual do trem-tipo foi obtida pela reação encontrada na seção transversal da carga do veículo.

### 3.4 Determinação do coeficiente de impacto vertical

Foi necessária a determinação do coeficiente de impacto vertical para a elaboração da envoltória das solicitações de serviço.

Assim, a NBR 7188 (1984) para pontes rodoviárias determina a seguinte equação para o coeficiente de impacto:

$$\varphi = 1,4 - 0,007l \geq 1 \quad (l \text{ em metros}) \quad (1)$$

Sendo que  $l$  representa o vão teórico da seção longitudinal.

### 3.5 Apresentação das envoltórias das solicitações de serviço

Depois de encontrados os momentos fletores e esforços cortantes das cargas permanentes e variáveis e o coeficiente de impacto vertical, montou-se uma tabela de cada longarina, das duas classes de ponte, para determinar a envoltória das solicitações de serviço dos momentos fletores e esforço cortante. Com esses dados foi possível o dimensionamento das armaduras das vigas principais à flexão e ao cisalhamento.

A envoltória dos esforços solicitantes é a combinação dos esforços de momento fletor e esforço cortante máximos e mínimos de cada seção provenientes do carregamento permanente com o carregamento móvel multiplicado ao impacto vertical.

De acordo com (MARCHETTI) e (ARAÚJO), para determinar a envoltória dos momentos fletores positivos e negativos, foram usadas as equações 2 e 3.

$$\text{Momentos positivos: } M^+ = M_g + \varphi \cdot M_q^+ \quad (2)$$

$$\text{Momentos negativos: } M^- = M_g + \varphi \cdot M_q^- \quad (3)$$

Onde:

$M_g$  – Momento fletor carga permanente

$M_q^+$  - Momento fletor cargas móveis

$M_q^-$  - Momento fletor cargas móveis

$\varphi$  – Coeficiente de impacto vertical

E, para determinar a envoltória do esforço cortante, utilizou-se a equação 4.

$$V = V_g + \varphi \cdot V_q \quad (4)$$

Onde:

$V_g$  – Força cortante carga permanente

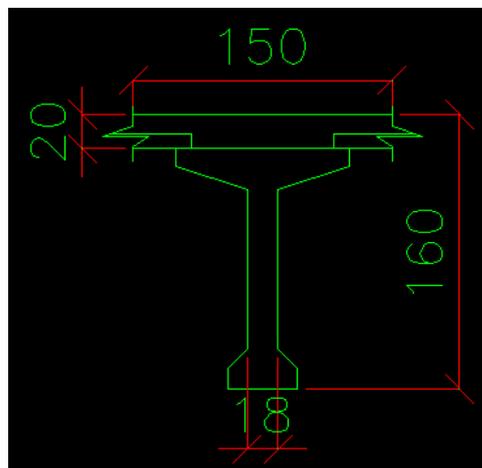
$V_q$  - Força cortante cargas móveis

### 3.6 Dimensionamento da armadura à flexão das vigas principais

Obtendo-se a envoltória das solicitações de serviço, é possível dimensionar as armaduras longitudinais das longarinas com os valores da envoltória dos momentos fletores.

As longarinas foram dimensionadas como viga T. A figura 25 mostra as dimensões da viga para a elaboração do dimensionamento da armação de flexão.

Figura 25 - Seção da viga



Fonte: Autora

$b_f = 150 \text{ cm};$

$b_w = 18 \text{ cm};$

$h = 160 \text{ cm};$

$h_f = 20 \text{ cm};;$

$d_1 = 15 \text{ cm};$

$d = 145 \text{ cm}.$

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Aço CA - 50

Se  $80\%$  de  $\xi_d \leq \xi_f \rightarrow$  Temos seção retangular

$80\%$  de  $\xi_d > \xi_f \rightarrow$  Temos seção T

$$\xi_f = \frac{hf}{d} = \frac{20}{145} = 0,138 \text{ (para todas as longarinas)}$$

$\xi_d = \frac{x}{d} \rightarrow$  são os valores encontrados na tabela de flexão simples no anexo A, a partir da determinação do  $k6d$ .

O momento fletor utilizado para o cálculo do dimensionamento é o  $Md$  (momento fletor de cálculo) que são os momentos provenientes das cargas permanentes e móveis majorados, como mostra a equação 5.

$$Md = 1,4 \cdot Mg + 1,4 \cdot \varphi \cdot Mq \quad (5)$$

Para seção retangular, a equação para obter o  $k6d$  é:

$$k6d = 10^5 \cdot \frac{bf \cdot d^2}{Md} \quad (6)$$

Depois de calculado o  $k6d$ , é possível encontrar na tabela o valor de  $k3d$  e assim calcular a área de aço, pela equação 7.

$$A_s = \frac{k3d}{10} \cdot \frac{Md}{d} \rightarrow (\text{cm}^2/\text{m}) \quad (7)$$

A área de aço mínima é encontrada a partir da equação 8

$$A_{s, \text{mín}} = 0,173 \cdot bw \cdot h \rightarrow (\text{cm}^2/\text{m}) \quad (8)$$

### 3.7 Dimensionamento da armadura de cisalhamento das vigas principais

O dimensionamento da armadura de cisalhamento das longarinas dá-se pelos valores de esforços cortantes que são encontrados na envoltória dos esforços solicitantes.

Segundo a NBR 6118 (2014), para a obtenção da área de aço das armaduras transversais, é necessária a verificação do concreto. Portanto, será verificada a seguinte condição:

$$V_{sd} < V_{rd2}$$

Onde:

$V_{sd} \rightarrow$  Força cortante de cálculo na seção;

$V_{rd2}$  → Força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto;

Força de cálculo significa dizer que é a força majorada 40% pelo coeficiente de ponderação da resistência do concreto, portanto:

$$V_{sd} = 1,4 \cdot Vg + 1,4 \cdot \varphi \cdot Vq \rightarrow (\text{kN}) \quad (9)$$

Para o cálculo do  $V_{rd2}$  é utilizada a equação 10.

$$V_{rd2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot fcd \cdot bw \cdot d \rightarrow (\text{kN}) \quad (10)$$

Sendo:

$$\alpha_v = 1 - \frac{fck}{250} \text{ e o } fck \text{ em megapascal;} \quad (11)$$

$F_{cd}$  é a resistência de cálculo à compressão do concreto, dado por:

$$F_{cd} = \frac{fck}{1,4} \rightarrow (\text{kN}) \quad (12)$$

Após a verificação do concreto, será realizado o cálculo da armadura transversal (estribos). A área de aço da armadura transversal é determinada a partir da equação (13):

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{sw}}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}} \rightarrow (\text{cm}^2/\text{m}) \quad (13)$$

Onde:

- $f_{ywd}$  → deve-se limitar em 435 Mpa para as armaduras de cisalhamento.

Portanto,  $f_{ywd} = 43,5 \text{ kN}$

- $V_{sw}$  é a parcela absorvida pela armadura transversal

$$V_{sw} = Vd - V_{co} \rightarrow (\text{kN}) \quad (14)$$

- $V_{co}$  é a parcela da força cortante absorvida por mecanismos complementares ao de treliça

$$V_{co} = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot bw \cdot d \rightarrow (\text{kN}) \quad (15)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf.}}{1,4} \quad (16)$$

$F_{ctd}$  é a resistência de cálculo do concreto à tração

$$f_{ctk,inf.} = 0,7 \cdot f_{ct,m} \quad (17)$$

$F_{ct,m}$  é a resistência média à tração do concreto

$$f_{ct,m} = 0,3 \sqrt[3]{fck^2} \quad (18)$$

A área de aço mínima é obtida pela equação 19.

$$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right)_{mín} = bw \cdot \rho w_{mín} \cdot 100 \rightarrow (\text{cm}^2/\text{m}) \quad (19)$$

Onde:

$\rho w_{mín}$  é a taxa geométrica mínima de armadura transversal

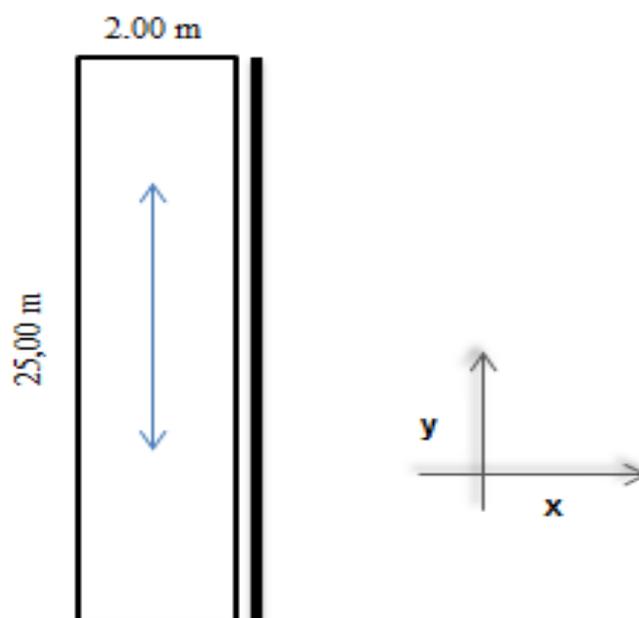
$$\rho w_{mín} = 0,2 \cdot \frac{f_{ct,m}}{f_{ywk}} \quad (20)$$

$f_{ywk}$  é a resistência característica ao escoamento do aço da armadura transversal com valor de 500 Mpa.

### 3.8 Dimensionamento das lajes

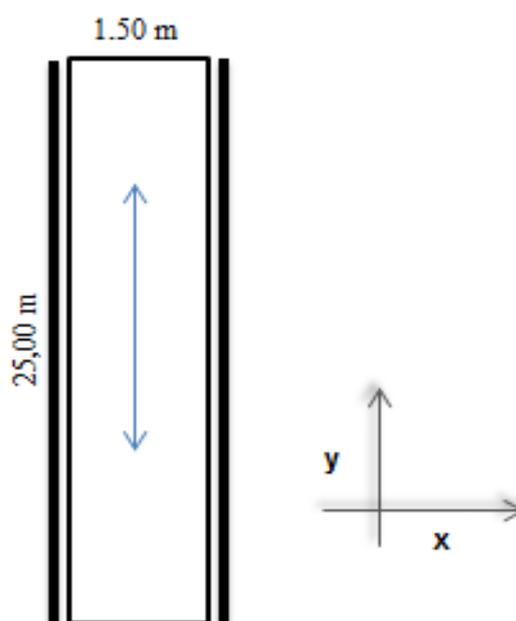
O tabuleiro é constituído por lajes alveolares, que são pré-fabricadas e por lajes maciças que são moldadas in loco. Estas lajes maciças são divididas em oito panos de lajes que vão do eixo de uma longarina a outra, numa largura de 1,50m para as lajes 2 a 7; e 2,00m para as lajes das extremidades 1 e 8. A seguir será apresentado o perfil esquemático das lajes nas figuras 26 e 27.

Figura 26 - Lajes 1 e 8



Fonte: Autora

Figura 27 - Lajes 2 a 7



Fonte: Autora

As lajes das extremidades 1 e 8 têm apenas um engastamento na direção y, que também é a direção do tráfego. As lajes 2 a 7 são engastadas nas duas extremidades do eixo y.

Segundo (MARCHETTI), para a realização do cálculo das lajes é necessário encontrar o carregamento estático, que é obtido pela somatória do peso próprio da laje e do revestimento asfáltico multiplicados pelos seus respectivos pesos específicos, como mostra a equação 21.

$$g = e_{laje} \cdot \gamma_{con} + e_{rev} \cdot \gamma_{rev} \rightarrow (\text{kN/m}^2)$$

Os dados para a realização destes cálculos são os seguintes:

$f_{ck}$ : 30 MPa

Aço CA-50

$h$ : 0,20 m → altura da laje

$d$ : 0,18 m → altura útil da laje

$b_w$ : 1,00 m → dimensionamento realizado para a faixa de 1 metro

$e_{rev}$ : 0,07 m → espessura do revestimento

$\gamma_{con}$ : 25 KN/m<sup>3</sup> → peso específico do concreto

$\gamma_{rev}$ : 22 KN/m<sup>3</sup> → peso específico do revestimento

O cálculo das lajes de pontes é extremamente trabalhoso, pois há uma dificuldade de encontrar as posições das cargas que produzam as solicitações mais desfavoráveis. Porém foram desenvolvidos diversos procedimentos para facilitar este cálculo, um deles é o de Rüsç, que foi utilizado neste trabalho.

Para o cálculo dos momentos provenientes do carregamento estático é necessário utilizar os coeficientes que são encontrados nas tabelas de Rüsç. Nas lajes 1 e 8 foi utilizada a tabela nº14, e nas lajes 2 a 7 foi utilizada a tabela nº53, ambas as tabelas estão no anexo B e C.

Foram retirados os seguintes coeficientes para o cálculo dos momentos:

$M_{xm}$  → Coeficiente do momento fletor positivo na direção x;

$M_{ym}$  → Coeficiente do momento fletor positivo na direção y;

$M_{ye}$  → Coeficiente do momento fletor negativo na direção y ;

Com estes coeficientes foi possível calcular os momentos fletores, nas direções x e y, provenientes do carregamento estático, a partir das equações 22 a 24.

$$Mg^{\circ}_{xm} = M_{xm} * g * lx^2 \rightarrow (\text{kN.m/m}) \quad (22)$$

$$Mg^{\circ}_{ym} = M_{ym} * g * lx^2 \rightarrow (\text{kN.m/m}) \quad (23)$$

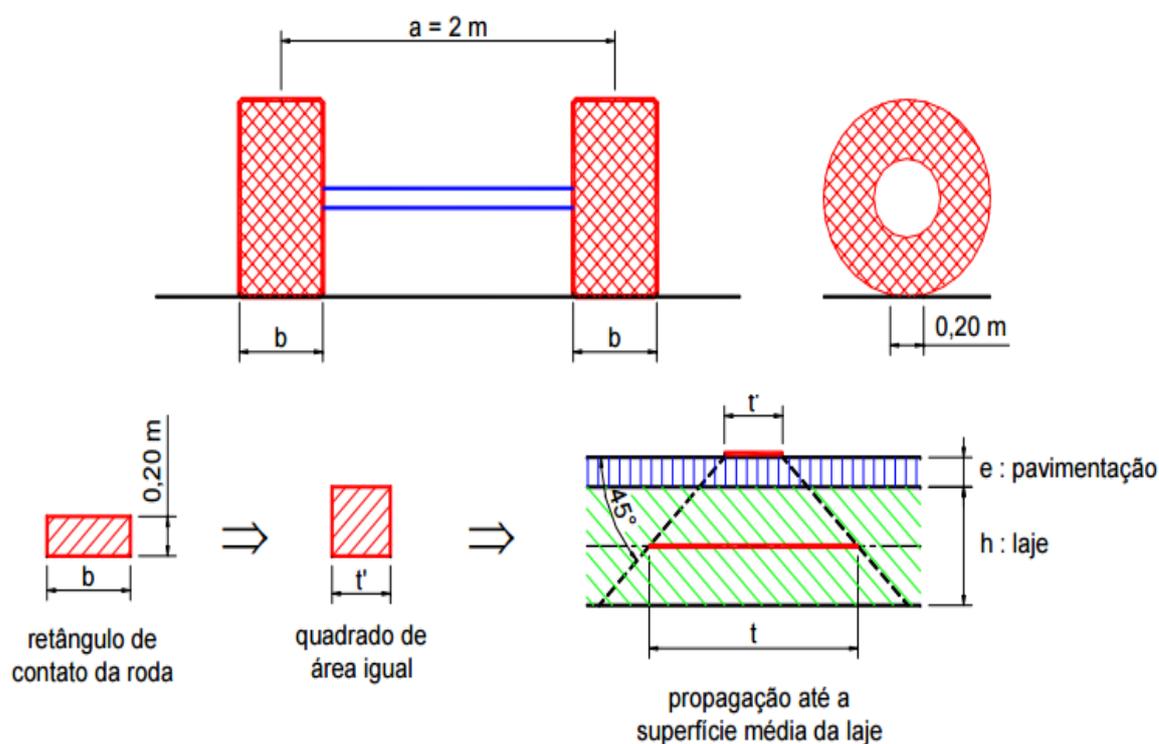
$$Mg^{\circ}_{xe} = M_{xe} * g * lx^2 \rightarrow (\text{kN.m/m}) \quad (24)$$

Sendo que  $lx$  é a largura da laje no eixo x.

Para o cálculo dos momentos decorrentes do carregamento móvel foi necessário determinar alguns dados como mostram as figuras 28 e 29, para encontrar os coeficientes  $M$ ,  $p$  e  $p'$  nas tabelas de Rüsç, e estes serem inseridos na equação 25.

$$Mq = \varphi(Q * M + q * p + q * p') \quad (25)$$

Figura 28 - Dados do trem-tipo



Classe 45  $\Rightarrow b = 0,50$  m

Classe 30  $\Rightarrow b = 0,40$  m

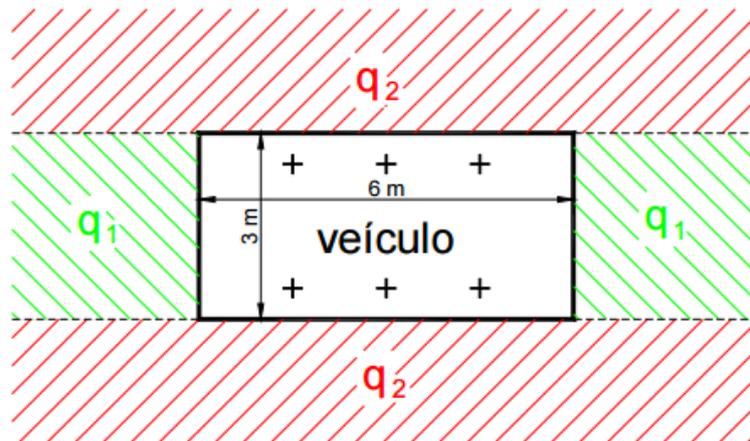
$$t' = \sqrt{0,20 \times b}$$

$$t = t' + 2 \cdot e + h$$

Fonte: < <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/tabelasrusch.pdf> > Acesso em: 20 de set. 2015

Os dados necessários para encontrar os valores nas tabelas de Rüsç são os valores resultantes de  $\frac{lx}{a}$  e  $\frac{t}{a}$ . O valor de  $a = 2$  metros é fixo para as duas classes de pontes, como mostra a figura 28. O valor de  $lx$  para as lajes 1 e 8 é de 2 metros, já para as lajes de 2 a 7 é de 1,50 metros. O valor de  $t$  varia da classe 30 para a 45, devido a largura de contato da roda ser diferente. Para a classe 30 o  $t = 0,62$ m e para a classe 45 o  $t = 0,66$ m.

**Figura 29** - Valores das cargas móveis



**NBR 7188:**

$$q_1 = q_2 = q \quad \text{Classe 45 e 30} \Rightarrow q = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Classe 45} \Rightarrow Q = 75 \text{ kN}$$

$$\text{Classe 30} \Rightarrow Q = 50 \text{ kN}$$

Fonte: < <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/tabelasrusch.pdf> > Acesso em: 20 de set. 2015

Depois de encontrados os momentos provenientes dos carregamentos permanentes e móveis, foi calculado o momento de cálculo ( $M_d$ ) que é a combinação destes dois carregamentos, majorado 40%, como mostra a equação 26.

$$M_d = 1,4 \cdot M_g + \varphi \cdot 1,4 \cdot M_q \quad (26)$$

As áreas de aço das lajes são obtidas a partir da determinação do  $k_6$  (equação 27) para encontrar o  $k_3$  na tabela de flexão simples, que se encontra no anexo A, e então inserindo o valor encontrado do  $k_3$  na equação 28, foi possível encontrar as áreas de aço.

$$k_6 = \frac{10^5 \cdot b_w \cdot d}{M} \quad (27)$$

$$A_s = \frac{k_3 \cdot M_d}{10 \cdot d} \rightarrow (\text{cm}^2/\text{m}) \quad (28)$$

A área de aço mínima é obtida pela equação 29.

$$A_{s, \text{mín}} = 0,173 \cdot b_w \cdot d \rightarrow (\text{cm}^2/\text{m}) \quad (29)$$

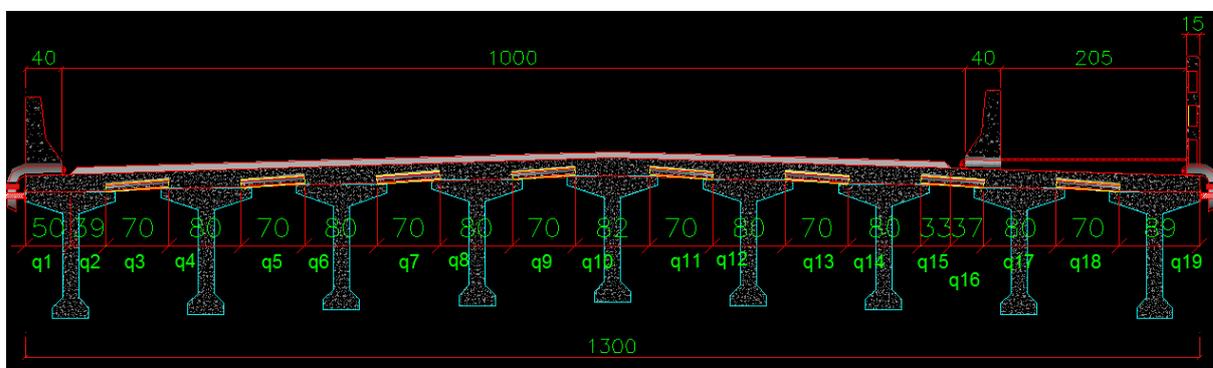
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Dimensionamento das longarinas

#### 4.1.1 Cálculo das cargas permanentes

Foi obtido os carregamentos dos elementos permanentes, como o tabuleiro da laje e os elementos não estruturais, dividindo-se a seção transversal da superestrutura da ponte em 19 trechos, como mostra a figura 30.

Figura 30 - Trechos da seção transversal da ponte



Fonte: Autora

A tabela 3 apresenta os carregamentos encontrados em cada trecho, que foram resultantes da área da seção transversal dos elementos multiplicados pelo seu peso específico.

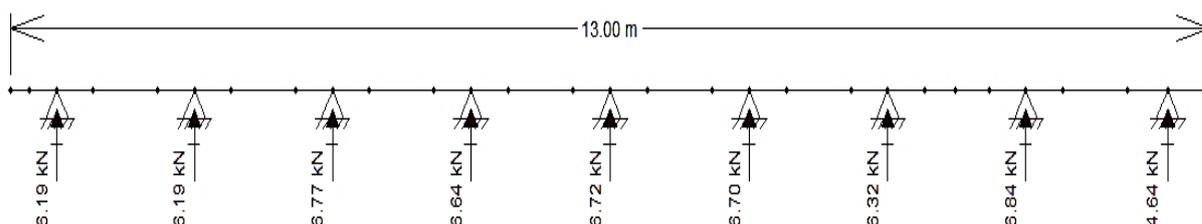
Tabela 3 - Carga permanente

Trecho	Carregamentos	Descrição	Área (m <sup>2</sup> )			Peso específico (m <sup>3</sup> )			Carregamento distribuído (kN/m)			Carregamento concentrado (kN)		
			Guarda-rodas	Laje maciça	Laje alveolar	Revestimento	Concreto	Revestimento	Laje alveolar	Laje maciça	Laje alveolar	Revestimento	Carregamento distribuído total	Guarda-corpo
q1	laje maciça+guarda-rodas		0,23	0,098		25			2,45			2,45		2,3
q2	laje maciça+revestimento			0,078		25	0,024		1,95		0,53	2,48		
q3	laje maciça+laje alveolar+revestimento			0,074	0,058	25	0,049		1,85	15,16	0,88	3,81		
q4	laje maciça+revestimento			0,150		25	0,056		3,75		1,23	4,98		
q5	laje maciça+laje alveolar+revestimento			0,074	0,058	25	0,049		1,85	15,16	0,88	3,81		
q6	laje maciça+revestimento			0,150		25	0,056		3,75		1,23	4,98		
q7	laje maciça+laje alveolar+revestimento			0,074	0,058	25	0,049		1,85	15,16	0,88	3,81		
q8	laje maciça+revestimento			0,150		25	0,056		3,75		1,23	4,98		
q9	laje maciça+laje alveolar+revestimento			0,074	0,058	25	0,049		1,85	15,16	0,88	3,81		
q10	laje maciça+revestimento			0,150		25	0,056		3,75		1,23	4,98		
q11	laje maciça+laje alveolar+revestimento			0,074	0,058	25	0,049		1,85	15,16	0,88	3,81		
q12	laje maciça+revestimento			0,150		25	0,056		3,75		1,23	4,98		
q13	laje maciça+laje alveolar+revestimento			0,074	0,058	25	0,049		1,85	15,16	0,88	3,81		
q14	laje maciça+revestimento			0,150		25	0,056		3,75		1,23	4,98		
q15	laje maciça+laje alveolar+revestimento			0,031	0,031	25	0,019		0,78	15,16	0,47	1,66		
q16	laje maciça+laje alveolar			0,038	0,034	25			0,95	15,16	0,52	1,47		
q17	laje maciça+guarda-rodas	0,23		0,149		25			3,73			3,73		2,3
q18	laje maciça+laje alveolar			0,084	0,073	25			2,10	15,16	1,11	3,21		
q19	laje maciça+guarda-corpo			0,174		25			4,35			4,35	0,02	

Fonte: Autora

Com isso gerou-se o sistema estrutural com todos os carregamentos distribuídos em cada trecho no FTOOL apoiados nas nove longarinas e foram encontradas as reações em cada um desses apoios, como mostra a figura 31.

