

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ARTHUR WILSON MARTINS OLIVEIRA
CRISTIANE MELLO GONÇALVES DA SILVA
INGRID CARDOSO DA MOTTA COSTA
MATHEUS CUNHA PERLINGEIRO DE ABREU**

**PONTE METÁLICA TRELIÇADA, UMA ALTERNATIVA COMPETITIVA
PARA VÃOS MÉDIOS E GRANDES - ELABORAÇÃO DE UM EXEMPLO
PARA UM VÃO DE 90 METROS.**

VOLTA REDONDA, RJ

2020

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
PROPOSTA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTE METÁLICA TRELIÇADA, UMA ALTERNATIVA COMPETITIVA
PARA VÃOS MÉDIOS E GRANDES - ELABORAÇÃO DE UM EXEMPLO
PARA UM VÃO DE 90 METROS.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniFOA como requisito à obtenção de avaliação na disciplina de Bacharel em Engenharia Civil.

Alunos:

Arthur Wilson Martins Oliveira

Cristiane Mello Gonçalves da Silva

Ingrid Cardoso da Motta Costa

Matheus Cunha Perlingeiro de Abreu

Orientador:

Prof. MSc. Fernando Ottoboni Pinho

VOLTA REDONDA, RJ

2020

Aos nossos familiares e amigos por todo apoio concedido.

AGRADECIMENTOS

*À família e amigos, pelo incentivo e paciência nessa jornada;
Ao Prof. M.Sc Fernando Pinho pelo conhecimento passado;
À secretária Cristiane Braga por todo carinho e dedicação;
Ao coordenador de estágio Sr. Mário Arthur pelo amparo.
Ao coordenador Eng. Zito pelos imensuráveis conselhos dados ao longo do curso.*

RESUMO

As pontes treliçadas metálicas são utilizadas há mais de dois séculos nos EUA e Europa como recurso construtivo para vencer médios e grandes vãos, aliado à eficiência, relação custo benefício, rapidez na montagem e construção, resiste basicamente às cargas axiais. Apesar disso, é subutilizada no Brasil. Dispondo de amplo recurso em aço, o Brasil é um país que poderia se beneficiar do uso de tal material para construção de pontes treliçadas. Esse trabalho faz análise de arquivos com uma revisão bibliográfica do tema, objetivando identificar o uso de pontes treliçadas no Brasil e no mundo, de forma a elencar suas vantagens, onde apresenta tipos de treliças que são empregadas em pontes e associado ao projeto experimental de modelagem de uma ponte que vença um vão de 90 metros. Com cálculos basicamente automatizados por *software*. Através do uso de normas técnicas brasileiras publicadas e inclusive em consulta nacional. Este trabalho numa concepção geral, traz um conjunto de equações que contribuem para os parâmetros de dimensionamento da ponte. De modo a permitir a elaboração de um roteiro conciso, que contém métodos de ligações e sistemas de montagem sobre modelo construtivo de pontes metálicas treliçadas. Apesar de escasso o material sobre pontes metálicas treliçadas o embasamento teórico referido norteou o cálculo, havendo situado e precisado eficientemente o processo de desenvolvimento da ponte, que possa vir a ser usado por futuras gerações de estudantes de Engenharia Civil.

Palavras-chave: Pontes treliçadas; pontes Treliçadas metálicas; modelo construtivo; modelagem; aço.

ABSTRACT

Metal lattice bridges have been used for more than two centuries in the USA and Europe as a constructive resource to overcome medium and large spans, combined with efficiency, cost-benefit ratio, quick assembly and construction, basically resisting axial loads. Despite this, it is underutilized in Brazil. With ample resources in steel, Brazil is a country that could benefit from the use of such material for the construction of lattice bridges. This work analyzes files with a bibliographic review of the theme, aiming to identify the use of truss bridges in Brazil and in the world, in order to list its advantages, where it presents types of trusses that are used in bridges and associated with the experimental modeling project a bridge that overcomes a span of 90 meters. With calculations basically automated by software. Through the use of published Brazilian technical standards and even in national consultation. This work, in a general conception, brings a set of equations that contribute to the bridge design parameters. In order to allow the elaboration of a concise script, which contains methods of connections and systems of assembly on constructive model of latticed metal bridges. Although the material on metal lattice bridges is scarce, the theoretical basis referred to guide the calculation, having efficiently located and precise the bridge development process, which may be used by future generations of Civil Engineering students.

Keywords: Truss bridges; metal truss bridges; constructive model; modelling; steel.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Problema abordado.....	15
1.2	Justificativa.....	16
1.3	Estratégias de pesquisa.....	16
1.4	Estrutura do Projeto.....	17
1.5	Objetivo Geral.....	18
1.5.1	Objetivos Específicos.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Uso de Pontes Treliçadas no mundo.....	19
2.2	Uso de Pontes Treliçadas no Brasil.....	24
2.3	Treliças Utilizadas em Pontes.....	28
2.4	Componentes Ponte Treliçada.....	31
2.5	Pontos Positivos e Negativos do Uso de Pontes Treliçadas.....	33
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	Elaboração de Ponte Treliçada.....	34
3.2	Modelo Estático das Treliças.....	37
3.3	Normas Técnicas.....	43
3.4	Roteiro das equações.....	43
3.4.1	Pré-Dimensionamento.....	45
3.4.2	Dados da Ponte.....	45
3.4.3	Cargas atuantes.....	46
3.4.3.1	Carga Permanente anterior à cura do concreto - CP1.....	46
3.4.3.2	Carga Permanente posterior à cura do concreto – CP2.....	47
3.4.3.3	Carga Móvel com Coeficiente de Impacto Vertical.....	47

3.4.4	Cálculo dos Esforços e da Envoltória	47
3.4.5	Cálculo das Propriedades das seções	48
3.4.6	Verificação das Vigas de Aço e Laje	49
3.4.7	Verificação da Deformação e Contra Flecha.....	50
3.4.7.1	Flecha Máxima à carga móvel com Coeficiente de impacto Vertical.....	50
3.4.8	Conectores de Cisalhamento	51
3.4.9	Enrijecedor de apoio.....	51
3.4.10	Enrijecedores Transversais Intermediários	51
3.4.11	Enrijecedor Longitudinal	52
3.4.12	Solda de Composição de Perfis	52
3.4.13	Dimensionamento dos diafragmas	52
3.4.14	Verificação da Fadiga.....	53
3.4.15	Cálculo dos Esforços e Envoltória da Transversina	53
3.4.16	Cálculo dos Esforços e Envoltória da Treliça	54
4	LIGAÇÕES	55
4.1	Soldadas	55
4.2	Parafusos	56
4.2.1	Tipos de Ligações parafusadas.....	56
4.2.2	Fadiga	57
5	SISTEMA DE MONTAGEM POR LANÇAMENTO	58
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
7	CONCLUSÃO	66
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de desenvolvimento do TCC	17
Figura 2: Ponte ferroviária com treliça do tipo Warren	19
Figura 3: Ponte treliçada do tipo Bollman em Savage, Maryland	21
Figura 4: Ponte Saltash	22
Figura 5: Treliça do tipo Post.....	22
Figura 6: Ponte de Albert Fink em Louisville	23
Figura 7: Ponte cruzando o Rio Connecticut.....	23
Figura 8: Ponte Alberto Torres	24
Figura 9: Ponte Benjamin Constant.....	25
Figura 10: Ponte Getúlio Vargas	26
Figura 11: Elevado sobre a Avenida Brasil	26
Figura 12: Implosão Ponte Rio Pongaí.....	27
Figura 13: Ponte rodoferroviária Paraná	27
Figura 14: Treliça Pratt.....	28
Figura 15: Treliça Warren.....	28
Figura 16: Treliça Warren com montante	29
Figura 17: Treliça Warren dupla	29
Figura 18: Treliça Warren composta	30
Figura 19: Treliça Parker	30
Figura 20: Treliça K.....	30
Figura 21: Treliça Whopple	31
Figura 22: Componentes da treliça	32

