



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

**ESCOLA DE MINAS – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM CONSTRUÇÃO METÁLICA - MECOM**



**INFLUÊNCIA DOS CUSTOS NA DEFINIÇÃO DAS  
LIGAÇÕES EM LONGARINAS METÁLICAS DE PONTES  
RODOVIÁRIAS MISTAS DE PEQUENO PORTE**

Ouro Preto, MG  
2017

Maikel Christian Drumond Mendes

**INFLUÊNCIA DOS CUSTOS NA DEFINIÇÃO DAS  
LIGAÇÕES EM LONGARINAS METÁLICAS DE PONTES  
RODOVIÁRIAS MISTAS DE PEQUENO PORTE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Construção Metálica do Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Construção Metálica.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Rovadávia Aline de Jesus Ribas

Ouro Preto, MG  
2017

M537i

Mendes, Maikel Christian Drumond.

Influência dos custos na definição das ligações em longarinas metálicas de pontes rodoviárias mistas de pequeno porte [manuscrito] / Maikel Christian Drumond Mendes. - 2017.

x, 60f.: il.: color; graf; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Donizetti Paula.

Coorientador: Prof. Dr. Rovadavia Aline de Jesus Ribas.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Mestrado Profissional em Construção Metálica.

Área de Concentração: Construção Metálica.

1. Pontes. 2. Construção mistas. 3. Seccionamento de longarinas. 4. Pontes-Projeto e construção. 5. Projeto de pontes- Custos. I. Paula, Geraldo Donizetti . II. Ribas, Rovadavia Aline de Jesus. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 624.014

Catálogo: [www.sisbin.ufop.br](http://www.sisbin.ufop.br)

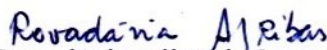
# **INFLUÊNCIA DOS CÚSTOS NAS DEFINIÇÕES DAS LIGAÇÕES EM LONGARINAS METÁLICAS DE PONTES RODOVIÁRIAS MISTAS DE PEQUENO PORTE**

**AUTOR: MAIKEL CHRISTIAN DRUMOND MENDES**

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em primeiro de setembro de 2017, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Geraldo Donizetti de Paula, D. Sc. – UFOP (Presidente)



Profa. Rovadavia Aline de Jesus Ribas, D. Sc. – UFOP



Prof. Flávio Teixeira de Souza, D. Sc. – IFMG



Prof. Mário Luís Cabello Russo, D. Sc. – IFMG

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela graça dessa oportunidade.

A minha família pelo apoio, em especial a minha esposa Rinara, meus filhos Guilherme e Gabriela.

A meus pais, irmãos, sogros e amigos que viveram comigo um pouco dessa história de luta.

Aos amigos e companheiros de mestrados, em especial ao Thales e Marcos, por todos os momentos que passamos juntos nessas estradas, por todo apoio que me deram nos momentos difíceis frente a esses vários anos de luta em busca desta conquista.

A toda equipe do MECOM, em especial aos meus professores e orientadores Geraldo Donizetti e Rovadavia Ribas, pelo apoio contínuo desde o início de meus estudos.

## **RESUMO**

Considerado em primeiro lugar o Brasil como grande potencial consumidor das obras de infraestrutura em função da carência existente, as pontes construídas em estruturas metálicas/mistas sempre tiveram destaque nesse seguimento de obra, principalmente em função de suas características relativas à leveza, produtividade e organização da obra, ou seja, obra leve, rápida e limpa. Porém com a evolução e o desenvolvimento crescente do concreto pré-moldado, as empresas de produção e transformação/beneficiamento de aço têm exercitado repetidamente com o intuito de manter o custo da construção metálica atrativa frente ao crescente mercado do concorrente concreto. Nesse trabalho será apresentado um estudo de caso com foco no direcionamento do projetista a uma análise mais produtiva, que compreende toda a composição do custo final do empreendimento de construções de pontes/viadutos em estrutura mista de pequeno porte. Com mais ênfase, pretende-se avaliar a influência da definição do tipo de ligação e do seccionamento das longarinas dos tabuleiros de uma ponte mista rodoviária no custo final do empreendimento, visando mostrar como essa influência é decisiva na escolha de uma concepção construtiva economicamente mais adequada e aprimorar a execução das etapas que envolvem todo processo da cadeia produtiva. O estudo ilustra de forma introdutória a concepção das obras metálicas, aborda o conceito das ligações e consolida as três principais etapas que formam o custo total do empreendimento, ou seja, a fabricação, o transporte e a montagem final nos canteiros de obras. Sendo assim, o trabalho revela de forma prática como se comportam os *drives* de custos em cada fase do empreendimento e como o projetista infere nessas variações através de sua escolha quanto à concepção do projeto.

Palavras-chaves: Pontes mistas de pequeno porte, ligações de pontes, seccionamento de longarinas, influência dos custos em projeto de pontes rodoviárias.

## **ABSTRACT**

Considering Brazil as a major potential consumer of infrastructure works due to the existing shortage, the bridges built in metallic/mixed structures were always highlighted in this work follow-up, mainly due to its characteristics related to the lightness, productivity and organization of the Light work, fast and clean. But with the evolution and growing development of precast concrete, steelmaking and processing companies have repeatedly exercised with the intention of keeping the cost of metal construction attractive in the face of the growing market of the concrete competitor. In this work, a case study will be presented focusing on the design of the designer to a more optimized analysis, which includes all the composition of the final cost of the bridges/viaducts construction project in a small mixed structure. With more emphasis, it is intended to evaluate the influence of the definition of the type of connection and the sectioning of the beam members of the trays of a mixed road bridge in the final cost of the project, however, to show how this influence is decisive in the choice of an economically constructive conception Optimizing the execution of the stages that involve all processes of the productive chain. The study illustrates in an introductory way the design of the metal works, addresses the concept of connections and consolidates the three main steps that make up the total cost of the project, manufacturing, transportation and final assembly on construction sites. Thus, the work reveals in a practical way how the cost drivers behave in each phase of the project and how the designer infers in those variations through their choice of project design.

Key words: Small mixed bridges, bridges connections, sectioning of stringers, costs influence in the road bridges project.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tabuleiro misto da Ponte de Sta. Margarida-Portugal.....	1
Figura 5 - Ponte Rodoviária do Rio Zhijinghe - China .....	9
Figura 6 - Ponte do Forte de São Elmo em Malta – Espanha .....	10
Figura 7 - Ponte Estaiada - Ponte da Passagem, Vitória - ES .....	10
Figura 8 - Ponte Pênsil Hercílio Luz – Florianópolis - SC .....	11
Figura 9 - Ponte Estaiada e Pênsil .....	11
Figura 10 - Ponte Ferroviária sobre o Rio Forth - Escócia .....	12
Figura 11 - Viaduto Parque da Maia – Portugal .....	13
Figura 12 - Vista em corte transversal do tabuleiro ortotrópico .....	14
Figura 13 - Montagem de tabuleiro ortotrópico – Ponte JK –Brasília .....	14
Figura 14 - Esquema de construção do tabuleiro misto .....	15
Figura 15 - Tabuleiro da Ponte da Passagem – Vitória ES, fase de montagem	15
Figura 16 - Identificação dos parafusos A-325 e A-490 .....	17
Figura 17 - Transmissão de esforços por atrito .....	19
Figura 18 - Transmissão de esforços por contato .....	19
Figura 19 - Representação esquemática considerando três estágios de carregamento em uma conexão parafusada (a), (b), (c); força cortante nos parafusos devido ao estágio de carregamento (d1) a (d6) .....	19
Figura 20 - Emenda de vigas imagem Cypecad Metálica 3D.....	20
Figura 21 - Tensões na emenda da viga.....	20
Figura 22 - Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo.....	21
Figura 23 - Exemplo de soldas em chanfro.....	23
Figura 24 - Emenda de viga com solda em chanfro (a); emenda de viga com chapas e solda de filete (b).....	26
Figura 25 - Vista superior das longarinas, transversinas e ligações (dimensões em mm) .....	27
Figura 26 - Vista isométrica das longarinas, transversinas e ligações.....	28
Figura 27 - Vista lateral do esquema de partições das longarinas.....	28
Figura 28 - Detalhe da emenda - Ligação parafusada .....	29
Figura 29 - Detalhe do perfil soldado das longarinas do viaduto.....	36
Figura 30 - Máquina de fabricação de perfis soldados - (MSA001).....	37
Figura 31 - Linha de acabamento de fabricação de perfis soldados .....	38



Figura 32 - Içamento de viga - Estados Unidos.....	38
Figura 33 - Vista superior explodida do viaduto – Esquema de montagem....	40
Figura 34 - Vista isométrica explodida do viaduto (a) – Detalhe de todos os componentes .....	41
Figura 35 - Vista isométrica explodida do viaduto (b) – Detalhe de todos os componentes .....	41
Figura 36 - Vista superior explodida do viaduto – Esquema de Montagem (Longarinas sem emendas).....	42
Figura 37 - Vista isométrica explodida do viaduto – Detalhe de todos os componentes (Longarinas sem emendas) .....	43
Figura 38 - Vista isométrica explodida do viaduto – Detalhe de todos os componentes (Longarinas sem emendas) .....	43
Figura 39 - Vista superior com estaque das ligações – Projeto original.....	47
Figura 40 - Vista isométrica explodida do viaduto com detalhe de todos os componentes – Projeto original .....	47
Figura 41 - Vista superior explodida do viaduto – Esquema de montagem de novos conjuntos .....	48
Figura 42 - Vista isométrica explodida do viaduto – Esquema de montagem de novos conjuntos – Detalhe de todos os componentes .....	49
Figura 43 - Vista isométrica explodida do viaduto – Esquema de montagem de novos conjuntos – Detalhe de todos os componentes .....	49
Figura 44 - Transporte de conjuntos da fábrica para o canteiro de obras da ponte transnordestina - PA .....	51

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Características e aplicações de processos de soldagem.....	22
Tabela 2 - Condições de emprego dos processos de soldagem.....	23
Tabela 3 - Detalhamento dos custos totais do projeto original.....	32
Tabela 4 - Detalhamento dos custos totais considerando ligações soldadas para o projeto original.....	33
Tabela 5 - Dimensionamento e qualificação de escolta, para um conjunto transportador.....	39
Tabela 6 - Resumo dos custos - Projeto original.....	42
Tabela 7 - Detalhamento dos custos totais do projeto considerando as longarinas sem emendas.....	44
Tabela 8 - Listagem de materiais – Projeto original.....	48
Tabela 9 - Listagem de materiais – Formação de conjuntos – Projeto alterado.....	50
Tabela 10 - Detalhamento dos custos totais do projeto considerando formação de conjuntos.....	52
Tabela 11 - Resumo dos custos totais da obra levantados pelas hipóteses ...	54

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1- Distribuição dos custos - Junta parafusada.....	34
Gráfico 2- Distribuição dos custos - Junta soldada.....	34
Gráfico 3 - Distribuição dos custos - Junta parafusada.....	45
Gráfico 4 - Distribuição dos custos - Longarinas inteiras.....	45
Gráfico 5 - Distribuição dos custos - Junta parafusada.....	53
Gráfico 6 - Distribuição dos custos - Conjuntos.....	53
Gráfico 7 - Variação dos custos - Resultado do estudo de caso.....	55

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
1. Introdução .....	1
1.1. Considerações Iniciais .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo Geral .....	2
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
1.3. Justificativa .....	2
1.4. Metodologia .....	4
1.5. Estrutura do Trabalho .....	4
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>6</b>
2. Estruturas das Pontes .....	6
2.1. Estruturas Mistas .....	6
2.2. Superestrutura das Pontes .....	7
2.2.1. Tipos Mais Comuns de Superestruturas .....	7
2.2.2. Superestrutura em Pórtico .....	8
2.2.3. Superestrutura em Arcos .....	8
2.2.4. Superestrutura Suspensa por Cabos .....	10
2.2.5. Superestrutura Treliçada .....	12
2.2.6. Superestrutura de Alma Cheia .....	12
2.3. Tipos de Tabuleiro .....	13
2.3.1. Tabuleiro Ortotrópico .....	14
2.3.2. Tabuleiro de Concreto .....	15
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>16</b>
3. Ligações em Pontes .....	16
3.1. Conceitos Gerais .....	16
3.2. Ligações Parafusadas – Emendas em Vigas .....	16
3.3. Ligações Soldadas – Emendas em Vigas .....	20
3.4. Considerações para Dimensionamento de Emenda Soldada .....	25

<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>27</b>
4. Estudo de Caso: Definição das Partições das Longarinas .....	27
4.1. Apresentação do Estudo de Caso: .....	27
4.2. Desenvolvimento do Estudo de Caso.....	30
4.2.1. Hipótese 1 – Comparação dos Custos Entre as Ligações Parafusadas e Soldadas Considerando a Concepção do Projeto Original .....	31
4.2.2. Hipótese 2 – Eliminação do Seccionamento das Longarinas.....	35
4.2.3. Hipótese 3 - Avaliação da Concepção do Projeto – Fabricação, Transporte e Montagem de Conjuntos Maiores.....	46
4.3. Resumo da Variação dos Custos Frente às Hipóteses Levantadas .....	54
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>55</b>
5. Considerações Finais .....	55
5.1. Análise dos Resultados e Conclusão .....	55
5.2. Trabalhos Futuros .....	57
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>61</b>

# CAPÍTULO 1

## 1. Introdução

### 1.1. Considerações Iniciais

O conceito de ponte pode ser dado como a conectividade natural ou construção capaz de permitir a transposição aérea de um obstáculo estabelecendo a continuidade de uma via de qualquer natureza. As pontes sempre foram referências que além de conectar vias, deixaram marcas da evolução do homem ao longo da história. Portanto, as pontes mudam a paisagem, marcam a história, reduzem a distância e conectam lugares e pessoas.

Perante a importância aqui exposta, fazem-se necessários estudos para aprimorar sua construção. Sendo assim, nesse trabalho são abordadas metodologias para melhoria dos projetos de pontes mistas no que se refere às ligações entre as longarinas das estruturas metálicas de sustentação do tabuleiro de concreto, bem como suas partições. É importante ressaltar que o sistema estrutural misto formado com a união de vigas de aço e laje de concreto é utilizado como solução para pontes de médio e pequeno vão.

O sistema estrutural é formado por um conjunto de vigas denominadas longarinas e essa denominação é dada quando o vigamento segue o sentido longitudinal da via, e transversinas quando o vigamento tem o sentido transversal ao sentido da via. Esse sistema é conectado formando uma estrutura intertravada. A ponte se torna uma estrutura mista quando é inserida uma laje de concreto completamente afixada na parte superior das vigas por meio de conectores de cisalhamento (Figura 1).

Figura 1 - Tabuleiro misto da Ponte de Sta. Margarida-Portugal



Fonte: A2P CONSULT (2010)

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral desse trabalho é avaliar a influência da definição do tipo de ligação (parafusada ou soldada) e do seccionamento das longarinas de sustentação dos tabuleiros de uma ponte mista rodoviária no custo da ponte, visando mostrar como essa influência é decisiva na escolha de uma concepção construtiva economicamente mais adequada aprimorando a execução das etapas que envolvem todo processo da cadeia produtiva, que são a fabricação dos perfis estruturais de aço, seu transporte até a ponte e a montagem da estrutura.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos listam-se:

- Realizar um estudo sobre as estruturas das pontes mistas, superestruturas de pontes e tipos de tabuleiros mais comumente empregados;
- Realizar um estudo sobre as ligações (parafusadas e soldadas) empregadas em longarinas de sustentação dos tabuleiros de pontes rodoviárias mistas;
- Avaliar as ligações entre as juntas das longarinas, com o intuito de melhorar seu fracionamento já na concepção do projeto;
- Avaliar também a relação custo e benefício, considerando todas as etapas do processo, ou seja, fabricação, transporte e montagem das longarinas.

## **1.3. Justificativa**

O Brasil é um país continental, com uma infraestrutura rodoviária deficitária e em pleno desenvolvimento. Segundo informações publicadas no *site* Logística Brasil em 09 de junho de 2015, pode-se verificar o capital de R\$ 66,1 bilhões a ser aplicado nesse seguimento nos próximos cinco anos.

No *site* Logística Brasil em 09 de junho de 2015, foi divulgado um pacote de investimentos conforme planejamento do Governo Federal.

Foi anunciada pelo Governo Federal a segunda etapa do PIL dando continuidade ao processo de modernização da infraestrutura de transportes do país e visando também a retomada do crescimento da economia. Esta etapa prevê a concessão de aproximadamente 7 mil quilômetros. O investimento será da ordem de R\$ 66,1 bilhões, focado na ampliação de capacidade e na melhoria das condições e aumento da segurança das rodovias, sendo R\$ 50,8 referentes a novas concessões a serem realizadas ao longo de 2015 e 2016 e R\$ 15,3 bilhões em novos investimentos em concessões já existentes.

Considerando que o segmento de construção de pontes metálicas rodoviárias tem grande potencial de competitividade e crescimento em relação a seu concorrente direto, o concreto, o tema aqui apresentado enfatiza as importantes definições a serem consideradas no projeto, visando o menor custo do empreendimento. Portanto, o projetista poderá avaliar a metodologia de construção envolvendo as três principais etapas, a fabricação, o transporte e os custos nos canteiros de obras.

Para se definir o menor custo do empreendimento envolvendo essas etapas, é preciso entender que as partições das estruturas de sustentação do tabuleiro podem ser as causas mais impactantes nesse contexto.

No Brasil existem poucas empresas com *expertise* no desenvolvimento de projeto, fabricação e montagem das pontes metálicas rodoviárias. Essa *expertise* está pautada na melhoria/customização de todos os itens do projeto.

A análise das ligações das longarinas e as modificações nos projetos conceituais constantemente têm sido alvo dessas empresas, principalmente quando são contratadas somente para fabricar e montar a ponte, ou seja, o projeto não foi desenvolvido por elas.

Observa-se que os conceitos de como estabelecer as partições das estruturas do tabuleiro em pontes mistas não seguem uma metodologia integrada, capaz de resultar num custo ótimo considerando todo o empreendimento. Esse fator influencia diretamente no aumento do peso da estrutura e na diminuição da produtividade das fábricas e dos canteiros de obras.

#### **1.4. Metodologia**

A metodologia utilizada nesse trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre as estruturas das pontes mistas e características das ligações parafusadas e soldadas, sucedida de um estudo de caso aliado a uma pesquisa quantitativa no qual comparam-se os resultados econômicos do projeto de uma ponte rodoviária (viaduto), frente a outras hipóteses construtivas propostas distintas do projeto original.

A ponte/viaduto foco do estudo é construída sob o sistema estrutural misto (aço e concreto), de pequeno porte, desenvolvido por uma empresa projetista brasileira. Para essa pesquisa são utilizadas referências quantitativas fornecidas pela empresa Usiminas Mecânica, situada em Ipatinga (MG).

Primeiramente é realizada uma análise dos custos de fabricação, transporte e montagem de campo das peças estruturais metálicas considerando-se, no projeto original da ponte, que as ligações sejam parafusadas ou soldadas.

Em seguida, a partir das características dimensionais do projeto, da capacidade fabril e técnica estrutural para montagem do viaduto no campo e das condições de transporte das peças, é feita uma avaliação dos custos de produção, transporte e montagem do viaduto considerando as longarinas inteiras e depois seccionadas conforme projeto original.

Depois, avalia-se uma nova proposição de concepção de projeto em que a estrutura do viaduto é desmembrada em apenas dois conjuntos montados em fábrica, conectados no canteiro de obras por meio de transversinas centrais e sem o seccionamento das longarinas. Por fim, são comparados os custos dessas opções construtivas.

#### **1.5. Estrutura do Trabalho**

Ao longo deste primeiro capítulo foi apresentada a proposta do presente trabalho, incluindo objetivos, descrição e justificativa.

No capítulo 2 é feito um estudo sobre as estruturas das pontes com foco inicial em estruturas mistas entrando em detalhes em relação aos tipos de superestruturas e finalizando com a abordagem dos tipos de tabuleiros.



No capítulo 3 trata-se de uma revisão bibliográfica sobre as tipologias das ligações parafusadas e soldadas com intuito de clarificar as características positivas e negativas facilitando adotar a melhor escolha conforme o contexto da aplicação.

No capítulo 4 é apresentado um estudo de caso relativo a um projeto de uma ponte rodoviária de pequeno porte desenvolvido por uma grande empresa de projetos do Brasil, tendo-se levantado algumas alternativas construtivas com o intuito de comparar economicamente, avaliando-se todas as etapas de construção do empreendimento original frente às hipóteses levantadas.

Finalmente, no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais do trabalho e, em seguida, as referências e um anexo.

## CAPÍTULO 2

### 2. Estruturas das Pontes

#### 2.1. Estruturas Mistas

Segundo a norma EUROCODE 1 (2003), estrutura mista é “um elemento estrutural com os componentes de concreto e de aço estrutural ou de aço formado a frio, interconectados por conectores de cisalhamento, de modo a limitar o deslizamento longitudinal entre o concreto e aço e a separação de um componente a partir do outro.”