**Figura 31** - Reações geradas dos carregamentos distribuídos na seção transversal da ponte



Fonte: Autora

A área da seção transversal da longarina é de 0,43 m<sup>2</sup> e seu peso específico é de 25 kN/m<sup>3</sup>, resultando num carregamento distribuído de 10,75 kN/m. Este carregamento foi somado com as reações dos apoios, gerando um carregamento distribuído total, como mostra a tabela 4.

**Tabela 4** - Carga permanente distribuída das longarinas

LONGARINAS	CARGA DISTRIBUÍDA (kN/m)		
	GERADA PELA REAÇÃO	GERADA PELO PESO PRÓPRIO DA VIGA	TOTAL
1	6,19	10,75	16,94
2	6,19	10,75	16,94
3	6,77	10,75	17,52
4	6,64	10,75	17,39
5	6,72	10,75	17,47
6	6,7	10,75	17,45
7	6,32	10,75	17,07
8	6,84	10,75	17,59
9	4,64	10,75	15,39

Fonte: Autora

Com a carga distribuída total de cada longarina foram encontrados os valores de momentos fletores e esforços cortantes devido às cargas permanentes. Os gráficos podem ser visualizados no Apêndice 5. Estes valores serão apresentados na envoltória de esforços em serviço.

#### 4.1.2 Cálculo das cargas móveis

Com as reações encontradas, devido ao carregamento do veículo tipo na seção transversal da ponte, foram obtidos os valores dos trens-tipos para cada longarina da ponte de classe 30 e classe 45. As reações foram encontradas a partir dos gráficos gerados no Ftool que podem ser visualizados nos Apêndices 1 e 3.

As tabelas 5 e 6 apresentam os valores das cargas dos trens-tipos.

**Tabela 5** - Trens-tipos da ponte de classe 30

Classe 30	Trem-tipo						
	Reação da carga distribuída na faixa fora do trem tipo (kN/m)	Reação da carga distribuída na faixa do trem tipo (kN/m)	Reação da carga do veículo na faixa do trem-tipo (kN/m)	Quantidade de eixos	Carga concentrada (kN)	Carregamento interno (kN/m)	Carregamento externo (kN/m)
Longarina 1	3,5	-0,1	50,6	3,0	50,6	0,0	3,5
Longarina 2	8,5	-0,1	43,4	3,0	43,4	0,0	8,5
Longarina 3	7,2	-1,0	38,2	3,0	38,2	0,0	7,2
Longarina 4	7,6	-0,6	37,9	3,0	37,9	0,0	7,6
Longarina 5	7,4	-0,4	37,8	3,0	37,8	0,0	7,4
Longarina 6	7,6	-0,6	37,9	3,0	37,9	0,0	7,6
Longarina 7	7,0	-0,8	38,3	3,0	38,3	0,0	7,0

Fonte: Autora

**Tabela 6** - Trens-tipos da ponte de classe 45

Classe 45	Trem-tipo						
	Reação da carga distribuída na faixa fora do trem tipo (kN/m)	Reação da carga distribuída na faixa do trem tipo (kN/m)	Reação da carga do veículo na faixa do trem-tipo (kN/m)	Quantidade de eixos	Carga concentrada (kN)	Carregamento interno (kN/m)	Carregamento externo (kN/m)
Longarina 1	3,5	-0,2	75,9	3,0	75,9	0,0	3,5
Longarina 2	8,5	-0,1	65,0	3,0	65,0	0,0	8,5
Longarina 3	7,2	-1,3	57,8	3,0	57,8	0,0	7,2
Longarina 4	7,6	-0,9	56,8	3,0	56,8	0,0	7,6
Longarina 5	7,4	-1,1	56,8	3,0	56,8	0,0	7,4
Longarina 6	7,6	-0,9	56,8	3,0	56,8	0,0	7,6
Longarina 7	7,0	-0,9	57,5	3,0	57,5	0,0	7,0

Fonte: Autora

Os trens-tipos encontrados foram obtidos pelas cargas móveis que passam sobre a faixa de rolamento. Portanto foram consideradas somente as longarinas de 1 a 7, pois as longarinas 8 e 9 não recebem estes carregamentos móveis por estarem localizadas apoiando o passeio.

Os trens-tipos foram inseridos em cada longarina para a obtenção das solicitações de momentos fletores e esforços cortantes devido à carga móvel. Os gráficos gerados a partir destas solicitações podem ser visualizados no Apêndice 2 e 4.

Os valores destas solicitações serão apresentados na envoltória de solicitação em serviço.

#### **4.1.3 Determinação do coeficiente de impacto vertical**

Foi calculado o coeficiente de impacto vertical dada pela equação:

$$I = 1,4 - 0,007l \geq 1$$

Sendo  $l$  igual a 25 metros do comprimento da viga na seção longitudinal, portanto:  $I = 1,4 - 0,007 \times 25 = 1,22$ .

#### **4.1.4 Envoltória das solicitações de serviço**

Os momentos fletores e esforços cortantes das cargas permanentes e variáveis encontrados, foram obtidos pela divisão do vão de 25 metros em 10 seções com espaçamentos de 2,5 metros. Foi observado que estas solicitações de momentos fletores e esforços cortantes, tanto devido às cargas permanentes quanto devido às cargas móveis, nas seções de 0 a 5 se repetem nas seções de 6 a 10, devido cada longarina receber um único carregamento distribuído por toda sua extensão longitudinal. Contudo por serem simétricas, foi possível simplificar os cálculos para somente 5 seções.

A seguir, nas tabelas 7 a 15 serão mostradas as envoltórias de momento fletor e esforço cortante a cada 2,5 metros de cada longarina da ponte de classe 30.

**Tabela 7** - Envoltória das solicitações da longarina 1 para ponte de classe 30

LONGARINA 1		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	<b>0,00</b>	211,80	1,22	172,10	<b>421,76</b>
1	máx.	476,40	1,22	377,00	<b>936,34</b>	169,40	1,22	150,20	<b>352,64</b>
	mín.	476,40	1,22	377,00	<b>936,34</b>	169,40	1,22	-7,10	<b>160,74</b>
2	máx.	847,00	1,22	662,90	<b>1655,74</b>	127,10	1,22	129,10	<b>284,60</b>
	mín.	847,00	1,22	662,90	<b>1655,74</b>	127,10	1,22	-21,30	<b>101,11</b>
3	máx.	1111,70	1,22	861,40	<b>2162,61</b>	84,70	1,22	109,00	<b>217,68</b>
	mín.	1111,70	1,22	861,40	<b>2162,61</b>	84,70	1,22	-37,10	<b>39,44</b>
4	máx.	1270,50	1,22	987,10	<b>2474,76</b>	42,40	1,22	89,70	<b>151,83</b>
	mín.	1270,50	1,22	987,10	<b>2474,76</b>	42,40	1,22	-53,70	<b>-23,11</b>
5	máx.	1323,40	1,22	1030,80	<b>2580,98</b>	0,00	1,22	71,30	<b>86,99</b>
	mín.	1323,40	1,22	1030,80	<b>2580,98</b>	0,00	1,22	-71,30	<b>-86,99</b>

Fonte: Autora

**Tabela 8** - Envoltória das solicitações da longarina 2 para ponte de classe 30

LONGARINA 2		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	<b>0,00</b>	211,80	1,22	193,80	<b>448,24</b>
1	máx.	476,40	1,22	414,90	<b>982,58</b>	169,40	1,22	164,40	<b>369,97</b>
	mín.	476,40	1,22	414,90	<b>982,58</b>	169,40	1,22	-6,10	<b>161,96</b>
2	máx.	847,00	1,22	727,60	<b>1734,67</b>	127,10	1,22	137,20	<b>294,48</b>
	mín.	847,00	1,22	727,60	<b>1734,67</b>	127,10	1,22	-18,30	<b>104,77</b>
3	máx.	1111,70	1,22	947,50	<b>2267,65</b>	84,70	1,22	112,10	<b>221,46</b>
	mín.	1111,70	1,22	947,50	<b>2267,65</b>	84,70	1,22	-32,80	<b>44,68</b>
4	máx.	1270,50	1,22	1085,80	<b>2595,18</b>	42,40	1,22	89,10	<b>151,10</b>
	mín.	1270,50	1,22	1085,80	<b>2595,18</b>	42,40	1,22	-49,40	<b>-17,87</b>
5	máx.	1323,40	1,22	1132,20	<b>2704,68</b>	0,00	1,22	68,20	<b>83,20</b>
	mín.	1323,40	1,22	1132,20	<b>2704,68</b>	0,00	1,22	-68,20	<b>-83,20</b>

Fonte: Autora

**Tabela 9** - Envoltória das solicitações da longarina 3 para ponte de classe 30

LONGARINA 3		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	<b>0,00</b>	219,00	1,22	168,20	<b>424,20</b>
1	máx.	492,80	1,22	360,50	<b>932,61</b>	175,20	1,22	142,90	<b>349,54</b>
	mín.	492,80	1,22	360,50	<b>932,61</b>	175,20	1,22	-5,30	<b>168,73</b>
2	máx.	876,00	1,22	632,30	<b>1647,41</b>	131,40	1,22	119,40	<b>277,07</b>
	mín.	876,00	1,22	632,30	<b>1647,41</b>	131,40	1,22	-16,10	<b>111,76</b>
3	máx.	1149,80	1,22	823,30	<b>2154,23</b>	87,60	1,22	97,70	<b>206,79</b>
	mín.	1149,80	1,22	823,30	<b>2154,23</b>	87,60	1,22	-28,80	<b>52,46</b>
4	máx.	1314,00	1,22	943,50	<b>2465,07</b>	43,80	1,22	77,80	<b>138,72</b>
	mín.	1314,00	1,22	943,50	<b>2465,07</b>	43,80	1,22	-43,30	<b>-9,03</b>
5	máx.	1368,80	1,22	983,80	<b>2569,04</b>	0,00	1,22	59,60	<b>72,71</b>
	mín.	1368,80	1,22	983,80	<b>2569,04</b>	0,00	1,22	-59,60	<b>-72,71</b>

Fonte: Autora

**Tabela 10** - Envoltória das solicitações da longarina 4 para ponte de classe 30

LONGARINA 4		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	0,00	217,40	1,22	170,80	425,78
1	máx.	489,10	1,22	365,30	934,77	173,90	1,22	144,80	350,56
	mín.	489,10	1,22	365,30	934,77	173,90	1,22	-5,30	167,43
2	máx.	869,50	1,22	640,50	1650,91	130,40	1,22	120,70	277,65
	mín.	869,50	1,22	640,50	1650,91	130,40	1,22	-16,00	110,88
3	máx.	1141,20	1,22	834,20	2158,92	86,90	1,22	98,50	207,07
	mín.	1141,20	1,22	834,20	2158,92	86,90	1,22	-28,70	51,89
4	máx.	1304,30	1,22	955,90	2470,50	43,50	1,22	78,20	138,90
	mín.	1304,30	1,22	955,90	2470,50	43,50	1,22	-43,30	-9,33
5	máx.	1358,60	1,22	996,70	2574,57	0,00	1,22	59,80	72,96
	mín.	1358,60	1,22	996,70	2574,57	0,00	1,22	-59,80	-72,96

Fonte: Autora

**Tabela 11** - Envoltória das solicitações da longarina 5 para ponte de classe 30

LONGARINA 5		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	0,00	218,40	1,22	168,80	424,34
1	máx.	491,30	1,22	361,30	932,09	174,70	1,22	143,20	349,40
	mín.	491,30	1,22	361,30	932,09	174,70	1,22	-5,30	168,23
2	máx.	873,50	1,22	633,60	1646,49	131,00	1,22	119,50	276,79
	mín.	873,50	1,22	633,60	1646,49	131,00	1,22	-15,90	111,60
3	máx.	1146,50	1,22	825,10	2153,12	87,40	1,22	97,60	206,47
	mín.	1146,50	1,22	825,10	2153,12	87,40	1,22	-28,50	52,63
4	máx.	1310,30	1,22	945,60	2463,93	43,70	1,22	77,60	138,37
	mín.	1310,30	1,22	945,60	2463,93	43,70	1,22	-43,00	-8,76
5	máx.	1364,80	1,22	985,90	2567,60	0,00	1,22	59,40	72,47
	mín.	1364,80	1,22	985,90	2567,60	0,00	1,22	-59,40	-72,47

Fonte: Autora

**Tabela 12** - Envoltória das solicitações da longarina 6 para ponte de classe 30

LONGARINA 6		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	0,00	218,10	1,22	170,8	426,48
1	máx.	490,80	1,22	365,3	936,47	174,50	1,22	144,8	351,16
	mín.	490,80	1,22	365,30	936,47	174,50	1,22	-5,30	168,03
2	máx.	872,50	1,22	640,50	1653,91	130,90	1,22	120,7	278,15
	mín.	872,50	1,22	640,50	1653,91	130,90	1,22	-16,00	111,38
3	máx.	1145,20	1,22	834,20	2162,92	87,30	1,22	98,5	207,47
	mín.	1145,20	1,22	834,20	2162,92	87,30	1,22	-28,70	52,29
4	máx.	1308,80	1,22	955,9	2475,00	43,60	1,22	78,20	139,00
	mín.	1308,80	1,22	955,90	2475,00	43,60	1,22	-43,30	-9,23
5	máx.	1363,30	1,22	996,7	2579,27	0,00	1,22	59,80	72,96
	mín.	1363,30	1,22	996,70	2579,27	0,00	1,22	-59,80	-72,96

Fonte: Autora

**Tabela 13 - Envoltória das solicitações da longarina 7 para ponte de classe 30**

LONGARINA 7		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	<b>0,00</b>	213,40	1,22	166,80	<b>416,90</b>
1	máx.	480,10	1,22	357,80	<b>916,62</b>	170,70	1,22	141,90	<b>343,82</b>
	mín.	480,10	1,22	357,80	<b>916,62</b>	170,70	1,22	-5,40	<b>164,11</b>
2	máx.	853,50	1,22	627,60	<b>1619,17</b>	128,00	1,22	118,70	<b>272,81</b>
	mín.	853,50	1,22	627,60	<b>1619,17</b>	128,00	1,22	-16,10	<b>108,36</b>
3	máx.	1120,20	1,22	817,10	<b>2117,06</b>	85,30	1,22	97,20	<b>203,88</b>
	mín.	1120,20	1,22	817,10	<b>2117,06</b>	85,30	1,22	-28,80	<b>50,16</b>
4	máx.	1280,30	1,22	936,40	<b>2422,71</b>	42,70	1,22	77,50	<b>137,25</b>
	mín.	1280,30	1,22	936,40	<b>2422,71</b>	42,70	1,22	-43,30	<b>-10,13</b>
5	máx.	1333,60	1,22	976,50	<b>2524,93</b>	0,00	1,22	59,50	<b>72,59</b>
	mín.	1333,60	1,22	976,50	<b>2524,93</b>	0,00	1,22	-59,50	<b>-72,59</b>

Fonte: Autora

**Tabela 14 - Envoltória das solicitações da longarina 8 para ponte de classe 30**

LONGARINA 8		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	<b>0,00</b>	219,90	1,22	0	<b>219,90</b>
1	máx.	494,70	1,22	0,00	<b>494,70</b>	175,90	1,22	0	<b>175,90</b>
	mín.	494,70	1,22	0,00	<b>494,70</b>	175,90	1,22	0	<b>175,90</b>
2	máx.	879,50	1,22	0,00	<b>879,50</b>	131,90	1,22	0	<b>131,90</b>
	mín.	879,50	1,22	0,00	<b>879,50</b>	131,90	1,22	0	<b>131,90</b>
3	máx.	1154,30	1,22	0,00	<b>1154,30</b>	87,90	1,22	0	<b>87,90</b>
	mín.	1154,30	1,22	0,00	<b>1154,30</b>	87,90	1,22	0	<b>87,90</b>
4	máx.	1319,30	1,22	0,00	<b>1319,30</b>	44,00	1,22	0	<b>44,00</b>
	mín.	1319,30	1,22	0,00	<b>1319,30</b>	44,00	1,22	0	<b>44,00</b>
5	máx.	1374,20	1,22	0,00	<b>1374,20</b>	0,00	1,22	0	<b>0,00</b>
	mín.	1374,20	1,22	0,00	<b>1374,20</b>	0,00	1,22	0	<b>0,00</b>

Fonte: Autora

**Tabela 15 - Envoltória das solicitações da longarina 9 para ponte de classe 30**

LONGARINA 9		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	<b>0,00</b>	192,40	1,22	0	<b>192,40</b>
1	máx.	432,80	1,22	0,00	<b>432,80</b>	153,90	1,22	0	<b>153,90</b>
	mín.	432,80	1,22	0,00	<b>432,80</b>	153,90	1,22	0	<b>153,90</b>
2	máx.	769,50	1,22	0,00	<b>769,50</b>	115,40	1,22	0	<b>115,40</b>
	mín.	769,50	1,22	0,00	<b>769,50</b>	115,40	1,22	0	<b>115,40</b>
3	máx.	1010,00	1,22	0,00	<b>1010,00</b>	76,90	1,22	0	<b>76,90</b>
	mín.	1010,00	1,22	0,00	<b>1010,00</b>	76,90	1,22	0	<b>76,90</b>
4	máx.	1154,30	1,22	0,00	<b>1154,30</b>	38,50	1,22	0	<b>38,50</b>
	mín.	1154,30	1,22	0,00	<b>1154,30</b>	38,50	1,22	0	<b>38,50</b>
5	máx.	1202,30	1,22	0,00	<b>1202,30</b>	0,00	1,22	0	<b>0,00</b>
	mín.	1202,30	1,22	0,00	<b>1202,30</b>	0,00	1,22	0	<b>0,00</b>

Fonte: Autora

A envoltória dos momentos fletores em cada longarina resultaram em valores que se iniciaram em zero, por ser apoio de segundo gênero, foram crescendo até chegar no momento máximo no centro do vão, e foram diminuindo até zerar novamente no apoio.

Na envoltória dos esforços cortantes das longarinas 1 a 7, os esforços cortantes máximos iniciaram-se nos apoios e foram diminuindo até chegarem ao centro do vão. Apesar dos esforços cortantes provenientes das cargas permanentes zerarem no centro do vão, a envoltória não zerou devido ser somado com os esforços cortantes provenientes das cargas móveis majorados 22% do impacto vertical.

Foram considerados, nas longarinas 8 e 9, somente os momentos fletores e esforços cortantes provenientes do carregamento permanente, por estas apoiarem a faixa de pedestres e não receberem cargas do trem-tipo.

A seguir, nas tabelas 16 a 22 serão mostradas as envoltórias de momento fletor e esforço cortante das 5 seções das longarina de 1 a 7 da ponte de classe 45. As longarinas 8 e 9 não foram recalculadas, já que não recebem carga do trem-tipo.

**Tabela 16** - Envoltória das solicitações da longarina 1 para ponte de classe 45

LONGARINA I		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	<b>0,00</b>	211,80	1,22	243,50	<b>508,87</b>
1	máx.	476,40	1,22	536,40	<b>1130,81</b>	169,40	1,22	213,90	<b>430,36</b>
	mín.	476,40	1,22	536,40	<b>1130,81</b>	169,40	1,22	-10,60	<b>156,47</b>
2	máx.	847,00	1,22	943,70	<b>1998,31</b>	127,10	1,22	185,30	<b>353,17</b>
	mín.	847,00	1,22	943,70	<b>1998,31</b>	127,10	1,22	-31,90	<b>88,18</b>
3	máx.	1111,70	1,22	1225,80	<b>2607,18</b>	84,70	1,22	157,60	<b>276,97</b>
	mín.	1111,70	1,22	1225,80	<b>2607,18</b>	84,70	1,22	-55,30	<b>17,23</b>
4	máx.	1270,50	1,22	1404,60	<b>2984,11</b>	42,40	1,22	130,70	<b>201,85</b>
	mín.	1270,50	1,22	1404,60	<b>2984,11</b>	42,40	1,22	-79,50	<b>-54,59</b>
5	máx.	1323,40	1,22	1467,20	<b>3113,38</b>	0,00	1,22	104,70	<b>127,73</b>
	mín.	1323,40	1,22	1467,20	<b>3113,38</b>	0,00	1,22	-104,70	<b>-127,73</b>

Fonte: Autora

Tabela 17 - Envoltória das solicitações da longarina 2 para ponte de classe 45

LONGARINA 2		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	0,00	211,80	1,22	254,70	522,53
1	máx.	476,40	1,22	551,00	1148,62	169,40	1,22	218,90	436,46
	mín.	476,40	1,22	551,00	1148,62	169,40	1,22	-9,10	158,30
2	máx.	847,00	1,22	967,30	2027,11	127,10	1,22	185,10	352,92
	mín.	847,00	1,22	967,30	2027,11	127,10	1,22	-27,30	93,79
3	máx.	1111,70	1,22	1258,50	2647,07	84,70	1,22	153,50	271,97
	mín.	1111,70	1,22	1258,50	2647,07	84,70	1,22	-48,30	25,77
4	máx.	1270,50	1,22	1442,20	3029,98	42,40	1,22	124,00	193,68
	mín.	1270,50	1,22	1442,20	3029,98	42,40	1,22	-71,40	-44,71
5	máx.	1323,40	1,22	1504,80	3159,26	0,00	1,22	96,70	117,97
	mín.	1323,40	1,22	1504,80	3159,26	0,00	1,22	-96,70	-117,97

Fonte: Autora

Tabela 18 - Envoltória das solicitações da longarina 3 para ponte de classe 45

LONGARINA 3		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	0,00	219,00	1,22	222,10	489,96
1	máx.	492,80	1,22	480,90	1079,50	175,20	1,22	191,10	408,34
	mín.	492,80	1,22	480,90	1079,50	175,20	1,22	-8,00	165,44
2	máx.	876,00	1,22	844,30	1906,05	131,40	1,22	161,80	328,80
	mín.	876,00	1,22	844,30	1906,05	131,40	1,22	-24,10	102,00
3	máx.	1149,80	1,22	1098,30	2489,73	87,60	1,22	134,40	251,57
	mín.	1149,80	1,22	1098,30	2489,73	87,60	1,22	-42,60	35,63
4	máx.	1314,00	1,22	1258,60	2849,49	43,80	1,22	108,70	176,41
	mín.	1314,00	1,22	1258,60	2849,49	43,80	1,22	-62,80	-32,82
5	máx.	1368,80	1,22	1313,30	2971,03	0,00	1,22	84,90	103,58
	mín.	1368,80	1,22	1313,30	2971,03	0,00	1,22	-84,90	-103,58

Fonte: Autora

Tabela 19 - Envoltória das solicitações da longarina 4 para ponte de classe 45

LONGARINA 4		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	0,00	217,40	1,22	224,10	490,80
1	máx.	489,10	1,22	484,40	1080,07	173,90	1,22	192,40	408,63
	mín.	489,10	1,22	484,40	1080,07	173,90	1,22	-8,00	164,14
2	máx.	869,50	1,22	850,30	1906,87	130,40	1,22	162,60	328,77
	mín.	869,50	1,22	850,30	1906,87	130,40	1,22	-23,90	101,24
3	máx.	1141,20	1,22	1106,30	2490,89	86,90	1,22	134,70	251,23
	mín.	1141,20	1,22	1106,30	2490,89	86,90	1,22	-42,30	35,29
4	máx.	1304,30	1,22	1267,80	2851,02	43,50	1,22	108,80	176,24
	mín.	1304,30	1,22	1267,80	2851,02	43,50	1,22	-62,50	-32,75
5	máx.	1358,60	1,22	1322,70	2972,29	0,00	1,22	84,70	103,33
	mín.	1358,60	1,22	1322,70	2972,29	0,00	1,22	-84,70	-103,33