Figura 23 - Estrado Superior e Inferior	33
Figura 24- Seção Longitudinal Ponte Metálica Treliçada	35
Figura 25- Classes de Projeto de Obra de Arte.....	36
Figura 26- Detalhe Preliminar Seção Transversal.....	36
Figura 27- Longarinas cotadas transversalmente	37
Figura 28:Treliça Warren com montante	38
Figura 29: Comportamento estático da treliça.....	38
Figura 30: Treliça Warren com peso próprio	39
Figura 31: Diagrama Momento Fletor Treliça	39
Figura 32: Treliça Warren sem montante	40
Figura 33: Tração e compressão nas barras.....	40
Figura 34: Treliça Pratt.....	41
Figura 35: Tração e compressão nas barras.....	41
Figura 36: Treliça Howe	42
Figura 37: Tração e compressão nas barras.....	42
Figura 38 - Seção 1	48
Figura 39 - Perfil 1	49
Figura 40 - Etapa 01 do Sistema de Montagem por Lançamento	58
Figura 41 - Etapa 02 do Sistema de Montagem por Lançamento	58
Figura 42 - Etapa 03 do Sistema de Montagem por Lançamento	59
Figura 43 - Etapa 04 do Sistema de Montagem por Lançamento	59
Figura 44 - Etapa 05 do Sistema de Montagem por Lançamento	59
Figura 45 – Seção Longitudinal pré-dimensionada	60
Figura 46 – Seção Transversal pré-dimensionada.....	60

Figura 47 – Sequência de carga na estrutura	63
Figura 48 - Vista da Ponte Treliçada em vão de 90m	64
Figura 49 – Diagrama Esforço Normal	65
Figura 50 - Ponte Metálica Treliçada.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo de Pontos positivos e negativos	33
Quadro 2 - Dados do Pré-Dimensionamento	45
Quadro 3 - Dados construtivos iniciais da ponte	45
Quadro 4 - Cálculo da Carga Permanente 1 - CP1	46
Quadro 5 - Cálculo da Carga Permanente 2 - CP2	47
Quadro 6 - Carga Móvel com Coeficiente de Impacto Vertical (CM+CIV)	47
Quadro 7 - Esforços máximos nas emendas.....	48
Quadro 8 - Tensões Admissíveis (AASHTO 17 ^a : 2002)	49
Quadro 9 - Tensões Máximas nos Perfis	50
Quadro 10 - Flecha máxima	50
Quadro 11 - Diagrama de Contra Flecha	50
Quadro 12 - Cálculo Cortante Máximo	52
Quadro 13 - Dimensionamento de Diafragmas	53
Quadro 14 - Cálculo dos esforços solicitantes - Msd e Vsd	53
Quadro 15 - Perfil metálico da Treliça	54

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Dimensões mínima de uma solda de filete por um passe (mm).....	55
Tabela 2 - Dimensões dos tipos de furos para parafusos em milímetros	56
Tabela 3 - Tensão de tração a fadiga em parafusos	57
Tabela 4 - Resultados de cálculos da Ponte Metálica Trelaçada	61

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - PERFIS LAMINADOS.....	70
ANEXO 2 - PERFIS SOLDADOS.....	72
ANEXO 3 - PERFIS LAMINADOS U.....	76
ANEXO 4 - RESISTÊNCIA ADMISSÍVEL DOS CONECTORES A CISCALHAMENTO...77	
ANEXO 5 - PESO PONTE METÁLICA PARA CLASSE 45 t.....	78
ANEXO 6 - TABELA DE TIPOS DE AÇO	80

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA PONTE METÁLICA TRELIÇADA	81
APÊNDICE B – DADOS DA PONTE.....	82
APÊNDICE C - CARGAS ATUANTES	83
APÊNDICE D - CÁLCULO DE ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA.....	84
APÊNDICE E - CÁLCULO DAS PROPRIEDADES DAS SEÇÕES.....	86
APÊNDICE F - VERIFICAÇÃO DO PERFIL DA LONGARINA.....	88
APÊNDICE G - VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO E CONTRA FLECHA.....	89
APÊNDICE H - CONECTORES DE CISALHAMENTO	90
APÊNDICE I - ENRIJECEDOR DE APOIO.....	92
APÊNDICE J - ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS INTERMEDIÁRIOS	93
APÊNDICE K - ENRIJECEDOR LONGITUDINAL	95
APÊNDICE L - SOLDA DE COMPOSIÇÃO DE PERFIS	96
APÊNDICE M - DIMENSIONAMENTO DOS DIAFRAGMAS	98
APÊNDICE N - VERIFICAÇÃO DA FADIGA.....	99
APÊNDICE O - CÁLCULO DOS ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA DA TRANSVERSINA.....	100
APÊNDICE P - CÁLCULO DOS ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA DA TRELIÇA	102

1 INTRODUÇÃO

O uso de pontes vem beneficiando o ser humano desde os primórdios. Sua construção tem capacidade de desenvolver um bairro, cidade, estado, país, facilitando a conexão entre dois pontos, antes isolados, de forma segura e eficiente. Embora segundo Pereira (2017, p.1), ainda há necessidade de construção de pontes em várias cidades brasileiras.

No Brasil, porém, raramente o uso de pontes metálicas treliçadas é considerado como uma opção viável, já que impera a cultura de estruturas em concreto armado, o que pode inviabilizar a construção de pontes em determinadas situações, seja devido à dificuldade financeira, à falta de espaço ou ao cronograma reduzido.

1.1 Problema abordado

A problemática do estudo consiste na elaboração de um projeto que permita discutir o modelo construtivo de pontes metálicas treliçadas.

Com fácil acesso ao aço, o esperado seria que o Brasil fizesse amplo uso do modelo. Mas, segundo dados do Instituto Aço Brasil, a capacidade instalada de produção de aço bruto em 2018 foi de 51,5 milhões de toneladas, com produção efetiva acumulada de 35,4 milhões de toneladas e exportação líquida de 11,5 milhões de toneladas (diferença entre exportação e importação), o que demonstra a capacidade de crescimento do mercado interno e a subutilização do material no país (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

Desta forma, questiona-se: como elaborar um material criterioso sobre o tema de forma a impactar futuras gerações, não só de engenheiros, mas da população como um todo, apesar da escassez de material abordando o tema?

1.2 Justificativa

Nas pontes metálicas a treliça funciona como uma estrutura conectada que possui como objetivo resistir às forças aplicadas, trabalhando basicamente a tração e compressão, graças a seu formato triangular. Associada ao aço, o seu uso permite vencer grandes vãos em função do seu peso baixo e de sua resistência alta. Além disso, as pontes treliçadas em aço são conhecidas pela eficiência, relação custo benefício, rapidez na montagem e construção (ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO, 2015).

Com pouco material publicado no Brasil e falta de interesse pelo meio acadêmico, este projeto foca no esclarecimento e redescobrimto do método construtivo como forma de impactar gerações futuras de estudantes, engenheiros e da população como um todo.

1.3 Estratégias de pesquisa

A estratégia de pesquisa, segundo Yin (2001, p.24), define a forma como os dados serão coletados e analisados, considerando as cinco seguintes alternativas: experimentos, levantamentos, análises de arquivos, pesquisas históricas e estudos de caso.

Este trabalho tem caráter exploratório, o que segundo ainda o autor Yin (2001, p.25), permite com que qualquer uma das estratégias sejam escolhidas. As escolhidas foram estratégia experimental e análise de arquivos. Através do experimento, com a construção de uma ponte treliçada metálica em programa de modelagem, busca-se identificar como funcionam as pontes treliçadas metálicas e porque não são mais utilizadas como método construtivo no país. Com a análise de arquivo objetiva-se compreender a história do modelo construtivo através da coleta de dados de livros,

artigos de periódicos e material divulgado na Internet. Para que se possa compreender melhor na Figura 1 um Fluxograma do trabalho.