O comportamento das estruturas mistas depende diretamente do grau de interação entre os elementos que a constituem, ou seja, da interação entre viga de aço e laje de concreto por meio de conectores de cisalhamento.

Malite (1994) descreve que os primeiros estudos, quanto aos sistemas mistos aço-concreto, tiveram seu início na Inglaterra em 1914, impulsionados pelos ensaios realizados pela empresa *Redpath Brow and Company* relacionados com sistemas compostos para pisos.

Na década que compreende os anos de 1930 e 1940, de acordo com Viest, Fountain e Singleton (1958), inúmeras pontes foram projetadas e fabricadas utilizando-se o sistema misto, e, em 1944, o assunto foi descrito nas normas que na época eram denominadas *American Association of State Highway Officials* (AASHO), hoje conhecidas como *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 1996).

De acordo com Viest et al (1997), as primeiras vigas mistas em estudo eram construídas por um perfil de aço introduzido no interior do concreto, cuja interação era motivada pela adesão natural entre os diferentes materiais.

Paulatinamente, o sistema misto inicialmente utilizado foi sendo modificado por uma laje de concreto afixada na aba superior da viga de aço, e o desenvolvimento correlacionado à interação mecânica entre os materiais a cada dia foi aumentando substancialmente. A partir do início da década de 40, quase todos os estudos relacionados ao comportamento das vigas mistas sugeriam conectores mais eficientes, atualmente conhecidos como conectores de cisalhamento.

## 2.2. Superestrutura das Pontes

A definição da superestrutura de uma ponte é a parte inicial do projeto, portanto os fatores relativos à função, topografia do local, natureza do solo, estética, localização e os custos da obra devem ser amplamente estudados até a escolha da melhor solução a ser adotada.

Vitório (2002) relata que a superestrutura vence o vão necessário a ser transposto pela ponte e recebe diretamente as cargas provenientes do tráfego dos veículos, transmitindo-as aos pilares. É normalmente denominada de tabuleiro ou estrado, sendo composta de vigamento longitudinal (vigas principais ou longarinas), de vigamento transversal (transversinas) e das lajes superior e inferior (no caso de estrado celular).

### 2.2.1. Tipos Mais Comuns de Superestruturas

A concepção de uma superestrutura define a tipologia da ponte e conseqüentemente sua identidade. Segundo Pinho et al (2007), os tipos mais conhecidos de superestruturas são: vigas de alma cheia, vigas caixão, arcos, treliças, pórticos, estaiadas e pênséis, e, como objeto desse estudo, vigas mistas.

As superestruturas de vigas caixão são geralmente especificadas quando se projetam pontes em curva ou quando possuem grandes vãos, devido a sua estabilidade aerodinâmica e grande resistência à torção (Figura 2).

Figura 2 - Viga caixão mista



Fonte: MENDES (2010)

### 2.2.2. Superestrutura em Pórtico

A superestrutura apórticada é muito aplicada quando o terreno possui bom suporte de carga, uma vez que a carga de compressão é descarregada nas bases inclinadas. Nessa concepção, ocorre inversão no sentido dos momentos fletores. Aparecem momentos negativos nos pilares e esse efeito faz com que as vigas tenham restrição quanto a serem mistas em todo seu comprimento.

A característica mais expressiva dessa concepção está na esbeltez e arquitetura agradável, muito utilizada em vales (Figura 3).

Figura 3 - Viaduto apórticado – Inglaterra

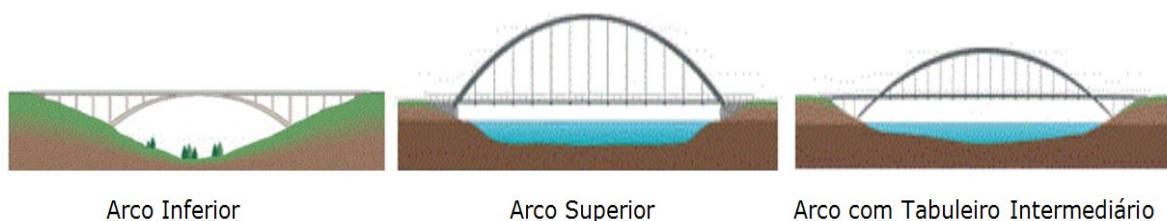


Fonte: WARWICKALLEN (2004)

### 2.2.3. Superestrutura em Arcos

Superestrutura em arcos é definida em três tipologias, arco inferior com tabuleiro superior, arco superior com tabuleiro inferior e arco com tabuleiro intermediário (Figura 4).

Figura 4 - Superestruturas em arco



Fonte: GENERALKNOLEDGES (2017)

Segundo Pinho e Bellei (2007), as superestruturas em arcos são econômicas na faixa de 60 a 500 metros e, para respeitar a estética e eficiência da solução, a relação da flecha/vão deve ser entre 1/5 ou 1/8.

A solução em arco inferior é amplamente utilizada em vales; o arco superior, quando existem restrições quanto ao gabarito inferior do terreno; e a solução de arco intermediário em função da estética e restrição à topografia do terreno (Figuras 5, 6 e 7).

Figura 5 - Ponte Luís I ou Luiz I – Portugal



Fonte: KACZOR (2009)

Figura 2 - Ponte Rodoviária do Rio Zhijinghe - China



Fonte: HIGHESTBRIDGES (2009)

Figura 3 - Ponte do Forte de São Elmo em Malta – Espanha



Fonte: ENGENHARIA CIVIL (2017)

#### **2.2.4. Superestrutura Suspensa por Cabos**

As superestruturas suspensas por cabos são utilizadas como solução viável a partir de vãos de 300 m. As soluções em cabos podem variar em três tipologias como mostrado nas Figuras 8, 9 e 10.

Vitório (2002) descreve que nas pontes estaiadas o tabuleiro é suspenso e suportado por meio de cabos inclinados fixados em torres (Figura 8). O tabuleiro, geralmente metálico, possui grande rigidez à torção, de modo a minimizar os movimentos vibratórios causados pela ação transversal do vento.

Figura 4 - Ponte Estaiada - Ponte da Passagem, Vitória - ES



Fonte: ARQUIVO USIMINAS MECÂNICA (2007)

Segundo Vitório (2002) as pontes pênséis são constituídas por cabos dispostos parabolicamente e pendurais verticais (Figura 9). Não são estruturas apropriadas para concreto e por isso são executadas geralmente em vigamentos metálicos suspensos em cabos portantes de aço. Os vigamentos, que podem ser em treliças ou vigas de alma cheia, devem ter grande rigidez à flexão e principalmente à torção, de modo a minimizar os efeitos dos movimentos vibratórios transversais que podem causar desconforto aos usuários ou mesmo risco à estrutura.

Figura 5 - Ponte Pênsil Hercílio Luz – Florianópolis - SC



Fonte: BLOG BRASIL – HERCILIO LUZ (2017)

Figura 6 - Ponte Estaiada e Pênsil



Fonte: PINHO E BELLEI (2007)

### 2.2.5. Superestrutura Treliçada

As superestruturas treliçadas possuem duas grandes vantagens: solicitações somente no sentido axial das barras (tração e compressão), e outra por permitir alturas maiores com menor peso.

Segundo Pinho et al (2007), as treliças se tornam econômicas com altura variando  $1/8$  a  $1/15$  do vão. São geralmente utilizadas onde não há uma exigência estética e ou pintura, são empregadas em pontes ferroviárias usando aço patinável, como por exemplo o aço ASTM A588.

As desvantagens estão associadas ao elevado custo de fabricação, pintura e manutenção (Figura 11).

Figura 7 - Ponte Ferroviária sobre o Rio Forth - Escócia



Fonte: PINTERESTE (2017)

### 2.2.6. Superestrutura de Alma Cheia

As superestruturas de alma cheia são formadas por perfis laminados ou soldados, tendo como possibilidade sua concepção em pontes simples ou mista, quando associadas à laje. Pinho e Bellei (2007), descreve que para



vãos acima de 20 m, a solução mista torna-se mais viável em função da possibilidade de variação nas dimensões das mesas, ou seja, nas espessuras e larguras.

A grande vantagem da solução em vigas de alma cheia está correlacionada com sua simplicidade e baixo custo de fabricação, principalmente se comparado com as treliças. Outra vantagem na utilização dessa concepção está na possibilidade de redução da espessura da alma por meio da inserção de enrijecedores longitudinais e transversais.

Na maioria das soluções que adotam superestruturas em vigas de alma cheia, as longarinas são espaçadas e ligadas entre si por transversinas ou travamentos (Figura 12).

Figura 8 - Viaduto Parque da Maia – Portugal



Fonte: MENDES (2010)

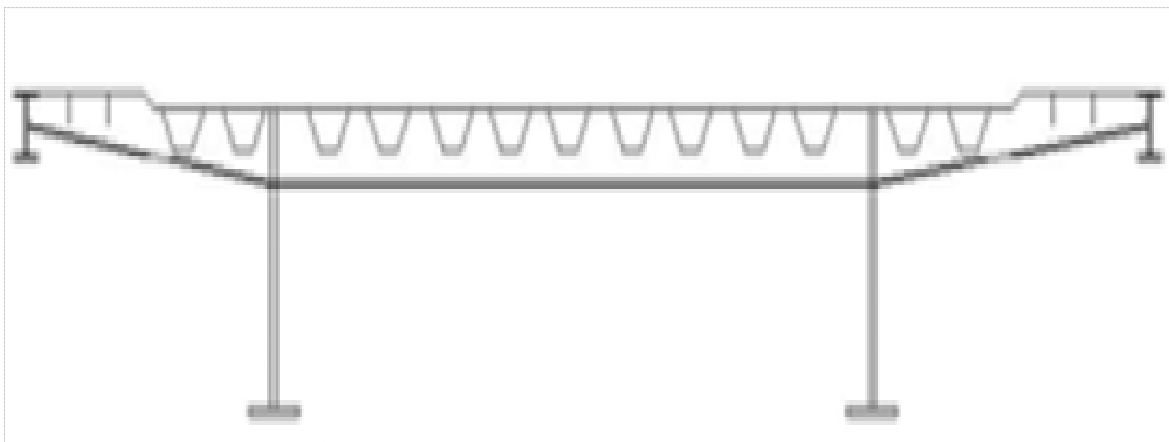
### **2.3. Tipos de Tabuleiros**

Os tabuleiros são aplicados em todos os tipos de superestruturas, portanto apresentam-se os dois tipos mais empregados, que são o tabuleiro ortotrópico e o de concreto.

### 2.3.1. Tabuleiro Ortotrópico

Os tabuleiros ortotrópicos conforme Pinho e Bellei (2007), são formados por uma placa enrijecida de aço (ortotrópica). Possuem um consumo de aço muito alto, o que os torna pouco interessantes para aplicação em vãos médios e pequenos. Esse tabuleiro é recomendado para aplicação em grandes vãos, onde a solução adotada reduz consideravelmente o peso do tabuleiro (Figuras 13 e 14).

Figura 9 - Vista em corte transversal do tabuleiro ortotrópico



Fonte: PINHO E BELLEI (2007)

Figura 10 - Montagem de tabuleiro ortotrópico – Ponte JK –Brasília

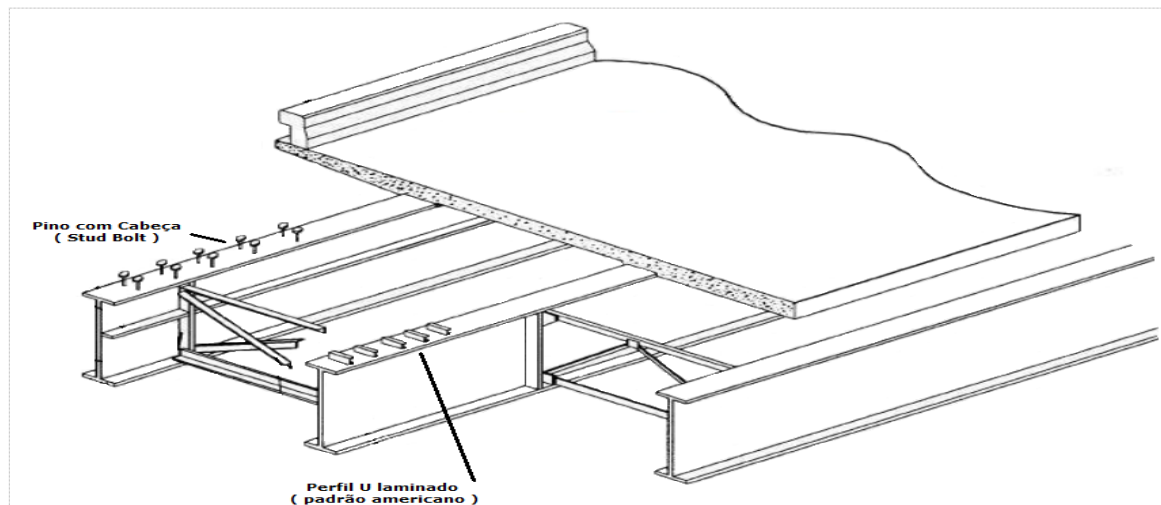


Fonte: ARQUIVO USIMINAS MECÂNICA (2002)

### 2.3.2. Tabuleiro de Concreto

Pinho e Bellei (2007), relata que os tabuleiros construídos em concreto são mais eficientes que os simplesmente metálicos, principalmente para médios e pequenos vãos, pois a interatividade entre os materiais, vigas metálicas e laje de concreto, forma uma estrutura mista com propriedades favoráveis resultando numa melhor relação custo benefício (Figuras 15 e 16).

Figura 11 - Esquema de construção do tabuleiro misto



Fonte: MENDES, (2010)

Figura 12 - Tabuleiro da Ponte da Passagem – Vitória ES, fase de montagem



Fonte: ARQUIVO USIMINAS MECÂNICA (2006)

## **CAPÍTULO 3**

### **3. Ligações em pontes**

#### **3.1. Conceitos Gerais**

A norma EUROCODE 1 (2003), faz uma distinção entre "conexão" e "junta". A definição do termo "conexão" é dada como o local em que dois ou mais elementos se encontram. Para fins de projeto, pode-se dizer que ela é a ligação necessária durante a transferência das forças e momentos internos relevantes em uma estrutura.

A "junta" é definida como a zona onde dois ou mais membros são interligados. Para fins de projeto, pode-se dizer que ela é a representação do comportamento durante a transferência das forças internas e momentos entre membros conectados. Uma junta pode conter várias ligações individuais, como exemplo mais simples, uma emenda por talas nas conexões de alma e aba. Tradicionalmente em pontes, referências têm utilizado os termos "conexões" e "emendas", o termo "junta" tem sido pouco aplicado..

Valenciani (1997) relata que as ligações estruturais são constituídas por dois tipos de componentes:

- a) os elementos de ligação, que são componentes que facilitam ou que permitem a transmissão dos esforços oriundos da estrutura, como enrijecedores, as chapas de nó, entre outros;
- b) os dispositivos de ligação, que são os componentes que proporcionam a união entre os elementos de ligação e as partes da estrutura que se deseja conectar, sendo que dentre estes componentes têm-se as soldas e os conectores.

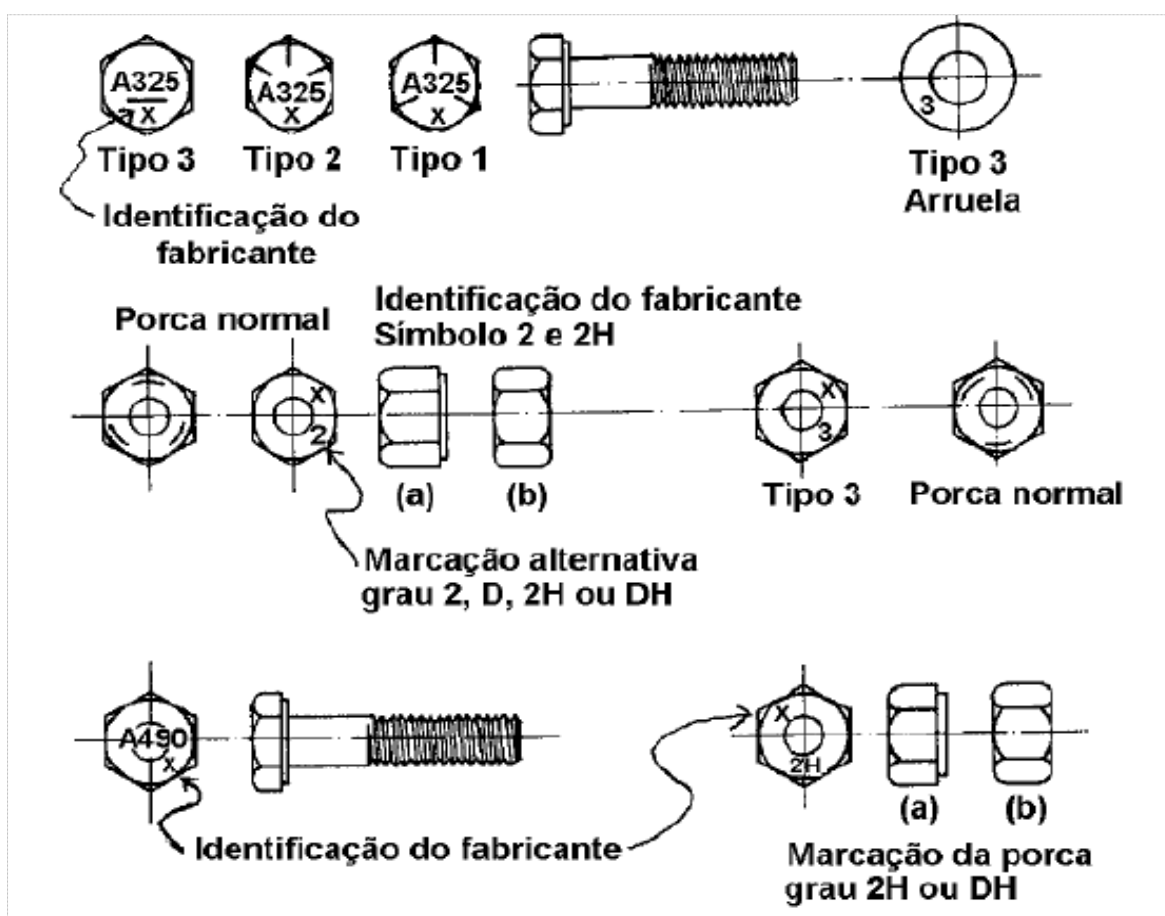
#### **3.2. Ligações Parafusadas – Emendas em Vigas**

Valenciani (1997) descreve alguns componentes de ligação e apresenta o comportamento dos parafusos e sua respectiva resistência, ressaltando os tipos existentes e as características principais dos conectores. Conforme esse autor, os parafusos para estruturas se dividem em parafusos comuns e

parafusos de alta resistência, sendo, o ASTM A307 o parafuso comum mais utilizado. Esses parafusos são confeccionados com aço baixo carbono e possuem uma resistência mínima à tração de 415 MPa.

Valenciani (1997) *descreve que* os parafusos ASTM A325 são de médio carbono e temperados, possuem alta resistência para ligações com aço estrutural, tendo um limite de escoamento de aproximadamente 560 a 630 MPa. Os parafusos ASTM A490 são de aços ligados e termicamente tratados, com um limite de escoamento entre 790 a 900 MPa aproximadamente, isso dependendo do diâmetro. Na Figura 17 mostra-se a identificação dos parafusos A325 e A490. Já os parafusos ASTM A449 além de serem termicamente tratados podem ser galvanizados a quente e são ocasionalmente usados quando a aplicação exige diâmetros entre 38 e 76 mm.

Figura 13 - Identificação dos parafusos A-325 e A-490



Fonte: VALENCIANI (1997)

Valenciani (1997) destaca dois pontos como importantes para uma conexão perfeita entre uma junta. O primeiro relacionado ao perfil da rosca e as tolerâncias alcançadas em sua produção, sem distinção, tanto para parafusos de alta resistência quanto para os comuns. Outro ponto está relacionado aos componentes complementares, porcas e arruelas, que, conforme especificação, devem resistir às intempéries e também ser em aço compatível, porcas em ASTM A563 e arruelas em ASTM F436.

De acordo com Valenciani (1997), parafusos ASTM A449 são indicados em situações em que a força é transmitida pelo atrito mobilizado entre as chapas (Figura 18) ou onde a força é transmitida pelo contato do corpo do parafuso com a parede do furo (Figura 19).