Fonte: Autora

**Tabela 20** - Envoltória das solicitações da longarina 5 para ponte de classe 45

LONGARINA 5		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	0,00	218,40	1,22	222,40	489,73
1	máx.	491,30	1,22	481,00	1078,12	174,70	1,22	191,10	407,84
	mín.	491,30	1,22	481,00	1078,12	174,70	1,22	-8,00	164,94
2	máx.	873,50	1,22	844,50	1903,79	131,00	1,22	161,70	328,27
	mín.	873,50	1,22	844,50	1903,79	131,00	1,22	-23,90	101,84
3	máx.	1146,50	1,22	1098,70	2486,91	87,40	1,22	134,10	251,00
	mín.	1146,50	1,22	1098,70	2486,91	87,40	1,22	-42,20	35,92
4	máx.	1310,30	1,22	1259,10	2846,40	43,70	1,22	108,30	175,83
	mín.	1310,30	1,22	1259,10	2846,40	43,70	1,22	-62,40	-32,43
5	máx.	1364,80	1,22	1313,70	2967,51	0,00	1,22	84,40	102,97
	mín.	1364,80	1,22	1313,70	2967,51	0,00	1,22	-84,40	-102,97

Fonte: Autora

**Tabela 21** - Envoltória das solicitações da longarina 6 para ponte de classe 45

LONGARINA 6		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	0,00	218,10	1,22	224,1	491,50
1	máx.	490,80	1,22	484,4	1081,77	174,50	1,22	192,4	409,23
	mín.	490,80	1,22	484,40	1081,77	174,50	1,22	-8,00	164,74
2	máx.	872,50	1,22	850,30	1909,87	130,90	1,22	162,6	329,27
	mín.	872,50	1,22	850,30	1909,87	130,90	1,22	-23,90	101,74
3	máx.	1145,20	1,22	1106,30	2494,89	87,30	1,22	134,7	251,63
	mín.	1145,20	1,22	1106,30	2494,89	87,30	1,22	-42,30	35,69
4	máx.	1308,80	1,22	1267,8	2855,52	43,60	1,22	108,80	176,34
	mín.	1308,80	1,22	1267,80	2855,52	43,60	1,22	-62,50	-32,65
5	máx.	1363,30	1,22	1322,7	2976,99	0,00	1,22	84,70	103,33
	mín.	1363,30	1,22	1322,70	2976,99	0,00	1,22	-84,70	-103,33

Fonte: Autora

**Tabela 22** - Envoltória das solicitações da longarina 7 para ponte de classe 45

LONGARINA 7		Momentos fletores (M)			Envoltória de (M)	Esforços cortantes(V)			Envoltória de (V)
Seção	máx./mín.	Mg	$\phi$	Mq+	M+	Vg	$\phi$	Vq	
0	máx.	0,00	1,22	0,00	0,00	213,40	1,22	221,00	483,02
1	máx.	480,10	1,22	478,80	1064,24	170,70	1,22	190,30	402,87
	mín.	480,10	1,22	478,80	1064,24	170,70	1,22	-8,10	160,82
2	máx.	853,50	1,22	840,70	1879,15	128,00	1,22	161,30	324,79
	mín.	853,50	1,22	840,70	1879,15	128,00	1,22	-24,20	98,48
3	máx.	1120,20	1,22	1093,60	2454,39	85,30	1,22	134,10	248,90
	mín.	1120,20	1,22	1093,60	2454,39	85,30	1,22	-42,70	33,21
4	máx.	1280,30	1,22	1253,20	2809,20	42,70	1,22	108,60	175,19
	mín.	1280,30	1,22	1253,20	2809,20	42,70	1,22	-62,90	-34,04
5	máx.	1333,60	1,22	1307,70	2928,99	0,00	1,22	84,90	103,58
	mín.	1333,60	1,22	1307,70	2928,99	0,00	1,22	-84,90	-103,58

Fonte: Autora

Comparando os resultados das envoltórias das longarinas das duas classes de ponte, observou-se um acréscimo nos valores dos momentos fletores e dos esforços cortantes das longarinas de 1 a 7 da ponte de classe 30 para a ponte de classe 45. Já nas longarinas 8 e 9 não houve acréscimo pois não foi considerada a carga móvel, por esta não passear sobre estas longarinas que sustentam o passeio.

#### **4.1.5 Dimensionamento da armadura à flexão das vigas principais**

Todos os valores de  $\xi_d$  para todas as longarinas das pontes de classe 30 e 45 resultaram no valor menor que o  $\xi_f$ , portanto isso prova que a linha neutra corta a mesa da viga, sendo assim o dimensionamento foi realizado para seção retangular.

Seguindo a equação 8, a área de aço mínima resultou em 4,98 cm<sup>2</sup>/m. Devido o momento fletor zerar no apoio, este valor foi empregado na seção 0 das longarinas tanto da ponte de classe 30 quanto para a de classe 45.

Houve variações nas áreas de aço ao longo do vão de cada longarina. A tabela 23 apresenta os valores obtidos das áreas de aço nas seções de 0 a 5 das longarinas de 1 a 7, para as duas classes de ponte 30 e 45.

**Tabela 23** - Área de aço (cm<sup>2</sup>/m) da armadura longitudinal das longarinas

Classe 30						
Seções	0	1	2	3	4	5
Longarinas						
1	4,98	21,06	37,57	49,49	56,87	59,31
2	4,98	22,10	39,36	51,89	59,64	62,15
3	4,98	20,98	37,38	49,29	56,65	59,03
4	4,98	21,03	37,46	49,40	56,77	59,16
5	4,98	20,97	37,36	49,27	56,62	59,00
6	4,98	21,07	37,53	49,49	56,87	59,27
7	4,98	20,62	36,74	48,44	55,67	58,02
Classe 45						
Seções	0	1	2	3	4	5
Longarinas						
1	4,98	25,60	45,34	59,91	69,01	72,14
2	4,98	26,01	45,99	60,83	70,07	73,21
3	4,98	24,34	43,43	57,21	65,75	68,70
4	4,98	24,35	43,45	57,24	65,79	68,73
5	4,98	24,31	43,38	57,15	65,68	68,62
6	4,98	24,49	43,33	57,33	66,03	68,98
7	4,98	24,10	42,64	56,40	64,82	67,73

Fonte: Autora

As áreas de aço das longarinas 8 e 9 das pontes de classe 30 e 45 foram as mesmas, devido as envoltórias de momentos fletores não terem sofrido variações. Estas áreas de aço podem ser visualizadas na tabela seguinte.

**Tabela 24** - Área de aço (cm<sup>2</sup>/m) da armadura longitudinal das longarinas 8 e 9

Longarinas	Seções					
	0	1	2	3	4	5
8	4,98	11,06	19,79	26,08	29,81	31,05
9	4,98	9,67	17,27	22,72	26,08	27,16

Fonte: Autora

#### 4.1.6 Dimensionamento da armadura ao cisalhamento das vigas principais

Na verificação do concreto, as forças cortantes resistentes de cálculo ( $V_{rd2}$ ) resultaram num valor maior que as forças cortantes de cálculo ( $V_{sd}$ ) em todas as

cinco seções das longarinas das duas classes de ponte 30 e 45. Portanto todas passaram na verificação do concreto.

A área de aço mínima da seção transversal resultou em 2,16 cm<sup>2</sup>/m para todas as longarinas das duas classes. Pode-se notar que este valor foi empregado em grande parte das seções das longarinas, devido as áreas de aço resultarem num valor menor que a mínima. As seções 0, 1 e 2 foram as seções que sofreram acréscimo na áreas de aço da ponte da classe 30 para a ponte de classe 45. Os resultados das áreas de aço para estas duas classes podem ser observados na tabela 25.

**Tabela 25** - Área de aço (cm<sup>2</sup>/m) da armadura transversal das longarinas

Classe 30						
Seções	0	1	2	3	4	5
Longarinas						
1	7,05	5,12	3,26	2,16	2,16	2,16
2	6,46	4,62	2,83	2,16	2,16	2,16
3	6,46	4,62	2,83	2,16	2,16	2,16
4	6,50	4,65	2,85	2,16	2,16	2,16
5	6,46	4,62	2,83	2,16	2,16	2,16
6	6,52	4,66	2,86	2,16	2,16	2,16
7	6,28	4,48	2,73	2,16	2,16	2,16
Classe 45						
Seções	0	1	2	3	4	5
Longarinas						
1	8,55	6,61	4,71	2,83	2,16	2,16
2	8,89	6,76	4,70	2,71	2,16	2,16
3	8,08	6,07	4,11	2,20	2,16	2,16
4	8,10	6,08	4,11	2,20	2,16	2,16
5	8,08	6,06	4,10	2,19	2,16	2,16
6	8,12	6,09	4,12	2,21	2,16	2,16
7	7,91	5,94	4,01	2,16	2,16	2,16

Fonte: Autora

Todos os valores da área de aço nas cinco seções das longarinas 8 e 9 deram menor que a mínima, portanto foi empregado a área de aço mínima para toda a extensão destas longarinas. Estes valores são apresentados na tabela 26

**Tabela 26** - Área de aço (cm<sup>2</sup>/m) da armadura transversal das longarinas 8 e 9

Longarinas	Seções					
	0	1	2	3	4	5
8	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16
9	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16	2,16

Fonte: Autora

## 4.2 Dimensionamento das lajes

O dimensionamento das lajes foi feito a partir das tabelas de Rüsçh, encontrando os momentos fletores nas direções x positivo e negativo e y positivo das lajes de 1 a 8.

As figuras 32 e 33 apresentam as áreas de aço das lajes 1 e 8 das pontes de classe 30 e 45.

**Figura 32** - Área de aço das lajes 1 e 8 da ponte de classe 30

CLASSE 30	Mg	Md	K6	K3	As (calc)	As Mín	As adotado
mxm	1,64	17,81	181,87	0,234	2,32	3,11	3,11
mym	0,27	7,67	422,36	0,232	0,99	3,11	3,11
mxé	3,27	31,26	103,66	0,231	4,01	3,11	4,01

Fonte: Autora

**Figura 33** - Área de aço das lajes 1 e 8 da ponte de classe 45

CLASSE 45	Mg	Md	K6	K3	As (calc)	As Mín	As adotado
mxm	1,64	25,52	126,97	0,236	3,34	3,11	3,34
mym	0,27	11,26	287,80	0,233	1,45	3,11	3,11
mxé	3,27	46,51	69,66	0,240	6,20	3,11	6,20

Fonte: Autora

Pode-se observar que a área de aço nas direções x e y positivas resultaram num valor abaixo da área de aço mínima, assim com na direção y da ponte de classe 45, tendo-se que adotar o As mín.

As figuras 34 e 35 apresentam as áreas de aço das lajes de 2 a 7 das pontes de classe 30 e 45.

**Figura 34** - Área de aço das lajes 2 e 7 da ponte de classe 30

CLASSE 30	Mg	Md	K6	K3	As (calc)	As Mín	As adotado
mxm	1,10	9,67	335,12	0,232	1,25	3,11	3,11
mym	0,18	5,67	571,36	0,232	0,73	3,11	3,11
mxe	2,17	24,71	131,10	0,236	3,23	3,11	3,23

Fonte: Autora

**Figura 35** - Área de aço das lajes 2 e 7 da ponte de classe 45

CLASSE 45	Mg	Md	K6	K3	As (calc)	As Mín	As adotado
mxm	1,10	13,73	235,92	0,233	1,78	3,11	3,11
mym	0,18	8,34	388,71	0,232	1,07	3,11	3,11
mxe	2,17	34,09	95,04	0,238	4,50	3,11	4,50

Fonte: Autora

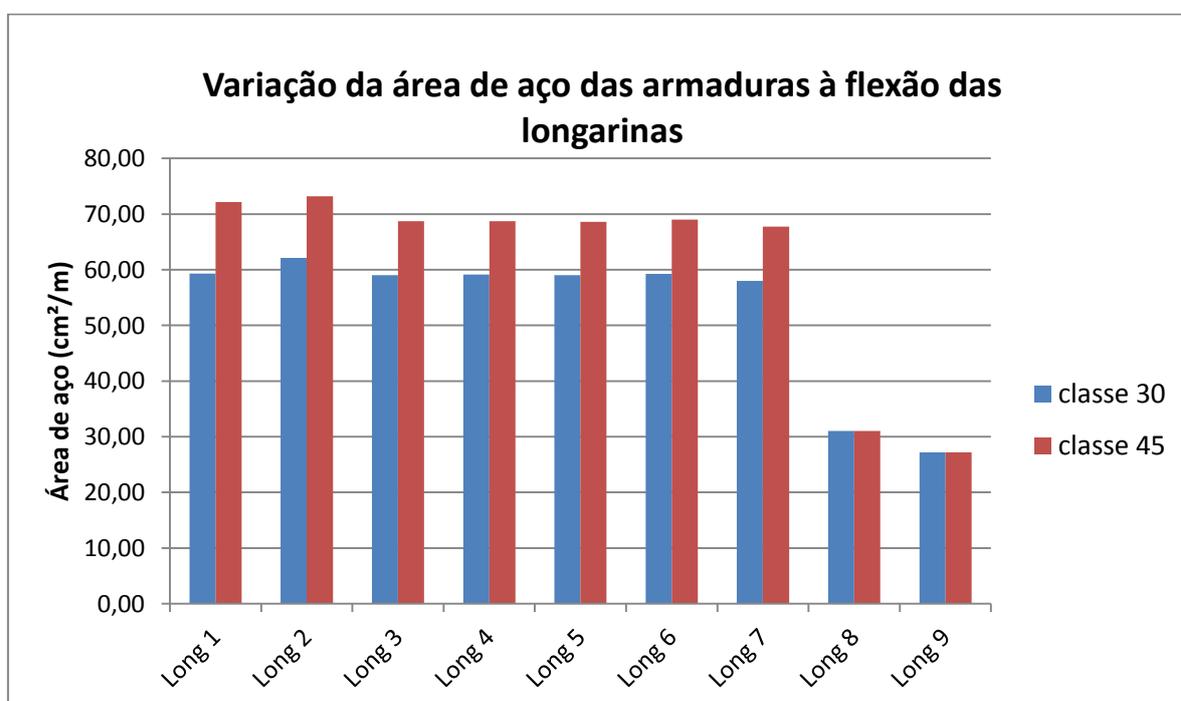
Pode-se observar também que foi adotado o As mín para as direções x e y positivas para as duas classes 30 e 45. Sendo somente a direção x negativa que foi empregada a área de aço calculada.

## 5 Conclusão

Pode-se notar que após de obtidos os resultados das envoltórias dos momentos fletores máximos e mínimos para as duas classes de ponte 30 e 45, a solicitação máxima de momento fletor foi encontrada na seção no meio do vão nas nove longarinas, sendo que nas longarinas 8 e 9 obteve-se momentos menores comparado aos momentos das outras longarinas, devido estas 2 longarinas estarem localizadas na passarela de pedestres.

Depois de encontradas as envoltórias dos esforços de momento fletor e esforço cortante provenientes das cargas permanentes e móveis, foi possível realizar os dimensionamentos das longarinas à flexão e ao cisalhamento.

Pode-se observar que não houve variação nas taxas de aço das longarinas 8 e 9 para a ponte de classe 30 para a de classe 45. Já nas longarinas de 1 a 7 apresentaram acréscimos devido a essa alteração de cargas móveis. O gráfico a seguir apresenta os valores da área de aço das armaduras à flexão da seção 5, que foi a que mais sofreu alteração, por se localizar no meio do vão.



Fonte: Autora

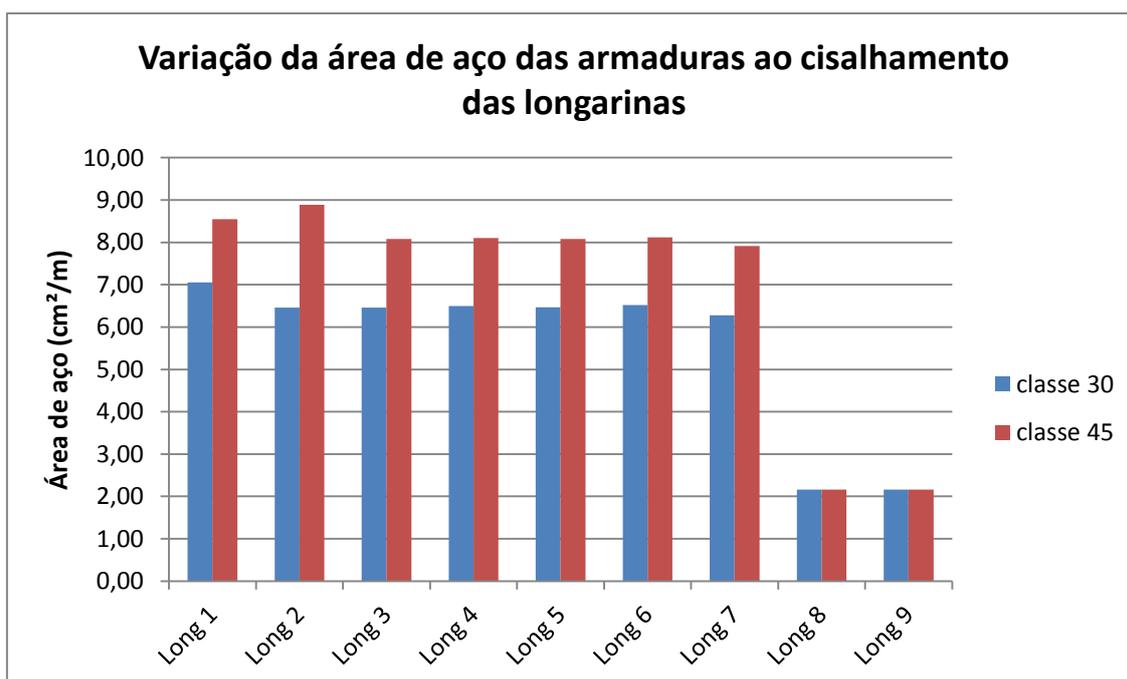
A tabela a seguir será apresentada a média de acréscimo da taxa de aço da armadura à flexão da ponte de classe 30 para a de classe 45 de cada longarina.

**Tabela 27** - Acréscimo da taxa de aço das armaduras à flexão

Acréscimo da taxa de aço (%)	
Longarinas	Média
1	17,53
2	14,82
3	13,90
4	13,75
5	13,84
6	13,80
7	14,16
8	0,00
9	0,00

Fonte: Autora

Observou-se que as áreas de aço das armaduras de cisalhamento das longarinas 8 e 9 também não obtiveram variações. Nas longarinas de 1 a 7 pode-se observar acréscimos nas áreas de aço da ponte de classe 30 para a de classe 45, sendo que na seção 0, onde se localiza o apoio de segundo gênero, foi onde se teve maiores variações. O gráfico a seguir apresenta os valores da área de aço das armaduras de cisalhamento da seção 0, que foi a que mais sofreu alteração, por se localizar no apoio.



Fonte: Autora

A tabela a seguir será apresentada a média de acréscimo da taxa de aço da armadura de cisalhamento da ponte de classe 30 para a de classe 45 de cada longarina.

**Tabela 28** - Acréscimo da taxa de aço das armaduras de cisalhamento

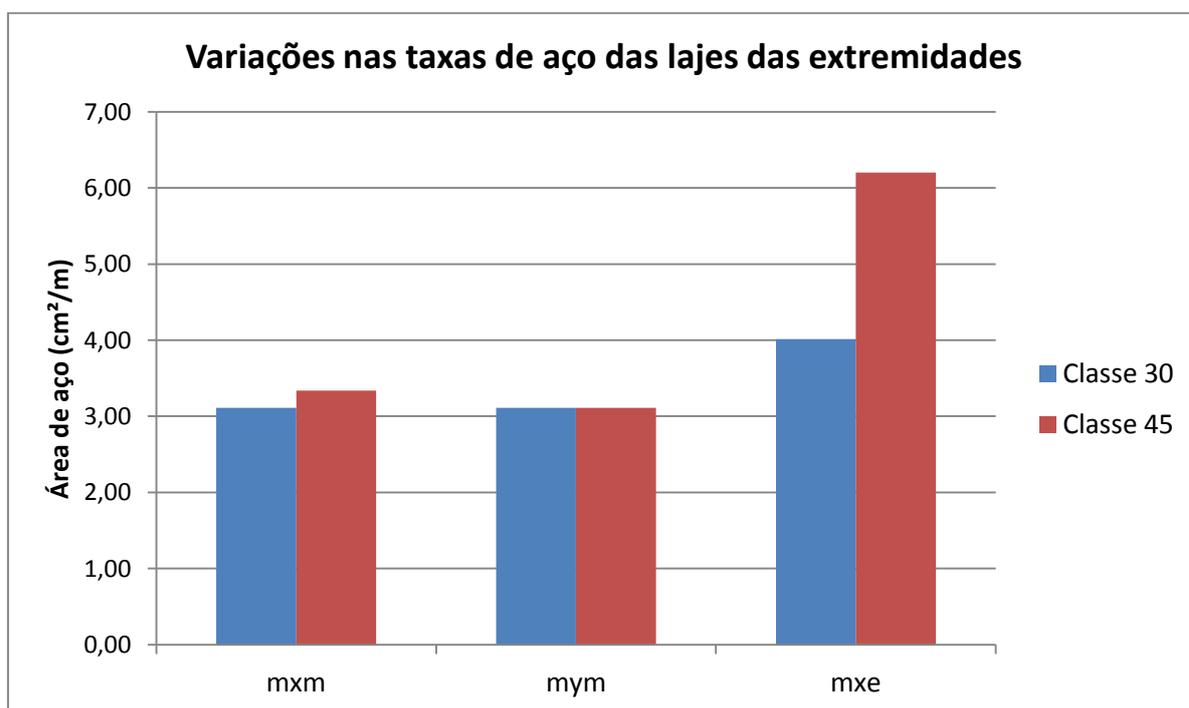
Acréscimo da taxa de aço (%)	
Longarinas	Média
1	18,89
2	23,79
3	15,40
4	15,14
5	15,23
6	15,19
7	15,42
8	0,00
9	0,00

Fonte: Autora

Foi calculada as armaduras à flexão das lajes das pontes de classe 30 e 45. A realização deste cálculo foi possível devido ao procedimento das tabelas de Rüsç que leva em consideração a combinação dos momentos provenientes das cargas permanentes e móveis.

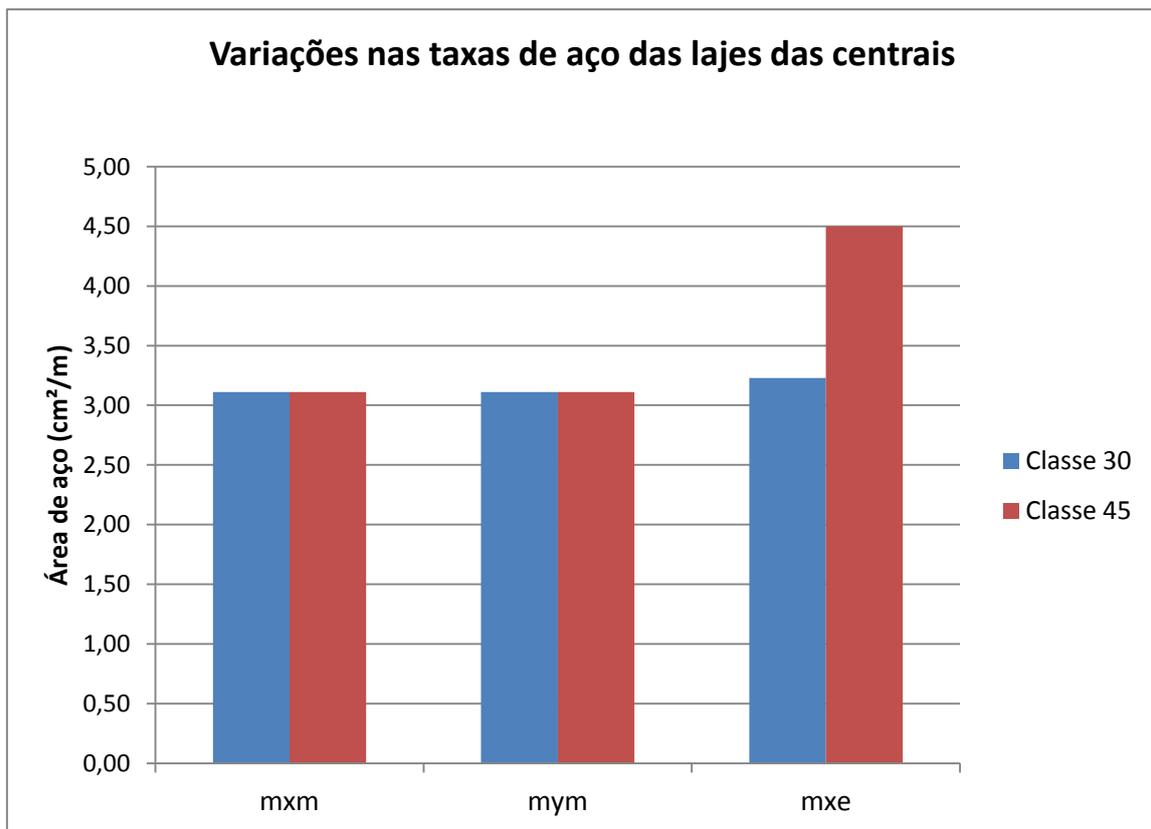
Pode-se observar que as áreas de aço das armaduras à flexão das lajes resultaram em valores próximos, e até mesmo menores, que a área de aço mínima. Portanto foi empregado o  $A_s$  mín para a maioria das direções das lajes, sejam elas de extremidades ( lajes 1 e 8) e centrais ( lajes 2 a 7).