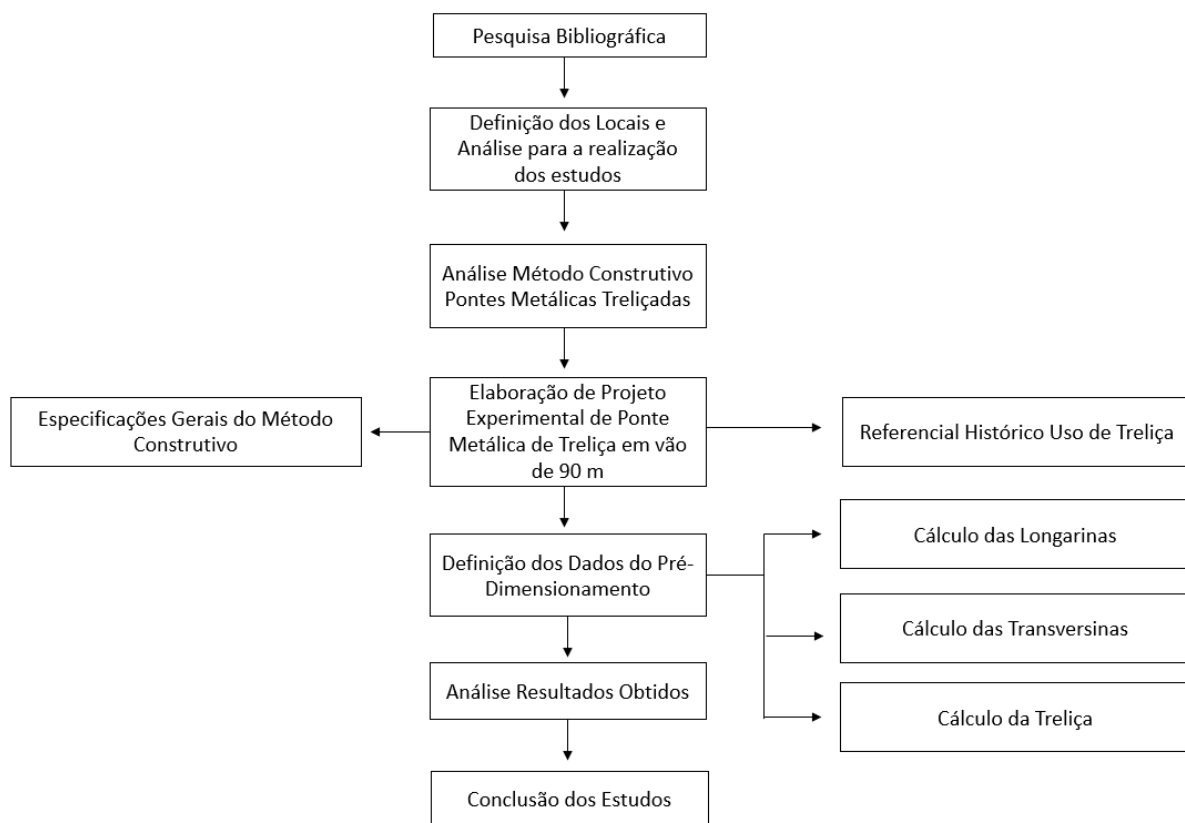


Figura 1 - Fluxograma de desenvolvimento do TCC

Fonte: Autores (2020)

1.4 Estrutura do Projeto

O projeto é composto por introdução voltada à história de pontes treliçadas metálicas no Brasil e no mundo, além de aspectos técnicos das treliças. No desenvolvimento é discutido o modelo estático das treliças, o tipo de ligações e perfis metálicos utilizados comumente na construção de pontes metálicas. Em posse dessas informações faz-se uma análise da treliça, ligação e perfil que mais se adequam para a construção de uma ponte treliçada metálica em um vão de 90 metros, sendo modelada

através do desenvolvimento de planilhas automatizadas de cálculo no Microsoft Excel (2016) associado ao uso dos softwares FTOOL (2017), Fusion(2018) e AutoCAD (2018).

1.5 Objetivo Geral

Estabelecer uma revisão bibliográfica do tema, de forma a identificar o uso de pontes treliçadas no Brasil e no mundo e elencar suas vantagens, associado ao projeto experimental de modelagem de ponte metálica treliçada em um vão de 90 metros que possa servir como base para cálculos futuros de pontes treliçadas de qualquer vão desejado de forma simples e intuitiva, de forma a impactar futuras gerações de estudantes de Engenharia Civil, bem como da população em geral, pelos benefícios do método construtivo.

1.5.1 Objetivos Específicos

- Modelar uma ponte treliçada metálica;
- Calcular os esforços da ponte e representar seus modelos estáticos;
- Desenvolver cálculos automatizados que permitam calcular pontes treliçadas metálicas para qualquer vão desejado;
- Promover discussão acerca do modelo construtivo;
- Elaborar um roteiro conciso que sirva de base teórica para futuras gerações de estudantes de Engenharia Civil;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Uso de Pontes Treliçadas no Mundo

As pontes treliçadas metálicas são conhecidas pela eficiência, custo benefício, rapidez na montagem e construção. Apesar disso, são subutilizadas no Brasil.

O reflexo disso é a quantidade de material em português que aborda o tema ser quase nula. Mesmo sendo bastante utilizada em outros países, os materiais também são escassos se comparados a outros temas da engenharia civil. Por isso o interesse do grupo pelo tema.

A treliça funciona como uma estrutura conectada que possui como objetivo resistir às forças aplicadas. A treliça trabalha bem a tração e compressão, graças a seu formato, basicamente triangular. Um fator que permite o seu uso em grandes vão é devido a seu peso baixo e sua resistência alta. Com isso, desde o século XIX vem sendo bastante utilizada em pontes, inclusive no Brasil, mas em escala bem menor do que em outros países. Um exemplo do uso de treliça em pontes pode ser observado na figura 2 (TYRREL, 1911).

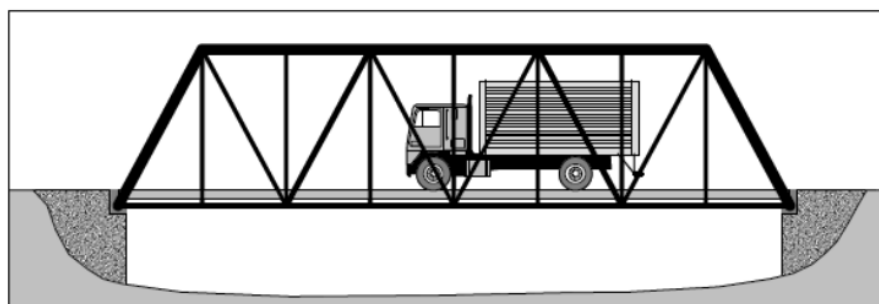


Figura 2: Ponte ferroviária com treliça do tipo Warren

Fonte: UFJF, 2016.

O seu uso é recomendado em casos que o vão a ser vencido faz com que haja um aumento da parte vertical da viga (alma da viga), o que acaba por provocar aumento de peso considerável. A treliça, sempre é mais alta do que uma viga de alma cheia. Já o uso de perfis metálicos se justifica pela forma das treliças, que favorece o uso de laminados em aço de alta resistência (PINHO, 2009, p. 1).

Para entender o uso de treliças, de pontes metálicas e a combinação dos dois, é preciso fazer um paralelo histórico.

Os primeiros materiais utilizados para construção de pontes foram a pedra e madeira. As primeiras tentativas de uso de ferro para construção de pontes datam do século XVI na Itália. Porém, até 1719 não houve muitos registros acerca do método construtivo no velho continente. Enquanto isso, no Japão e na China durante o século XVII, elas passaram a ser utilizadas 200 anos antes do que viriam a ser usadas na América.

Acredita-se que a primeira treliça tenha surgido em um formato triangular bem simples, e, a partir disso, tenham surgido as treliças modernas.

A primeira ponte ferroviária de ferro data do ano de 1823, de autoria de George Stephenson, cruzava o rio Gaunless na Inglaterra e possuía estruturas que se assemelham a uma ponte cavalete, sendo suportada por pequenos triângulos.

A primeira ponte treliçada de que se tem registro foi construída em 1824 por George Smart na Irlanda, também para uso ferroviário. A treliça por ele desenvolvida tinha um apoio vertical e diagonais inclinadas a um ângulo de 18 graus em relação a vertical (TYRREL, 1911, p. 165).

Já a primeira ponte em que foi utilizado aço foi em Viena (1828) com 90 metros de vão livre. Nos EUA, o primeiro uso de treliça em uma ponte de ferro foi em 1845, cruzando um pequeno riacho de Manayunk, na Filadélfia.

Se inicialmente as pontes eram construídas na base da tentativa e do em erro, com a publicação de *“A Work on Bridge Building”*(Whipple, Squirel; 1847) e *“The General Theory of Bridge Construction”* (Haupt, Herman; 1851), surge o princípio da teoria moderna de estruturas. Com isso, passa-se a ter conhecimento científico e análise precisa das tensões causadas nas estruturas.

Nos anos 40 e 50 do século XIX houve bastante uso nos EUA de treliça de aço do tipo Bollman (Figura 3) e Fink na ferrovia de Baltimore e Ohio (TYRREL, 1911, p. 169).



Figura 3: Ponte treliçada do tipo Bollman em Savage, Maryland

Fonte: Registro Nacional de propriedades de Maryland, 2019.

A treliça do tipo Pratt foram inventadas em 1844, feita inicialmente em madeira, passando a ser feita depois em ferro e aço. Se até 1860 a maioria das pontes era feita de madeira, entre 1860 e 1890 passaram a ser feitas de ferro, sendo então substituídas por aço nessa década.

Em 1857 surgem as treliças lenticulares do sistema Pauli. Sendo um exemplo a Ponte Saltash (Figura 4) pertencente a ferrovia Cornish e que cruza o rio Tamar perto de Plimude, no condado de Devon, Inglaterra. Com dois vãos livres de quase 140 metros, foi desenhada por IK Brunel e concluída em 1859.