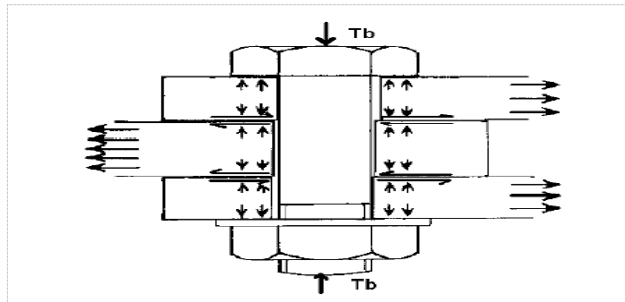
De acordo com o *Research Council on Structural Connections* (RCSC, 1985), quando ambas as forças atuam nas chapas de ligação sobre um parafuso, surge tensão de cisalhamento, e a interação pode ser convenientemente expressa como uma solução elíptica, que inclui os elementos do parafuso sob tensão de cisalhamento com atuação de tensão no parafuso.

Para Valenciani (1997), em ligações parafusadas, cuja força resultante é perpendicular ao eixo dos parafusos, a transmissão dessa força ocorre por meio de dois mecanismos: o atrito mobilizado entre as peças e o contato do corpo dos parafusos nos respectivos furos.

Analisando o comportamento quanto à resistência de uma conexão onde vários parafusos são alinhados, sendo a conexão submetida a um carregamento crescente, observam-se as seguintes fases de comportamento:

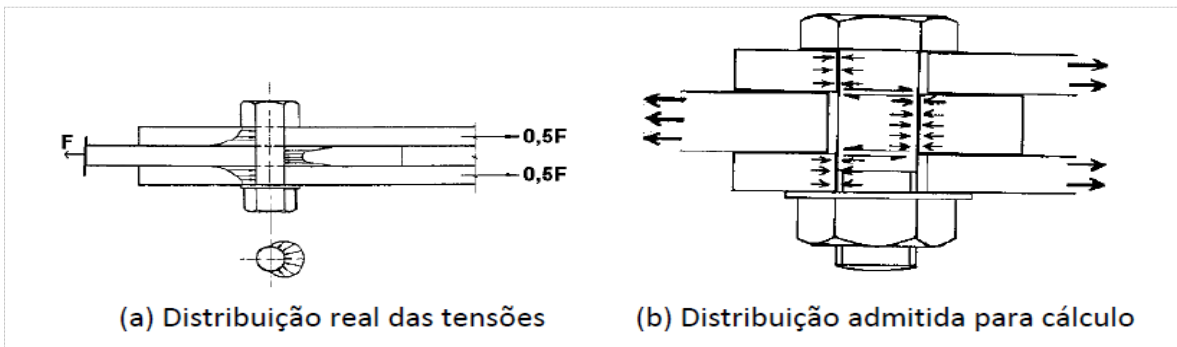
- a) inicialmente, nas extremidades a força é transmitida pelo atrito mobilizado, portanto, não há ocorrência de deslizamentos (Figura 20a);
- b) quando o atrito nas extremidades é vencido, ocorre o contato dos parafusos na parede dos furos (Figura 20b);
- c) aumentando-se a força, a zona de deslizamento movimenta para a seção central da conexão, até que a resistência global ao atrito seja vencida (Figura 20c);
- d) na sequência, os parafusos e o metal base das extremidades vão sofrendo grandes deformações e atingem a plastificação, conforme mostram as forças cortantes apresentadas nos gráficos da Figura 20d.

Figura 14 - Transmissão de esforços por atrito



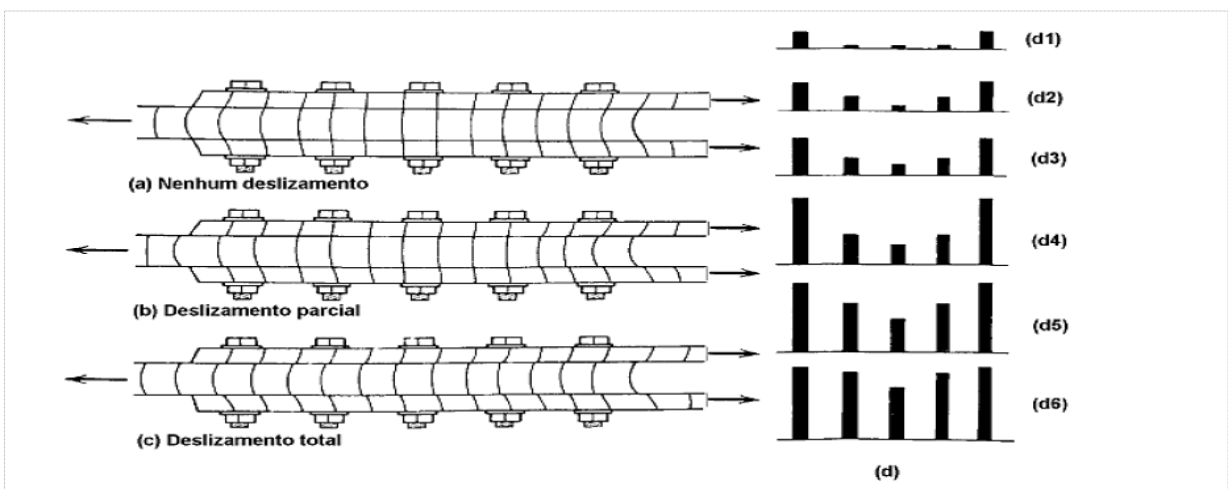
Fonte: VALENCIANI (1997)

Figura 15 - Transmissão de esforços por contato



Fonte: VALENCIANI (1997)

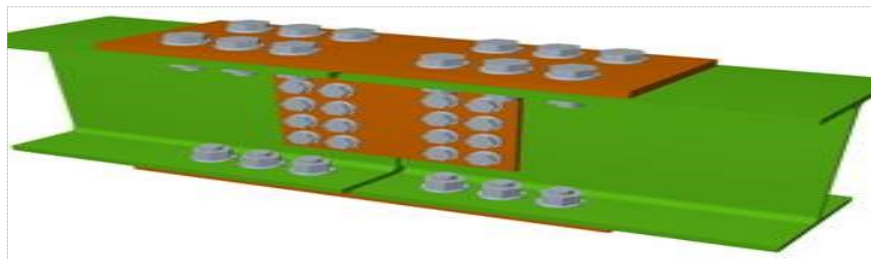
Figura 16 - Representação esquemática considerando três estágios de carregamento em uma conexão parafusada (a), (b), (c); força cortante nos parafusos devido ao estágio de carregamento (d1) a (d6)



Fonte: VALENCIANI (1997)

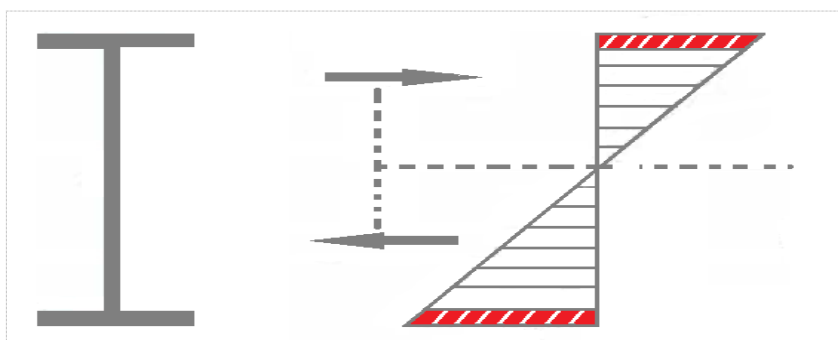
Nas Figuras 21 e 22, mostram-se esquemas representativos de uma emenda parafusada de longarinas de pontes, e as tensões nas emendas das vigas.

Figura 17 - Emenda de vigas imagem Cypecad Metálica 3D



Fonte: MULTIPLUS (2017)

Figura 18 - Tensões na emenda da viga



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

### 3.3. Ligações Soldadas – Emendas em Vigas

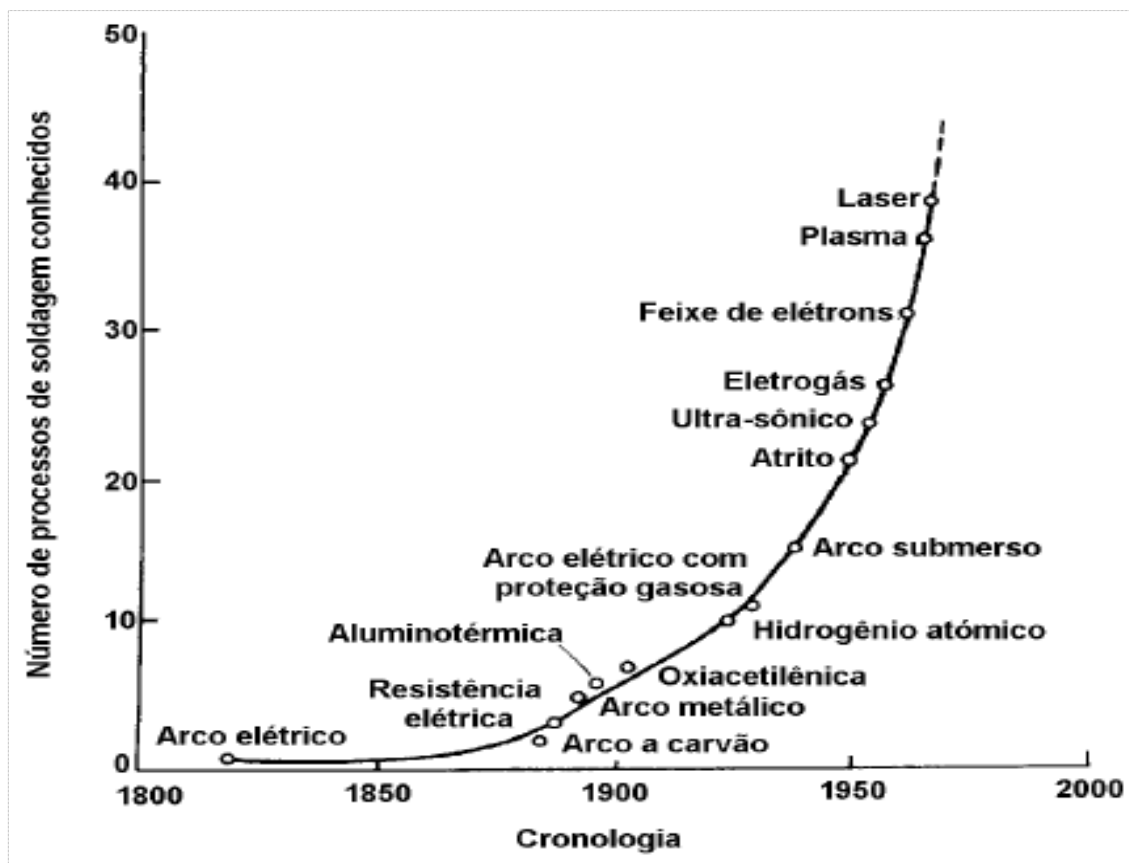
A soldagem, conforme Quites e Dutra (1979), pode ser aplicada basicamente em reparação e fabricação. Durante muito tempo a soldagem foi um processo somente utilizado em reparação e, após 1950, ocorreu sua aplicação em fabricações que exigem qualidade estrutural. Sendo assim, esses autores definem soldagem como a operação que visa a união de duas peças, introduzindo-se material para preenchimento na junta na conexão, mantendo-se a continuidade de suas propriedades químicas e físicas. Esse processo é possível pela utilização de energia elétrica, ou mais especificamente, de



corrente elétrica, que produz fusão entre o material base (peça) e o material adicionado.

Conforme Cooper (1985), os tipos de conexões mais utilizadas em fábricas são as soldadas, com crescimento também em montagens de campo. Se comparado com a década de 30, houve uma mudança considerável, pois o tipo mais comum de conexão nessa época era a rebitada. Entretanto, progressivamente essa aplicação foi substituída por parafusos e soldas devido ao avanço nas duas tecnologias. A soldagem tem um aspecto importante nesse contexto, pois os processos vêm evoluindo com uma tendência cada vez maior quanto à melhoria na aplicabilidade, aumento da produtividade e redução dos custos. Os processos de soldagem evoluem exponencialmente, conforme mostrado na Figura 23.

Figura 19 - Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo



Fonte: Adaptada de WAINER; BRANDI; MELLO (1992)

Wainer, Brandi e Mello (1992) destacam que cada processo de soldagem possui suas delimitações e uma análise adequada determinará suas

aplicabilidade. Na Tabela 1 apresentam-se de forma geral as vantagens, desvantagens e aplicação dos processos mais conhecidos de soldagem. E na Tabela 2, as condições de emprego dos processos de soldagem.

Tabela 1 - Características e aplicações de processos de soldagem

Processo	Vantagens	Desvantagens	Emprego
Eletrodo revestido (SMAW)	Grande versatilidade no projeto de junta e na posição de soldagem. Baixo custo. Uniões com excelentes propriedades. Não exige grandes ajustes da estrutura.	Mão-de-obra habilidosa. Frequente mudança de eletrodos. Na soldagem com várias camadas é necessário remover a escória em cada passe.	Processo mais usado na fabricação e na manutenção.
Arco submerso (SAW)	Processo automático. Alta taxa de deposição	Somente na posição plana ou horizontal. Restrito aos aços. Cuidado no posicionamento da junta.	Solda de topo ou em ângulo com mais de 1 m de comprimento e 5 a 50 mm de espessura.
TIG	Grande versatilidade manual ou automática, tipo de junta, posição de soldagem. Soldas com elevada qualidade. Adequado para metais ferrosos e não ferrosos.	Elevado custo de consumíveis. Mão-de-obra habilidosa. Soldagem com várias camadas em solda de topo com espessura acima de 5 mm. Inadequada para utilização em locais abertos.	Passe da raiz em aços ligados. Usado em união de não-ferrosos e inoxidáveis.
MIG gás inerte	Solda com alta qualidade para a maioria das ligas. Alta taxa de deposição. Processo semi ou totalmente automatizado.	Custo elevado do gás inerte. Mão-de-obra habilidosa. Cuidado com o posicionamento da junta. Inadequada para utilização em locais abertos.	Usado em aços inoxidáveis e ligas não-ferrosas.
MAG-CO <sub>2</sub> com transferência por borrifo	Elevada penetração. Alta taxa de deposição. Baixo custo dos gases.	Posição plana. Somente para aços-carbono e de baixa liga com espessura de 6 mm. Cuidado com o posicionamento da junta. Inadequada para utilização em locais abertos.	Usado para aços-carbono e de baixa liga. Para grandes produções e soldas de qualidade.
MIG pulsado	Processo semi-automático. Todas as posições de soldagem. Aplicado a maioria das ligas e espessuras. Qualidade de solda muito boa.	Equipamento complexo. Custo moderado do processo. Inadequada para utilização em locais abertos.	Usado principalmente em soldagem de aço-carbono, inox e não-ferrosos.
Eletro-escória	Soldagem automática com alta velocidade. Alta taxa de deposição. Usado em aço-carbono e de baixa liga c/ espessura acima de 50mm.	Posição vertical de soldagem. Solda e a zona afetada pelo calor com estruturas grosseiras, exigindo tratamento térmico após soldagem. Cuidado na montagem da estrutura.	Soldagem de chapas grossas de aço.

Adaptada de WAINER; BRANDI; MELLO (1992)

Tabela 2 - Condições de emprego dos processos de soldagem

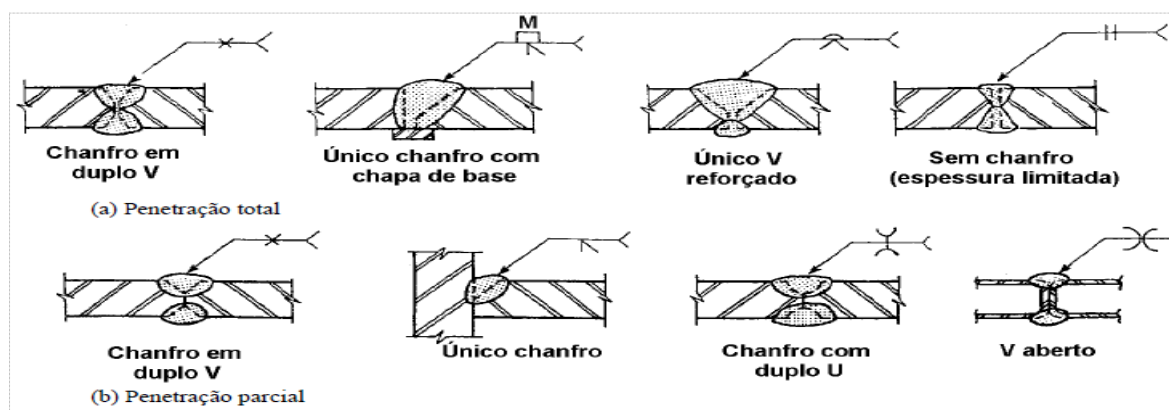
Materiais	Espessuras	Eletrodo revestido	Arco submerso	MIG ou MAG	FCAW	TIG	Eletro escória
Aço-carbono	até 3 mm	x	x	x		x	
	3 a 6 mm	x	x	x	x	x	
	6 a 19 mm	x	x	x	x		
	acima de 19 mm	x	x	x	x		x
Aço de baixa liga	até 3 mm	x	x	x		x	
	3 a 6 mm	x	x	x	x	x	
	6 a 19 mm	x	x	x	x		

Fonte: Adaptada de WAINER; BRANDI; MELLO (1992)

Como recorte delimitado nesse trabalho, será abordada a soldagem em chanfro, cuja principal aplicação se estabelece na conexão de perfis estruturais alinhados no mesmo plano, ou seja, em emenda de vigas.

Gaylord, Gaylord e Stallmeyer (1992) relatam que a soldagem em chanfro é realizada no canal, com aberturas formando juntas chanfradas entre as duas partes da ligação. As ligações soldadas nesse contexto podem ser caracterizadas como: soldas de penetração parcial ou total. Em alguns casos, a soldagem de penetração parcial é aplicada, principalmente, quando as solicitações permitirem que o material seja parcialmente preenchido mantendo a resistência necessária. Nessa especificação a solda é menos profunda que a espessura da parte ligada. Na especificação quanto à penetração total, todo o canal entre os materiais é preenchido, e, para se ter certeza da eficácia do processo, muitas vezes são necessários ensaios de ultrassom ou radiografia para se constatar que não existem imperfeições nesse preenchimento. Alguns exemplos de soldas em chanfro são mostrados na Figura 24.

Figura 20 - Exemplo de soldas em chanfro



Fonte: COOPER (1985)

Quanto à definição das tipologias dos chanfros serem simples ou duplos, pode-se dizer que isso é uma relação entre o custo de preparação e o consumo de metal de solda. Conforme Quites e Dutra (1979), a definição de como será a preparação das extremidades a serem soldadas tem como finalidade a obtenção de uma junta adequada para a soldagem, considerando os seguintes aspectos: a) processo de soldagem; b) localização da soldagem; c) espessura do material e o tipo da junta; d) tensões e deformações resultantes; e) economia na preparação das faces soldadas e na quantidade de material de preenchimento depositado; f) natureza do material de base e a penetração que é necessária nas faces soldadas.

A especificação do processo de soldagem para união de vigas possui vantagens e desvantagens. Conforme destacado por Bellei (1994), dentre as vantagens podem-se citar:

- a) Economia direta de material, pois a soldagem aproveita totalmente o material, ou seja, a área líquida é igual a área bruta.
- b) As estruturas soldadas eliminam grandes quantidades dos elementos de ligação, como chapas e perfis auxiliares, se comparadas às estruturas parafusadas, principalmente em casos como pontes e treliças, sendo possível economizar mais de 15% do consumo de materiais, ou seja, redução do peso do aço utilizado. Ressalta-se que em pontes o peso próprio é um fator importante no dimensionamento de vigas de alma cheia.
- c) Estruturas soldadas são mais "rígidas", pois os elementos normalmente estão soldados diretamente um ao outro, diferentemente de conexões parafusadas, onde a união é feita por meio de chapas ou cantoneiras.
- d) Conexões soldadas usam uma quantidade menor de peças, tendo como resultado um menor tempo para detalhamento, fabricação e montagem.

Dentre as desvantagens de conexões soldadas podem-se citar, conforme Bellei (1994):

- a) Estruturas soldadas de grandes extensões sofrem uma redução no comprimento devido aos efeitos cumulativos de retração.
- b) Há necessidade da colocação de geradores quando a energia elétrica é insuficiente;

- c) Conexões soldadas são mais susceptíveis a falhas por fadiga, em comparação com conexões parafusadas.