O gráfico a seguir apresentam as variações nas taxas de aço das lajes 1 e 8. Na direção y foi usado o  $A_s$  mín nas lajes 1 e 8 para as duas classes de ponte 30 e 45. Já na direção x , a armadura negativa foi a que sofreu maior variação.



Fonte: Autora

O gráfico a seguir apresentam as variações nas taxas de aço das lajes 2 a 7. Na direção x e y foi usado o  $A_s$  mín nas lajes de 2 a 7 para as duas classes de ponte 30 e 45. Já na direção x , a armadura negativa foi também a que sofreu maior variação.



Fonte: Autora

## 6 Sugestões para trabalhos futuros

Para a complementação deste trabalho, recomenda-se que sejam feitos estudos sobre verificação da fadiga e das aberturas de fissuras nas armaduras que podem ocorrer devido às alterações de cargas.

Assim como foi feita a análise nos elementos da superestrutura de uma ponte, pode-se fazer também, uma análise na mesoestrutura e infraestrutura de pontes, para observar se são significantes as variações nas taxas de aço, comparando projetos com cargas móveis diferentes.

Também é interessante saber, se caso a estrutura já fosse construída e houvesse essa mudança no tráfego a estrutura teria que ser reforçada ou seria mais cabível, em relação a custos, refaze-la.

Produzir um levantamento dos custos, para ter conhecimento se compensaria construir uma estrutura superdimensionada para que esta consiga suportar possíveis cargas de tráfego superiores no futuro.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Daniel de Lima. **Projeto de Ponte em Concreto Armado com duas Longarinas**. Goiânia: FUNAPE, Editora UFG, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8681: Ações e Segurança nas Estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro – RJ, 2003.

\_\_\_\_. **NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro – RJ, 2003.

\_\_\_\_. **NBR 6123: Força devido ao Vento em Edificações – Procedimento**, Rio de Janeiro – RJ, 1988.

\_\_\_\_. **NBR 7187: Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido – Procedimento**. Rio de Janeiro – RJ, 2003.

\_\_\_\_. **NBR 7188: Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre – Procedimento**. Rio de Janeiro – RJ, 1982.

DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – **Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais**. Rio de Janeiro – RJ, 1996.

EL DEBS, Mounir Khalil; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às pontes de concreto**. Texto Provisório de Apoio à Disciplina SET – 412. São Carlos-SP, 2007.

LEONHARDT, Fritz. **Construções de concreto, v. 6: Princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1979.

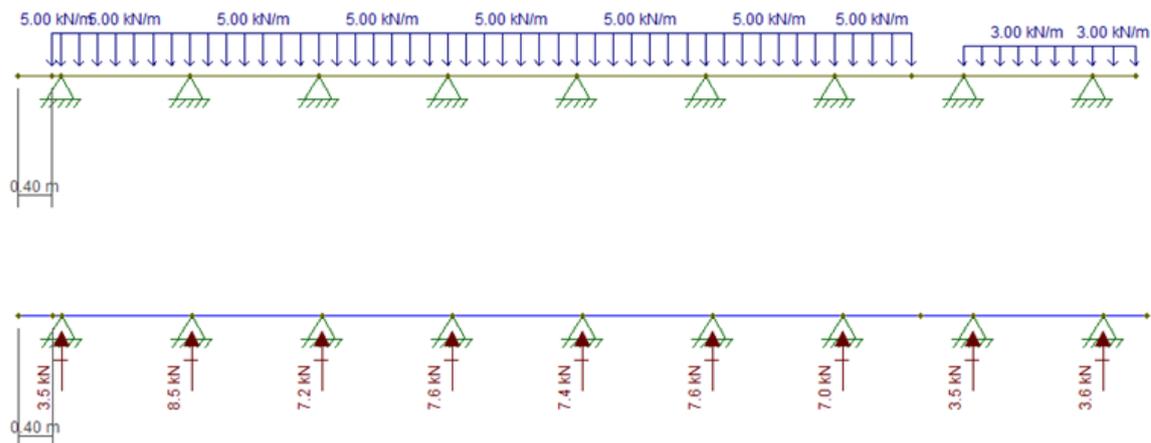
MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

MATA, Rodrigo Carvalho da. **Projeto e execução de estrutura de pontes**. Apostila IPOG. Agosto de 2013.

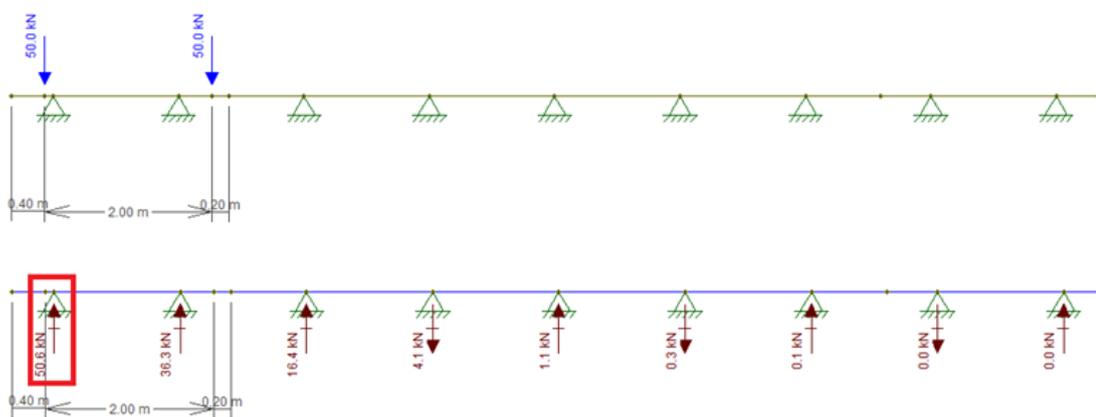
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN. **Tabelas de Rüsck para cálculo de pontes**. Berlin, 1965.

## APÊNDICES

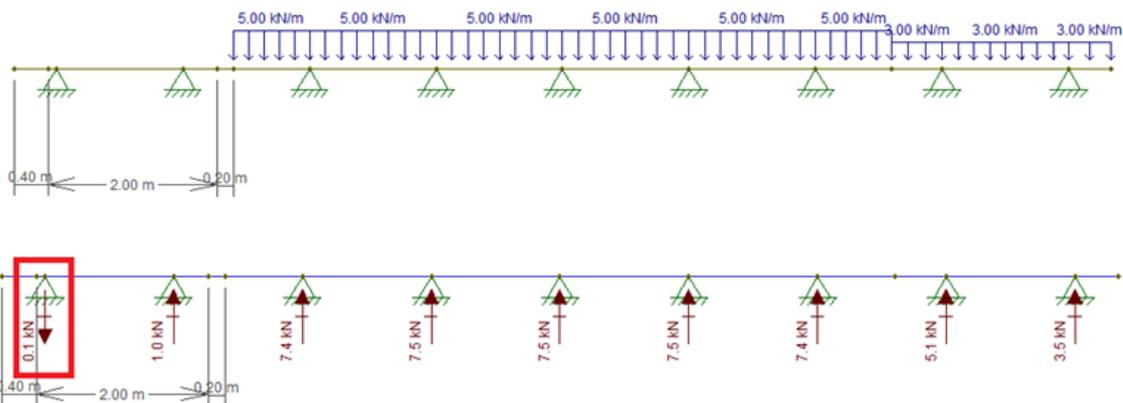
APÊNDICE 1 – Diagramas para determinar o trem-tipo em cada longarina da ponte de classe 30



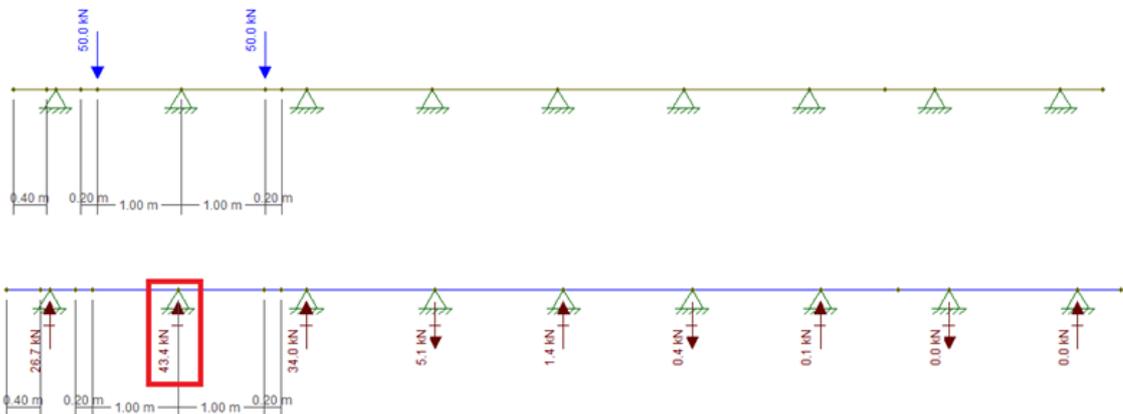
Reações nas longarinas geradas pela carga distribuída na faixa fora do trem-tipo



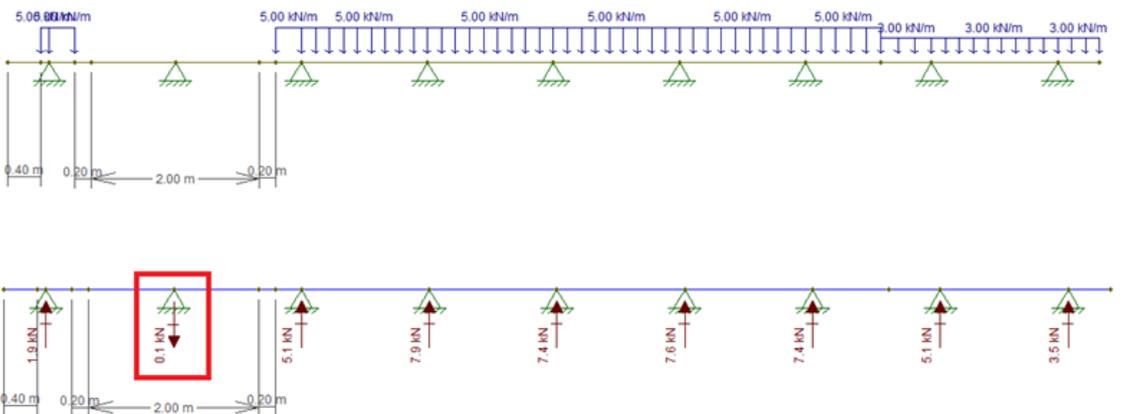
Reação na longarina 1 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



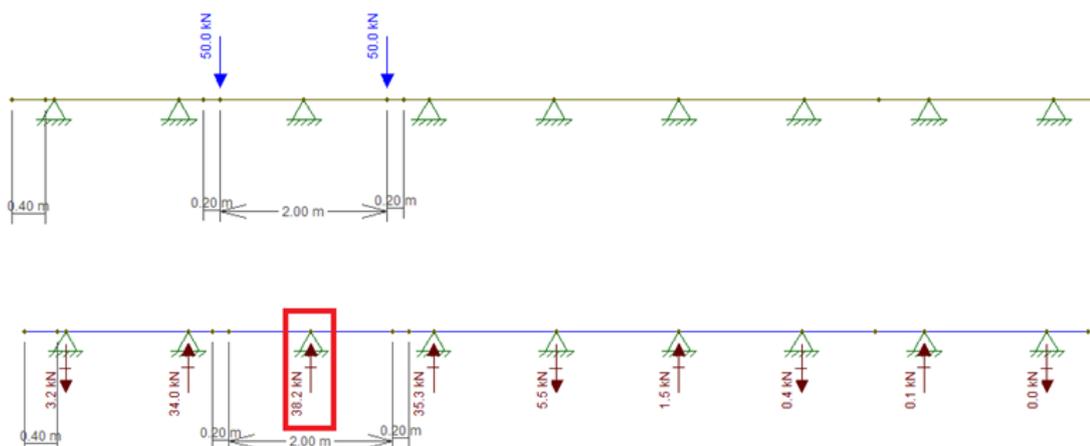
Reação na longarina 1 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



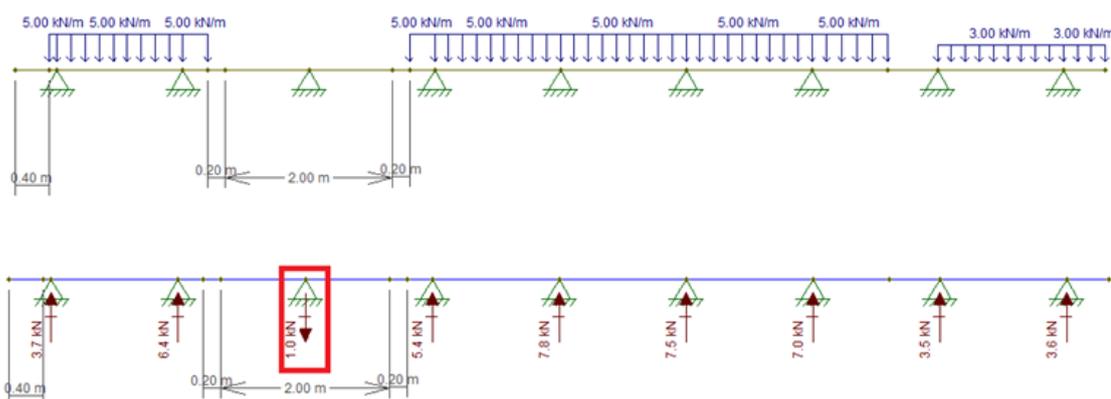
Reação na longarina 2 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



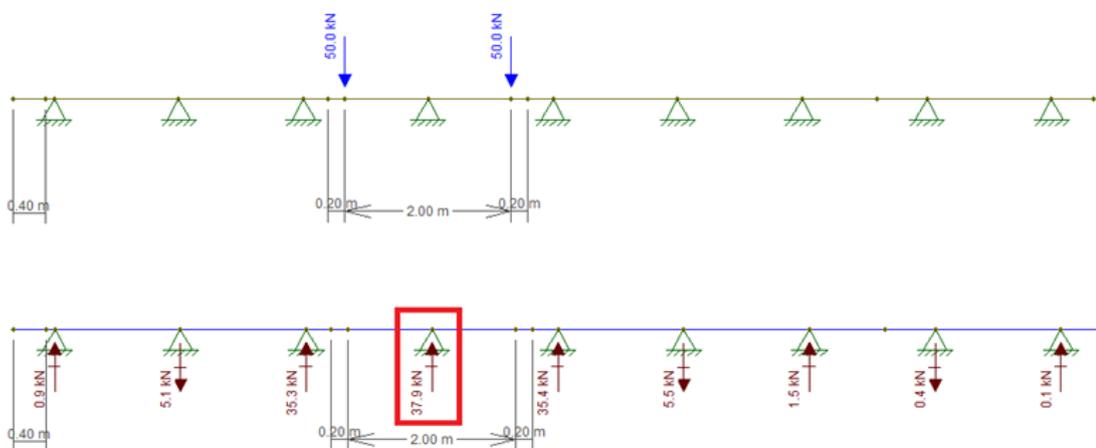
Reação na longarina 2 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



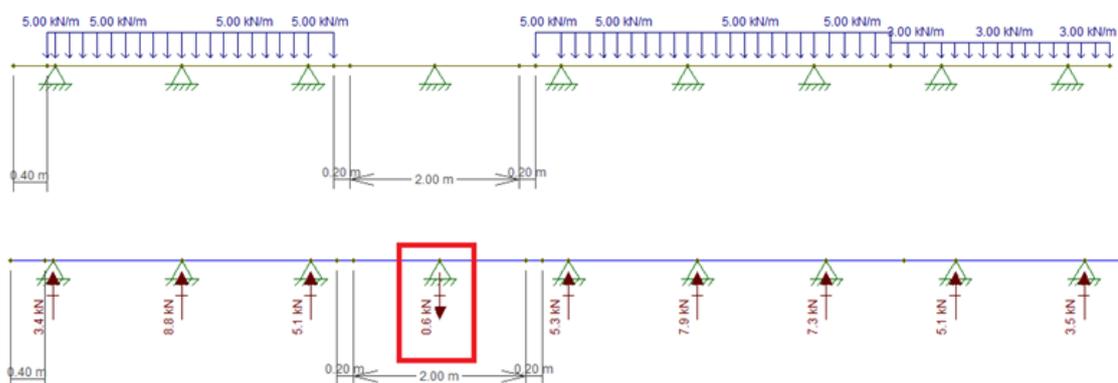
Reação na longarina 3 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



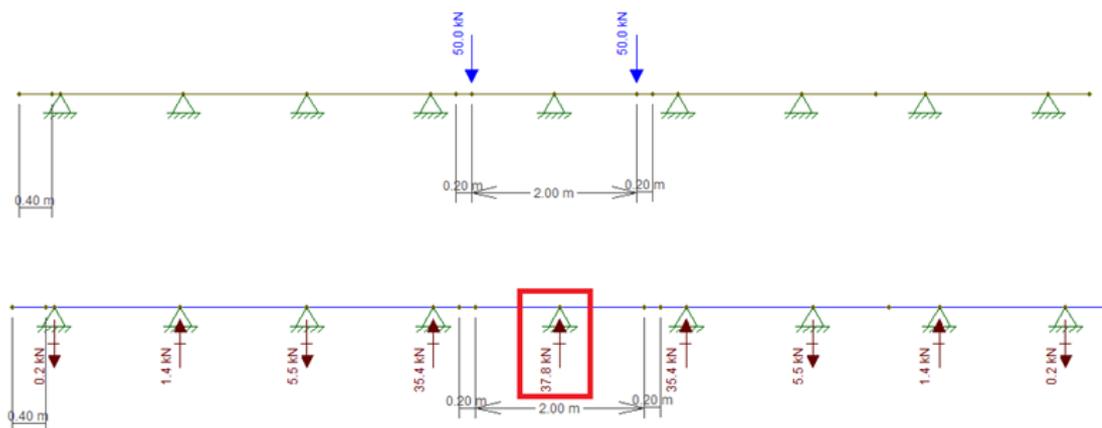
Reação na longarina 3 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



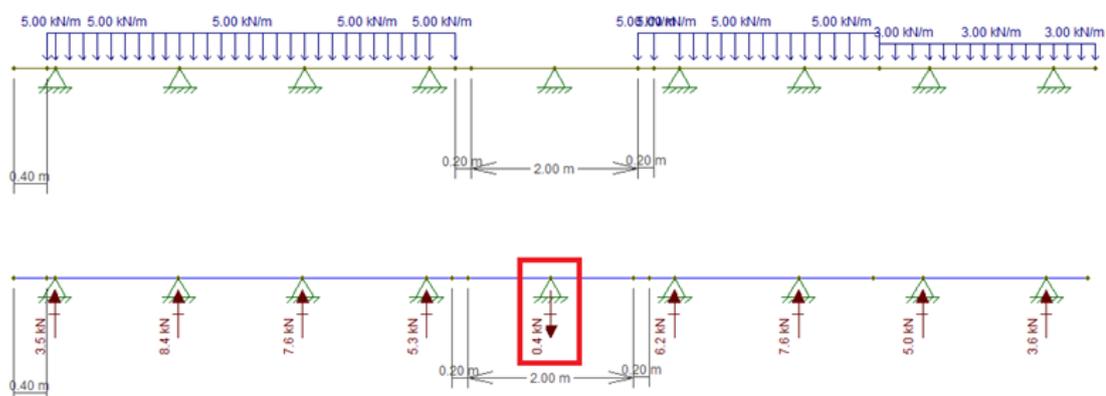
Reação na longarina 4 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



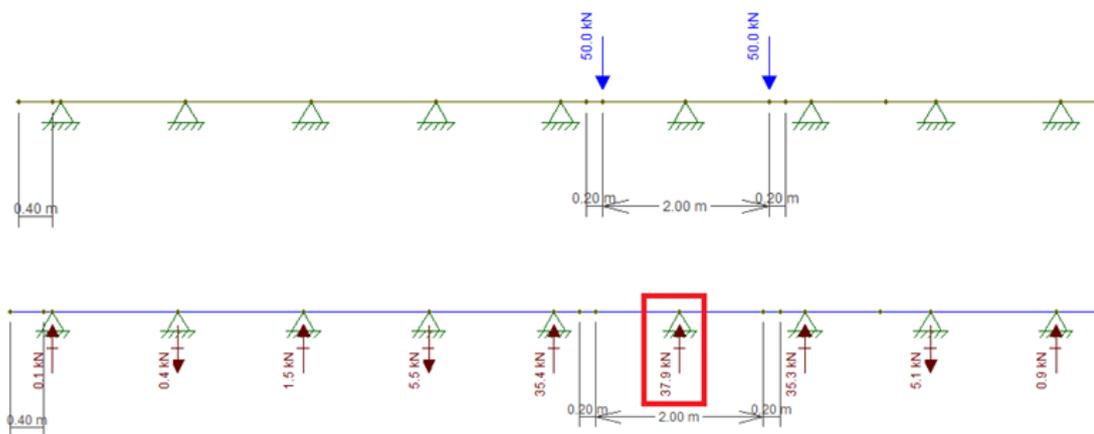
Reação na longarina 4 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



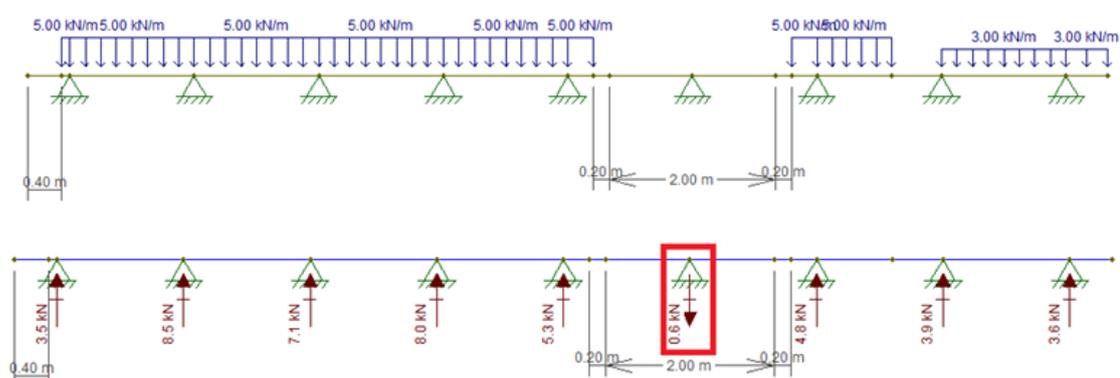
Reação na longarina 5 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