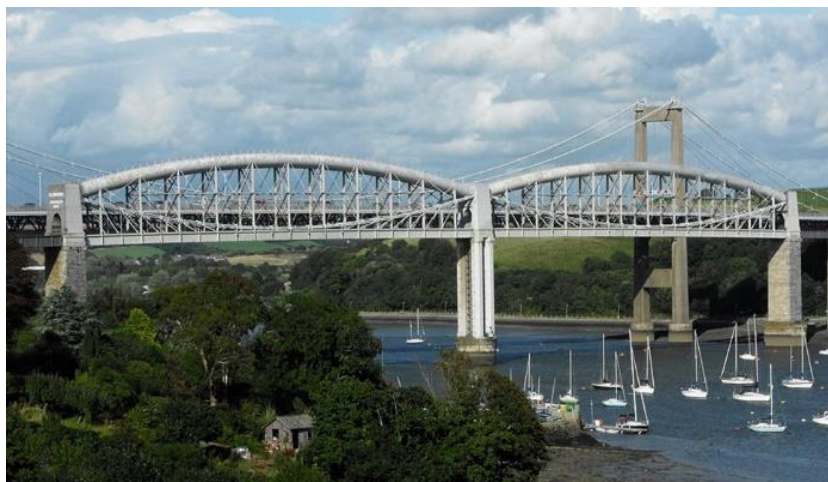


Figura 4: Ponte Saltash

Fonte: Prefeitura Municipal de Plymouth (2019)

Já em 1865, surge a treliça Post, idealizada por S.S.Post (Figura 5) em Washingtonville, na ferrovia Erie (TYRREL, 1911, p. 175).



Figura 5: Treliça do tipo Post

Fonte: Sociedade Histórica Estrada de Ferro Ontário (2019)

Em 1869 a ponte de Louisville, Ohio, é finalizada. Com faixa única e projeto de Albert Fink, ela possuía 120m no maior vão e deu origem à treliça de mesmo nome: Fink (Figura 6).



Figura 6: Ponte de Albert Fink em Louisville

Fonte: SciHi (2019)

Em 1896 surge um importante modelo de ponte, cruzando o rio Connecticut em Middletown (Figura 7). Até 1910, data da publicação do livro *“History of the Bridge Engineering”* de Henry Tyrrel, essa era o modelo com maior vão nos EUA. Antes de sua construção, a ligação entre as cidades de Middletown e Portland era feita por ferry boat. Continha cinco vãos: o maior de 135 metros (450 pés), dois de 60 metros (200 pés) e dois de 67,5 metros (225 pés). A rodovia com 7,8 metros de largura (26 pés), além de duas calçadas para pedestre (TYRREL, 1911).



Figura 7: Ponte cruzando o Rio Connecticut

Fonte: TYRREL., 1911

Um tipo de treliça bastante conhecida, Warren, pode ser visto sobre o Rio Saint Francis em Richmond, Quebec, e possuía, no ano de 1910, o maior vão livre sobre rio de pontes treliçadas, simplesmente fixada, para uso rodoviário.

2.2 Uso de Pontes Treliçadas no Brasil

Se nos EUA a primeira treliça totalmente em aço foi feita na década de 40 do século XIX, no Brasil os primeiros registros de pontes de treliça totalmente em aço são da década de 50 do século XIX (PINHO; BELLEI; 2007).

Já em 1860 foi construída a ponte treliçada totalmente em aço conhecida como Alberto Torres (Figura 8), no município de Areal. Tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), ela foi executada pela Companhia União e Indústria com objetivo de ligar Petrópolis a Juiz de Fora e possui um vão de 46 m (PINHO; BELLEI; 2007).



Figura 8: Ponte Alberto Torres

Fonte: Prefeitura Municipal de Areal (2019)

Em 1885, é inaugurada em Manaus a ponte Benjamin Constant (Figura 9), com extensão de 161m, dois vãos de vinte metros, dois de 30m e um vão de 60m, com modelo de treliça do tipo Pratt (CEDPHA-Conselho Estadual de Defesa do Patrimônio Histórico e Artístico do Amazonas, 2019).

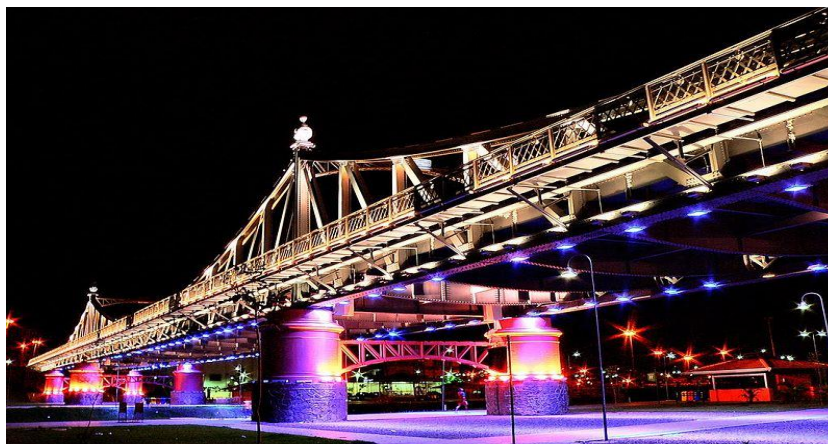


Figura 9: Ponte Benjamin Constant

Fonte: CEDAPHA (2019)

No sul fluminense, no município de Barra do Piraí, destaca-se a ponte Getúlio Vargas (Figura 10). Segundo o site Mapa de Cultura no ano de 2012, da Secretaria de Cultura do Estado do Rio de Janeiro, a construção, que data de 1898, teve com objetivo de permitir a passagem de trens da Rede Mineira de Viação. Inicialmente de uso misto (ferrovias e pedestres), o uso ferroviário foi substituído pelo rodoviário. Com cinco vãos de 50 metros, ela é sustentada por 8 pilares de alvenaria e segue o modelo de treliça composta com montante, possuindo tabuleiro inferior, além de curvatura do banzo superior.

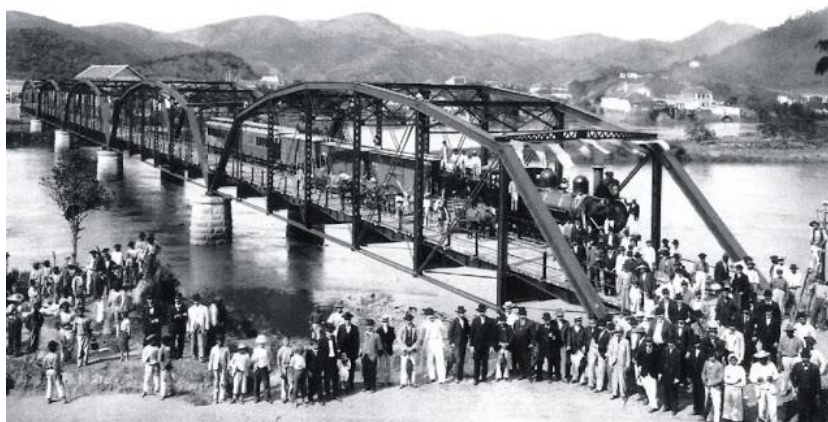


Figura 10: Ponte Getúlio Vargas

Fonte: Turismo Vale do Café (2019)

Já na cidade do Rio de Janeiro, um exemplo do uso de treliça está no elevado da Linha Vermelha que passa sobre a Avenida Brasil. Como é possível observar pela figura 11, ela se vale de treliças do tipo Warren ou W, com o uso do estrado superior para um sentido e o inferior para outro, sendo o seu uso rodoviário.



Figura 11: Elevado sobre a Avenida Brasil

Fonte: Google Street View (2014)

Outra ponte de destaque fica no estado de São Paulo e faz a travessia sobre o Rio Tietê, no município de Pongaí. Construída de concreto armado, ela tem 2,4 km de extensão e faz uso de estrutura metálica treliçada do tipo Warren sem montante, no vão central, em uma extensão de 120 metros. Seu uso é para permitir o vão sem

rompimento. Anteriormente, o vão central tinha 40 metros de extensão, o que atrapalhava a passagem de grandes embarcações. Com isso, em 2012, foram implodidos 3 vão centrais para serem substituídos por essa nova estrutura metálica treliçada, como pode ser observado na figura 12 (Portal G1, 2019).



Figura 12: Implosão Ponte Rio Pongá

Fonte: Portal G1 (2019)

Um modelo de ponte que chama atenção no Brasil pela grandiosidade é a Ponte Rodoferroviária (Figura 13), com extensão de 2600 metros e largura de 17,4 metros, sobre o Rio Paraná, no Paraná. Ela se vale do uso de treliças do tipo Warren com montante e estrado superior e inferior. No superior o uso é rodoviário e no inferior, ferroviário (Constran, 2019).