### **3.4. Considerações para Dimensionamento de Emenda Soldada**

Valenciani (1997) relata, como critérios inerentes ao projeto, que uma emenda soldada deve ser projetada considerando os seguintes aspectos:

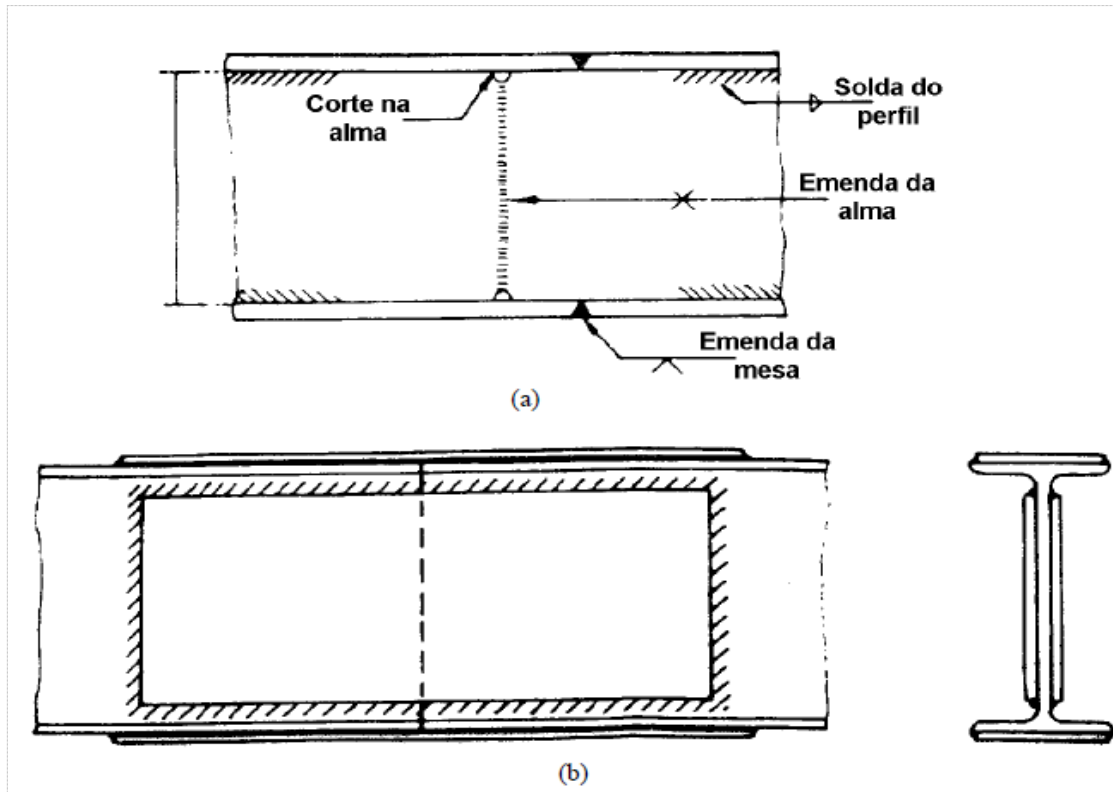
- a) Resistência idêntica ou maior às solicitações. Sendo essa uma condição de resistência aplicada ao dimensionamento de todos os elementos estruturais, tanto para barras quanto para conexões.
- b) Resistência idêntica ou maior a pelo menos 50% da capacidade da barra, sendo isso aplicado para condição de compatibilidade. Portanto o objetivo é evitar que a resistência da emenda seja inferior à capacidade da barra, sem depender diretamente do valor solicitado.

A solução deve amenizar as concentrações de tensões apresentando facilidades executivas. Portanto, devem-se evitar soldas de difícil execução, principalmente em locais com acesso complicado.

Valenciani (1997) também descreve que, para as emendas de vigas executadas no processo de soldagem, deve-se preferencialmente escolher solda em chanfro considerando penetração total. Essa escolha permite uma direta transmissão de esforços entre as partes conectadas, evitando-se, assim, concentração de tensão. Para vigas com dimensões maiores, é aconselhado soldar as mesas e almas com defasagem, como mostrado na Figura 25(a). Nesta tipologia de emenda, o sequenciamento da soldagem é fator importante, tanto para evitar esforços internos causados pelo resfriamento dos cordões de solda, bem como controlar as deformações oriundas dessas reações. Pfeil e Pfeil (1995) recomendam iniciar a soldagem nas mesas, depois executar a soldagem da alma e finalizar completando a soldagem nas junções entre alma e mesas.

As soldaduras de emendas podem ser executadas utilizando cobrejuntas e soldas de filete, conforme mostrado na Figura 25(b). Porém, além da perda na estética em geral, um fator negativo nesse processo é a concentração de tensão em vários pontos, o que deve ser evitado, principalmente nas situações que envolvem fadiga.

Figura 21 - Emenda de viga com solda em chanfro (a); emenda de viga com chapas e solda de filete (b)



Fonte: PFEIL; PFEIL (1995)

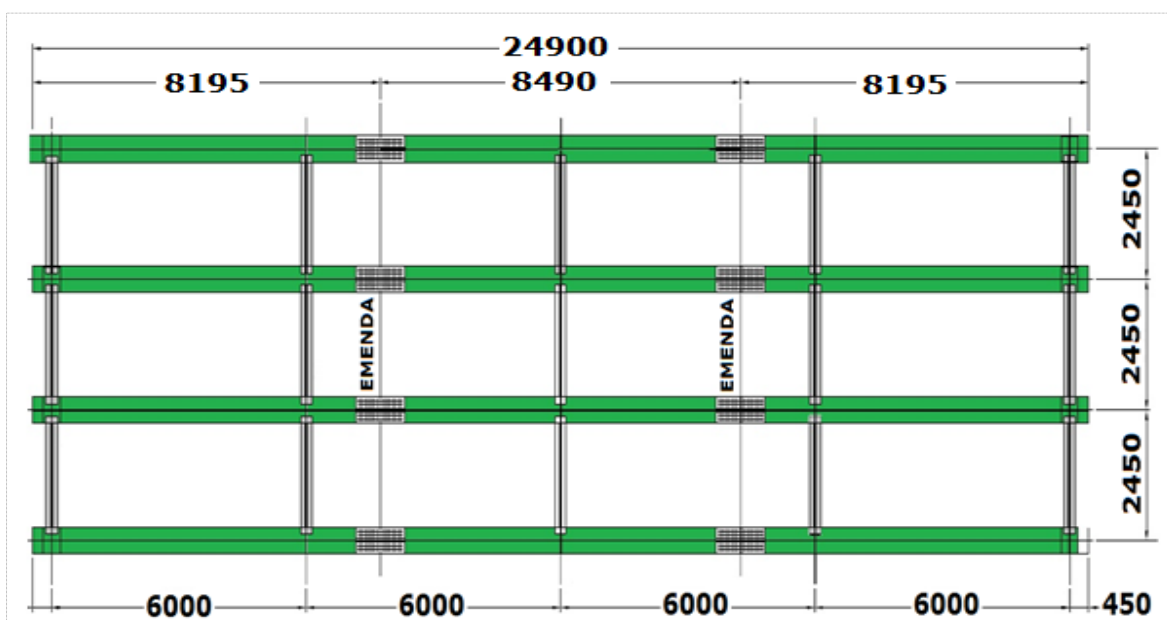
## CAPÍTULO 4

### 4. Estudo de Caso: Definição das Partições das Longarinas

#### 4.1. Apresentação do Estudo de Caso:

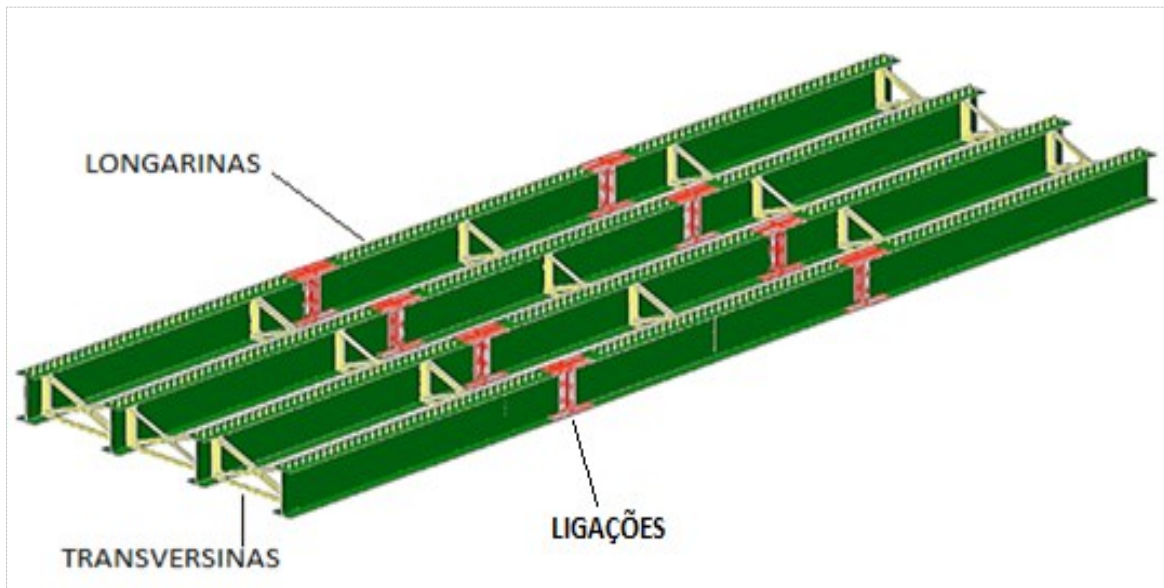
O viaduto estudado foi projetado por uma empresa brasileira de engenharia em 2014, cuja finalidade do empreendimento foi promover o acesso rodoviário à linha de ferro Carajás localizado em Bacabeira - MA. O viaduto rodoviário é biapoiado, concebido para tráfego na classe 45, conforme descrito na norma NBR 7188 (ABNT, 1982). Possui 24,9m de comprimento e 7,5m de largura. Seu projeto é constituído de quatro longarinas tripartidas, ligadas por cinco seções de transversinas, conforme pode ser visto nas Figuras 26 e 27.

Figura 22 - Vista superior das longarinas, transversinas e ligações (dimensões em mm)



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

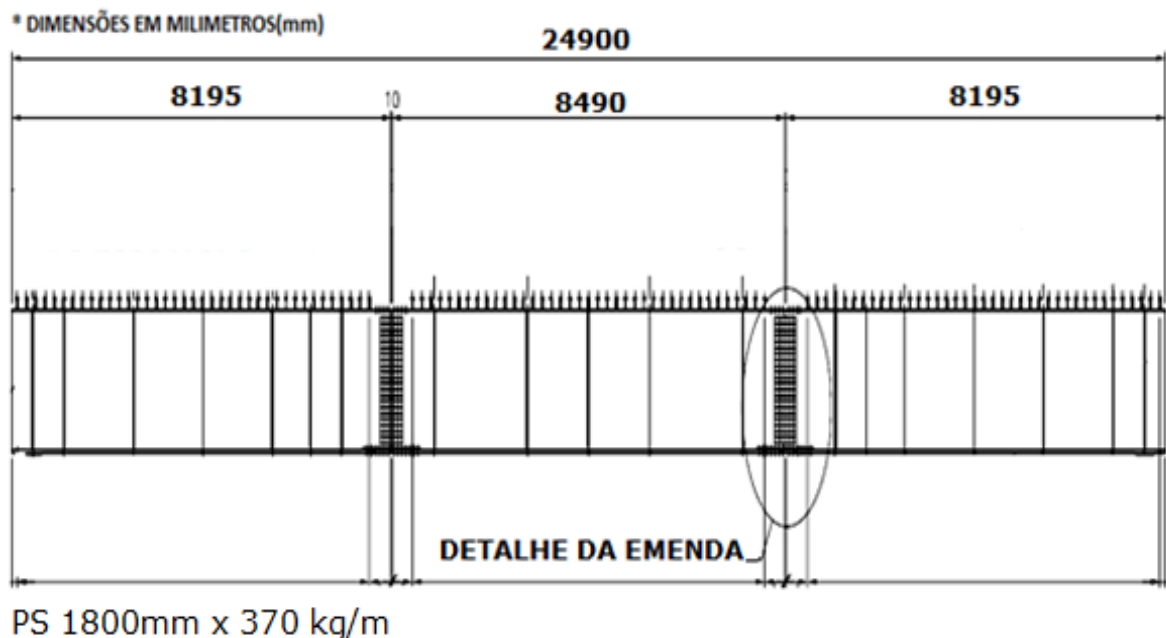
Figura 23 - Vista isométrica das longarinas, transversinas e ligações



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Nas Figuras 28 e 29 mostram-se a vista lateral do viaduto e o detalhe da emenda em que se pode observar a utilização das talas de ligação, bem como o grande volume de parafusos empregados para promover a fixação.

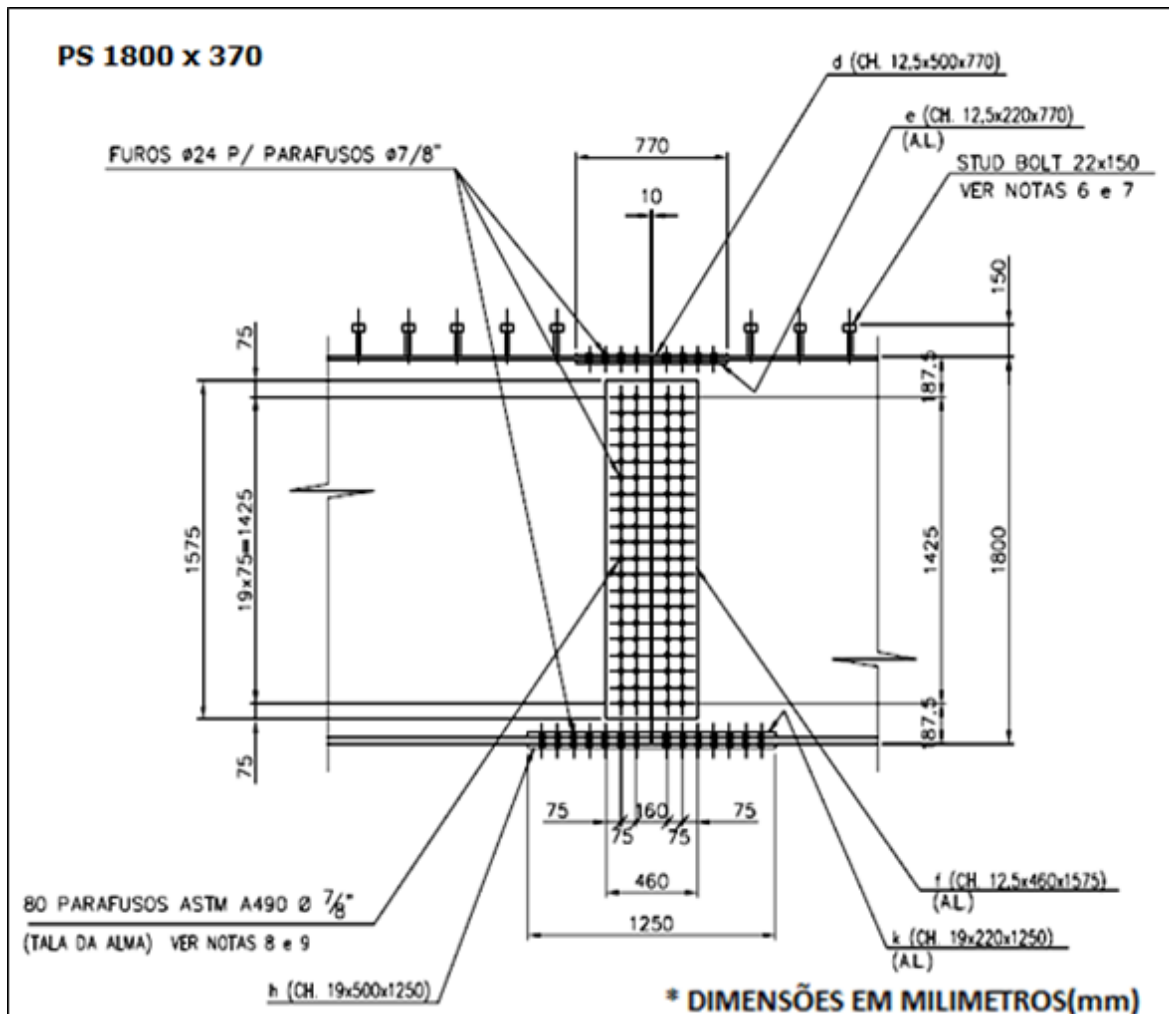
Figura 24 - Vista lateral do esquema de partições das longarinas



Fonte: ARQUIVO USIMINAS MECÂNICA (2015)



Figura 25 - Detalhe da emenda - Ligação parafusada



Fonte: ARQUIVO USIMINAS MECÂNICA (2015)

No estudo de caso são enfatizados os detalhes construtivos com foco nas definições do seccionamento das longarinas, bem como a tipologia das ligações.

Como reflexão ao estudo de caso, Valenciani (1997) enfatiza que não adianta calcular assertivamente as barras em uma estrutura, se as ligações são definidas inadequadamente. O autor também ressalta que a definição adequada de uma ligação estrutural está muito além da própria análise estrutural e que outros fatores cruciais devem ser analisados. Portanto, a viabilidade técnico-econômica, considerando a tipologia das ligações, juntamente com sua correta aplicação, deve sempre determinar o sistema construtivo, ou seja, a concepção do projeto.

## 4.2. Desenvolvimento do Estudo de Caso

Para iniciarmos o desenvolvimento do estudo de caso, nortear a base da pesquisa e conseqüentemente avaliar o melhor sistema construtivo para esse projeto de ponte/viaduto, definiram-se três pontos cruciais, que são:

- ✓ Dimensões;
- ✓ Processos de construção;
- ✓ Logística de transporte.

A dimensão é a primeira grandeza que leva o projetista a definir como poderá ser desenvolvido o processo de fabricação/construção, bem como determinar o comportamento de toda a cadeia envolvida, desde o transporte, movimentações dentro das plantas e principalmente no canteiro de obras.

Após essa análise, são determinados os processos construtivos, que geralmente são limitados à capacidade das plantas, ao dimensional dos equipamentos de processamento e de movimentação/ içamento das cargas.

A logística tende sempre a nos levar por um caminho prático rápido e de menor custo, principalmente conhecendo as dificuldades decorrentes da pouca estrutura rodoviária no Brasil.

É muito comum o projetista não despender muito tempo nessa análise, pois além de simplesmente seguir as regulamentações, também é necessário desenvolver uma consulta sobre a viabilidade do trajeto, a fim de ter total certeza da possibilidade de deslocamento das cargas especiais em todas as vias contidas na rota. As principais variáveis estão basicamente ligadas à largura e altura das cargas, pois, continuamente muitos obstáculos são inseridos nas vias por meio de novas construções, como passarelas de pedestres, cabeamentos elétricos, entre outros tipos de obras que por vez restringem a altura e a largura das cargas a serem transportadas.

Por outro lado, algumas dimensões especiais estão dentro das condições da grande maioria das pistas brasileiras e esse aspecto deve ser sempre considerado para compor todos os custos do empreendimento. A dificuldade pode estar em se cruzar essas informações e desenvolver um projeto que seja executado com a maior produtividade e o menor custo, visando, assim, a viabilização da construção metálica. A ideia de buscar o menor custo, considerando todas as etapas do processo, deve ser sempre focada, mas é

preciso conhecer alguns fatores que aparentemente não estão explícitos e que podem gerar uma análise distorcida sobre a influência dos custos nesse tipo de obra.

Para estudar a concepção original do projeto do viaduto, foram levantadas algumas hipóteses que trazem respostas quanto à possibilidade de outras formas construtivas, com foco na formatação original do projeto, ou seja, a ponte metálica biapoiada.

Na primeira hipótese são comparados os custos das ligações parafusadas e soldadas. Na segunda estuda-se a motivação do projetista em criar os seccionamentos nas longarinas trazendo-se um comparativo entre os custos das longarinas originalmente projetadas em relação às longarinas fabricadas sem partição. Na terceira e última hipótese, aprofunda-se um pouco mais na alteração do projeto original, propondo uma nova concepção mais otimizada.

#### **4.2.1. Hipótese 1 – Comparação dos Custos Entre as Ligações Parafusadas e Soldadas Considerando a Concepção do Projeto Original**

Para desenvolver esse comparativo considerando as fases de construção, foram estudados os processos que sofrem alterações técnica e econômica conforme destacado a seguir:

- a) Processo de Fabricação – Realizado em galpões preparados e equipados.
- b) Processo de Montagem – Realizado no local de finalização da obra, geralmente em condições naturais - Canteiro de obras.

Para desenvolvimento da hipótese 1, é realizada uma análise comparativa baseada em duas situações:

##### **i. Situação (1) - Custo total de fabricação, transporte e montagem de campo do projeto original (ligações parafusadas)**

Na Tabela 03 mostra-se a consolidação do resultado da análise comparativa entre o custo de fabricação e montagem para as ligações parafusadas.