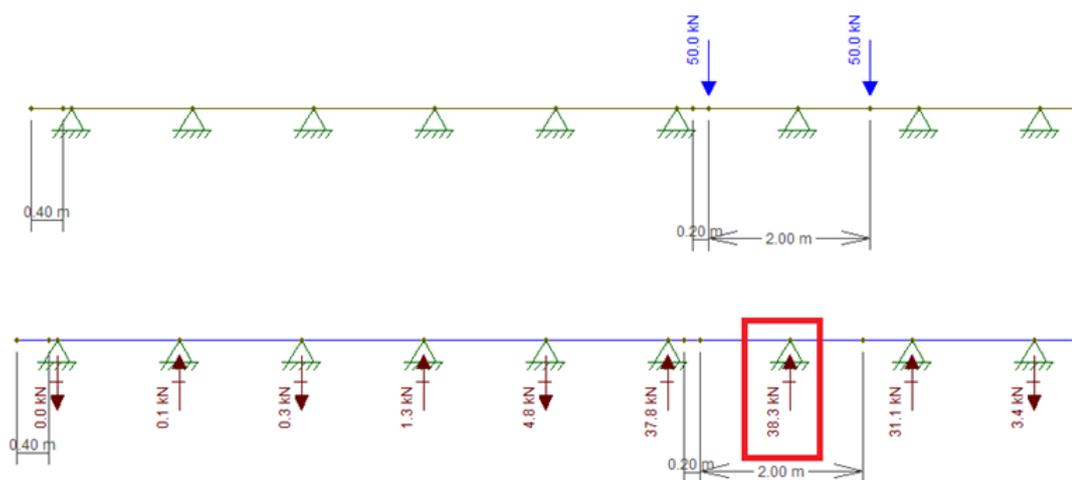
Reação na longarina 5 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



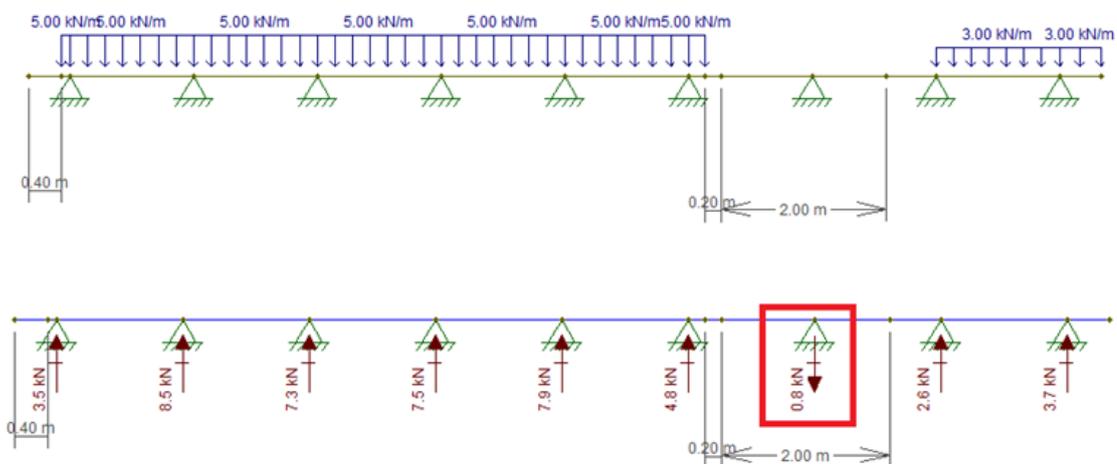
Reação na longarina 6 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



Reação na longarina 6 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



Reação na longarina 7 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo

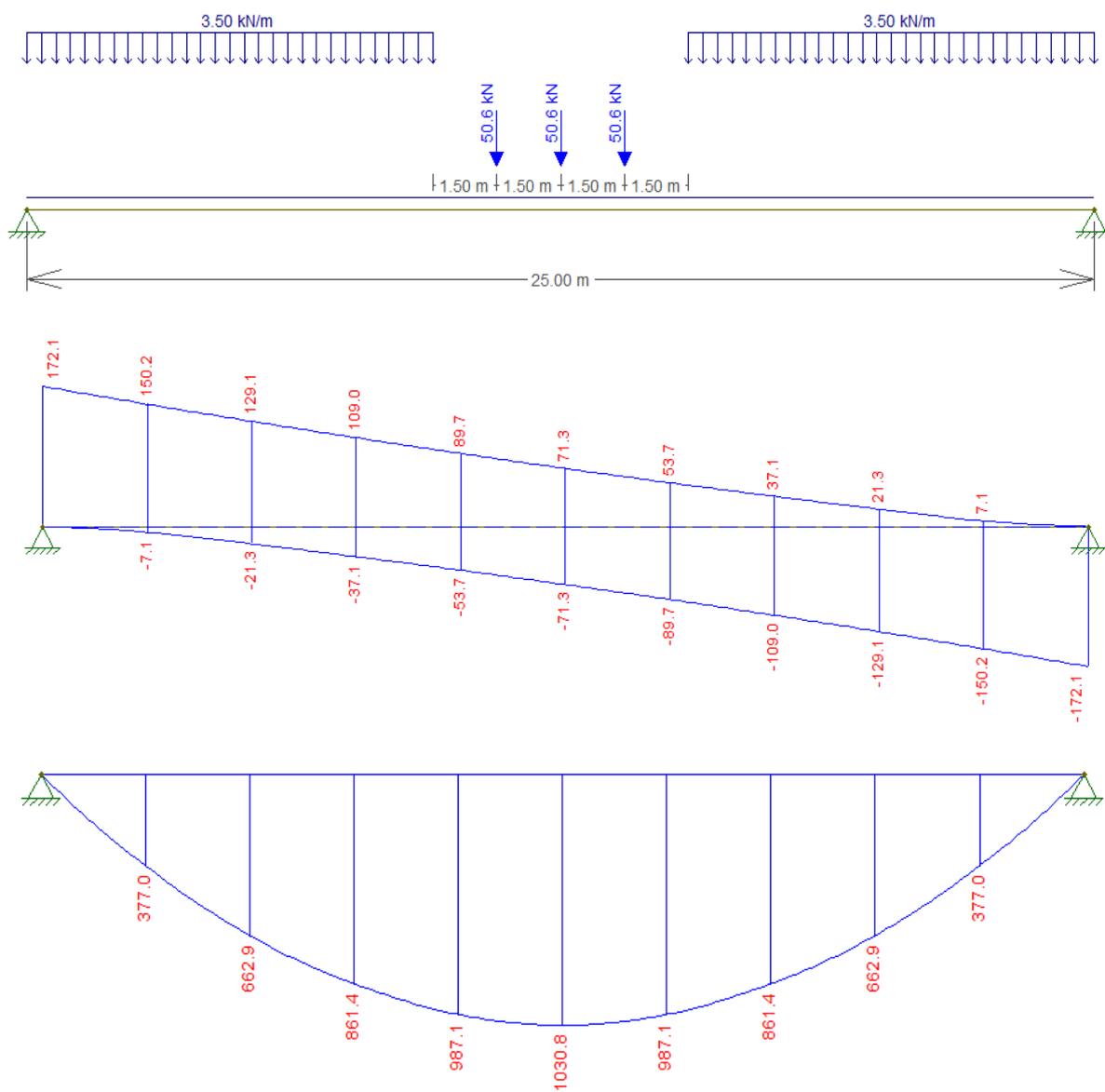


Reação na longarina 7 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo

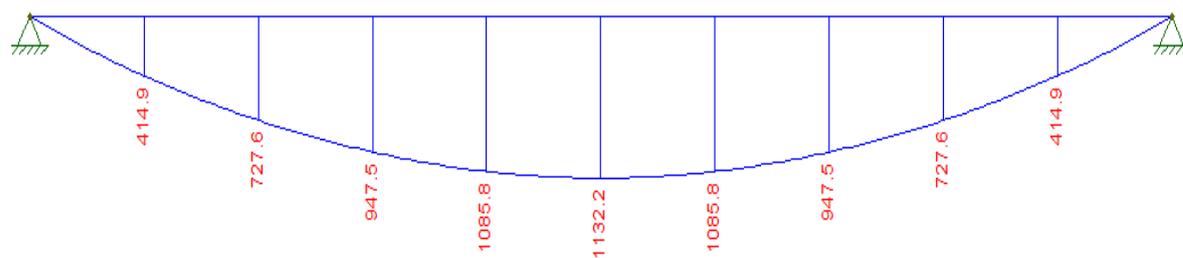
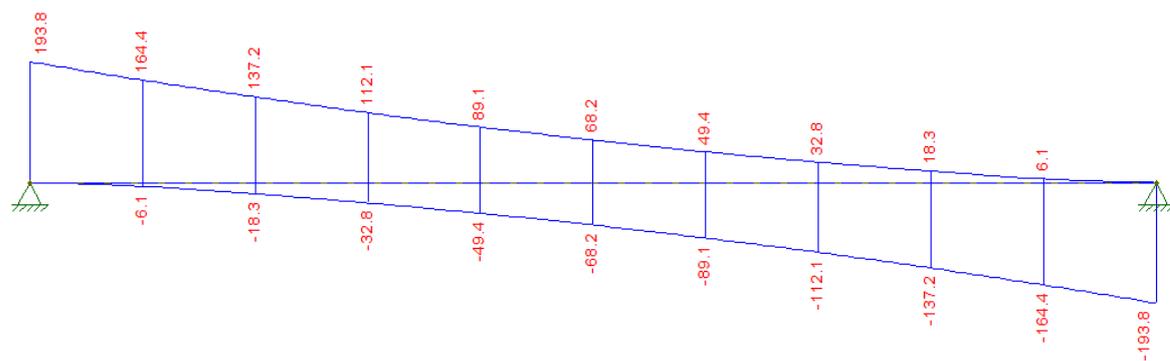
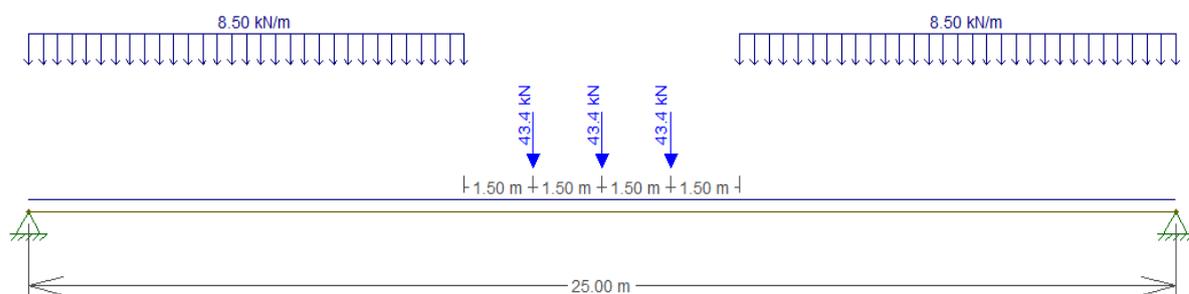
## APÊNDICE 2 – Diagramas dos esforços gerados pelo trem-tipo na ponte de classe