Figura 13: Ponte rodoferroviária Paraná

Fonte: Constran (2019)

2.3 Treliças Utilizadas em Pontes

Para chegar no design final das treliças que utilizamos hoje, os engenheiros dos séculos passados criaram várias combinações e muitas delas receberam o nome daqueles que a patentearam porem todas tem algo em comum, os membros das treliças formam um triângulo.

Treliça Pratt (Figura 14): Possui diagonais, que são os elementos mais longos, tracionadas inclinadas para o centro, já a compressão situa-se no componente mais curto chamado de montante. Sendo assim, ela é considerada vantajosa, uma vez que é mais leve, barata e fácil de se construir.

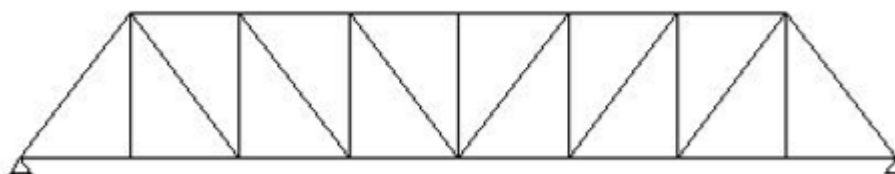


Figura 14: Treliça Pratt

Fonte: PINHO; BELLEI (2007)

Treliça Warren (Figura 15): Suas forças axiais de tração e compressão estão dispostas nas diagonais em sentido opostos, geralmente, ela possui altura constante, mas podem ocorrer variações. Esse tipo possui variantes modelos, isso acontece quando adicionamos montante a partir do tabuleiro até a corda superior ou ligando em oposição as diagonais.

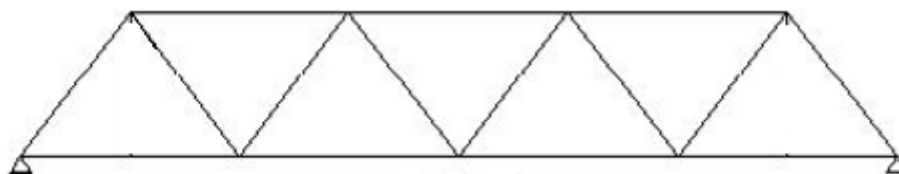


Figura 15: Treliça Warren

Fonte: PINHO; BELLEI (2007)

A figura 16, é um modelo alterado, possuiu barras nas verticais, os chamados montantes, que servem para amarrar a estrutura e dar resistência, fazendo assim que vença vãos longos. Ponte nesse estilo é mais utilizada devido ao aspecto visual.

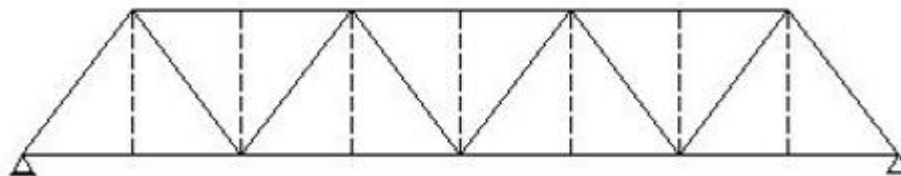


Figura 16: Treliça Warren com montante

Fonte: PINHO; BELLEI (2007)

A treliça Warren Dupla (Figura 17) é um sistema primário, uma vez que usa losangos, fazendo com que as barras inclinadas sejam mais curtas e para haver estabilidade deve ter ligações que vai do banzo até o ponto intermediário. Esse modelo, usualmente, utiliza-se de contraventamentos horizontais, que servem para mudar a ação dos ventos e para isso, a estrutura é composta de barras tracionadas, que formam uma tesoura na parte inferior da treliça.

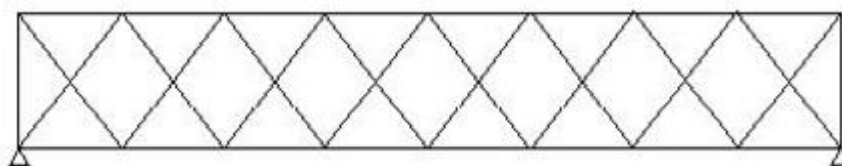


Figura 17: Treliça Warren dupla

Fonte: PINHO; BELLEI (2007)

Já a Warren Composta (Figura 18) é utilizada quando o comprimento de flambagem – encurvamento - nas barras inclinadas é grande, sendo assim utiliza-se barras diagonais de maior comprimento para diminuir a esse fenômeno (PINHO; BELLEI, 2007, p. 23).

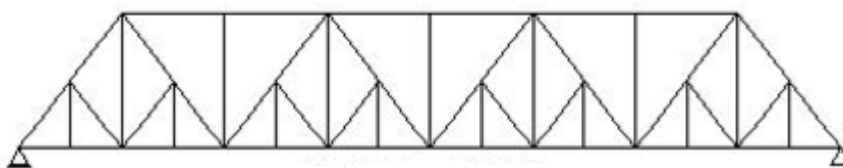


Figura 18: Treliça Warren composta

Fonte: PINHO; BELLEI (2007)

Treliça Parker: Possui diagonais com o banzo inferior de 40 a 60. Ela é indicada para vãos grandes, uma vez que possui altura variável. Esse modelo é uma variante da Pratt, conforme pode-se observar na figura 19.

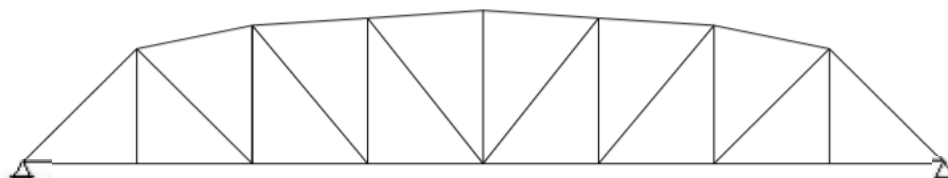


Figura 19: Treliça Parker

Fonte: PINHO (2009)

Treliça tipo K (Figura 20): Esse modelo consiste em duas diagonais, com inclinações consideráveis, por painel, que saem do banzo e passa pelo ponto médio das barras verticais. Esse modelo é de preferência indicado quando se deseja vencer grandes vãos e manter a altura constante ou variável, sendo assim, ela é uma treliça com painéis curtos e alta. Pode-se considerar também, “o sistema de contraventamento K, é indicado quando a altura do painel é de ordem de duas a três vezes o seu comprimento”. (PINHO; BELLEI, 2007, p. 23).

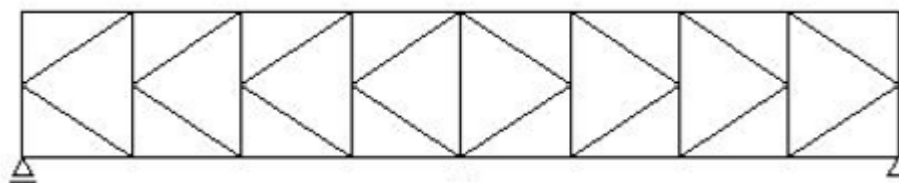


Figura 20: Treliça K

Fonte: PINHO (2009)

Treliça Whopple: Com o aumento do vão, aumenta assim, a altura e o comprimento do painel. Para obter melhor estabilidade, faz o uso dos elementos adicionais (figura 21), que são barras verticais e/ou ligadas do ponto médio das barras diagonais até o banzo inferior e superior.

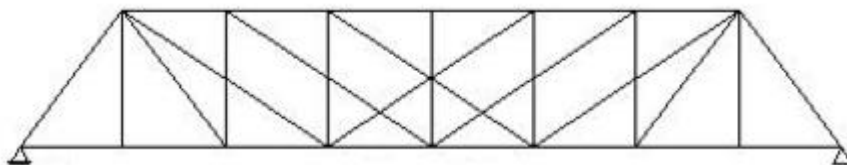


Figura 21: Treliça Whopple

Fonte: PINHO; BELLEI (2007)

2.4 Componentes Ponte Treliçada

Os principais componentes de uma ponte treliçada e que podem ser observados na figura 22 são:

O tabuleiro, apoiado em longarinas, que descarrega sua carga na transversina, que por sua vez, se apoia no nó da treliça.

A treliça, que é formada por banzo superior, inferior, diagonal, contra diagonal e montante. E o contraventamento horizontal, que transmite as cargas para os contraventamentos verticais, de forma a garantir a estabilidade da estrutura (PINHO; BELLEI, 2007, p. 22).