Tabela 3 - Detalhamento dos custos totais do projeto original

<b>Custos de fabricação, transporte e montagem de campo - projeto original (JUNTAS PARAFUSADAS)</b>				
<b> Materiais</b>	<b> quantidade</b>	<b> unidade</b>	<b> valor/unidade</b>	<b> Valor total</b>
Laminados Planos	46825	kg	3,5	R\$ 163.888
Laminados Não Planos	2709	kg	4	R\$ 10.836
Parafusos A490-TIPO 3 - (7/8)	1344	conjunto	3	R\$ 4.032
Stud Bolt (22 X 150)	936	unidade	3	R\$ 2.808
Miscelânea	4953	kg	4	R\$ 19.814
<b>TOTAL MATERIAIS</b>				<b>R\$ 201.378</b>
<b>Item de Fabricação (1)</b>	<b> quantidade</b>	<b> unidade</b>	<b> valor/unidade</b>	<b> Valor total</b>
Composição e soldagem dos perfis	36823	kg	0,45	R\$ 16.570
Preparação - corte/furação dos perfis	39532	kg	0,35	R\$ 13.836
Preparação - corte/furação das talas	14956	kg	0,35	R\$ 5.235
Montagem	54488	kg	0,35	R\$ 19.071
Soldagem	54488	kg	0,35	R\$ 19.071
Soldagem stud bolt	16	Hs	85	R\$ 1.360
Acabamento	54488	kg	0,35	R\$ 19.071
<b>Total Geral</b>				<b>R\$ 94.213</b>
<b>TOTAL FABRICAÇÃO</b>				<b>R\$ 94.213</b>
<b>Transporte das partes</b>	<b> Quantidade</b>	<b> Valor unitario</b>	<b> Total</b>	
Carreta convencional	2	R\$ 10.800	R\$ 21.600	
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>				<b>R\$ 21.600</b>
<b>Montagem de campo</b>	<b> Horas</b>	<b> R\$/h</b>	<b> R\$</b>	
Construção do Canteiro			R\$ 2.000	
Mão de obra Direta (MOD):	1985	20	R\$ 39.703	
Mão de obra Indireta (MOI):	1925	30	R\$ 57.746	
Equipamentos Principais:			R\$ 18.600	
Equipamentos Auxiliares/Ferramentas:			R\$ 31.540	
Material de Consumo/Manutenção:	35%		R\$ 13.896	
Hospedagem e Alimentação:	70%		R\$ 27.792	
Uniformes e Material de Segurança:	12%		R\$ 4.764	
Transporte de Pessoal:	7%		R\$ 2.779	
Material Permanente:	20%		R\$ 7.941	
Diversos:	18%		R\$ 7.147	
Serviços de Terceiros:	15%		R\$ 5.955	
Mobilização e Desmobilização:	40%		R\$ 20.056	
<b>TOTAL MONTAGEM</b>				<b>R\$ 239.919</b>
<b>CUSTO TOTAL</b>				<b>R\$ 557.109</b>

Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

(1) Os quantitativos referentes ao tópico **Item de Fabricação** da Tabela 3, são proporcionais ao volume de material processado nas etapas de fabricação, como pode ser visto, são processados (36.823 kg) no setor/equipamentos de fabricação de perfis e depois são processados (39.532 kg) de material em outro processo produtivo, sendo assim, não são somados os pesos, pois o mesmo material pode ser processado em mais de um centro de trabalho/equipamento, porém o orçamento foi desenvolvido em R\$/kg processado em cada etapa de produção conforme padrão industrial e confidencial da Usiminas Mecânica.

**ii. Situação (2) - Custo total de fabricação, transporte e montagem de campo do projeto original (ligações soldadas)**

Na Tabela 04 mostra-se a consolidação do resultado da análise comparativa entre o custo de fabricação e montagem para as ligações soldadas.

Tabela 4 - Detalhamento dos custos totais considerando ligações soldadas para o projeto original

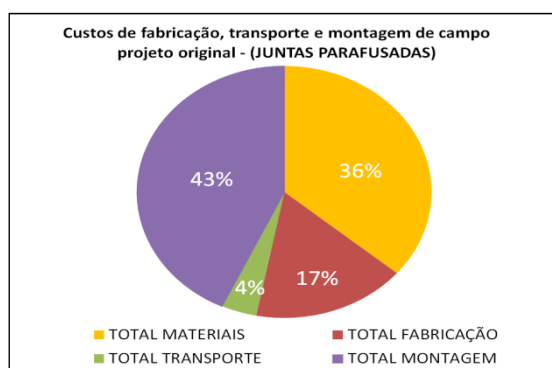
<b>Custos de fabricação, transporte e montagem de campo - projeto original (JUNTAS SOLDADAS)</b>				
<b>Materiais</b>	<b>quantidade</b>	<b>unidade</b>	<b>valor/unidade</b>	<b>Valor total</b>
Laminados Planos	37023,2	kg	3,5	R\$ 129.581
Laminados Não Planos	2709	kg	4	R\$ 10.836
Parafusos A490-TIPO 3 - (7/8)	0	conjunto	3	R\$ -
Stud Bolt (22 X 150)	936	unidade	3	R\$ 2.808
Miscelânea	4953,4	kg	4	R\$ 19.814
<b>TOTAL MATERIAIS</b>				<b>R\$ 163.039</b>
<b>Item de Fabricação</b>	<b>quantidade</b>	<b>unidade</b>	<b>valor/unidade</b>	<b>Valor total</b>
Composição e soldagem dos perfis	36823	kg	0,45	R\$ 16.570
Preparação - corte/chanfro dos perfis	39532	kg	0,25	R\$ 9.883
Preparação - corte/chanfro/furação das chapas	14956	kg	0,25	R\$ 3.739
Montagem	54488	kg	0,35	R\$ 19.071
Soldagem	54488	kg	0,35	R\$ 19.071
Soldagem stud bolt	16	Hs	85	R\$ 1.360
Acabamento	54488	kg	0,3	R\$ 16.346
<b>TOTAL FABRICAÇÃO</b>				<b>R\$ 86.039,76</b>
<b>Transporte das partes</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Total</b>	
Carreta convencional	2	R\$ 10.800	R\$	21.600
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>				<b>R\$ 21.600</b>
<b>Montagem de campo</b>	<b>Horas</b>	<b>R\$/h</b>	<b>R\$</b>	
Construção do Canteiro			R\$	2.000
Mão de obra Direta (MOD):	2558,6	20	R\$	51.173
Mão de obra Indireta (MOI):	1811	35	R\$	63.370
Equipamentos Principais:			R\$	18.600
Equipamentos Auxiliares/Ferramentas:			R\$	37.300
Material de Consumo/Manutenção:	35%		R\$	17.910
Hospedagem e Alimentação:	70%		R\$	35.821
Uniformes e Material de Segurança:	12%		R\$	6.141
Transporte de Pessoal:	7%		R\$	3.582
Material Permanente:	20%		R\$	10.235
Diversos:	18%		R\$	9.211
Serviços de Terceiros:	15%		R\$	7.676
Mobilização e Desmobilização:	40%		R\$	22.360
<b>TOTAL MONTAGEM</b>				<b>R\$ 285.378</b>
<b>CUSTO TOTAL</b>				<b>R\$ 556.056,25</b>

Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

### iii. Respostas à Hipótese 1 – comparação de custos entre a situação (1) e situação (2)

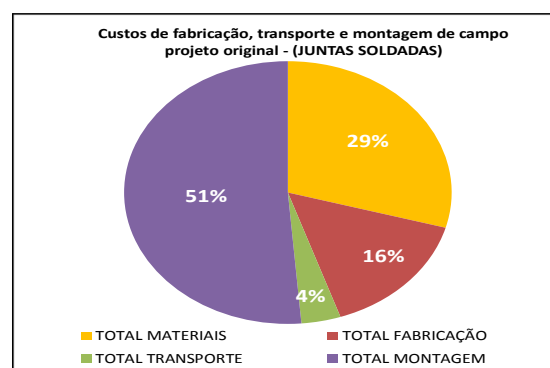
Nos gráficos 1 e 2 mostram-se a distribuição dos custos referentes às ligações parafusadas e soldadas.

Gráfico 2- Distribuição dos custos - Junta parafusada



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Gráfico 1- Distribuição dos custos - Junta soldada



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Para a comparação em questão, considerou-se o custo total de todas as etapas, fabricação, transporte e montagem. Observa-se que a diferença de custo é pequena, com variações mais expressivas nos custos de materiais e operação de campo, porém outros pontos devem ser ressaltados para a escolha da melhor solução.

#### Quanto às emendas soldadas:

Pontos positivos:

- ✓ Redução do volume de aço, como conectores e talas.

Pontos negativos:

- ✓ Necessidade de equipamentos elétricos como geradores e máquinas de solda.
- ✓ Necessidade de controle de todo processo de soldagem, desde o armazenamento dos arames e eletrodos até a execução, pois as intempéries climáticas podem interferir fortemente na qualidade final.
- ✓ A norma AWS D1.1 (2010) especifica, nesse caso, soldagem com penetração total e teste de ultrassom para emendas.

- ✓ Necessidade de profissionais qualificados, tanto para execução da soldagem quanto para os ensaios não destrutivos, ou seja, ensaios de ultrassom e de líquido penetrante.
- ✓ Tempo maior para execução do sequenciamento das operações de montagem, principalmente ocasionado pela baixa produtividade do processo de soldagem manual executada nos canteiros de obras.

#### **Quanto às emendas parafusadas:**

Pontos positivos:

- ✓ Menor tempo de execução de montagem de campo, sendo que o processo não sofre muita interferência das intempéries climáticas.

Pontos negativos:

- ✓ Maior quantidade de aço utilizado para fabricação e montagem, como talas e fixadores.
- ✓ Necessidade de equipamentos fabris com maior precisão para executar a furação de talas e perfis separadamente mantendo as tolerâncias necessárias de montagem.

#### **4.2.2. Hipótese 2 – Eliminação do Seccionamento das Longarinas**

Além da hipótese 1, quando foram comparados os tipos de ligações, foi levantada a hipótese 2, na qual questiona-se a quantidade de ligações/ partições/ seccionamentos utilizados nas longarinas.

Essa hipótese 2 leva a uma pergunta objetiva sobre a intenção do projetista em seccionar as longarinas em três partes, e logo podem-se obter algumas respostas imediatas.

Primeiramente, pode-se pensar em fracionamento para facilitar/ reduzir o custo do transporte/ escoamento. Por outro lado, há possibilidade do projetista ter considerado possíveis limitações dos equipamentos de produção, tanto fabris, quanto os usados para movimentação/ içamento das peças na obra.

Para responder as questões levantadas por essa hipótese, foram estudados os fatores que influenciam diretamente nessas definições, que são:

**i. Características dimensionais do projeto original**

Comprimento total	Largura total	Peso total da estrutura
24,9 m	7,5 m	54 toneladas

Características:

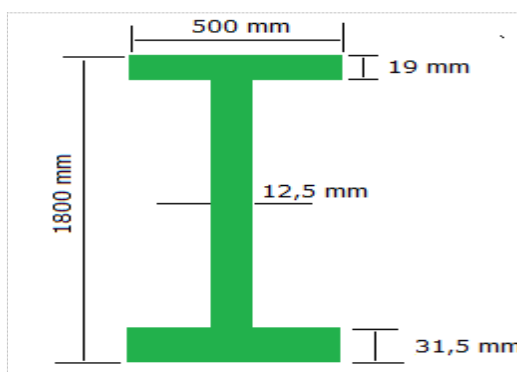
04 longarinas de 24,9 m e 15 transversinas de ligação. As longarinas foram divididas em três vigas, como ilustrado na Figura 26.

Divisão das longarinas: 02 perfis das extremidades – PS 1800 x 370 x 8195

01 perfil central – PS 1800 x 370 x 8490

Na Figura 29 estão detalhadas as dimensões do PS 1800 x 370.

Figura 26 - Detalhe do perfil soldado das longarinas do viaduto



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Peso unitário da composição de perfis soldados que formam uma das quatro vigas longarinas<sup>1</sup> de 24,9 m:

- 02 perfis das extremidades – PS 1800 x 370 x 8195  
 $370 \text{ kg} \times 8,195 \text{ m} \times 02 \text{ perfis} \Rightarrow \underline{6064,30 \text{ kg}}$
- 01 perfil central – PS 1800 x 370 x 8490  
 $370 \text{ kg} \times 8,490 \text{ m} \times 01 \text{ perfil} \Rightarrow 3141,3 \text{ kg}$

Composição ou longarina inteira de 24,9m:

$6064,30 \text{ kg} + 3141 \text{ kg} \Rightarrow 9205,3 \text{ kg}$  ou 9,2 t

<sup>1</sup> Para definição do peso final da viga longarina deve ser levado em conta todos os acessórios além dos perfis, como talas, fixadores e conectores de cisalhamento.



## ii. Análise da capacidade fabril

As referências para análise do processo de fabricação e montagem foram fornecidas pela empresa Usiminas Mecânica, em que foram considerados os equipamentos instalados em seu parque fabril situado na cidade de Ipatinga (MG), bem como, a capacidade técnica estrutural para montagem do viaduto no campo.

Quanto à capacidade fabril para produção das longarinas, pode-se constatar no parque fabril da Usiminas Mecânica a instalação de três equipamentos automáticos para composição, montagem e soldagem pelo processo *Submerged Arc Welding* (SAW) de perfis "I" com capacidade de 4 m de altura, 30m de comprimento e 3 t/m linear. Sendo assim, os equipamentos de produção de perfis soldados têm capacidade para fabricação dos perfis no tamanho integral do viaduto, ou seja, 24,9 m, conforme pode ser visto na Figura 30.

Figura 27 - Máquina de fabricação de perfis soldados - (MSA001)



Fonte: ARQUIVO USIMINAS MECÂNICA (2006)

Quanto aos equipamentos destinados à movimentação e içamento das cargas, também não haveria restrições, pois a capacidade das pontes localizadas na fábrica de estrutura da Usiminas Mecânica é superior a 10 t, que corresponde praticamente ao peso de 9,2 t da longarina inteira. Ressalta-se que é comum a utilização de pontes rolantes com capacidade de içamento entre 10 a 20 t nas plantas de estruturas metálicas no Brasil (Figura 31).

Figura 28 - Linha de acabamento de fabricação de perfis soldados



Fonte: ARQUIVO USIMINAS MECÂNICA (2005)

Com relação ao comprimento de 24,9 m, ressalta-se a necessidade de utilização de um dispositivo para promover o içamento, se for movimentar com uma só ponte rolante, ou sincronizar duas pontes rolantes para trabalharem simultaneamente.

Nos canteiros de obras, o içamento de uma longarina de 10 t é comumente realizado, sem nenhuma restrição técnica quanto ao procedimento (Figura 32).

Figura 29 - Içamento de viga - Estados Unidos



Fonte: DIVULGAÇÃO IMPERIAL CRANE (2014)

### iii. Análise da logística/ escoamento, considerando possibilidade de limitações no transporte

A análise logística foi fundamentada na resolução do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DENIT, 2016) por meio da Resolução nº 1, de 14 de janeiro de 2016, publicada no Diário Oficial da União em 15 de janeiro de 2016, em seu Anexo II. Na Tabela 5 apresentam-se as características das rodovias e dos veículos para o projeto em questão.

Tabela 5 - Dimensionamento e qualificação de escolta, para um conjunto transportador

CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO	CARACTERÍSTICAS DAS RODOVIAS											
	DE PISTA SIMPLES				DE PISTA DUPLA							
	Nº DE VEÍCULOS DE ESCOLTA				Nº DE VEÍCULOS DE ESCOLTA							
	DIMENSÕES: EM METRO		PESO: EM TONELADAS		CREDENCIADA	PRF	TOTAL	KMH	CREDENCIADA	PRF	TOTAL	KMH
<b>Largura:</b>												
até 3,20	-	-	-	60	-	-	-	60	-	-	-	60
de 3,21 a 3,80	1	-	1	50	1	-	1	60	1	-	1	60
de 3,81 a 5,00	2	-	2	50	1	-	1	60	2	-	2	50
de 5,01 à 5,50	1	1	2	40	2	-	2	50	1	1	2	40
acima de 5,50	2	1	3	40	1	1	2	40				
<b>Comprimento:</b>												
até 30,0	-	-	-	60	-	-	-	60	-	-	-	60
30,01 até 35,00	1	-	1	50	1	-	1	60	1	-	1	50
35,01 até 55,00	2	-	2	50	1	-	1	50	2	-	2	40
55,01 até 75,00	2	1	3	40	2	-	2	40	2	1	3	40
acima de 75,00	2	1	3	40	2	1	3	40				
<b>Altura:</b>												
até 5,00	-	-	-	60	-	-	-	60	-	-	-	60
5,01 até 5,50	1	-	1	40	1	-	1	50	1	-	1	40
acima de 5,50	2	-	2	30	1	-	1	40				
<b>Excesso Anterior ao para choque:</b>												
até 3,00	-	-	-	60	-	-	-	60	-	-	-	60
acima de 3,00	1	-	1	50	1	-	1	60				
<b>Excesso Posterior ao para choque:</b>												
até 3,00	-	-	-	60	-	-	-	60	-	-	-	60
acima de 3,00	1	-	1	50	1	-	1	60				
<b>Peso:</b>												
até 74,0	-	-	-	70	-	-	-	70	-	-	-	70
acima de 74 até 100	-	-	-	60	-	-	-	60	1	-	1	40
acima de 100 até 350	1	-	1	40	1	-	1	40	2	1	3	40
acima de 350	2	1	3	30	2	1	3	40				
<b>Observações:</b>	- Para cargas de peso superior a 100 toneladas, as velocidades admissíveis variarão de 5 a 40 km/h. - Sempre que houver necessidade de inversão de pista, bloqueios de acessos, tráfego na contramão, remoção de sinalização ou de trânsito no período noturno (casos em que seja mais seguro o trânsito tarde da noite, quando o fluxo de veículos é menor), estabelecer previamente contato com a Polícia Rodoviária Federal com circunscrição sobre o trecho para, em conjunto, planejarem a execução do serviço.											

Fonte: DENIT (2016)

Na Tabela do ANEXO II do DENIT (2016), são mostradas informações simples e objetivas que determinam as prerrogativas dimensionais dos transportes, bem como quais recursos são necessários em cada faixa dimensional.

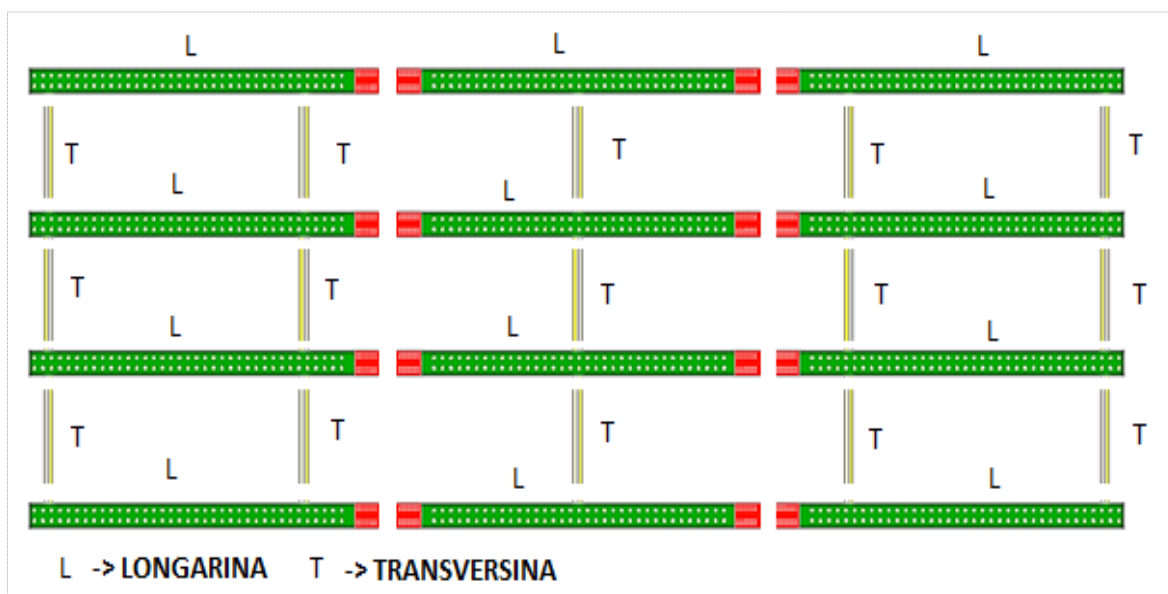
Nessa tabela mostra-se que, conforme a faixa dimensional do referido transporte das longarinas de 24,9 m, não há necessidade de escoltas tanto pelas concessionárias, como pela Polícia Federal. Sendo assim, analisando todos os fatores determinantes, inclusive o transporte/ escoamento da carga, não há inviabilidade técnica que possa restringir a produção na planta, a montagem de campo e o transporte das longarinas no tamanho de 24,9 m.

Portanto, foram propostas duas situações visando entender qual o menor custo para fabricação, escoamento e montagem total do projeto, baseando-se na influência do comprimento das longarinas nesse contexto.