30

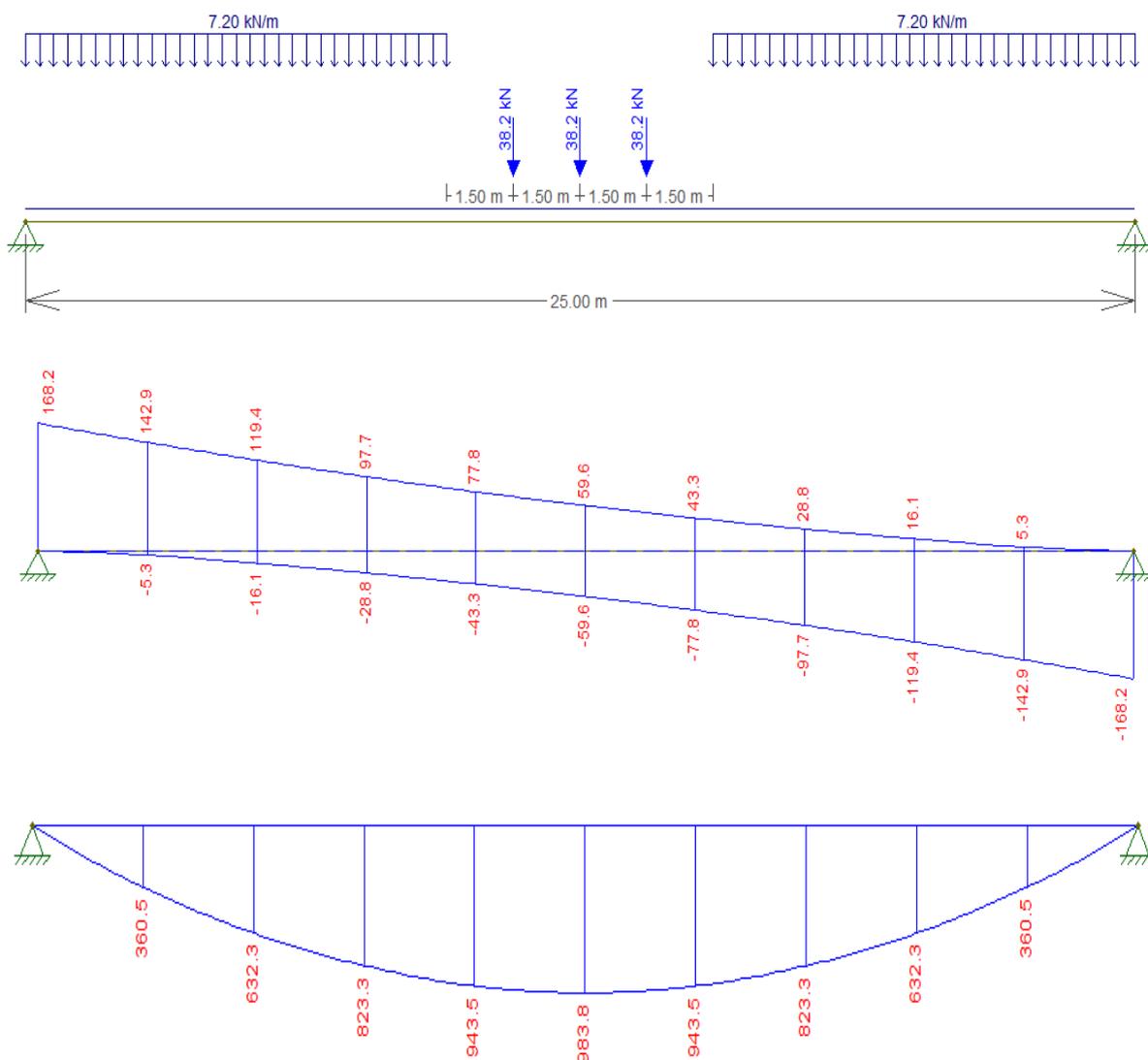
## Longarina 1



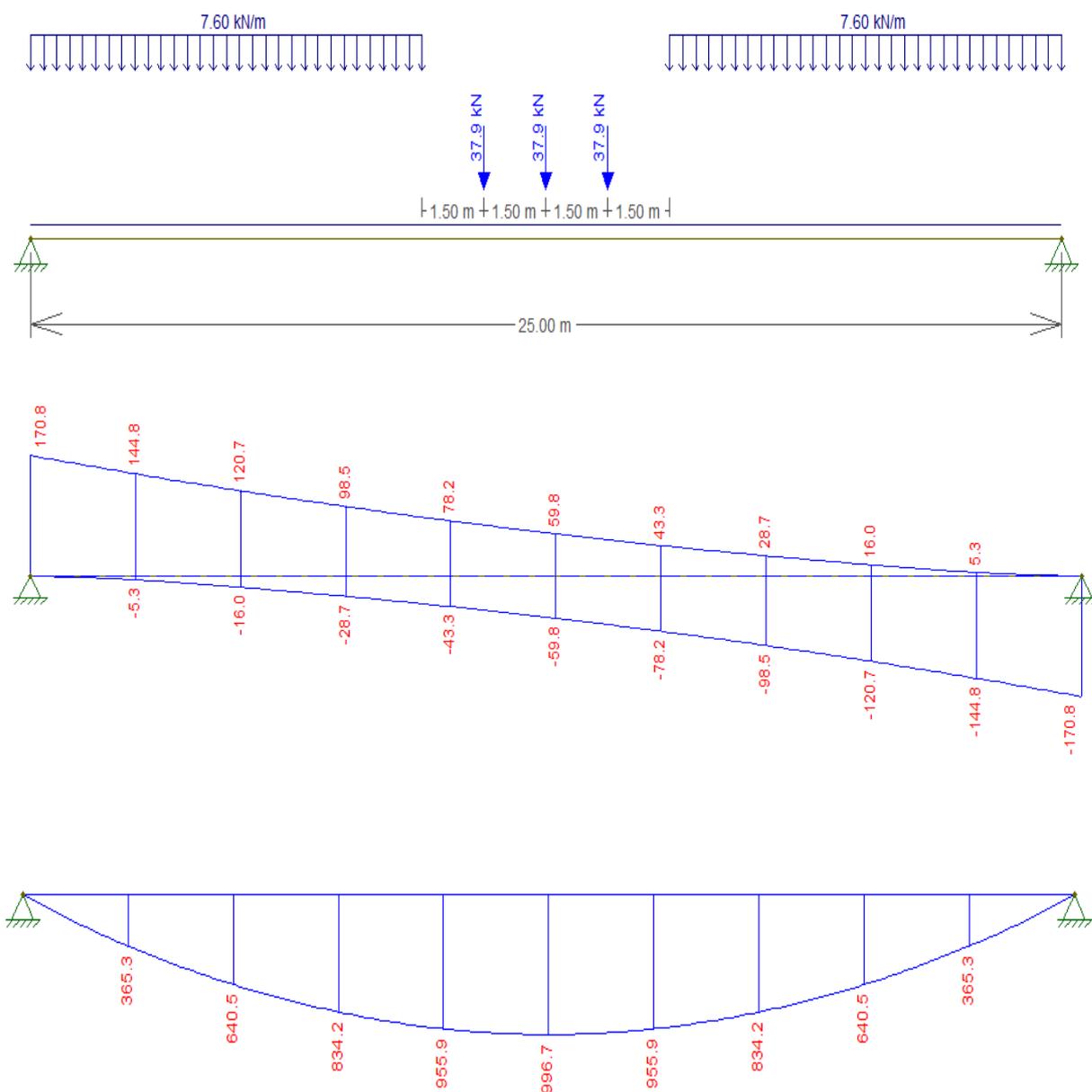
## Longarina 2



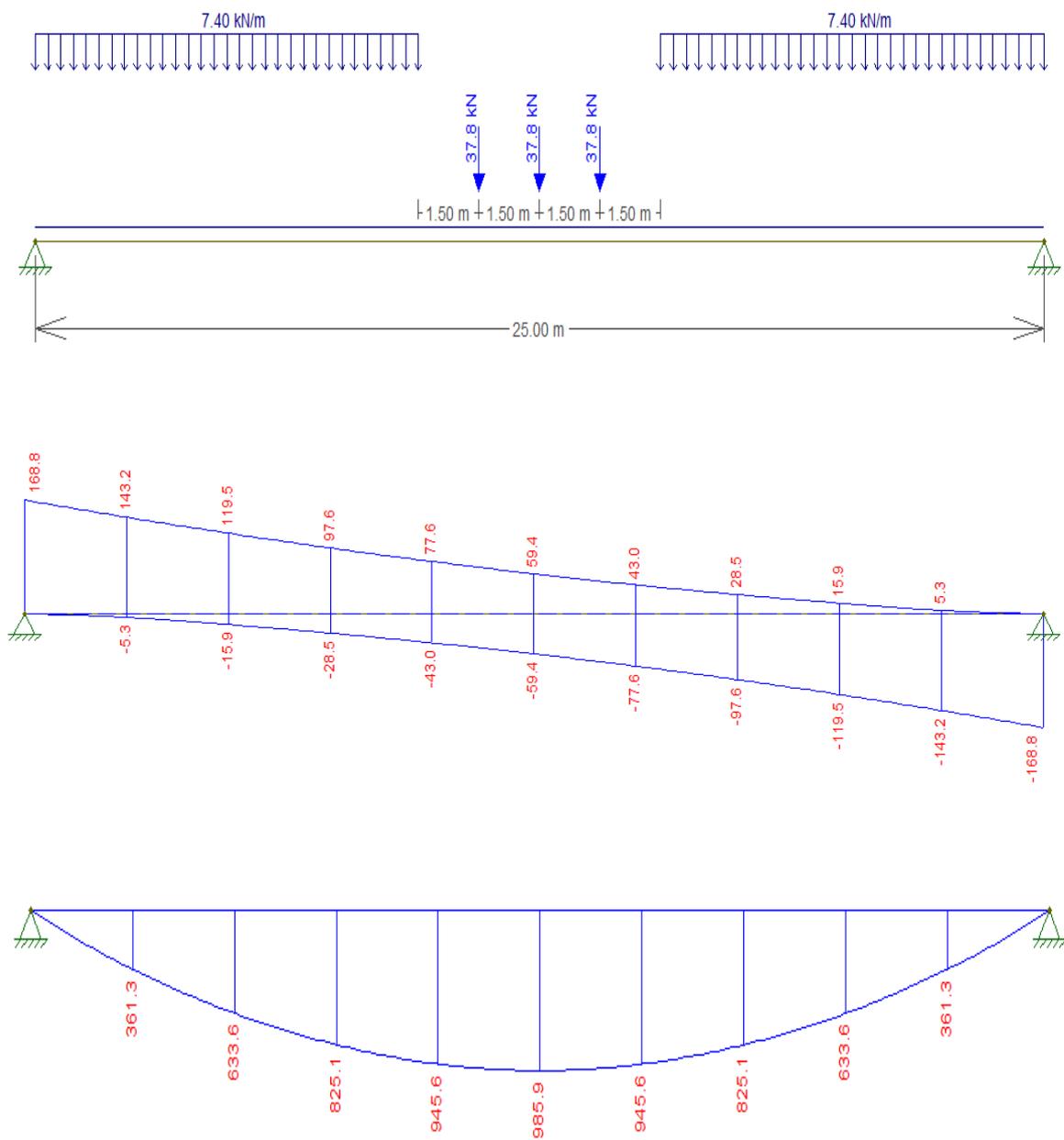
## Longarina 3



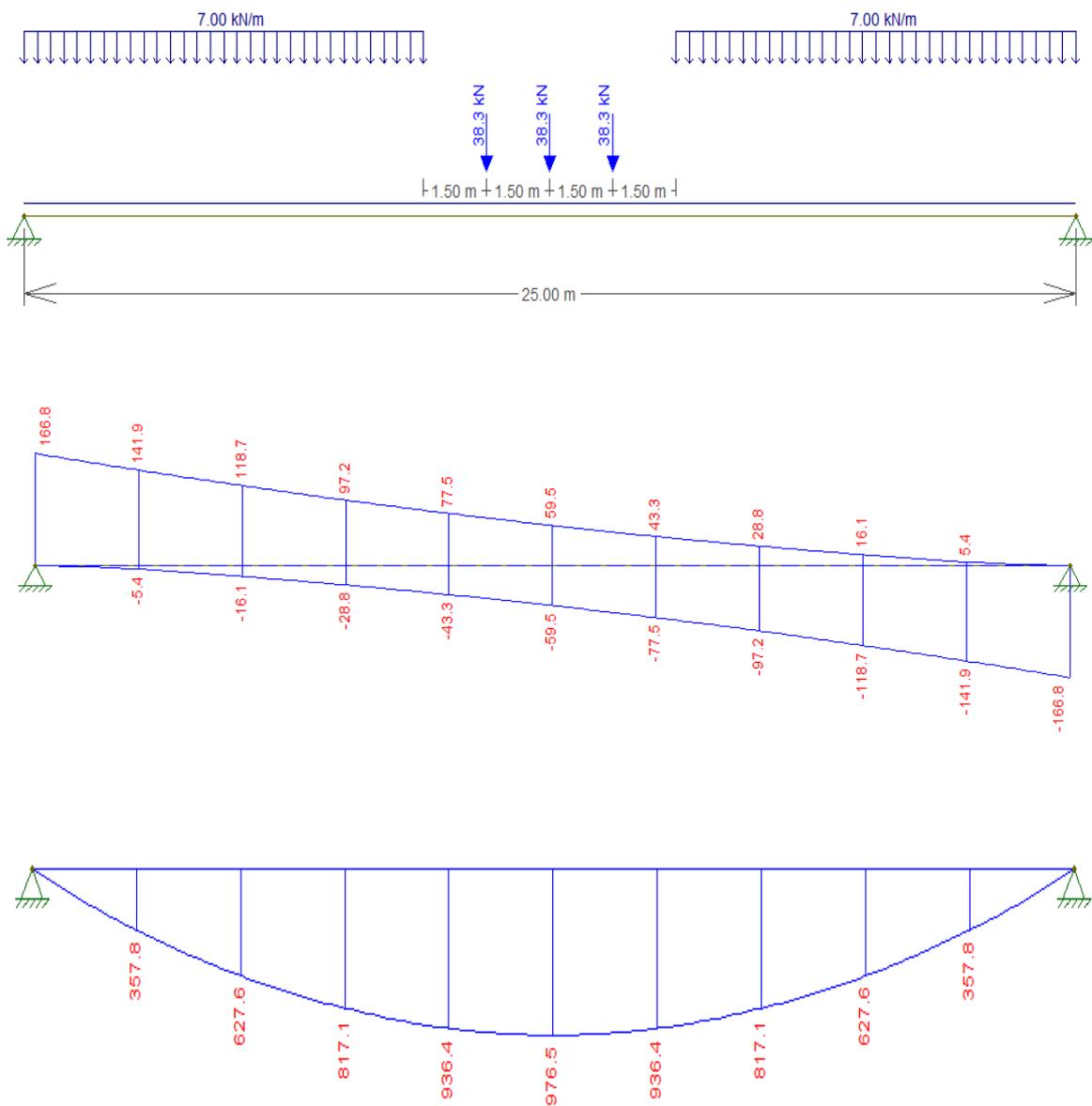
## Longarina 4 e 6



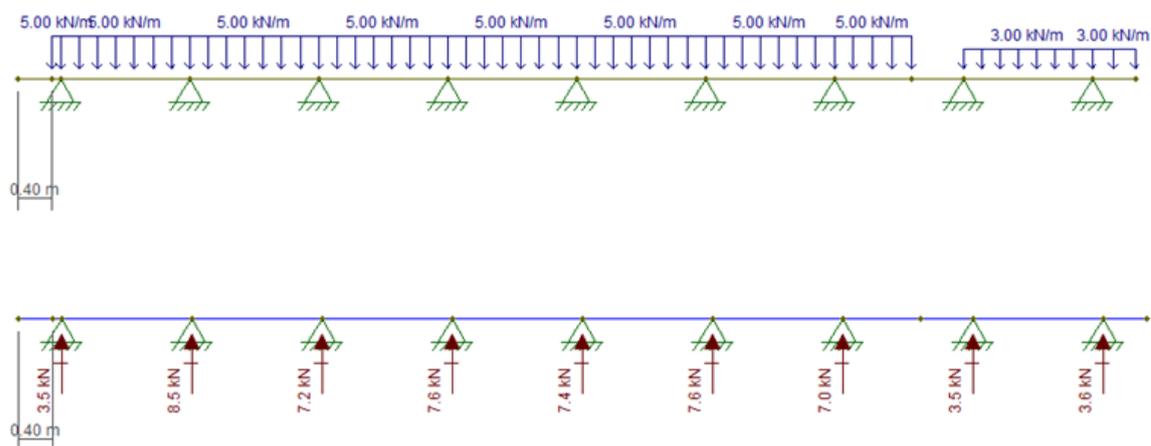
## Longarina 5



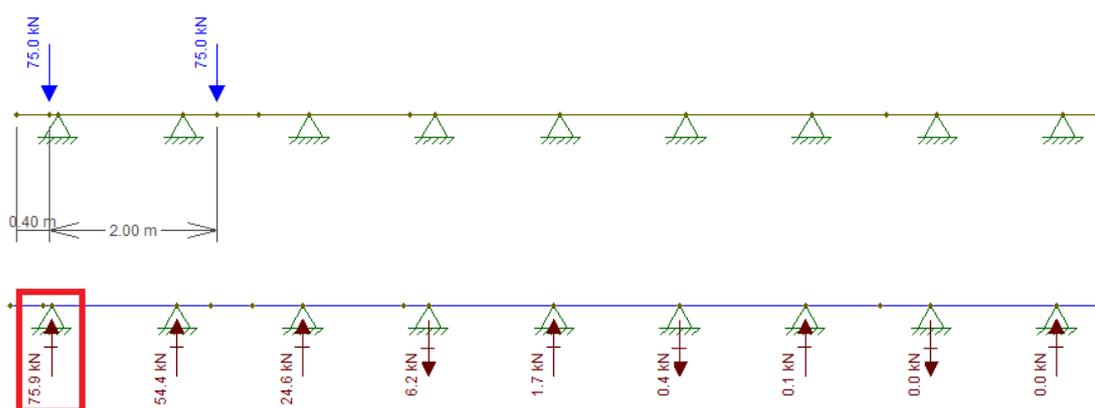
## Longarina 7



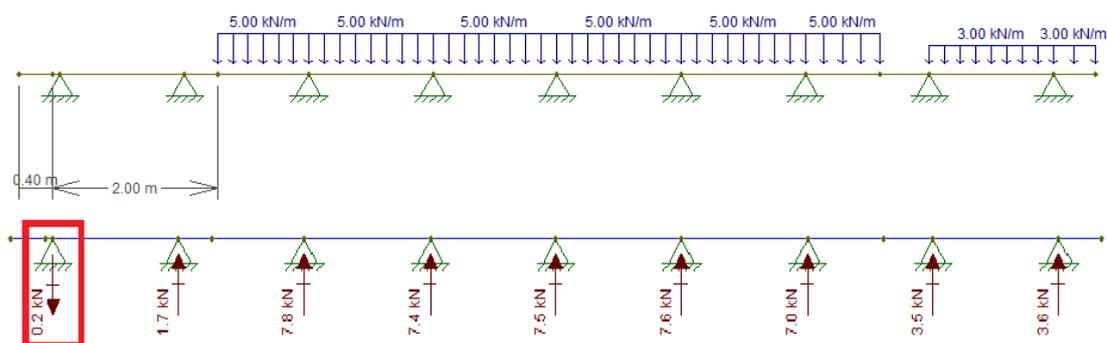
APÊNDICE 3 – Diagramas para determinar o trem-tipo em cada longarina da ponte de classe 45



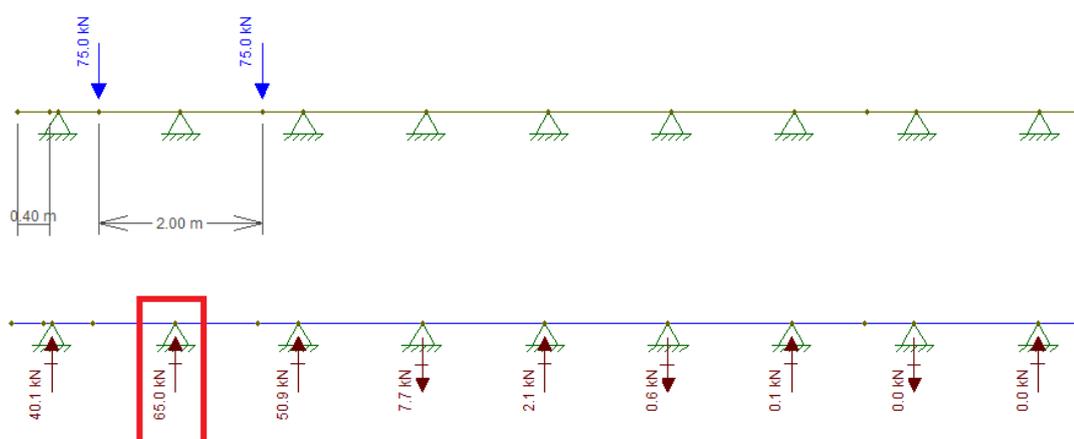
Reações nas longarinas geradas pela carga distribuída na faixa fora do trem-tipo



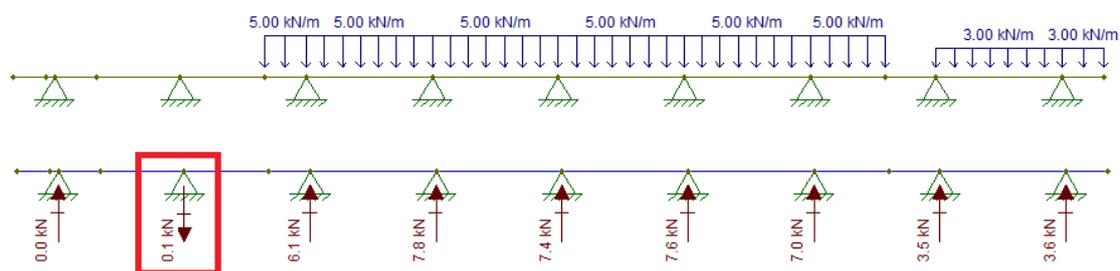
Reação na longarina 1 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



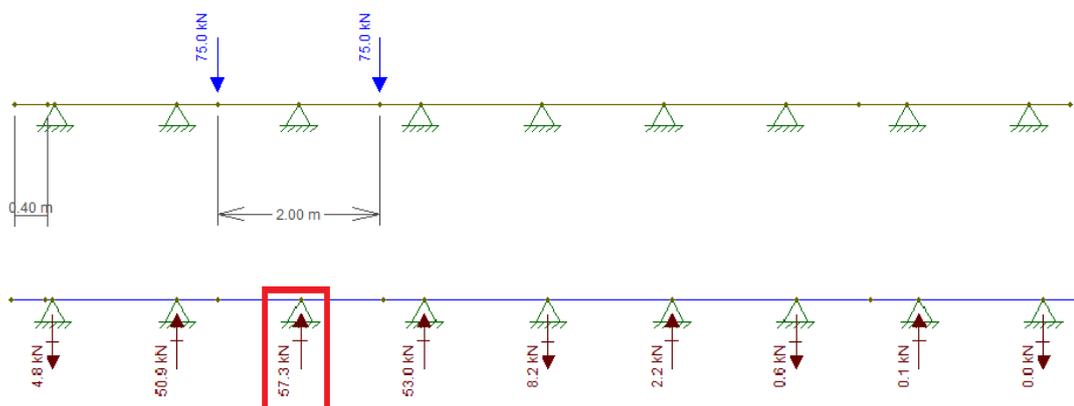
Reação na longarina 1 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



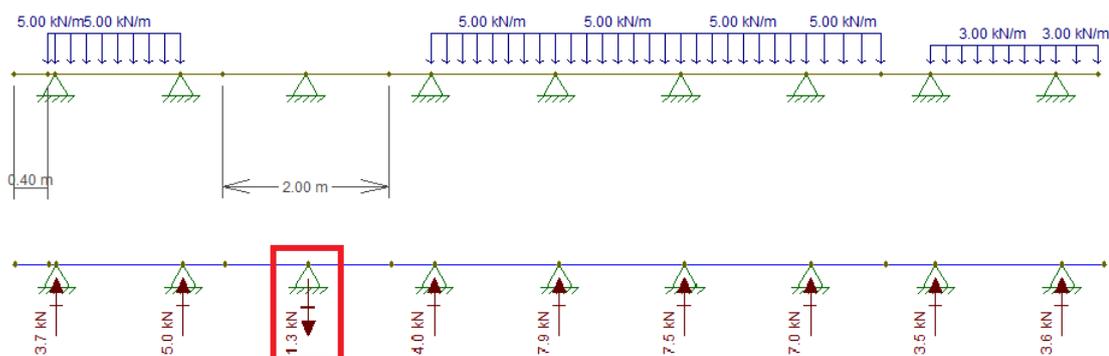
Reação na longarina 2 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



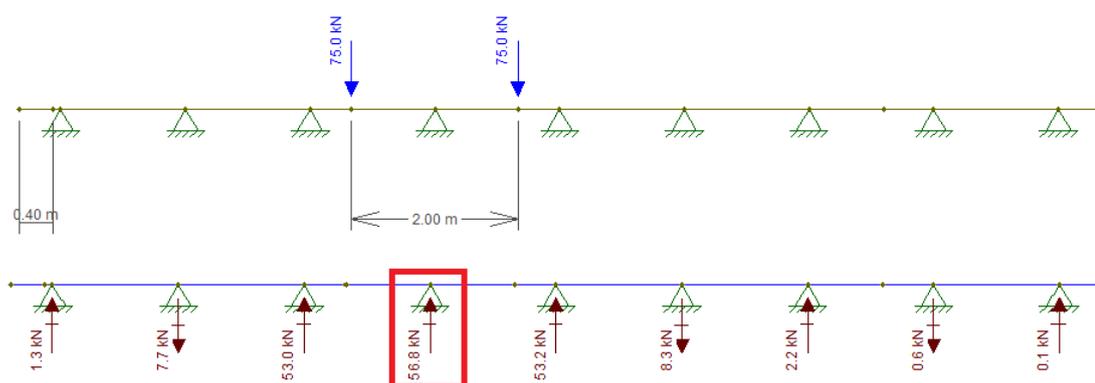
Reação na longarina 2 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



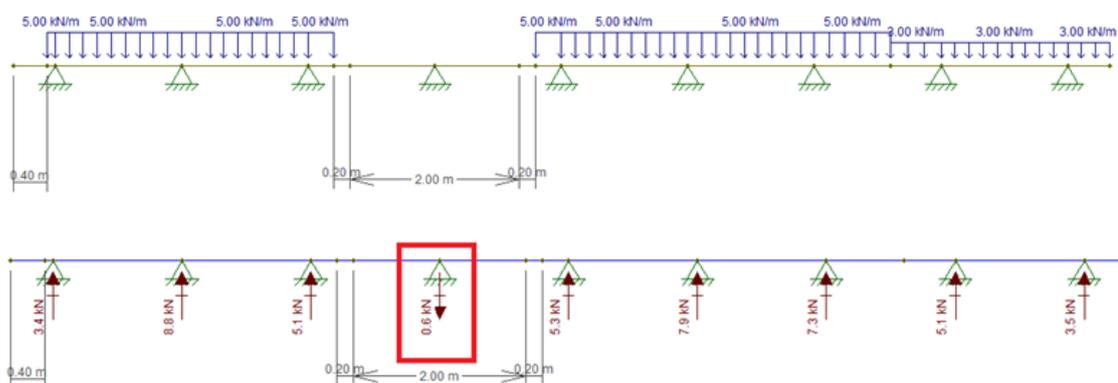
Reação na longarina 3 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



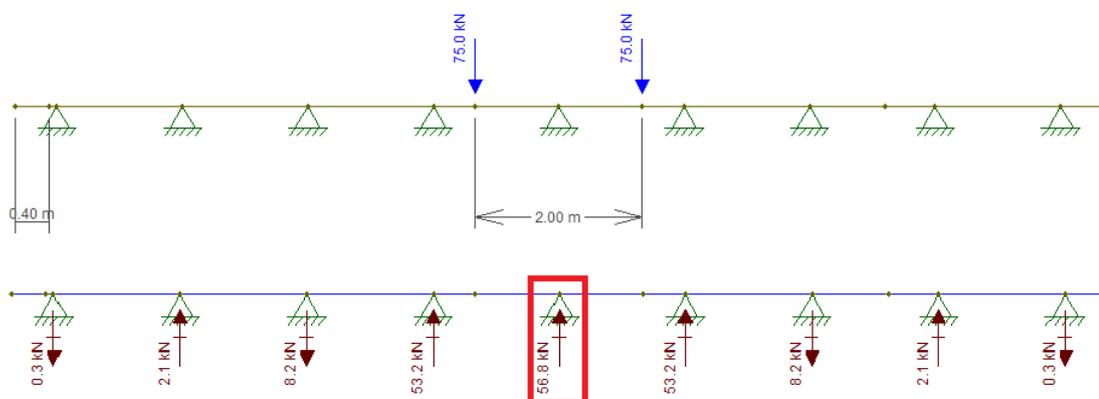
Reação na longarina 3 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



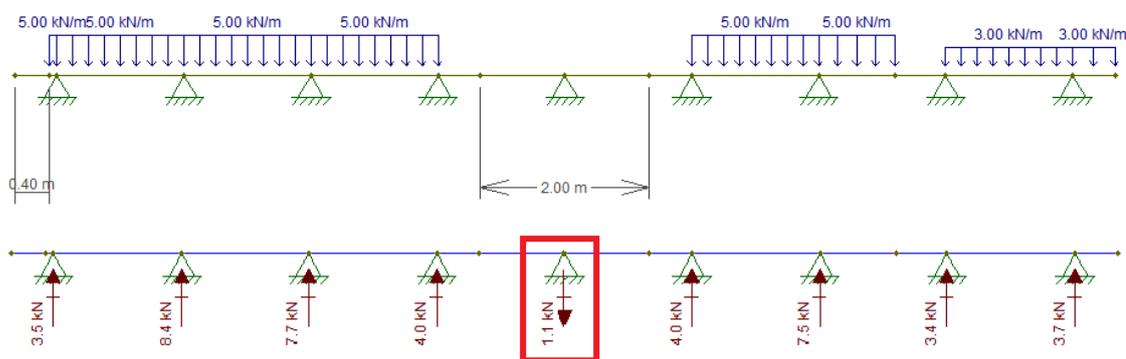
Reação na longarina 4 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



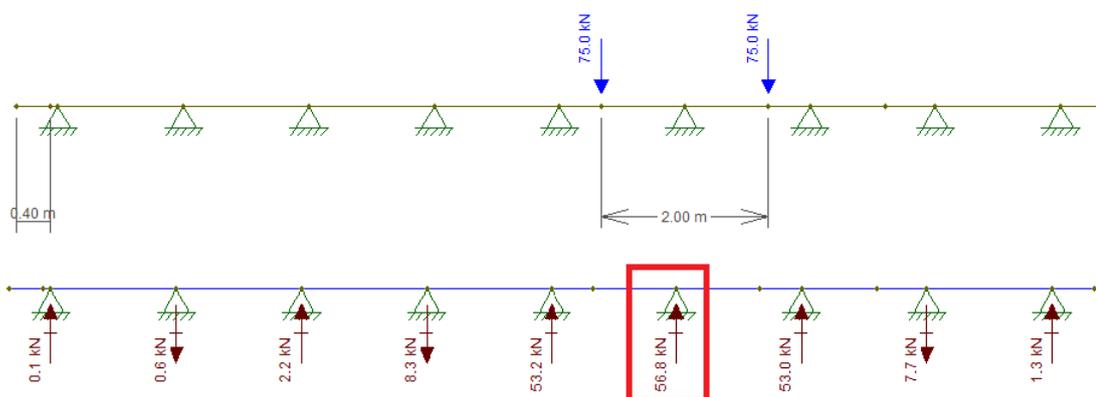
Reação na longarina 4 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



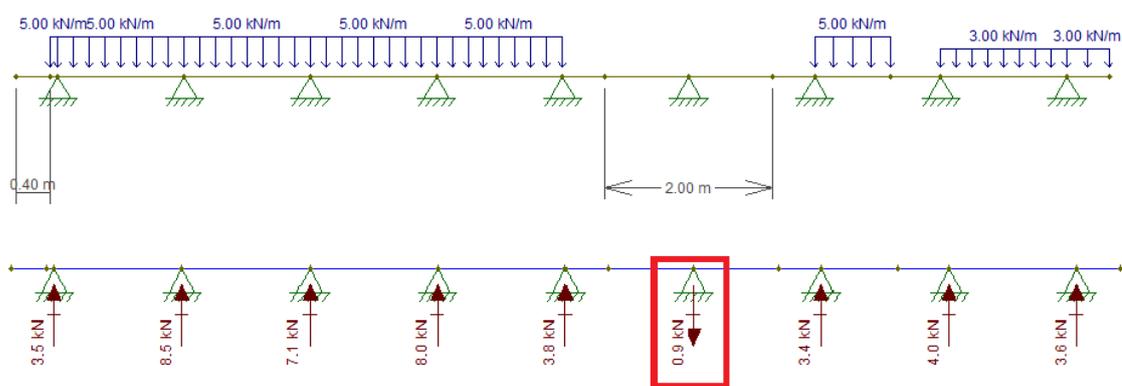
Reação na longarina 5 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



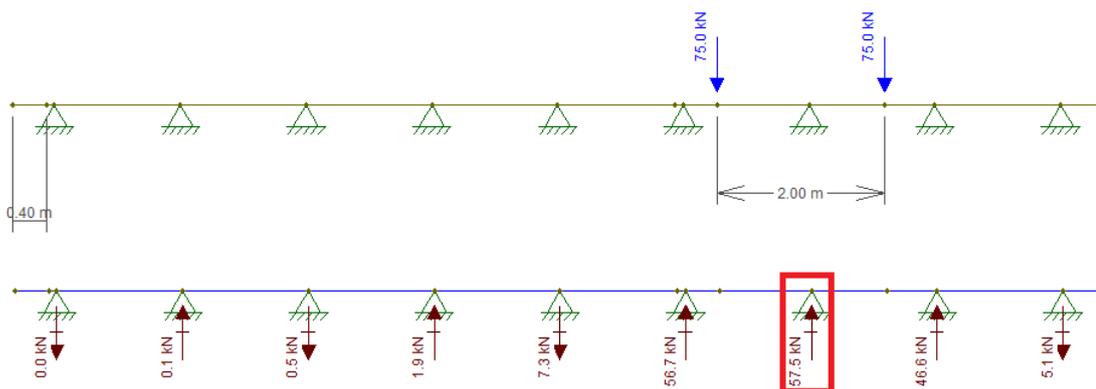
Reação na longarina 5 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



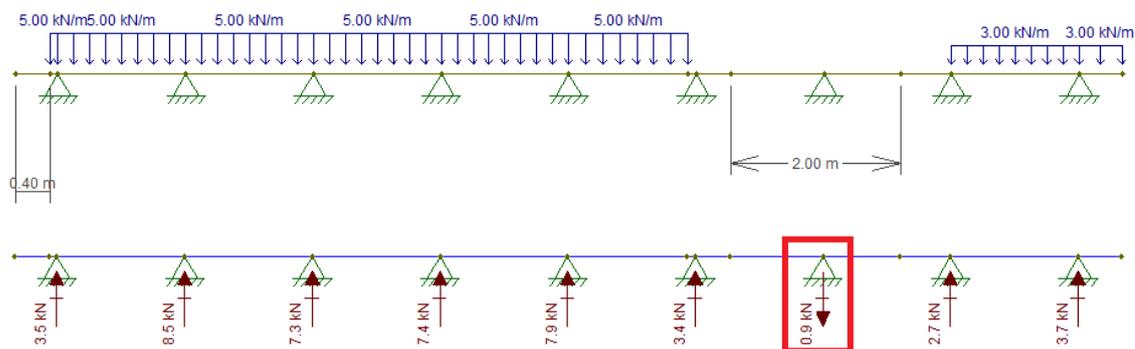
Reação na longarina 6 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo



Reação na longarina 6 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo



Reação na longarina 7 gerada pela carga do veículo na faixa do trem-tipo

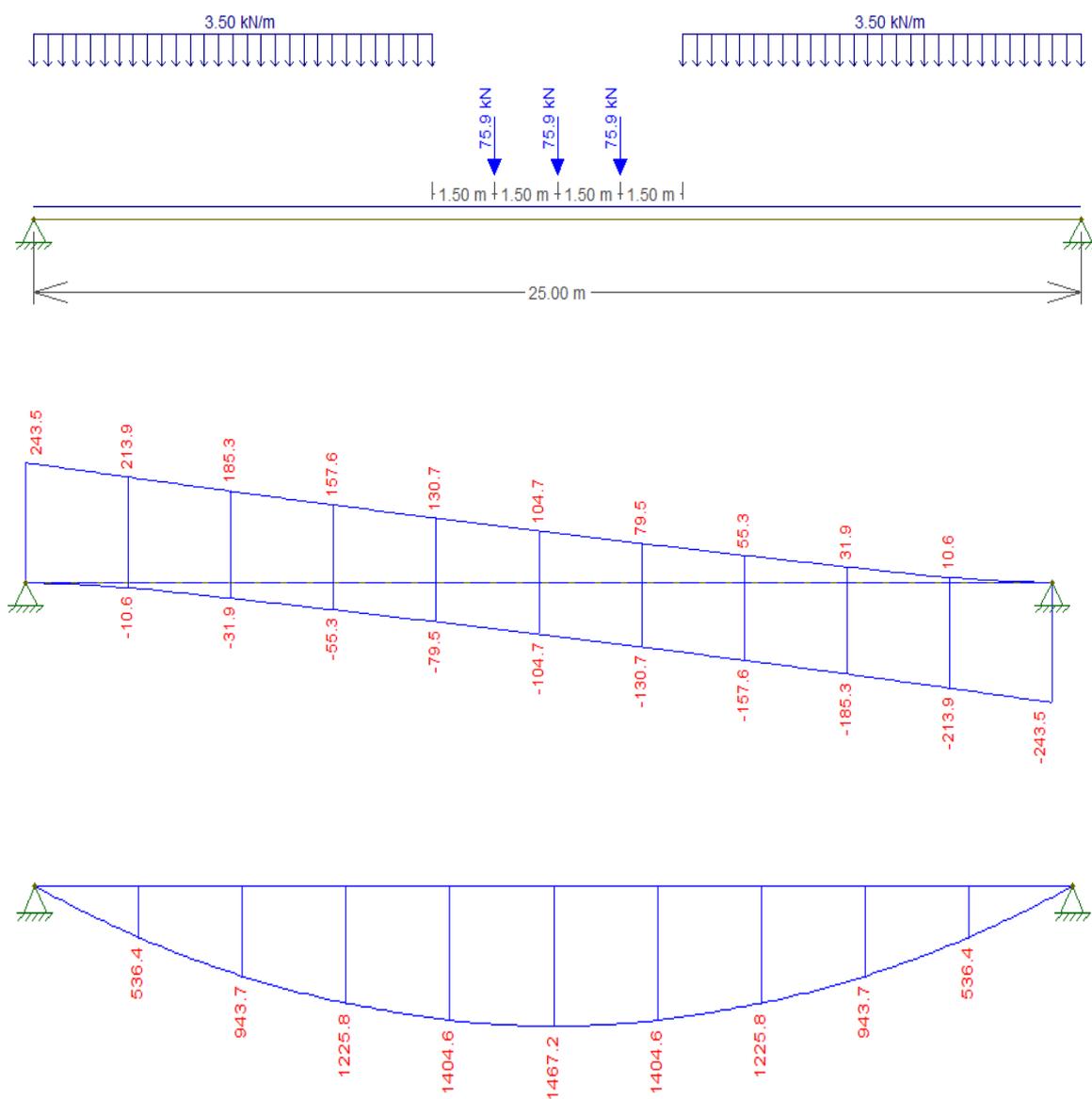


Reação na longarina 7 gerada pela carga distribuída na faixa dentro do trem-tipo

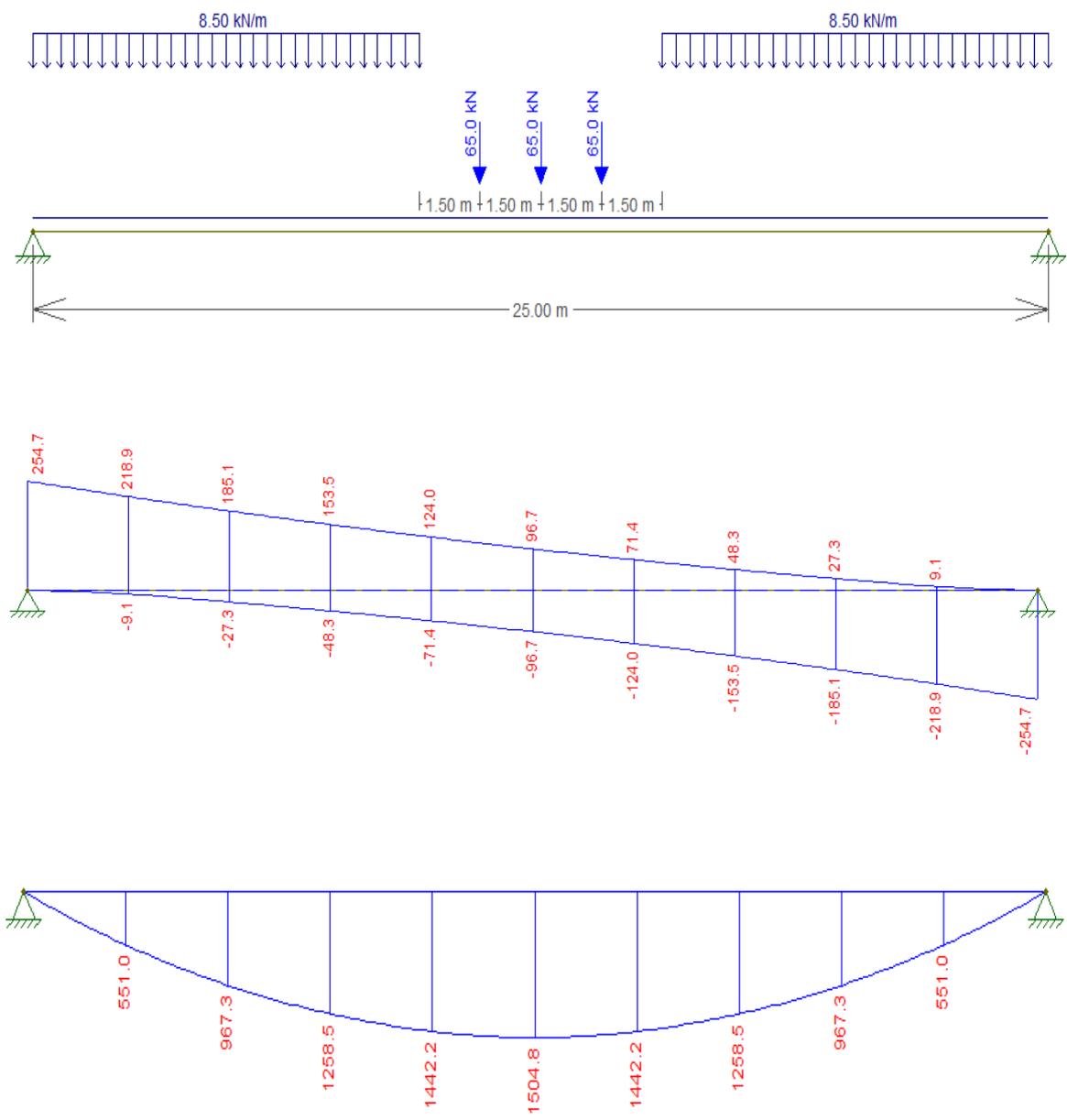
# APÊNDICE 4 – Diagramas dos esforços gerados pelo trem-tipo na ponte de classe

45

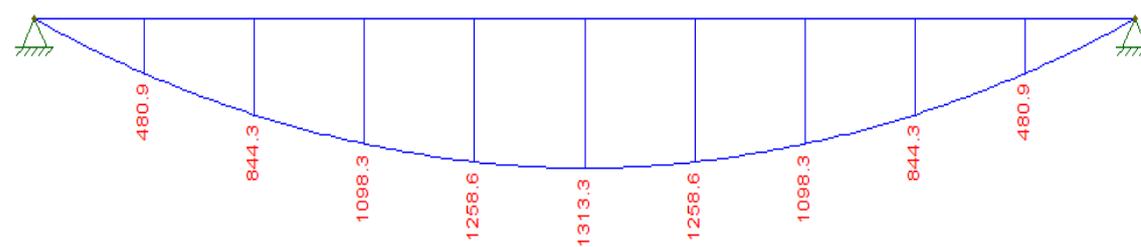
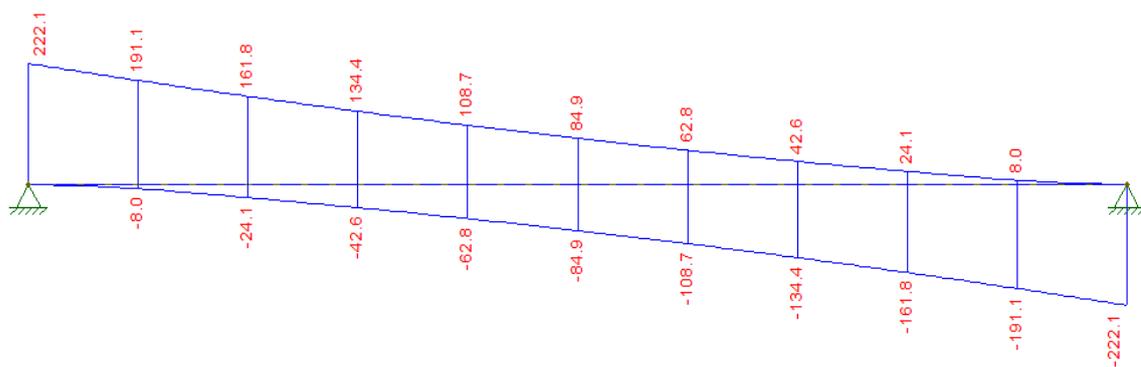
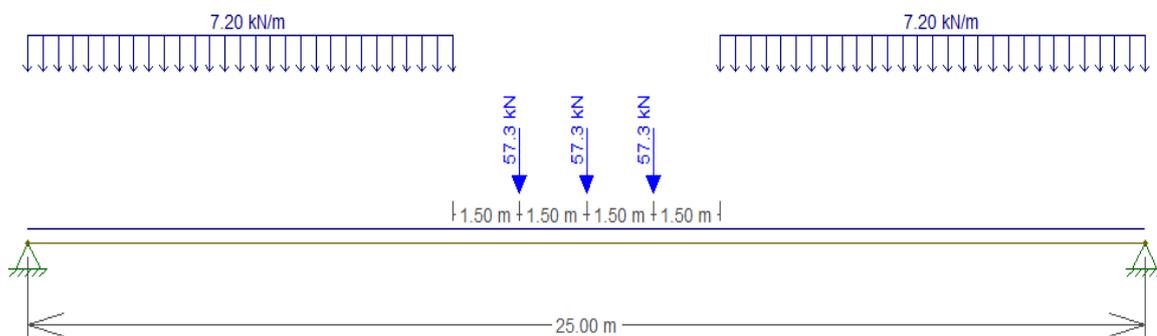
## Longarina 1



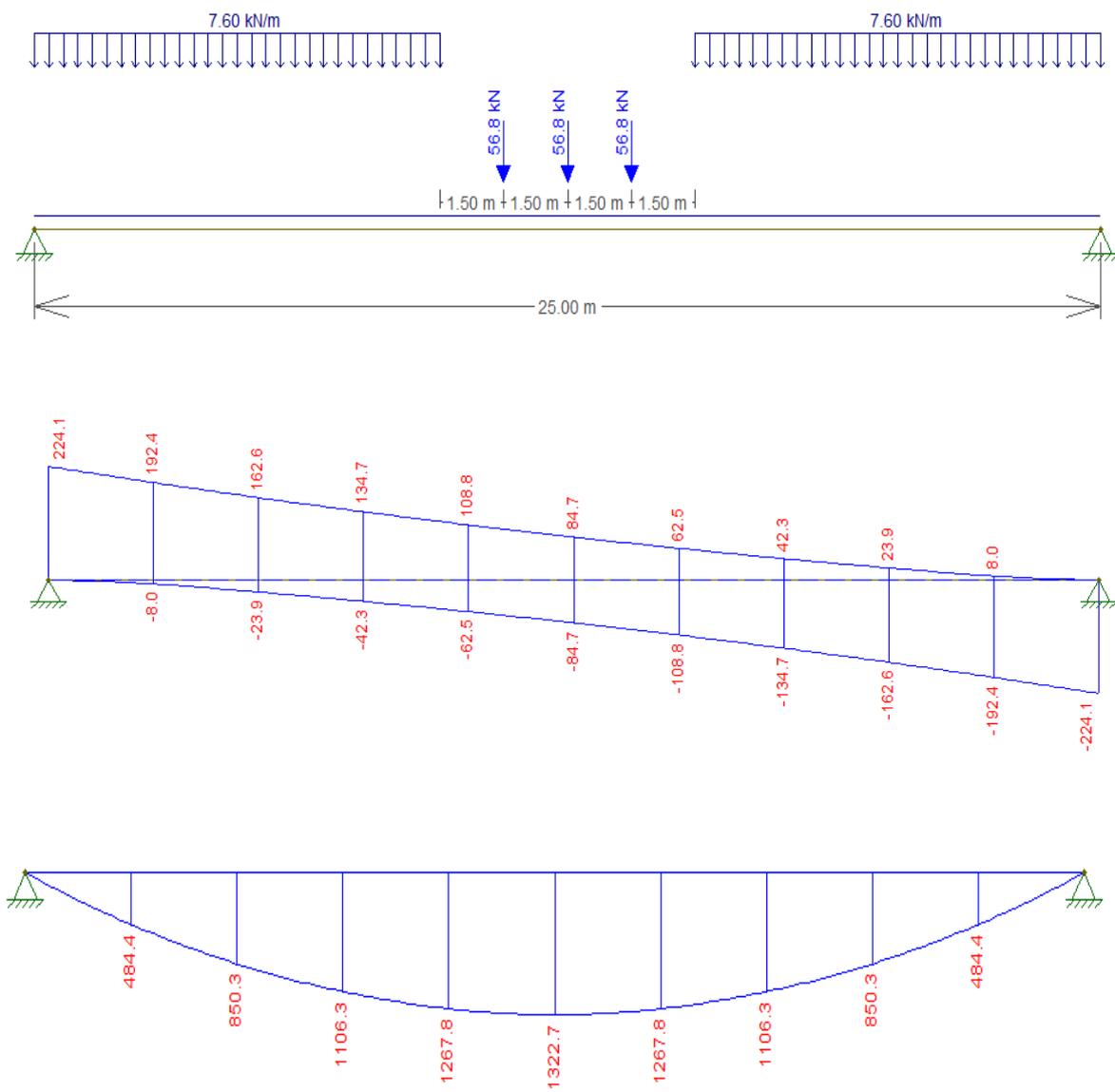
### Longarina 2



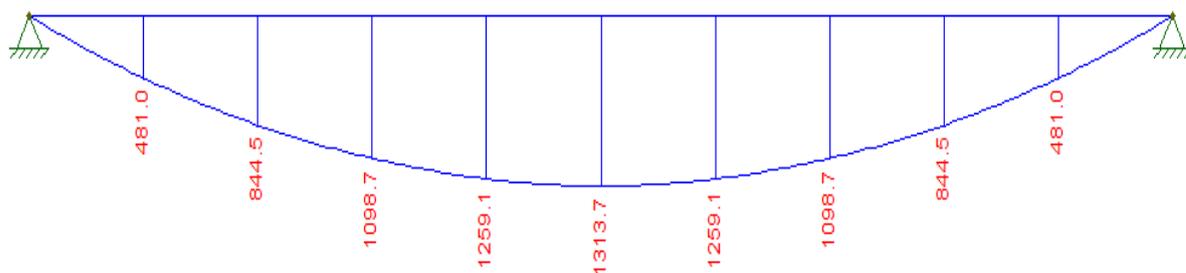
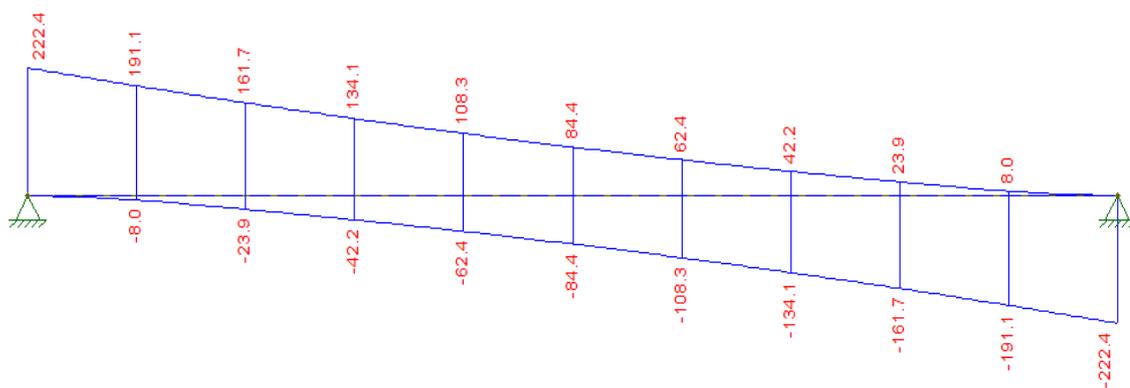
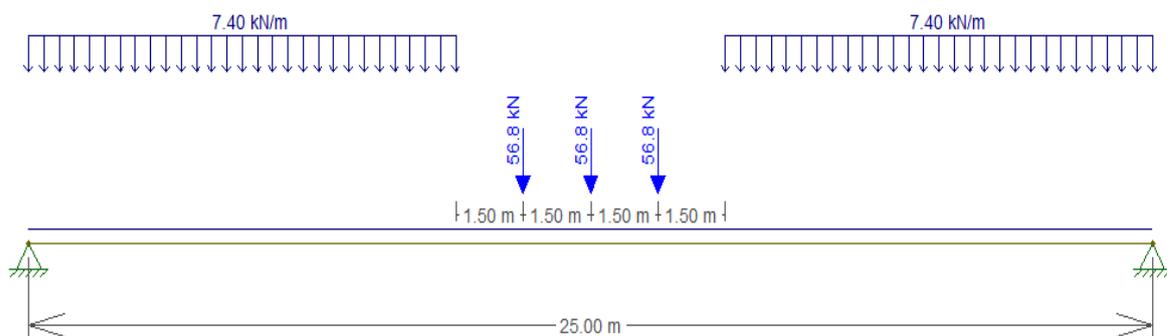
### Longarina 3



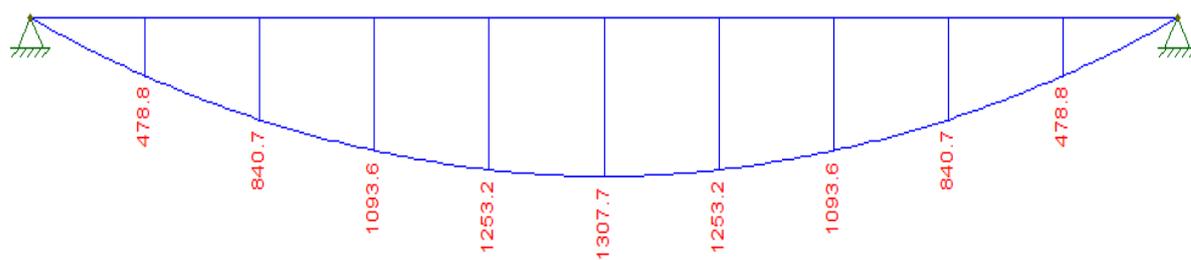
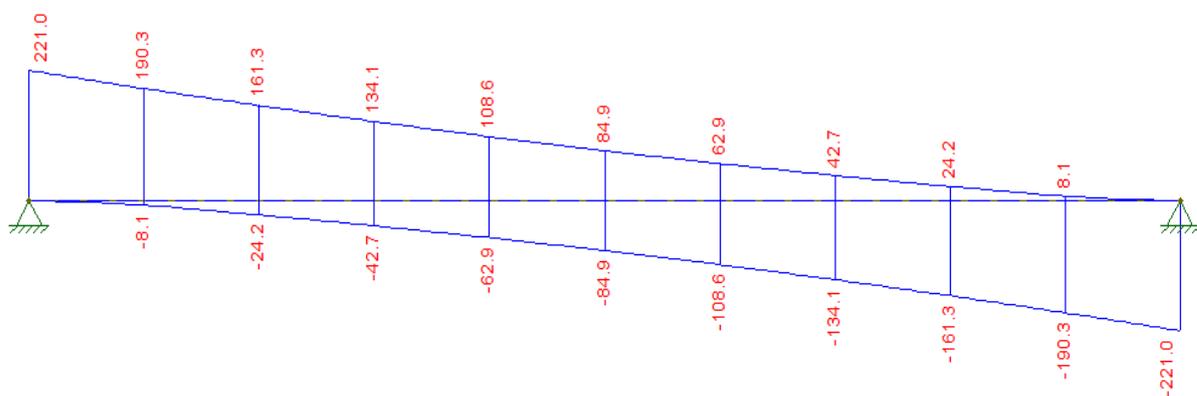
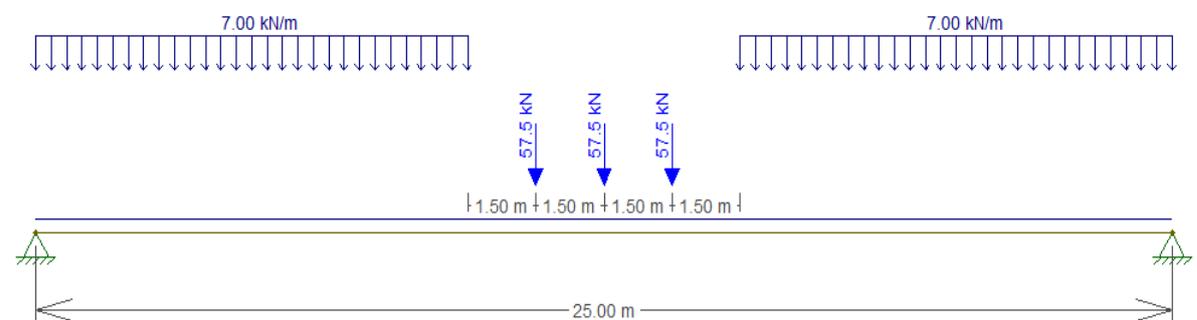
## Longarina 4 e 6



### Longarina 5

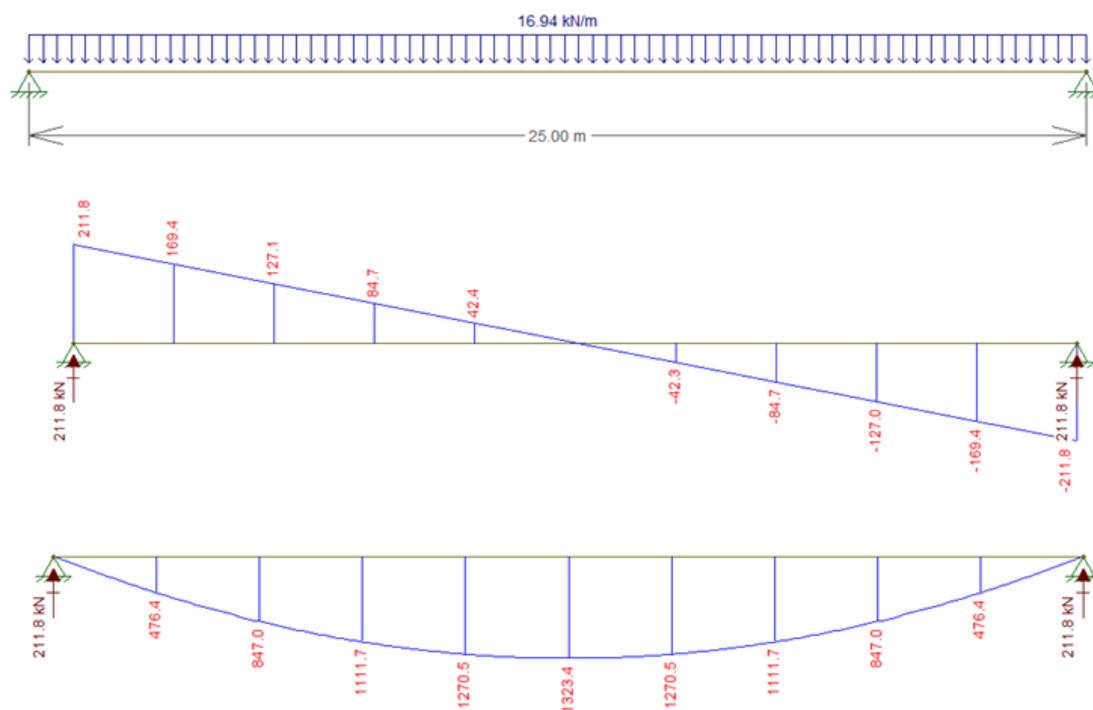


## Longarina 7

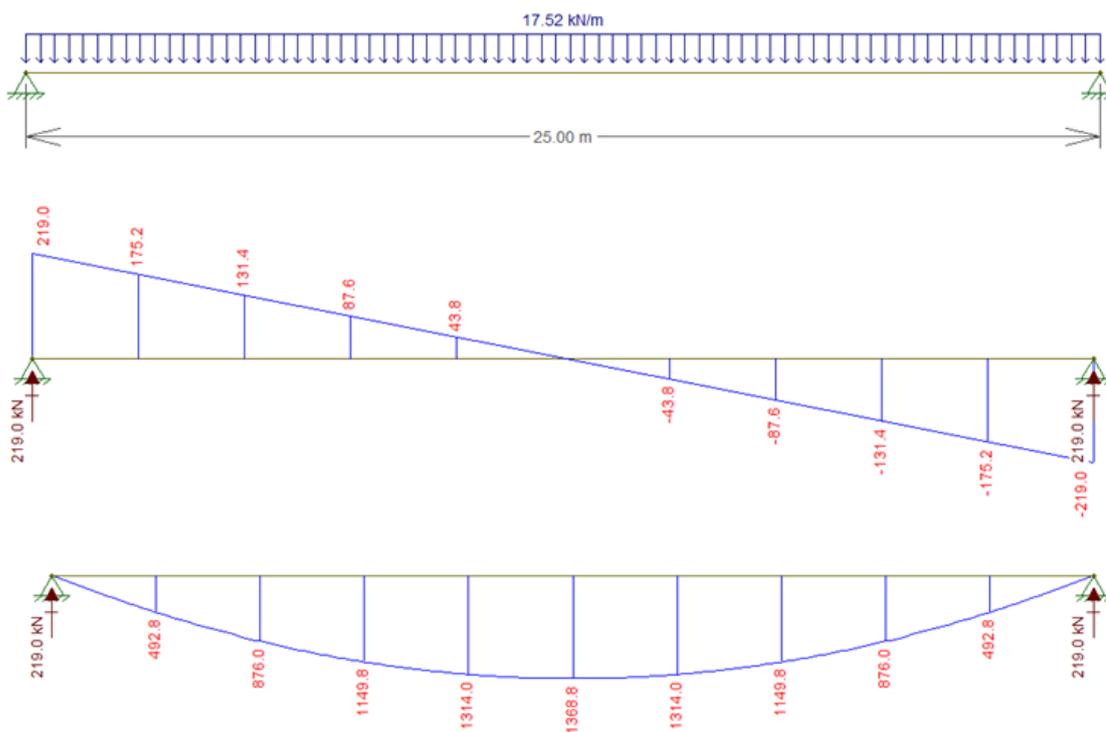


APÊNDICE 5 – Diagramas de esforço cortante e momento fletor devido a carga permanente de cada longarina