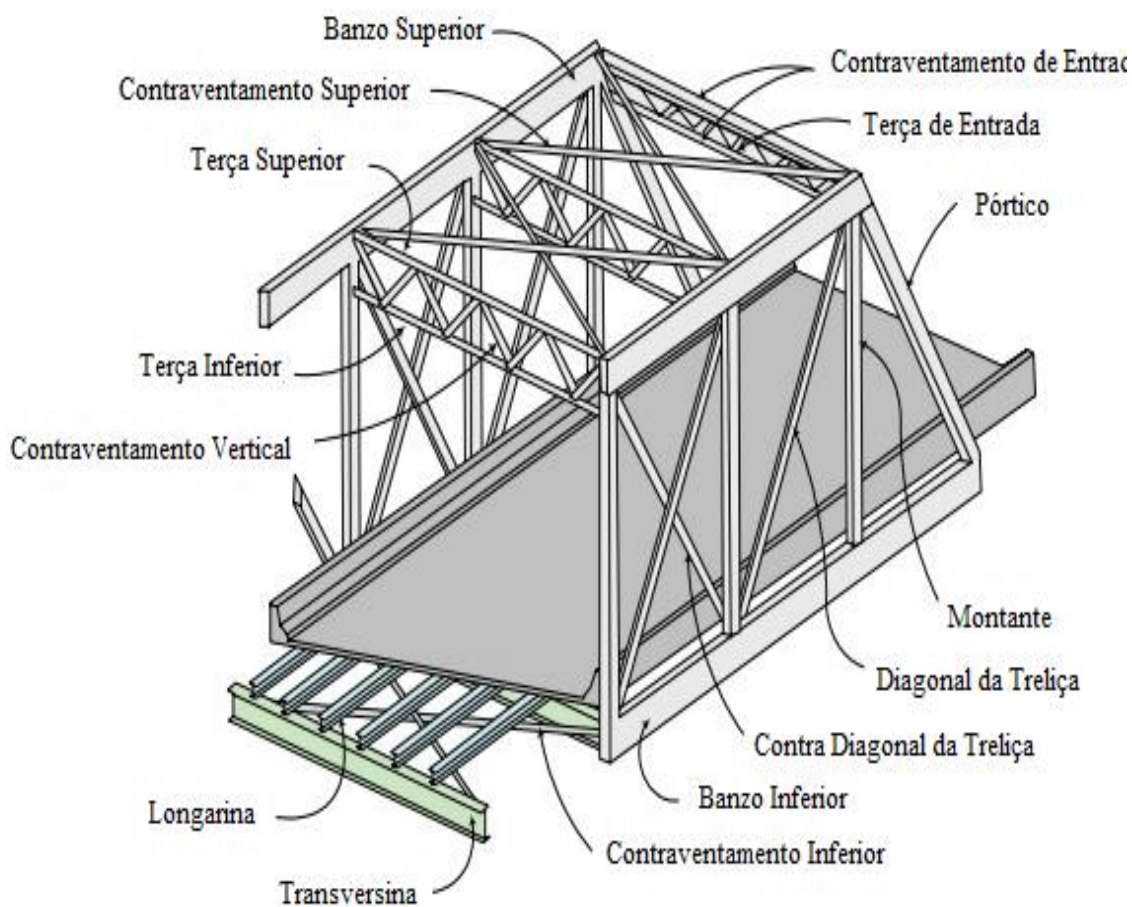


Figura 22: Componentes da treliça

Fonte: ROSSOW (2012)

Outra característica que permite identificar os elementos de uma ponte de treliça é em relação ao estrado, que pode ser superior ou inferior. No estrado inferior a pista fica apoiada no nó da corda inferior da treliça, já no superior fica apoiada no nó das cordas superiores da treliça, como ilustrado na figura 23. (PINHO, 2009, p. 3).

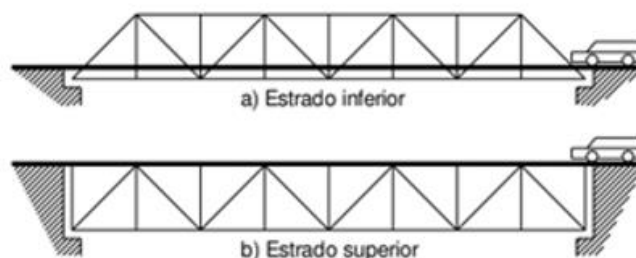


Figura 23 - Estrado Superior e Inferior

Fonte: PINHO (2009)

2.5 Pontos Positivos e Negativos do Uso de Pontes Treliçadas

Como forma de provar a vantagem do uso de pontes metálicas treliçadas pode-se fazer uso do quadro 1 abaixo comparativo, em que são elencadas as vantagens e desvantagens do método construtivo, o que acaba por provar que há mais vantagens do que desvantagens (PINHO; BELLEI, 2007, p. 22).

Quadro 1 – Comparativo de Pontos positivos e negativos

Pontos Positivos	Pontos Negativos
Solicitação apenas por cargas axiais	Fator estético
Alturas maiores com menor peso e redução da flecha	-
Rapidez da Montagem	-
Rapidez da Fabricação	-

fonte: Autores (2020)

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho utiliza como critérios técnicos pesquisa bibliográfica e pesquisa experimental. De acordo com Gil (2002, p.44), a pesquisa bibliográfica é elaborada a partir de material já publicado, constituindo principalmente de livros, artigos periódicos e de material disponibilizado na Internet. Já a pesquisa experimental é o uso de um objeto de estudo, selecionando-se as variáveis que poderiam influenciá-lo de forma a definir as formas de controle e observação dos efeitos que a variável produz no objeto. A pesquisa bibliográfica deste trabalho tem como intuito o estudo da história das pontes treliçadas, seu uso no mundo e no Brasil. É necessária também para o estudo do modelo estático das treliças, bem como aprofundamento na escolha dos perfis metálicos e do funcionamento do aço e seu uso na construção de pontes. O material de estudo provém de livros, artigos, periódicos e material de internet.

Através do conhecimento proveniente da pesquisa bibliográfica, este trabalho faz uso da pesquisa experimental com objetivo de desenvolver, através de cálculo automatizado no Excel (2016) associado ao uso de AutoCAD 3D e Fusion (2018) e FTOOL (2017), um modelo criterioso e bem fundamentado de uma ponte treliçada metálica em um vão de 90m, de forma a permitir a elaboração de um roteiro sobre modelo construtivo de pontes metálicas treliçadas que possa vir a ser usado por futuras gerações de estudantes de Engenharia Civil.

3.1 Elaboração de Ponte Treliçada

As treliças são utilizadas para vãos que variam entre 50,0 m e 120,0 m, no caso de serem isostáticas, e até 250,0 m quando são contínuas. Para serem econômicas a altura deve variar entre 1/8 a 1/15 do vão. (PINHO; BELLEI, 2007, p. 22).

Com objetivo de modelar uma ponte metálica treliçada, o vão escolhido foi de 90,0 m, possuindo altura de treliça de 10m (1/9 do vão), em um modelo isostático, o

que atende ao gabarito mínimo de 4,5 metros para pontes classe IV (sendo desejado valores acima de 5,5 metros) conforme estabelecido no Manual de Obra de Artes Especiais (DNER, p.24). A treliça definida é Warren sem montante, pelo fato de ser uma estrutura visualmente simples, sem excesso de informação, o que elimina o problema estético comum às pontes treliçadas, que por muitas vezes são descritas como esteticamente confusas.

A distância entre nós segue o padrão de 15,0 m, onde são descarregados os esforços da ponte (Figura 24).

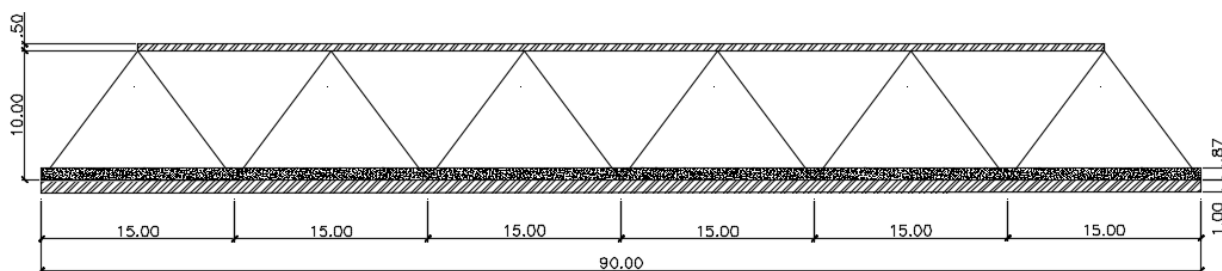


Figura 24- Seção Longitudinal Ponte Metálica Treliçada

Fonte: Autores (2020)

O estrado do tipo inferior é uma preferência puramente estética, havendo espaço abaixo da ponte, pode-se optar pelo uso do estrado superior.