#### **iv. Situação (1) - Custo de produção, transporte e montagem do viaduto considerando as longarinas seccionadas conforme projeto original**

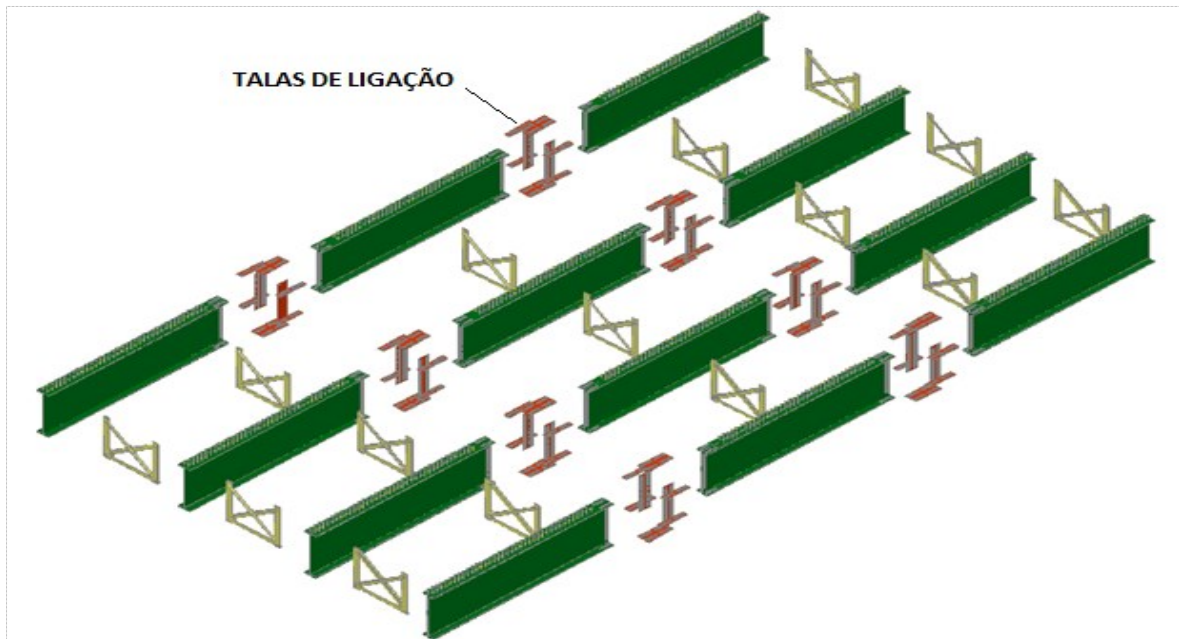
Nas Figuras 33 a 35 mostram-se vistas representativas da fabricação e montagem do projeto original.

Figura 30 - Vista superior explodida do viaduto – Esquema de montagem



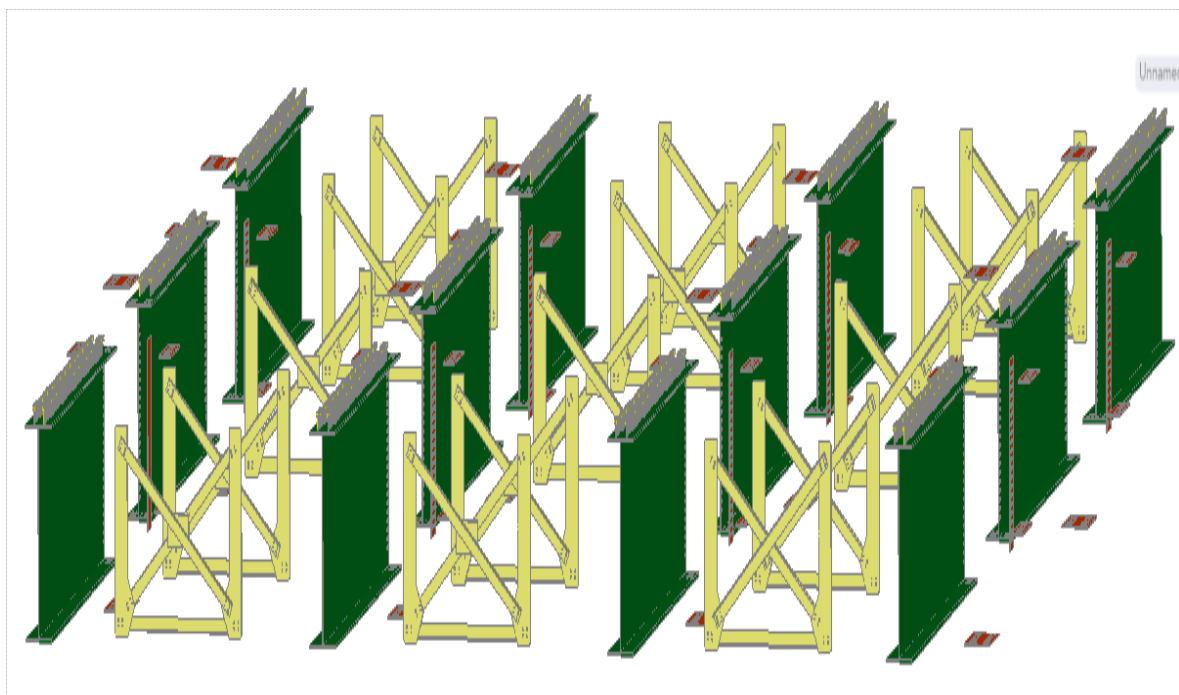
Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Figura 31 - Vista isométrica explodida do viaduto (a) – Detalhe de todos os componentes



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Figura 32 - Vista isométrica explodida do viaduto (b) – Detalhe de todos os componentes



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Na Tabela 6 é mostrado o resumo dos custos de fabricação, transporte e montagem de campo, referente ao projeto original.

Tabela 6 - Resumo dos custos - Projeto original

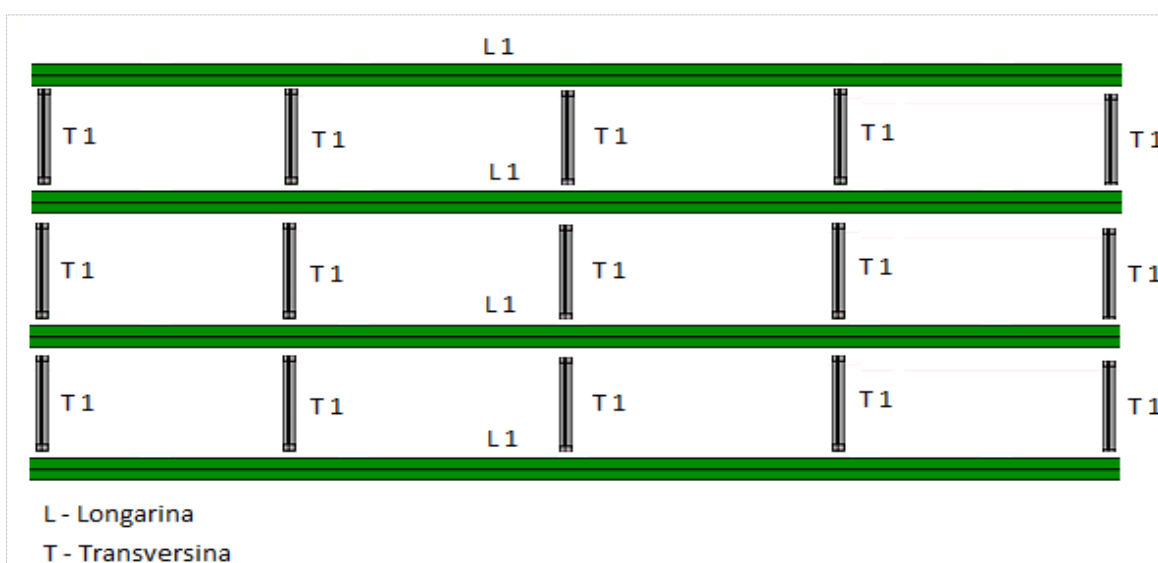
Custos de fabricação, transporte e montagem de campo - Projeto original (JUNTAS PARAFUSADAS)	
Custo total de materiais	R\$ 201.378
Item de fabricação	R\$ 94.213
Transporte das partes	R\$ 21.600
Montagem de campo	R\$ 239.919
<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>R\$ 557.109</b>

Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

**v. Situação (2) - Custo de produção, transporte e montagem do viaduto, considerando as longarinas sem seccionamento**

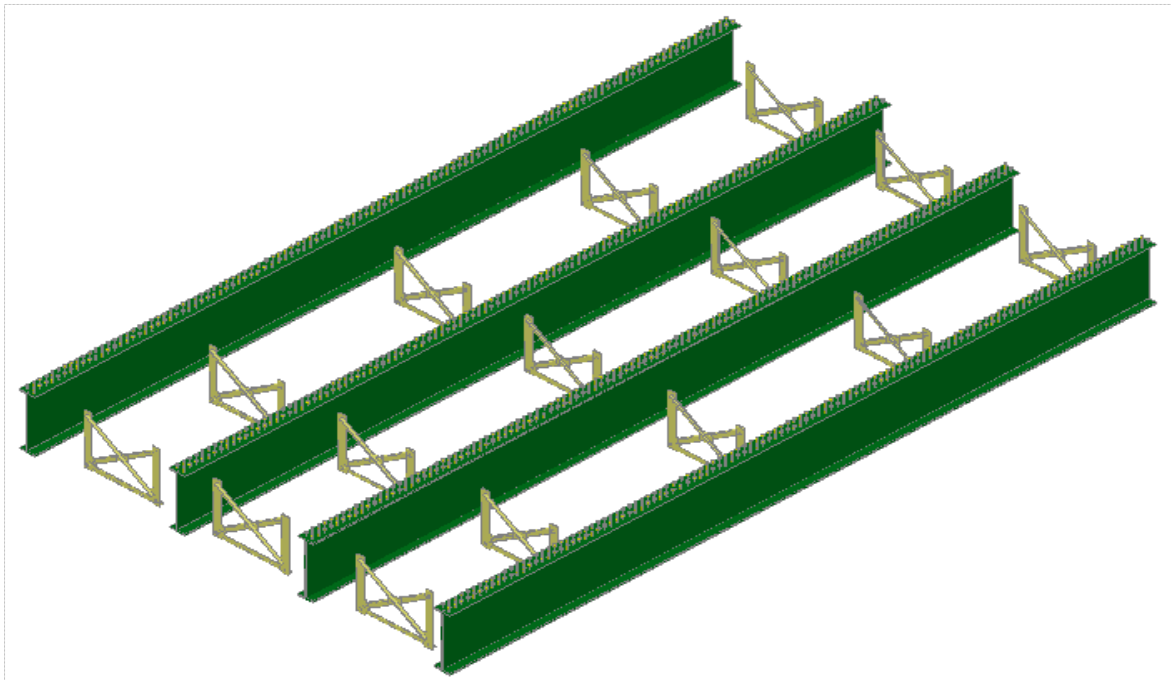
Na figura 36 a 38 mostram-se vistas explodidas e representativas da fabricação e montagem do projeto alterado das longarinas inteiras.

Figura 33 - Vista superior explodida do viaduto – Esquema de Montagem (Longarinas sem emendas)



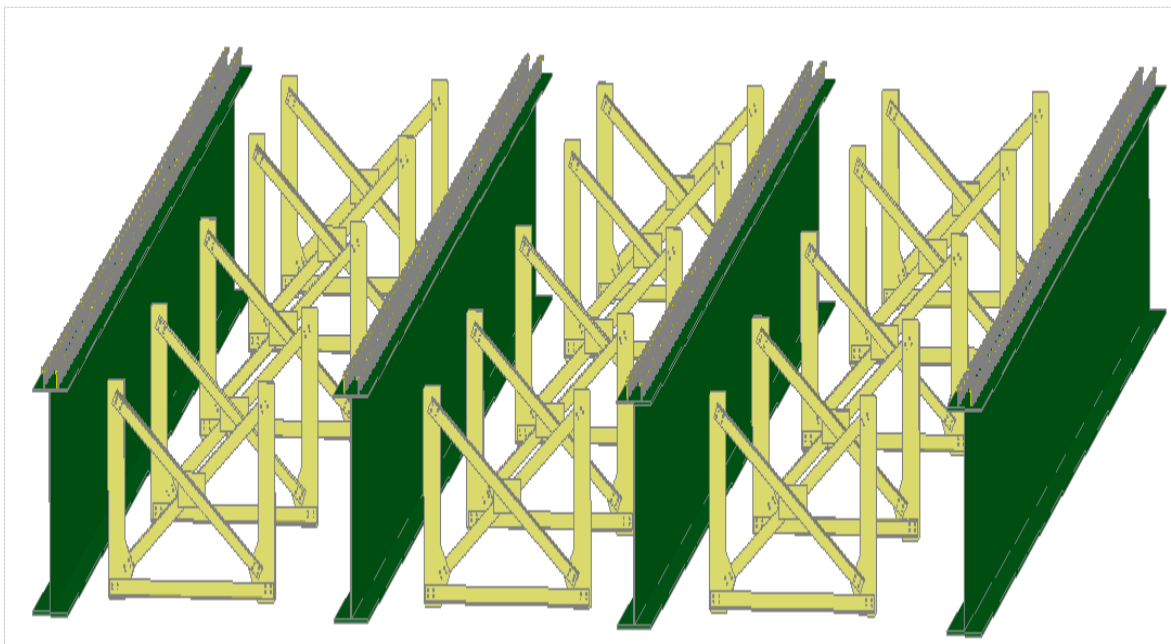
Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Figura 34 - Vista isométrica explodida do viaduto – Detalhe de todos os componentes (Longarinas sem emendas)



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Figura 35 - Vista isométrica explodida do viaduto – Detalhe de todos os componentes (Longarinas sem emendas)



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Na Tabela 7 são mostrados os custos de fabricação, transporte e montagem de campo do projeto alterado considerando longarinas inteiras.

Tabela 7 - Detalhamento dos custos totais do projeto considerando as longarinas sem emendas

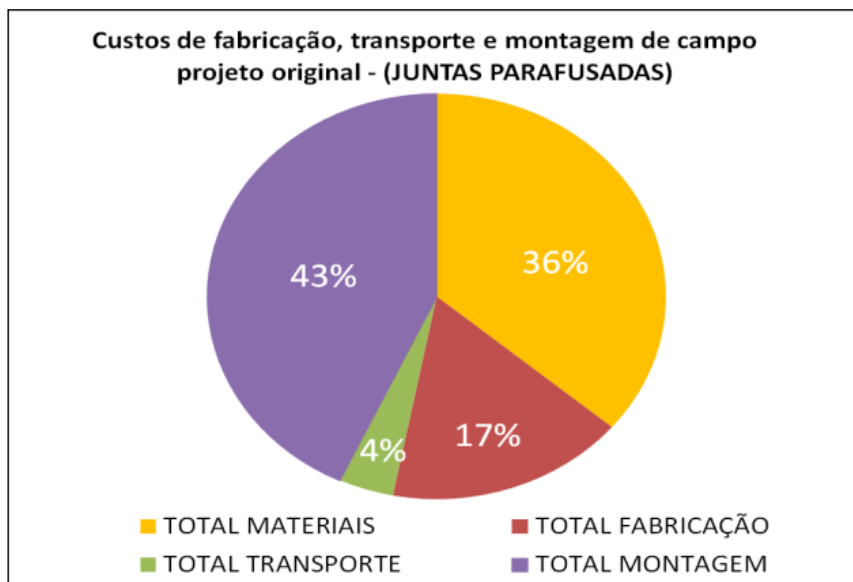
<b>Custos de fabricação, transporte e montagem de campo - Projeto original (LONGARINAS INTEIRAS)</b>				
<b>Materiais</b>	<b>quantidade</b>	<b>unidade</b>	<b>valor/unidade</b>	<b>Valor total</b>
Laminados Planos	37023,2	kg	3,5	R\$ 129.581
Laminados não Planos	2709	kg	4	R\$ 10.836
Parafusos A490-TIPO 3 - (7/8)	0	conjunto	3	R\$ -
Stud Bolt (22 X 150)	936	unidade	3	R\$ 2.808
Miscelânea	4953,4	kg	4	R\$ 19.814
<b>TOTAL MATERIAIS</b>				<b>R\$ 163.039</b>
<b>Item de Fabricação</b>	<b>quantidade</b>	<b>unidade</b>	<b>valor/unidade</b>	<b>Valor total</b>
Composição e soldagem dos perfis	36823	kg	0,45	R\$ 16.570
Preparação - corte/chanfro dos perfis	39532	kg	0,05	R\$ 1.977
Preparação - corte/chanfro/furo - chapas	14956	kg	0,05	R\$ 748
Montagem	54488	kg	0,35	R\$ 19.071
Soldagem	54488	kg	0,35	R\$ 19.071
Soldagem stud bolt	16	Hs	85	R\$ 1.360
Acabamento	54488	kg	0,35	R\$ 19.071
<b>TOTAL FABRICAÇÃO</b>				<b>R\$ 77.867</b>
<b>Transporte das partes</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Total</b>	
Carreta Extensiva	2	R\$ 20.000	R\$	40.000
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>				<b>R\$ 40.000</b>
<b>Montagem de campo</b>	<b>Horas</b>	<b>R\$/h</b>	<b>R\$</b>	
Construção do Canteiro			R\$	2.000
Mão de obra Direta (MOD):	1985	20	R\$	39.703
Mão de obra Indireta (MOI):	1675	30	R\$	50.246
Equipamentos Principais:			R\$	13.200
Equipamentos Auxiliares/Ferramentas:			R\$	29.360
Material de Consumo/Manutenção:	35%		R\$	13.896
Hospedagem e Alimentação:	70%		R\$	27.792
Uniformes e Material de Segurança:	12%		R\$	4.764
Transporte de Pessoal:	7%		R\$	2.779
Material Permanente:	20%		R\$	7.941
Diversos:	18%		R\$	7.147
Serviços de Terceiros:	15%		R\$	5.955
Mobilização e Desmobilização:	40%		R\$	17.024
<b>TOTAL MONTAGEM</b>				<b>R\$ 221.807</b>
<b>CUSTO TOTAL</b>				<b>R\$ 502.712</b>

Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)



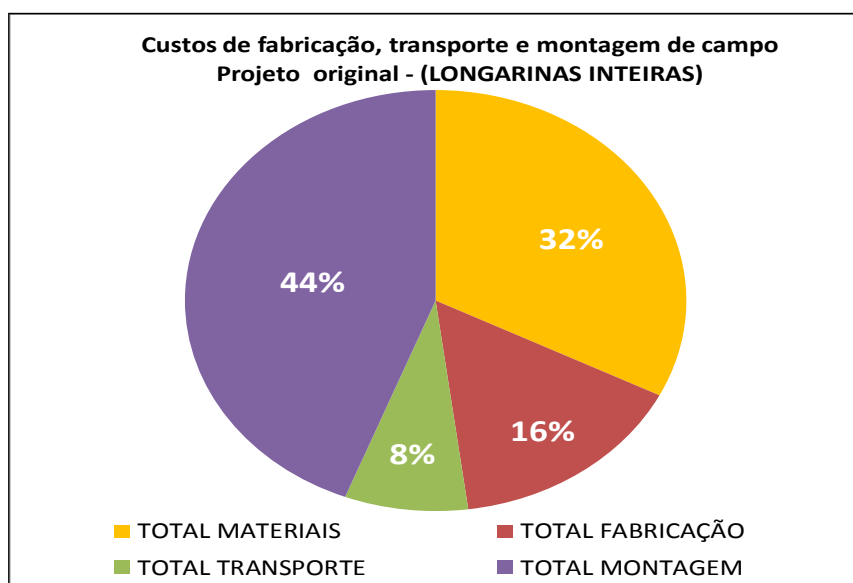
vi. **Respostas à hipótese 2 – comparação de custos entre a situação (1) e situação (2)**

Gráfico 3 - Distribuição dos custos - Junta parafusada



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Gráfico 4 - Distribuição dos custos - Longarinas inteiras



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

As situações dos custos estudadas na hipótese 2 apresentam uma redução significativa quando utilizam-se as longarinas sem seccionamento (sem emendas), conforme apresentado na Tabela 7, situação (1). Apesar do aumento no custo logístico ocasionado pelo transporte extensivo das longarinas de 24,9m, há um ganho significativo nas outras fases da construção.

Conforme mostrado nos Gráficos 3 e 4, as maiores variações estão concentradas na redução da quantidade dos materiais, pois a fabricação das longarinas sem seccionamento, já na medida final do viaduto, elimina os fixadores e talas de ligação, que possuem custo relevante no projeto. Outro ponto de destaque está na redução do tempo de montagem no campo, promovido principalmente pela eliminação das ligações das longarinas.

Contudo e com o potencial de ganho apresentado pela alteração estudada no projeto, pode-se estender o questionamento, pois, observa-se que a execução das operações nas fábricas são mais produtivas e de menor custo do que no campo, e que, nesse caso específico, as dimensões longitudinais, apesar de impactantes no aumento do custo do transporte, é pouco representativo na proporção do custo total.