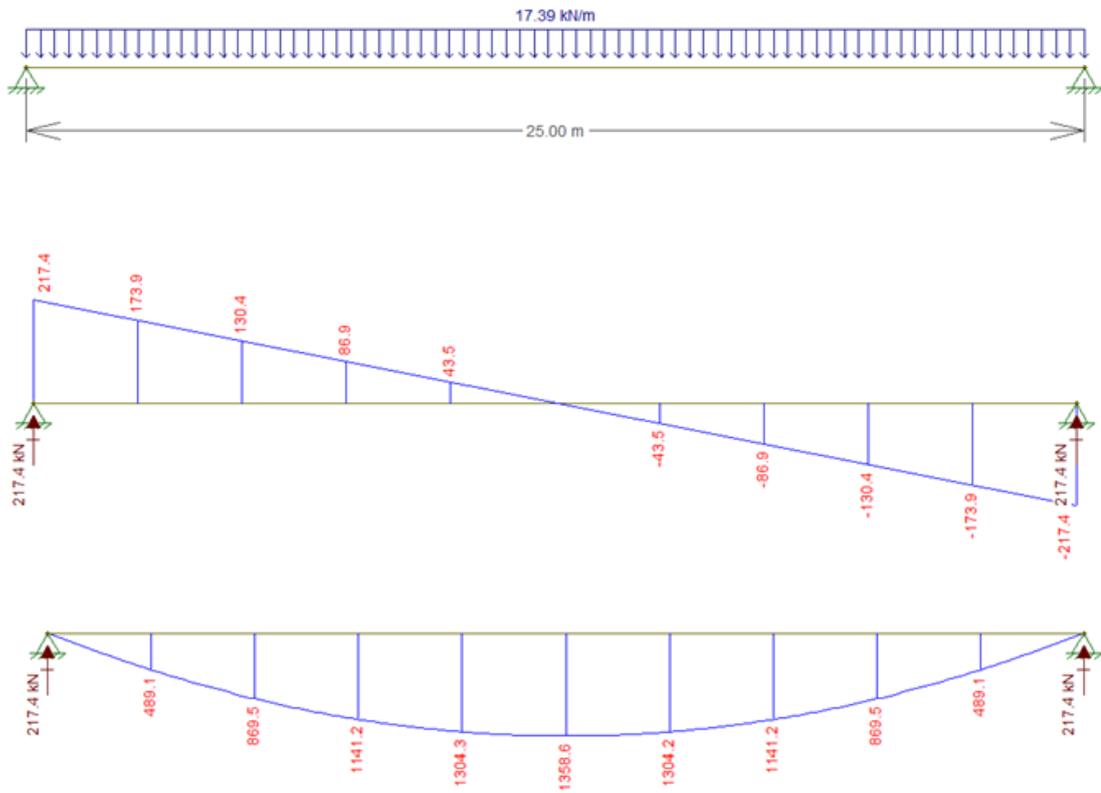
Longarina 1 e 2



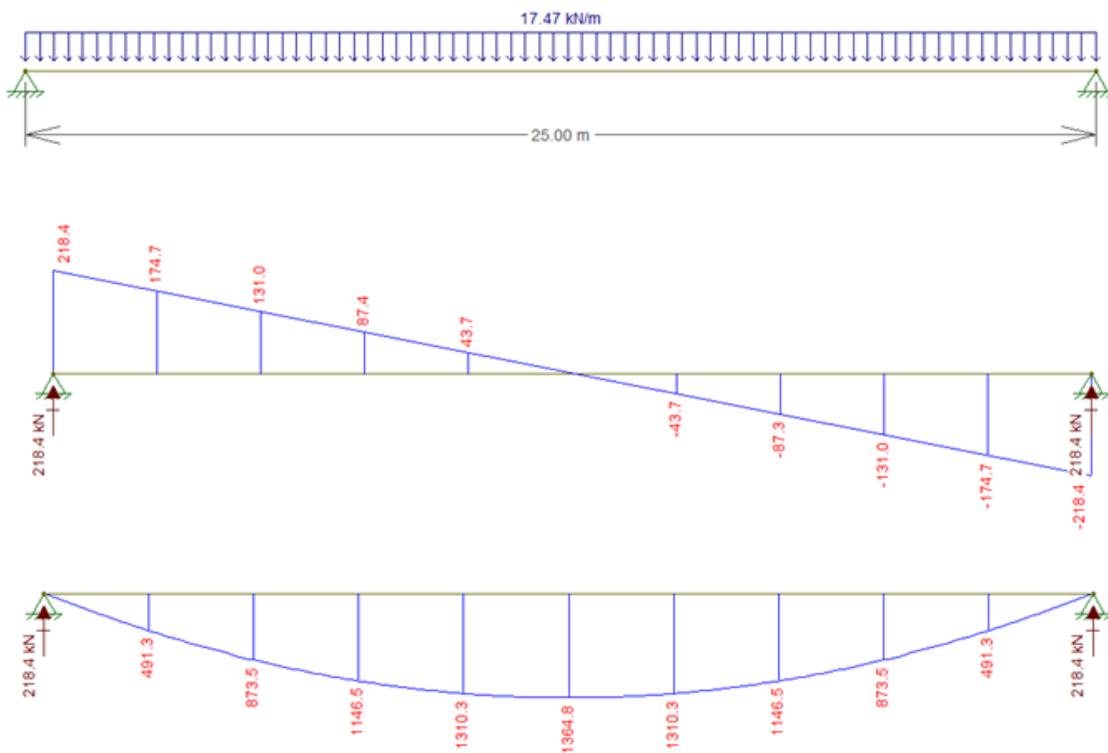
Longarina 3



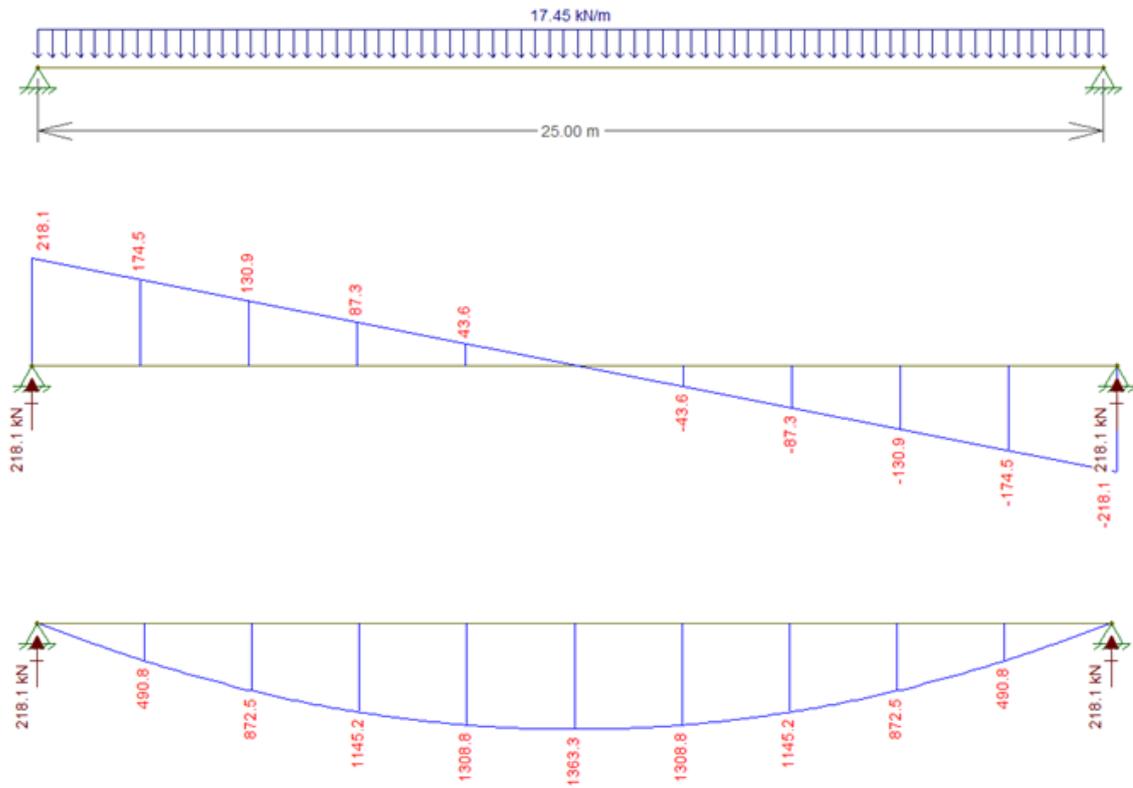
### Longarina 4



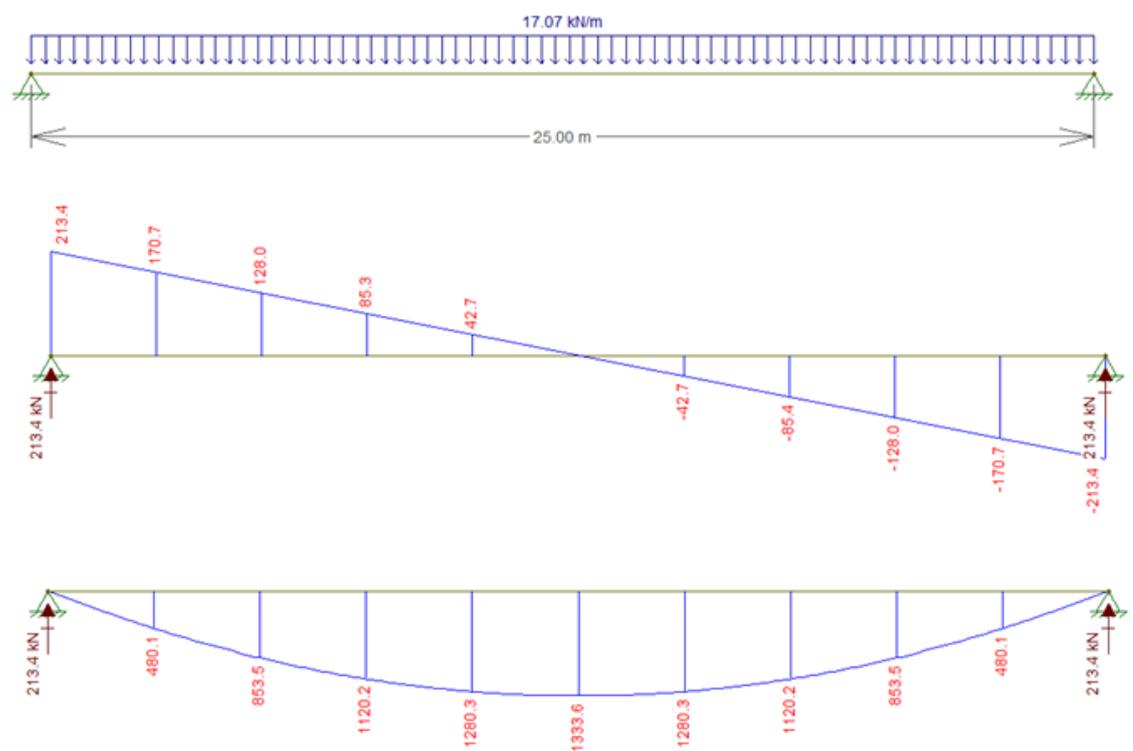
### Longarina 5



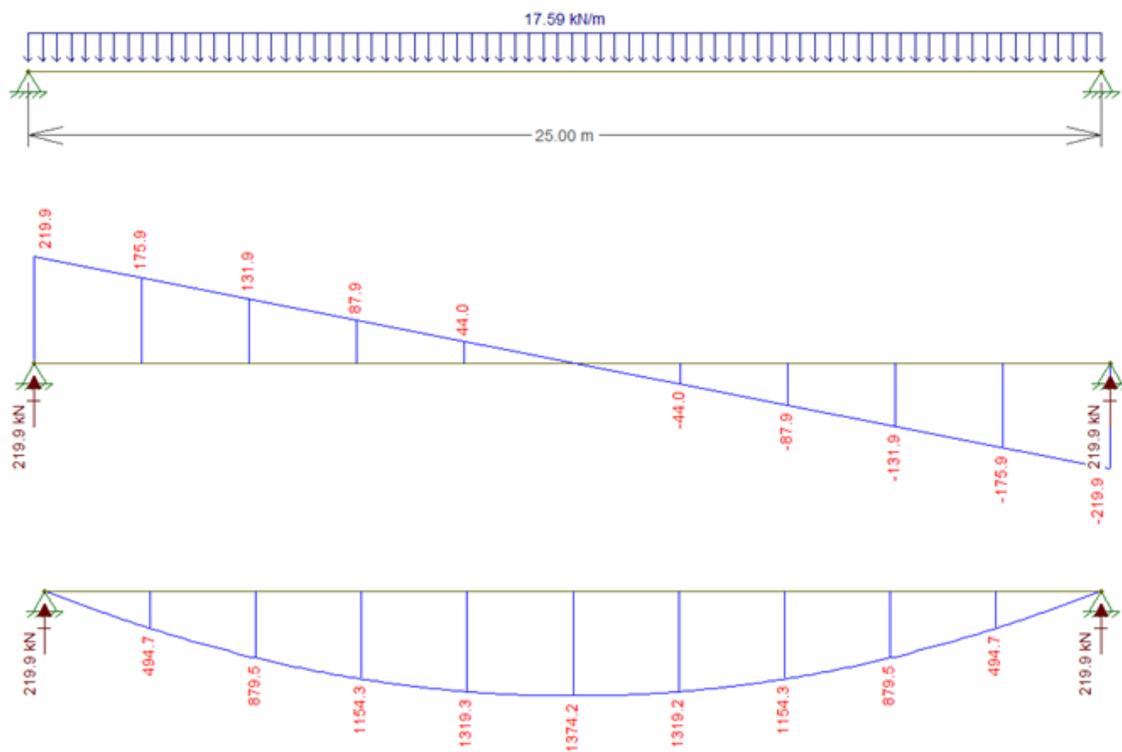
### Longarina 6



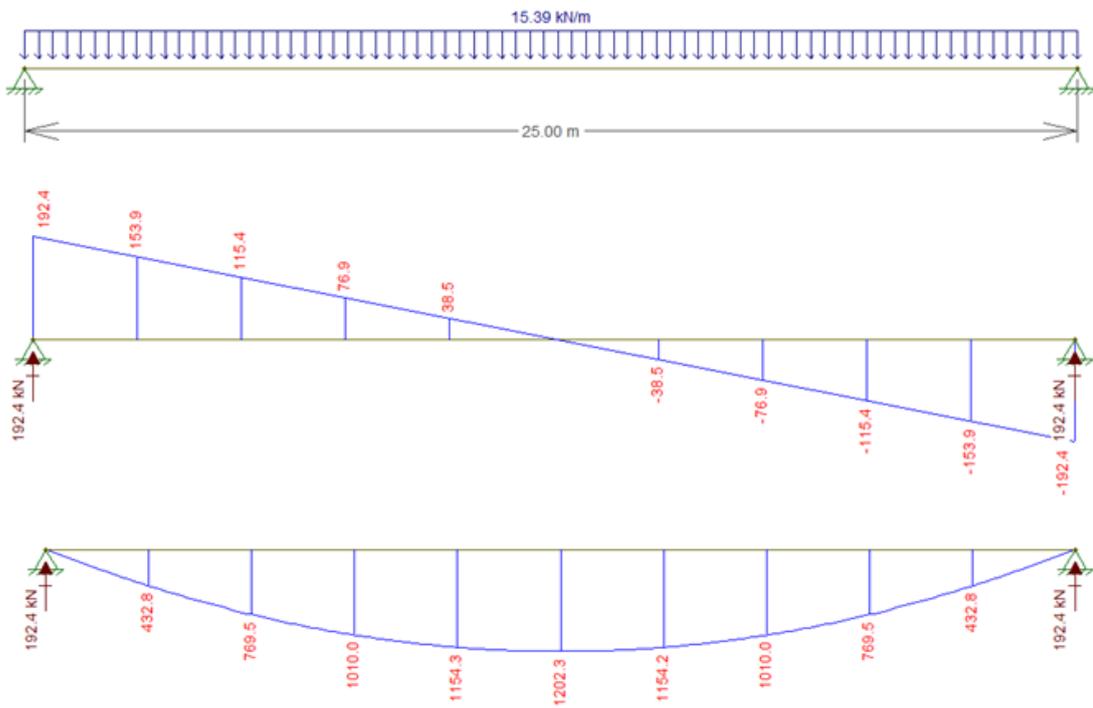
### Longarina 7



## Longarina 8



## Longarina 9



## ANEXOS

## ANEXO A – Tabela de flexão simples

Tabela de flexão simples						
$\xi d = x/d$	Valores de $k6d$ para concreto de $f_{ck}$			$k3d$		
	20	25	30	CA-25	CA-50	CA-60B
0,01	1.034	827	689	0,462	0,231	0,192
0,02	519	415	346	0,464	0,232	0,192
0,03	347	278	232	0,466	0,233	0,192
0,04	262	209	174	0,468	0,234	0,192
0,05	210	168	140	0,469	0,235	0,192
0,06	176	141	117	0,471	0,236	0,192
0,07	151	121	101	0,473	0,237	0,192
0,08	133	106	88,6	0,475	0,238	0,192
0,09	119	94,9	79,1	0,477	0,239	0,192
0,10	107	85,8	71,5	0,479	0,240	0,192
0,11	97,9	78,3	65,3	0,481	0,241	0,192
0,12	90,1	72,1	60,1	0,483	0,242	0,192
0,13	83,5	66,8	55,7	0,485	0,243	0,192
0,14	77,9	62,3	51,9	0,487	0,244	0,192
0,15	73,0	58,4	48,7	0,489	0,245	0,192
0,16	68,7	55,0	45,8	0,492	0,246	0,192
0,167	66,1	52,8	44,0	0,493	0,247	0,192
0,17	65,0	52,0	43,3	0,494	0,247	0,192
0,18	61,6	49,3	41,1	0,496	0,248	0,192
0,19	58,6	46,9	39,1	0,498	0,249	0,192
0,20	55,9	44,8	37,3	0,500	0,250	0,192
0,21	53,5	42,8	35,7	0,502	0,251	0,192
0,22	51,3	41,0	34,2	0,504	0,252	0,192
0,23	49,3	39,4	32,9	0,507	0,253	0,192
0,24	47,4	38,0	31,6	0,509	0,254	0,192
0,25	45,8	36,6	30,5	0,511	0,256	0,192
0,259	44,3	35,5	29,6	0,513	0,257	0,192
0,26	44,2	35,4	29,5	0,513	0,257	0,192
0,27	42,7	34,2	28,5	0,516	0,258	0,192

Tabela de flexão simples (continuação)						
$\xi d = x/d$	Valores de $k6d$ para concreto de $f_{ck}$			$k3d$		
	20	25	30	CA-25	CA-50	CA-60B
0,28	41,4	33,1	27,6	0,518	0,259	0,192
0,29	40,2	32,1	26,8	0,520	0,260	0,192
0,30	39,0	31,2	26,0	0,523	0,261	0,192
0,31	37,9	30,3	25,3	0,525	0,263	0,192
0,32	36,9	29,5	24,6	0,528	0,264	0,192
0,33	35,9	28,8	24,0	0,530	0,265	0,192
0,34	35,0	28,0	23,4	0,533	0,266	0,192
0,35	34,2	27,4	22,8	0,535	0,267	0,192
0,36	33,4	26,7	22,3	0,537	0,269	0,192
0,37	32,7	26,1	21,8	0,540	0,270	0,192
0,38	31,9	25,6	21,3	0,543	0,271	0,192
0,39	31,3	25,0	20,8	0,545	0,273	0,192
0,40	30,6	24,5	20,4	0,548	0,274	0,192
0,41	30,0	24,0	20,0	0,550	0,275	0,192
0,42	29,5	23,6	19,6	0,553	0,276	0,192
0,43	28,9	23,1	19,3	0,556	0,278	0,192
0,44	28,4	22,7	18,9	0,558	0,279	0,192
0,442	28,3	22,6	18,9	0,559	0,279	0,192
0,45	27,9	22,3	18,6	0,561	0,281	
0,46	27,4	21,9	18,3	0,564	0,282	
0,469	27,0	21,6	18,0	0,566	0,283	
0,47	27,0	21,6	18,0	0,567	0,283	
0,48	26,5	21,2	17,7	0,569	0,285	
0,49	26,1	20,9	17,4	0,572	0,286	
0,50	25,7	20,6	17,2	0,575	0,288	

## ANEXO B – Tabela de Rüşch n°14

Nr. 14.2	ly/lx = ∞	Mxm			Mym			Mxr											
		0,0625			0,0104			0,125											
		Mxm	Mym	Mxr	Mxm	Mym	Mxr	Mxm	Mym	Mxr									
Brückenklasse 30t bis 60t																			
Raddruck des SLW von 1,0t																			
Gleichlast um SLW von 1 t.m2																			
lx/a	Mxm in Plattenmitte			Mym in Plattenmitte			Mxe in Randmitte			für alle Werte t/a									
	t/a			t/a			t/a												
	0,125	0,25	0,5	1	0,125	0,25	0,5	1	0,125	0,25	0,5	1	p	p'	p	p'	p	p'	
0,5	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	-	-	-	-	-	-
1	0,155	0,116	0,066	0,05	0,116	0,061	0,024	0,013	0,25	0,2	0,13	0,079	0,01	-	-	-	-	-	-
1,5	0,24	0,19	0,148	0,096	0,165	0,104	0,069	0,038	0,382	0,34	0,255	0,19	0,01	-	-	-	-	-	-
2	0,362	0,313	0,254	0,189	0,219	0,166	0,109	0,068	0,48	0,45	0,39	0,34	0,09	-	0,02	0,01	0,05	0,4	0,4
2,5	0,475	0,428	0,36	0,295	0,271	0,213	0,148	0,1	0,72	0,7	0,66	0,55	0,18	0,1	0,03	0,03	0,1	0,55	0,55
3	0,58	0,52	0,451	0,385	0,317	0,262	0,194	0,142	0,88	0,86	0,84	0,73	0,33	0,2	0,06	0,11	0,25	0,64	0,64
4	0,63	0,6	0,53	0,466	0,37	0,321	0,253	0,202	1	0,98	0,96	0,9	0,4	0,45	0,07	0,23	0,5	1,4	1,4
5	0,75	0,72	0,66	0,59	0,467	0,421	0,353	0,304	1,2	1,18	1,16	1,12	0,6	1,55	0,1	0,64	1,1	3,9	3,9
6	0,84	0,82	0,76	0,69	0,55	0,51	0,452	0,395	1,34	1,33	1,31	1,28	0,93	3,06	0,16	1,2	1,75	7,03	7,03
7	0,91	0,89	0,83	0,77	0,63	0,59	0,53	0,477	1,45	1,44	1,42	1,38	1,4	5,3	0,24	1,98	2,1	11,45	11,45
8	0,97	0,96	0,89	0,83	0,7	0,66	0,61	0,55	1,53	1,52	1,51	1,46	2,2	5,4	0,38	3,15	2,6	17,4	17,4
9	1,02	1,01	0,97	0,88	0,75	0,71	0,67	0,61	1,58	1,57	1,56	1,51	3,3	12,1	0,58	4,17	3	24,1	24,1
10	1,06	1,05	0,98	0,92	0,79	0,76	0,71	0,65	1,6	1,6	1,6	1,6	4,6	15,8	0,82	5,48	3,45	32,1	32,1
	1,09	1,08	1,01	0,95	0,82	0,79	0,74	0,69	1,61	1,61	1,61	1,61	6	19,5	1,07	7,13	3,91	39,8	39,8