As longarinas usais seguem o padrão de $1/20$ do vão de cada nó e a transversina $1/10$ da seção transversal.

Seguindo-se as definições do Manual de Obra de Artes Especiais (DNER, p.38), pode-se elaborar a seção transversal, sendo escolhido o padrão classe IV, que considera um volume diário médio entre 50 e 200 veículos e padrão classe 45, conforme figura 24. A seção transversal para esse tipo de projeto é de 9,8 m (Figura 25). Considerando-se faixa dupla, deve haver 3,00 m para cada faixa de rolamento, 1,50 cada acostamento interno, um guarda roda de 40 cm de base e 1,50 m de passeio, conforme figura 26.

Classe de Projeto \ Elemento	I - B (cm)		II (cm)		III (cm)		IV (cm)	
	Rodovia	O.A.E.	Rodovia	O.A.E.	Rodovia	O.A.E.	Rodovia	O.A.E.
Acostamento	300/250	250	250/200	250	250/150	150	150/80	150
Faixa de Rolamento	360/350	350	360/330	350	350	350	300	300
Largura total (L)		1280		1280		1280		1080

Figura 25- Classes de Projeto de Obra de Arte

Fonte: DNER (1996)

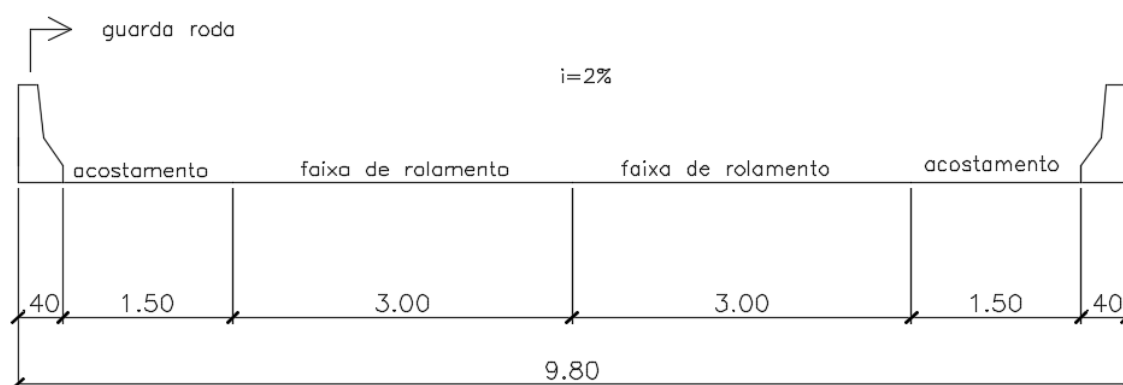


Figura 26- Detalhe Preliminar Seção Transversal

Fonte: Autores (2020)

Em posse das informações preliminares, parte-se para a individualização do projeto. Para a distâncias das longarinas, é adotada a distância do vão (9,80 m) dividida por 5, o que dá 1,96 m de distância requerida entre elas. Como as longarinas externas são as que recebem mais esforço, opta-se por projetá-las a 1 m do bordo externo e as internas com distância de 2,60 m, totalizando os 9,80 m. Já a altura das longarinas, deve ser, em torno de 1/20 do comprimento dela, o que totalizaria 0,75 m. Por questão de segurança e facilidade de cálculo posterior, adota-se 1,00 m.

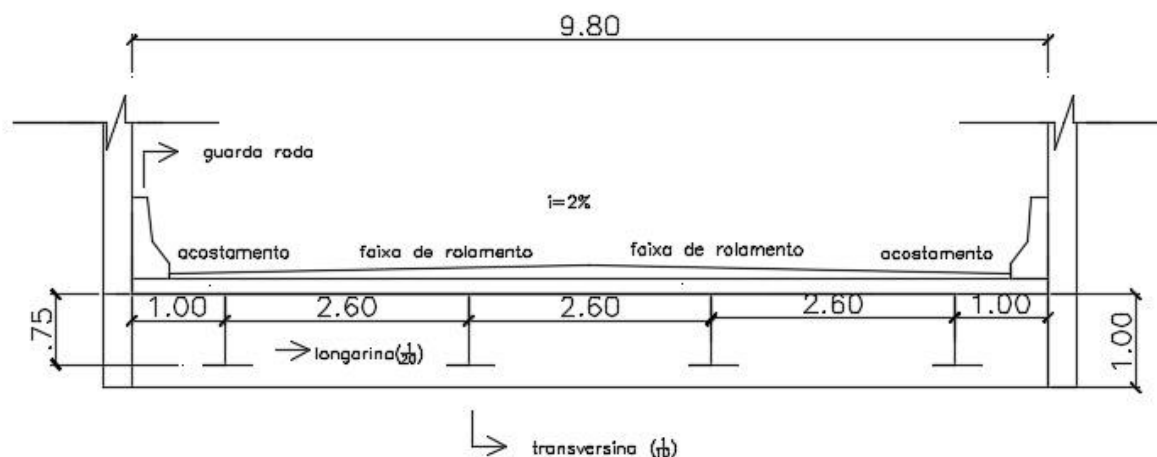


Figura 27- Longarinas cotadas transversalmente

Fonte: Autores (2020)

Já as transversinas são projetadas com comprimento de 9,8 m, ou seja, o tamanho da seção transversal da ponte. A altura, que deve ser a partir 1/10 do comprimento da mesma, ou seja, a partir de 0,98 m, sendo então adotado 1,00 m por questão de segurança e facilidade do cálculo posterior conforme figura 27.

3.2 Modelo Estático das Treliças

Como forma de justificar a escolha da treliça Warren sem montante além da questão estética é preciso analisar o modelo estático das treliças e comparar a treliça Warren com outros modelos utilizados em pontes.

A treliça resiste basicamente à tração e compressão. A tração é representada de forma positiva e a compressão, negativa.

Utilizando a ferramenta FTOOL (2017) versão 4.00 Basic, desenvolvida pela PUC-Rio, é possível resolver alguns modelos mais conhecidos de treliça, de forma a observar o seu modelo estático, além de identificar a que melhor serve ao propósito de modelagem de uma ponte treliçada metálica em um vão de 90m.

A primeira treliça apresentada (Figura 28) é uma das mais conhecidas e vistas em diferentes tipos de construções: a chamada treliça Warren com montante. Observa-se que a compressão resistida pelas barras se restringe à parte superior e às laterais conforme figura 29.

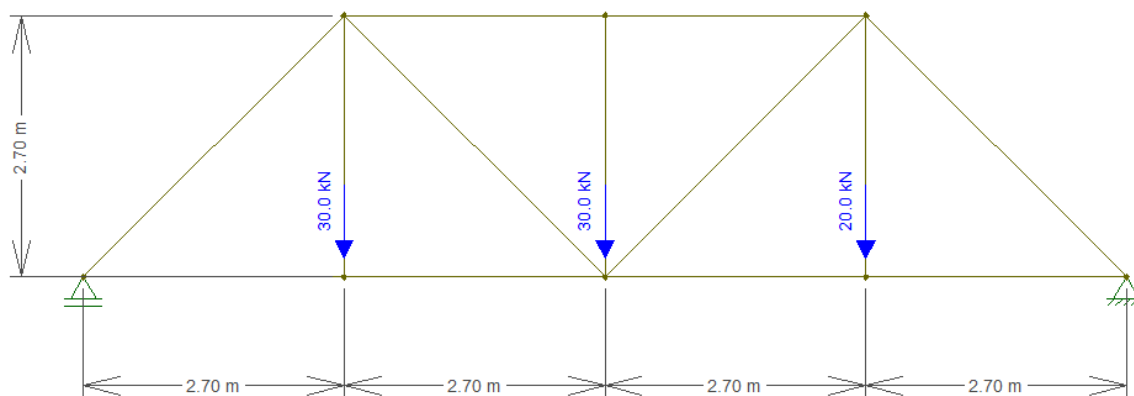


Figura 28: Treliça Warren com montante

Fonte: Autores (2020)

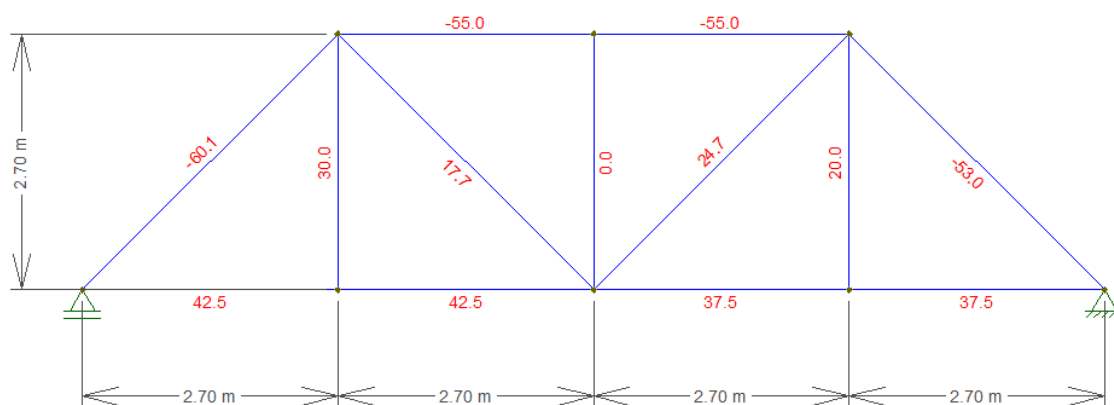


Figura 29: Comportamento estático da treliça

Fonte: Autores (2020)

É importante observar, que ao contrário do que é comumente esperado, os nós da treliça não assumem comportamento rotulado, conforme pode ser visto na figura 30. Ou seja, quando considerado o peso próprio da mesma (nesse caso, utilizado um valor hipotético de 1kN/m), tem-se momento residual nos nós, conforme pode ser visto na figura 31.