#### **4.2.3. Hipótese 3 - Avaliação da Concepção do Projeto – Fabricação, Transporte e Montagem de Conjuntos Maiores**

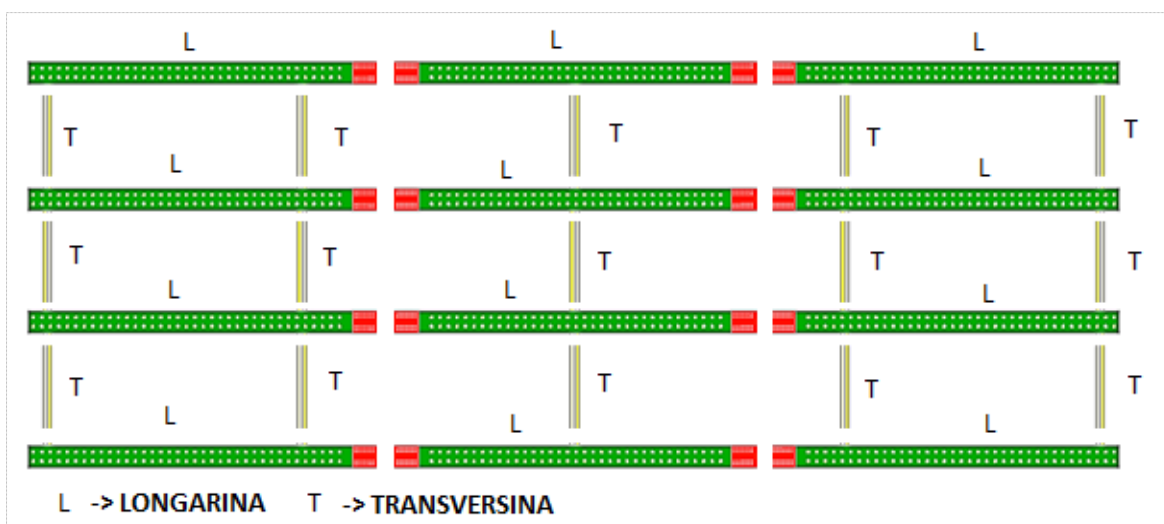
Entendendo essas relações, que compreende desde o transporte até a redução das atividades no canteiro, levanta-se a hipótese 3, cuja proposta consiste na avaliação de uma nova concepção de projeto, onde não há seccionamento das longarinas e a estrutura do viaduto é desmembrada em apenas dois conjuntos, conectados no canteiro de obras somente por meio das transversinas centrais, conforme mostrado nas Figuras 40, 41 e 42, em esquemas representativos.

Na hipótese 3 o intuito é estudar a influência do aumento das atividades de fábrica no custo total do projeto, pois pode-se ressaltar que as atividades executadas dentro das plantas são mais produtivas e mais otimizadas se comparadas com as mesmas atividades realizadas nos canteiros de obra.

Como comparativo, é utilizado o custo do projeto original formado na situação (1) da hipótese 2 em relação ao custo de produção, transporte e montagem dos novos conjuntos propostos.

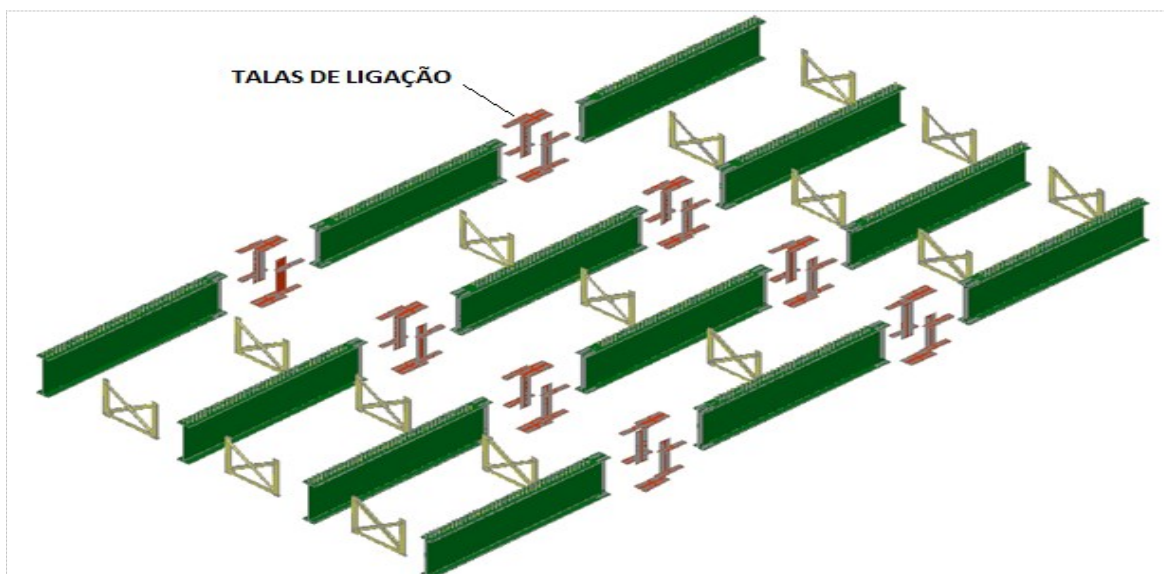
Nas Figuras 39 e 40 mostram-se detalhes de fabricação e montagem do projeto original, e na Tabela 8 estão relacionadas na lista de materiais as peças utilizadas conforme projeto original.

Figura 36 - Vista superior com estaque das ligações – Projeto original



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Figura 37 - Vista isométrica explodida do viaduto com detalhe de todos os componentes – Projeto original



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

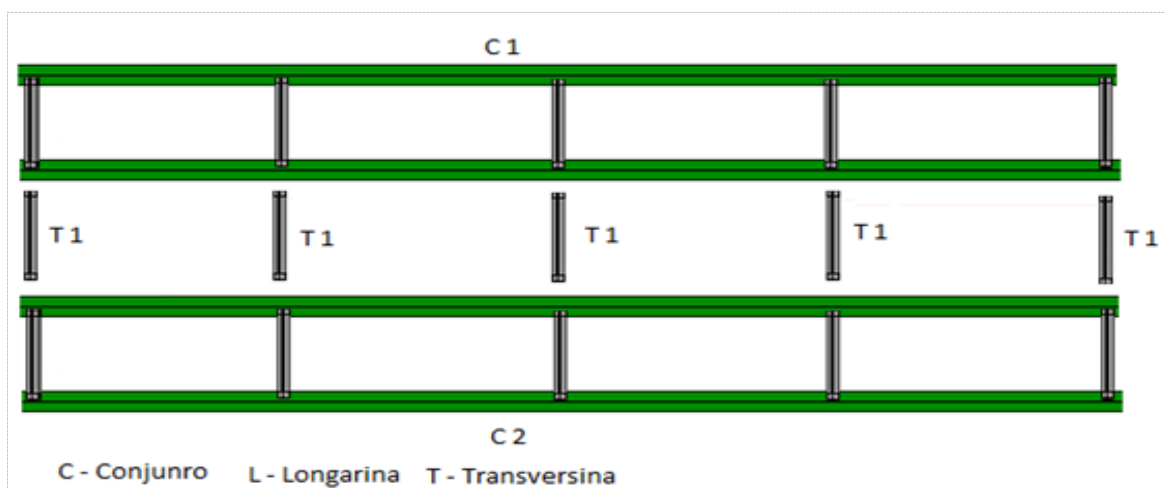
Tabela 8 - Listagem de materiais – Projeto original

<b>Listagem projeto original</b>					
ITEM	QUANT	DESCRIÇÃO	Aço	UNIT.	TOTAL
	4	VIGAS 20A (DIR.)	USI-SAC-300	4075,2	16300,6
	4	VIGAS 20B (ESQ.)	USI-SAC-301	4075,2	16300,6
a	8	PS 1800x370x8195	USI-SAC-302	3032,2	24257,6
b	80	CH. 12,5x180x1750	USI-SAC-303	31	2480
c	4	CH. 20x240x1750	USI-SAC-304	66	264
d (talas)	8	CH. 12,5x500x770	USI-SAC-305	37,8	302,4
e (talas)	16	CH. 12,5x220x770	USI-SAC-306	16,7	267,2
f (talas)	16	CH. 12,5x460x1575	USI-SAC-307	71,1	1137,6
h (talas)	8	CH. 19x500x1250	USI-SAC-308	93,3	746,4
k (talas)	16	CH. 19x220x1250	USI-SAC-309	41,1	657,6
m	12	CH. 20x380x1750	USI-SAC-310	104,5	1254
n	8	CH. 25x400x480	USI-SAC-311	37,7	301,6
u	4	CH. 12,5x240x1720	USI-SAC-312	40,6	162,4
v	12	CH. 12,5x380x1720	USI-SAC-313	64,2	770,4
	4	VIGAS 20C	USI-SAC-313	3505,9	14023,6
p	4	PS 1800x370x8490	USI-SAC-313	3141,3	12565,2
b	32	CH.	USI-SAC-313	31	992
u	2	CH.	USI-SAC-313	40,6	81,2
v	6	CH.	USI-SAC-313	64,2	385,2
	12	DIAGONAIS 20D	USI-SAC-313	63,7	661,2
r	12	L. 127x95x2537	USI-SAC-313	46,5	558
s	6	CH. 20x270x405	USI-SAC-313	17,2	103,2
	18	DIAGONAIS 20E	USI-SAC-313	57,3	934,2
r	18	L.	USI-SAC-313	46,5	837
x	9	CH. 12,5x270x405	USI-SAC-313	10,8	97,2
	30	VIGAS 20F	USI-SAC-313	43,8	1314
t	30	L. 127x95x2390	USI-SAC-313	43,8	1314
	10%	MISCELÂNIAS	USI-SAC-313	4953,4	4953,4

Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

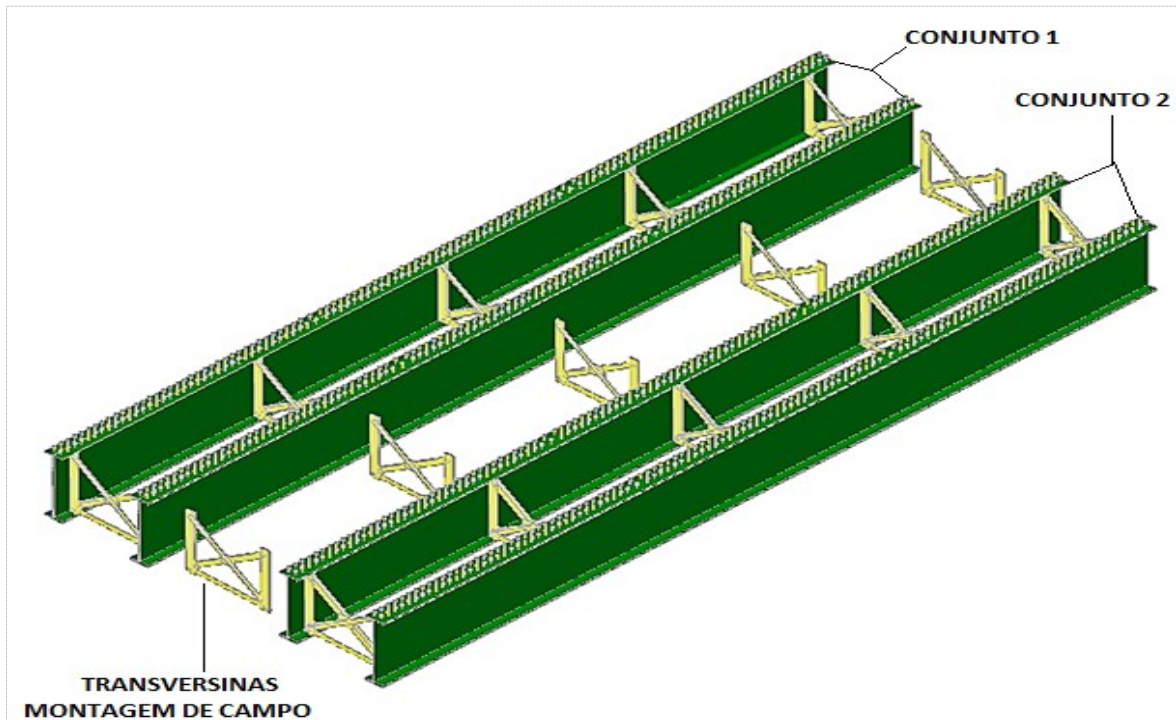
Nas Figuras 41 a 43 mostram-se os esquemas representativos considerando a alteração no projeto original, referentes à formação dos novos conjuntos.

Figura 38 - Vista superior explodida do viaduto – Esquema de montagem de novos conjuntos



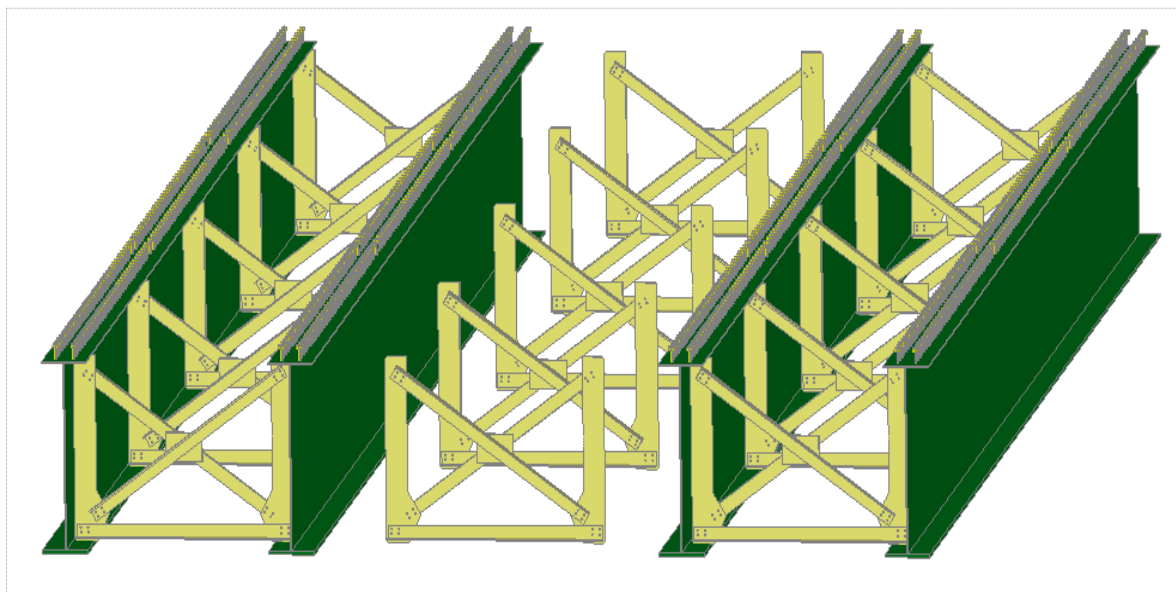
Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Figura 39 - Vista isométrica explodida do viaduto – Esquema de montagem de novos conjuntos – Detalhe de todos os componentes



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Figura 40 - Vista isométrica explodida do viaduto – Esquema de montagem de novos conjuntos – Detalhe de todos os componentes



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Na Tabela 9 listam-se as peças conforme as alterações realizadas no projeto original e na Figura 44 mostram-se os tipos de conjuntos fabricados na planta e transportados até o local da montagem.

Tabela 9 - Listagem de materiais – Formação de conjuntos – Projeto alterado

<b>Listagem projeto modificado</b>					
<b>ITEM</b>	<b>QUANT</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>AÇO</b>	<b>PESO UNIT.</b>	<b>PESO TOTAL</b>
<b>1</b>		<b>CONJ 1</b>	<b>USI-SAC-300</b>		<b>24378</b>
	1	VIGA 1A (DIR)	USI-SAC-300	10878,5	10878,5
	1	VIGA 1C	USI-SAC-302	10878,5	10878,5
	4	DIAGONAIS 20D	USI-SAC-313		220,4
r	4	L. 127x95x2537	USI-SAC-313	46,5	186
s	2	CH. 20x270x405	USI-SAC-313	17,2	34,4
	6	DIAGONAIS 20E	USI-SAC-313		311,4
r	6	L.	USI-SAC-313	46,5	279
x	3	CH. 12,5x270x405	USI-SAC-313	10,8	32,4
	10	VIGAS 20F	USI-SAC-313		438
t	10	L. 127x95x2390	USI-SAC-313	43,8	438
	10%	MISCELÂNIAS	USI-SAC-313	1651	1651
<b>1</b>		<b>CONJ 2</b>	<b>USI-SAC-300</b>		<b>24378</b>
	1	VIGA 2A (ESQ)	USI-SAC-301	10878,5	10878,5
	1	VIGA 1C	USI-SAC-302	10878,5	10878,5
	4	DIAGONAIS 20D	USI-SAC-313		220,4
r	4	L. 127x95x2537	USI-SAC-313	46,5	186
s	2	CH. 20x270x405	USI-SAC-313	17,2	34,4
	6	DIAGONAIS 20E	USI-SAC-313		311,4
r	6	L.	USI-SAC-313	46,5	279
x	3	CH. 12,5x270x405	USI-SAC-313	10,8	32,4
	10	VIGAS 20F	USI-SAC-313		438
t	10	L. 127x95x2390	USI-SAC-313	43,8	438
	10%	MISCELÂNIAS	USI-SAC-313		1651
<b>DIVERSOS</b>		<b>PARTES CENTRAIS DE LIGAÇÃO DOS DOIS MODULOS</b>	<b>USI-SAC-313</b>		<b>2621</b>
	4	DIAGONAIS 20D	USI-SAC-313		220,4
r	4	L. 127x95x2537	USI-SAC-313	46,5	186
s	2	CH. 20x270x405	USI-SAC-313	17,2	34,4
	6	DIAGONAIS 20E	USI-SAC-313		311,4
r	6	L.	USI-SAC-313	46,5	279
x	3	CH. 12,5x270x405	USI-SAC-313	10,8	32,4
	10	VIGAS 20F	USI-SAC-313		438
t	10	L. 127x95x2390	USI-SAC-313	43,8	438
	10%	MISCELÂNIAS	USI-SAC-313		1651
<b>Peso final (kg)</b>					<b>51377</b>

Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Figura 41 - Transporte de conjuntos da fábrica para o canteiro de obras da ponte transnordestina - PA



Fonte: ARQUIVO USIMINAS MECÂNICA (2015)

Na Tabela 10, mostram-se os custos de fabricação, transporte e montagem de campo do projeto alterado referente à formação de conjuntos na planta de produção (fábrica).

Tabela 10 - Detalhamento dos custos totais do projeto considerando formação de conjuntos

<b>Custos de fabricação, transporte e montagem de campo - Projeto alterado - ( CONJUNTOS)</b>				
<b>Materiais</b>	<b>quantidade</b>	<b>unidade</b>	<b>valor/unidade</b>	<b>Valor total</b>
Laminados Planos	37023,2	kg	3,5	R\$ 129.581
Laminados Não Planos	2709	kg	4	R\$ 10.836
Parafusos A490-TIPO 3 - (7/8)	0	conjunto	3	R\$ -
Stud Bolt (22 X 150)	936	unidade	3	R\$ 2.808
Miscelânea <sup>(1)</sup>	4953,4	kg	4	R\$ 19.814
<b>TOTAL MATERIAIS</b>				<b>R\$ 163.039</b>
<b>Item de Fabricação</b>	<b>quantidade</b>	<b>unidade</b>	<b>valor/unidade</b>	<b>Valor total</b>
Composição e soldagem dos perfis <sup>(2)</sup>	36823	kg	0,45	R\$ 16.570
Preparação - corte e furação dos perfis <sup>(3)</sup>	39532	kg	0,05	R\$ 1.977
Preparação - corte/bisel/furação - chapas	14956	kg	0,05	R\$ 748
Montagem	54488	kg	0,5	R\$ 27.244
Soldagem	54488	kg	0,5	R\$ 27.244
Soldagem stud bolt	16	Hs	85	R\$ 1.360
Acabamento	54488	kg	0,4	R\$ 21.795
<b>TOTAL FABRICAÇÃO</b>				<b>R\$ 96.937</b>
<b>Transporte das partes</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Total</b>	
Carreta Extensiva	2	R\$ 20.000	R\$	40.000
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>				<b>R\$ 40.000</b>
<b>Montagem de campo</b>	<b>Horas</b>	<b>R\$/h</b>	<b>R\$</b>	
Construção do Canteiro			R\$	2.000
Mão de obra Direta (MOD):	1103	20	R\$	22.057
Mão de obra Indireta (MOI):	1434	30	R\$	43.011
Equipamentos Principais:			R\$	6.000
Equipamentos Auxiliares/Ferramentas:			R\$	18.700
Material de Consumo/Manutenção:	35%		R\$	7.720
Hospedagem e Alimentação:	70%		R\$	15.440
Uniformes e Material de Segurança:	12%		R\$	2.647
Transporte de Pessoal:	7%		R\$	1.544
Material Permanente:	20%		R\$	4.411
Diversos:	18%		R\$	3.970
Serviços de Terceiros:	15%		R\$	3.309
Mobilização e Desmobilização:	40%		R\$	9.880
<b>TOTAL MONTAGEM</b>				<b>R\$ 140.690</b>
<b>CUSTO TOTAL</b>				<b>R\$ 440.666</b>

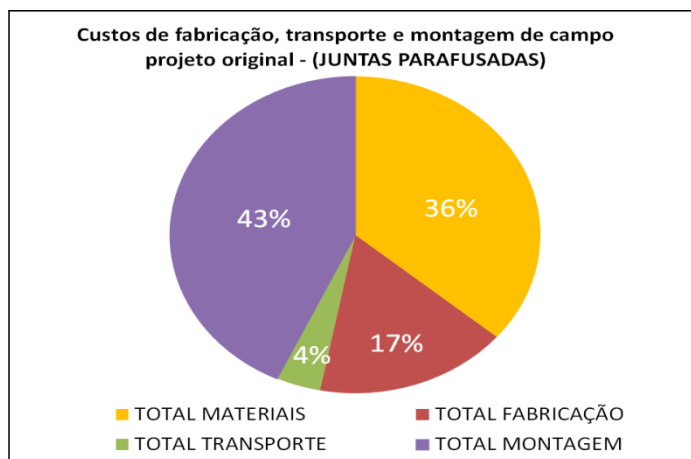
Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)



**i. Respostas à hipótese 3 – Comparação entre o custo total do projeto original x custo total considerando a formação de conjuntos na fábrica**

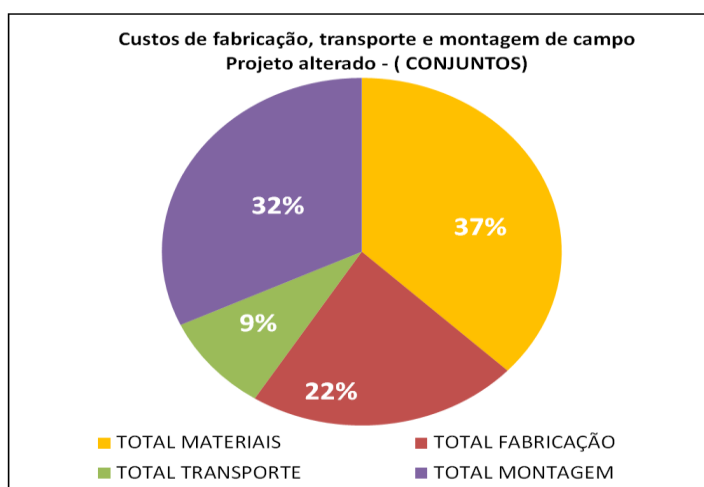
Na hipótese 3 é revelada uma redução significativa nos custos totais do projeto, impulsionada pela minimização do tempo de execução da montagem no canteiro de obra. Conforme pode ser visto nos Gráficos 5 e 6, apesar dos aumentos relativos ao valor do transporte e do volume de operações na planta de fabricação, a composição final consolidou um valor mais atrativo para a obra, onde consegue-se, além da redução propriamente mostrada, também a minimização dos riscos sujeitos à produção em ambiente aberto com pouco controle das intempéries.

Gráfico 5 - Distribuição dos custos - Junta parafusada



Fonte : ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Gráfico 6 - Distribuição dos custos - Conjuntos



Fonte : ARQUIVO DO AUTOR (2017)

### 4.3. Resumo da Variação dos Custos Frente às Hipóteses Levantadas

Na Tabela 11 está sumarizada a variação dos custos frente às hipóteses levantadas no estudo de caso.

Tabela 11 - Resumo dos custos totais da obra levantados pelas hipóteses

<b>1- PROJETO ORIGINAL- JUNTAS PARAFUSADAS</b>		
TOTAL MATERIAIS	R\$	201.378
TOTAL FABRICAÇÃO	R\$	94.213
TOTAL TRANSPORTE	R\$	21.600
TOTAL MONTAGEM	R\$	239.919
CUSTO TOTAL	R\$	557.109

<b>2- PROJETO ORIGINAL - JUNTAS SOLDADAS</b>		
TOTAL MATERIAIS	R\$	163.039
TOTAL FABRICAÇÃO	R\$	86.040
TOTAL TRANSPORTE	R\$	21.600
TOTAL MONTAGEM	R\$	285.378
CUSTO TOTAL	R\$	556.056

<b>3- ALTERAÇÃO NO PROJETO - LONGARINAS INTEIRAS</b>		
TOTAL MATERIAIS	R\$	163.039
TOTAL FABRICAÇÃO	R\$	77.867
TOTAL TRANSPORTE	R\$	40.000
TOTAL MONTAGEM	R\$	221.807
CUSTO TOTAL	R\$	502.712

<b>4- ALETRAÇÃO NO PROJETO - FORMAÇÃO DE CONJUNTOS</b>		
TOTAL MATERIAIS	R\$	163.039
TOTAL FABRICAÇÃO	R\$	96.937
TOTAL TRANSPORTE	R\$	40.000
TOTAL MONTAGEM	R\$	140.690
CUSTO TOTAL	R\$	440.666

Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

## CAPÍTULO 5

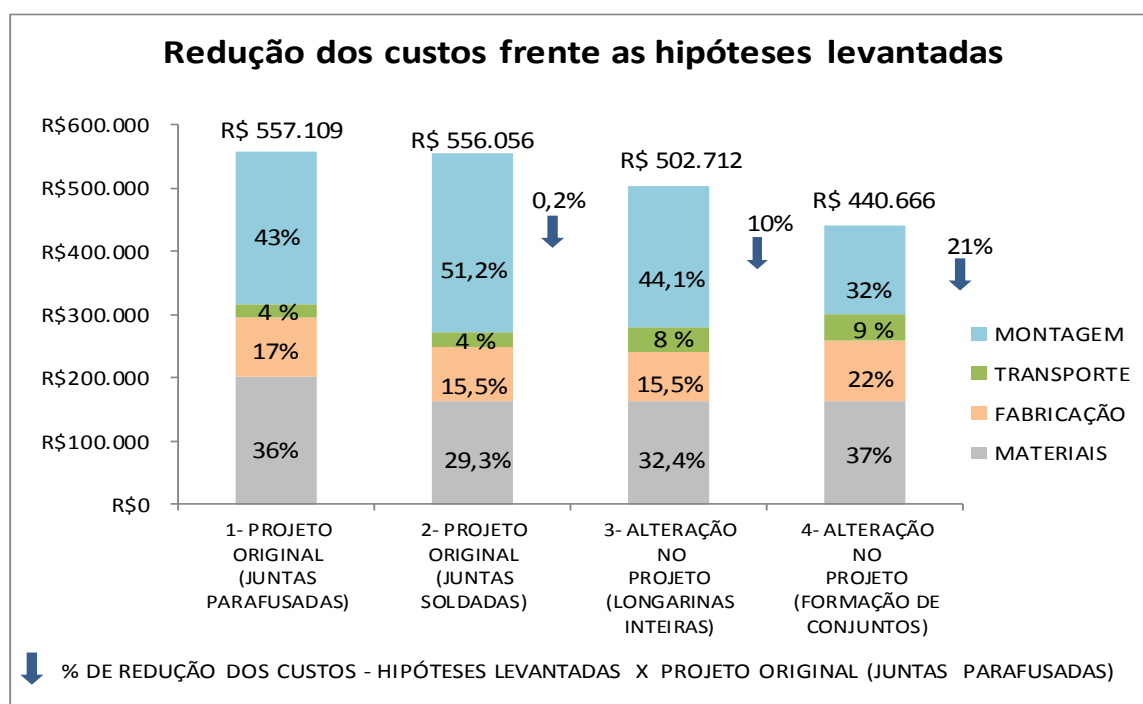
### 5. Considerações Finais

#### 5.1. Análise dos Resultados e Conclusão

Essa pesquisa trouxe uma reflexão do tema proposto constatando o quanto pode ser relevante em toda a cadeia produtiva a concepção do projeto. Considerando que os novos sistemas construtivos de pontes/ viadutos, principalmente em concreto, têm sido amplamente estudados e vêm ganhando mercado frente à produção em aço, melhorias dos projetos de pontes/ viadutos em estrutura metálica ou mista necessitam ser intensificadas e os projetistas continuamente devem buscar alternativas mais viáveis, não só quanto ao dimensionamento das estruturas, mas para influenciar em todos os sistemas produtivos a fim de tornar sempre viável esse tipo de construção.

No Gráfico 7 ilustra-se de forma sintetizada a variabilidade dos custos nas etapas de construção conforme hipóteses levantadas no estudo de caso.

Gráfico 7 - Variação dos custos - Resultado do estudo de caso



Fonte: ARQUIVO DO AUTOR (2017)

Para discutir os resultados apresentados no gráfico 7, relatam-se:

- ✓ A concepção definida no projeto original para juntas parafusadas corresponde ao maior custo total, seguida da opção relativa às juntas soldadas, ambas ligadas ao efeito do seccionamento das longarinas;
- ✓ A exclusão das ligações, seja soldada ou parafusada, reflete positivamente no custo final da obra, pois além da eliminação das fases operacionais de corte, furação e acabamento na planta, também promove a redução das operações na montagem de campo. Essa opção compreende uma redução de 10% em relação à concepção original do projeto.
- ✓ O efeito da eliminação das ligações acentua-se mais quando formam-se conjuntos nas plantas de fabricação, no qual maximizam-se as operações de fábrica e minimizam-se as de campo.
- ✓ Comparando-se a solução inicial do projeto com a solução que propôs a formação dos dois conjuntos na planta de fabricação, obtém-se uma oportunidade de redução no custo total em 21%, podendo ser essa diferença a margem de viabilidade para escolha da concepção em aço/mista.

Todavia, pôde-se verificar que há em nosso país empresas equipadas e com *expertise* comparada às principais empresas internacionais para fabricação e montagem desse tipo de empreendimento, chamado, em muitos casos, de obras de artes especiais.

Muitas empresas, principalmente as mais conceituadas nesse tipo de construção, vêm aprimorando os projetos que ora são captados em suas fábricas. O grande ponto no qual se intensifica o contexto desse trabalho é relativo aos projetos metálicos que não saem do papel ou que são substituídos por outra forma construtiva em detrimento da inviabilidade econômica motivada pela falta de estudos de toda a cadeia produtiva.

Pôde-se concluir que o estudo de caso apresentado vem abrir uma nova janela para reflexão ao revelar os impactos oriundos da escolha do projetista relativa à concepção do projeto, em especial, as definições das partições das estruturas na fase inicial do projeto. Ressalta-se que mesmo em projetos simples, onde as soluções parecem óbvias, sempre é necessário avaliar todas as opções construtivas e principalmente as fases de fabricação, transporte e montagem, pois, para cada tipo de construção, esses fatores podem influenciar diferentemente no custo final da obra, viabilizando ou não uma concepção construtiva ou até mesmo todo o empreendimento.

## **5.2. Trabalhos Futuros**

Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se:

- ✓ Desenvolvimento de manual instrutivo para orientação ao projetista de pontes e viadutos sobre as influências dos custos na cadeia produtiva;
- ✓ Estudo sobre técnicas e métodos para desenvolvimento de orçamento de pontes e viadutos;
- ✓ Estudo para desenvolvimento de métodos de planejamento e programação das etapas de fabricação e montagem de pontes;
- ✓ Análise e dimensionamento das ligações de topo em longarinas de pontes;
- ✓ Análise da flambagem local de almas em longarinas de pontes e viadutos, objetivando redução de peso dos perfis soldados.

## REFERÊNCIAS

A2P CONSULT - ESTUDOS E PROJECTOS. *Ponte Metálica Santa Margarida do Sado, Concelho de Grândola - E.N. 259 ao KM 20+490 - Portugal, 2010.*

Disponível em: <http://www.a2p.pt/portfolio/projectos/ponte-met-lica-sta-margarida-do-sado>. Acesso em: 15 de abril de 2017.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO, *standard specifications for highway bridges. 16th ed. Washington: AASHTO, 1996.*

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE - AWS D1.1 *structural welding code- steel, 22nd edition. Miami: ANSI, 2010.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NBR 7188 – *Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.*

BELLEI, I.H. *Edifícios industriais em aço: projeto e cálculo. São Paulo: PINI, 1994.*

BRANCO, C.M., FERNANDES, A.A., CASTRO, P.M.S. T. *Fadiga de Estruturas Soldadas. Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.*

BRAZIL – HERCILIO LUZ BRIDGE . *Blog Brasil, Florianópolis, 02 de Dezembro de 2013. Disponível em: <http://www.depylaction.com.br/blog/brazil-hercilio-luz-bridge/>. Acesso em: 25 de janeiro de 2017.*

CANTILEVER BRIDGES, *warwickallen - web site UK, Inglaterra, 2004. Disponível em: <http://www.warwickallen.com/bridges/CantileverBridges.htm>. Acesso em: 30 de janeiro de 2017.*

COOPER, S.E. *Designing steel structures: methods and cases. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1985.*

CYPECAD. *Multiplus Softwares Técnicos - novos tipos de ligações e emendas, São Paulo. Disponível em: <http://www.multiplus.com/software/cypecad/versoes-anteriores/versao-2012.asp#ligacoes-e-emendas>. Acesso em: 31 de março de 2017.*

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DENIT. *Resolução nº 1, de 14 de janeiro de 2016. Publicada no d.o.u de 15 de janeiro de 2016. DENIT, 2016*

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - EUROCODE 1 - *Design of steel structures - Part 2: "Traffic loads on bridges" EN 1991-2. Brussels: EUROCODE, 2003.*

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - EUROCODE 3 - *Design of steel structures - Part 1-1: "General rules and rules for buildings" EN 1993-1-1. Brussels: EUROCODE, 2005.*

GAYLORD, H.E.; GAYLORD, C.N.; STALLMEYER, J.E. *Design of steel structures*. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1992.

CONSTRUCTION OF BRIDGES START. *General Knoledges - Mohammad Khaja Shareef, Andhrapradesh State, India, Julho de 2012. Disponível em: <http://www.generalknowledges.com/2012/07>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2017.*

IÇAMENTO DE VIGAS. *Infraestrutura Urbana – Projetos, Custos e Construção, Juliana Nakamura, divulgação – Imperial Crame, Edição 36 de Março de 2014, São Paulo. Disponível em: [http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/36/artigo\\_307658-3.aspx](http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/36/artigo_307658-3.aspx). Acesso em: 20 de janeiro de 2017.*

MALITE, M. *Ligações em estruturas de aço*. São Carlos: EESC-USP, 1994.

MENDES, TELMO ALEXANDRE ALVES. *Tabuleiros mistos aço-betão com dupla acção mista*. Dissertação ( Mestrado)- Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: UTL, Lisboa: 2010.

PFEIL, WALTER; PFEIL, MICHÈLE. *Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a norma 8800:2008*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995.

PONTE DE D. LUIZ (PORTO). *Wikipédia - Małgorzata Kaczor, Porto, Portugal, 12 de Agosto de 2009. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte\\_de\\_D.\\_Lu%C3%AAs\\_\(Porto\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_de_D._Lu%C3%AAs_(Porto)). Acesso em: 17 de janeiro de 2017.*

PINHO, FERNANDO OTTOBONI; BELLEI, ILDONY HÉLIO. *Pontes e viadutos em vigas mistas*. 1ª ed. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

PINTERESTE. *Ibytes.es, Ponte Ferroviária sobre o Rio Forth - Escócia, 2017. Disponível em: <https://br.pinterest.com/galiciafutura/puentes-bridges/?lp=true>. Acesso em: 20 de setembro de 2017.*

QUITES, A.M.; DUTRA, J.C. *Tecnologia da soldagem a arco voltaico*. Florianópolis: EDEME, 1979.

REABILITAÇÃO DA PONTE PEDONAL DE SÃO ELMO EM MALTA. *Arenas & Associados, Valeta, 20 Maio de 2014. Disponível em: <https://www.EngenharIacivil.com/reabilitacao-ponte-pedonal-malta>. Acesso em: 18 de janeiro de 2017.*

RODOVIAS, MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, *Programa de Desenvolvimento em Logística, Brasil. 09 de junho de 2015. Disponível em: <http://www.epl.gov.br/rodovias3>. Acesso em: 17 de janeiro de 2017.*

THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. *SCI-207 Joints in Steel Construction: Moment Connections. P-207*. Reino Unido: Ascot, 1997.

VALENCIANI, V.C. *Ligações em estruturas de aço*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1997.

VIEST, M.I.; COLACO, J.P.; FURLONG, R.W.; GRIFFIS, L.G.; LEON, R.T.; WYLLIE, L.A.; *Composite Construction Design for Building*. The American Society of Civil Engineers – ASCE. New York: McGraw-Hill, 1997.

VIEST, I.M.; FOUNTAIN, R.S.; SINGLETON, R.C. *Composite Construction in Steel & Concrete*. New York: McGraw-Hill,, 1958.

VITÓRIO, JOSÉ AFONSO PEREIRA - *Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão*. 1ª ed. Recife: CREA-PE, 2002.


WAINER, E.; BRANDI, S.D.; MELLO, F.D.H. *Soldagem: processos e metalurgia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

ZHIJINGHE BRIDGE. *HighestBridges, Hubei Province, 28 de novembro de 2009*. Disponível em: [http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Zhijinghe\\_Bridge](http://www.highestbridges.com/wiki/index.php?title=Zhijinghe_Bridge). Acesso em: 17 de janeiro de 2017.



## ANEXO I

Orçamento de transporte das vigas – Preço unitário para carretas convencionais e extensiva de 30 metros

 <b>PROPOSTA COMERCIAL</b>	<b>COMERCIAL MATRIZ</b>	
	Número: COTAÇÃO	Revisão: 00
Referência:	Data: 22/09/2017	Página: 1 de 3

Empresa	UMSA
Contato	FERNANDO SADAO
E-mail	sadao.fernando@usiminasmecanica.com.br
Referencia	Transporte Rodoviário
Fone/Fax	31-3829-4178

Prezado Cliente,  
Apresentamos nossa proposta comercial para prestação de serviços de transporte conforme descrito abaixo:

### 1. ORIGEM/DESTINO:

	<b>ORIGEM</b>	<b>UF</b>	<b>DESTINO</b>	<b>UF</b>
1.1	<b>IPATINGA</b>	<b>MG</b>	<b>BACABEIRA</b>	<b>MA</b>

### 2. OBJETO DO TRANSPORTE / ESPECIFICAÇÕES:

Quant. Peças	Material transportado	Dimensões em mm.			Peso kgs unid.	VALOR DA NOTA FISCAL	
		Comp.	Larg.	Alt.			
2.1	12	PERFIL I COM CONECTORES	12000	1950	1890	27240	Não informado
2.2	1	MISCELANEAS	12000	1950	1260	18160	Não informado
2.3	2	PERFIL I COM CONECTORES	24900	1950	1260	27240	Não informado
2.4	1	PERFIL I COM CONECTORES	24900	2950	1950	27240	Não informado

### 3. EQUIPAMENTO TRANSPORTADOR/FRETE:

QUANT.		<b>EQUIPAMENTO / CAPACIDADE</b>	<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Valor do Frete Unitário</b>
3.1	DIV	CARRETA CONVENCIONAL	<b>IPATINGA/MG</b>	<b>BACABEIRA/MA</b>	<b>R\$ 10.800,00</b>
3.2	DIV	CARRETA EXTENSIVA 30 METROS	<b>IPATINGA/MG</b>	<b>BACABEIRA/MA</b>	<b>R\$ 20.000,00</b>

### 4. CONDIÇÕES GERAIS:

<b>Obs.:</b>	<b>Favor Atenta-se ao item 5.5</b>
<b>Quantidade de embarques</b>	<b>VIAGEM</b>
<b>Ad-Valorem</b>	<b>DDR DA USIMEC</b>
<b>Carga / Descarga</b>	<b>POR CONTA DO CONTRATANTE</b>
<b>Pedágios</b>	<b>INCLUSO</b>
<b>Impostos / ICMS</b>	<b>CONFORME LEGISLAÇÃO VIGENTE A INCLUIR</b>
<b>Prazo de Pagamento</b>	<b>30 dias da data do embarque</b>
<b>Franquia p/ Carga / Descarga</b>	<b>24 HORAS</b>
<b>Diária após franquia</b>	<b>Carreta = R\$ 700,00, CARRETA EXTENSIVA R\$1.000,00 a diaria, Não é aceito Hora Fracionada com a franquia de 24 HORAS</b>

**OMEGA DE MINAS EXPRESSO, LOGÍSTICA E ARMAZENAGEM LTDA – CNPJ 04.474.543/0001-00**  
Rua Rio Paraopeba, nº 1424 –Bairro Riacho das Pedras – CEP-32.265-000 – Contagem/MG  
Tel. 31 2104-9000 – Fax 31 2104-9010 – [romulo@omegalogistica.com.br](mailto:romulo@omegalogistica.com.br)  
VISITE O NOSSO SITE: [www.omegalogistica.com.br](http://www.omegalogistica.com.br)