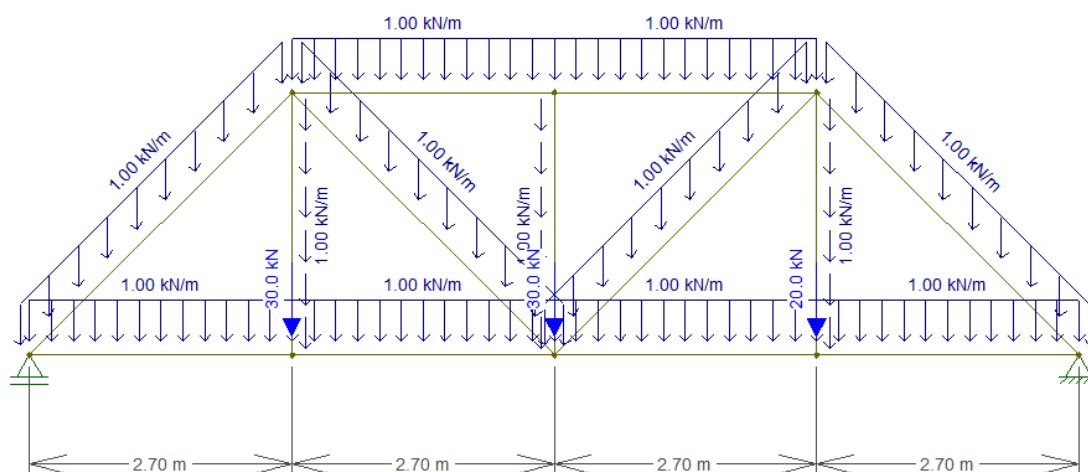
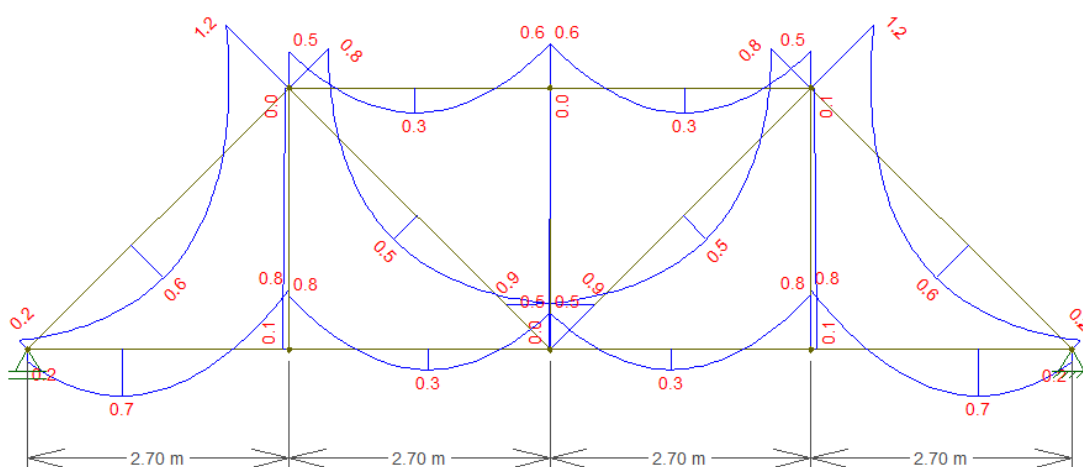


Figura 30: Treliça Warren com peso próprio

Fonte: Autores (2020)



DMF

Figura 31: Diagrama Momento Fletor Treliça

Fonte: Autores (2020)

Já na treliça do tipo Warren sem montante (Figura 32), quando submetida às mesmas forças, pode-se observar a semelhança com o resultado obtido no modelo com montante. Superiormente e lateralmente as barras resistem à compressão e no vão central e inferior à tração conforme figura 33.

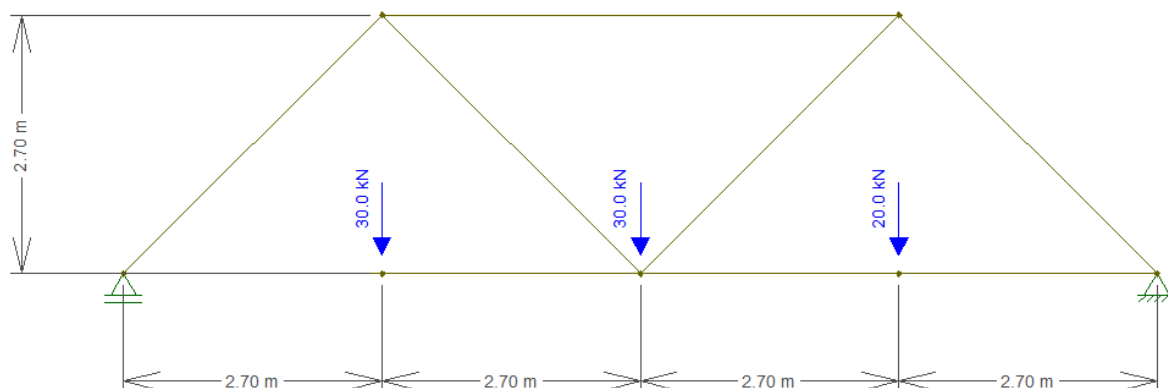


Figura 32: Treliza Warren sem montante

Fonte: Autores (2020)

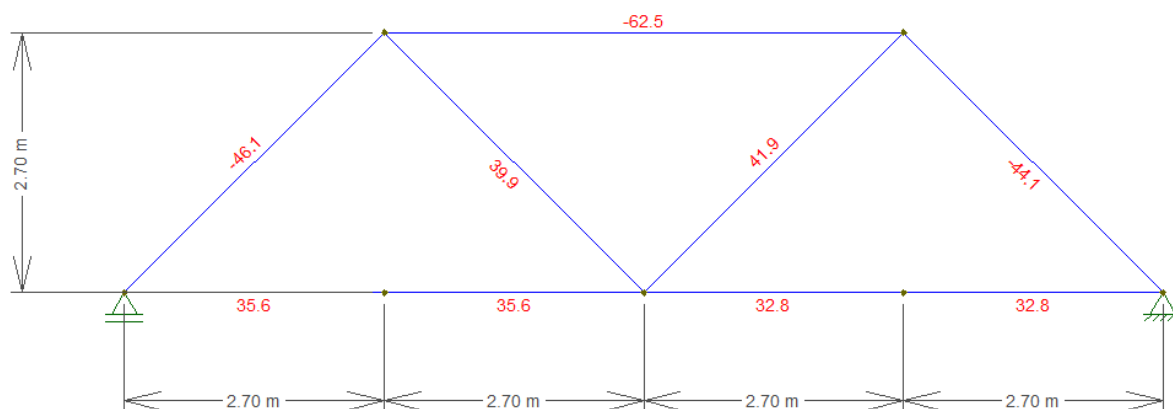


Figura 33: Tração e compressão nas barras

Fonte: Autores (2020)

Na treliça Pratt (Figura 34), tem-se compressão na parte superior horizontal e barras verticais e tração no resto. Mas ao contrário da Warren, os valores não são constantes, ou seja, eles variam ao longo das barras, o que pode ser um problema conforme pode ser observado na figura 35. Com grande variação de valores, as barras exigem perfis diferentes, o que acaba por ser problemático caso haja homogeneização

deles, pois este critério acaba por tornar, neste caso, o projeto antieconômico. E optar por usar perfis diferentes complica a produção e montagem.

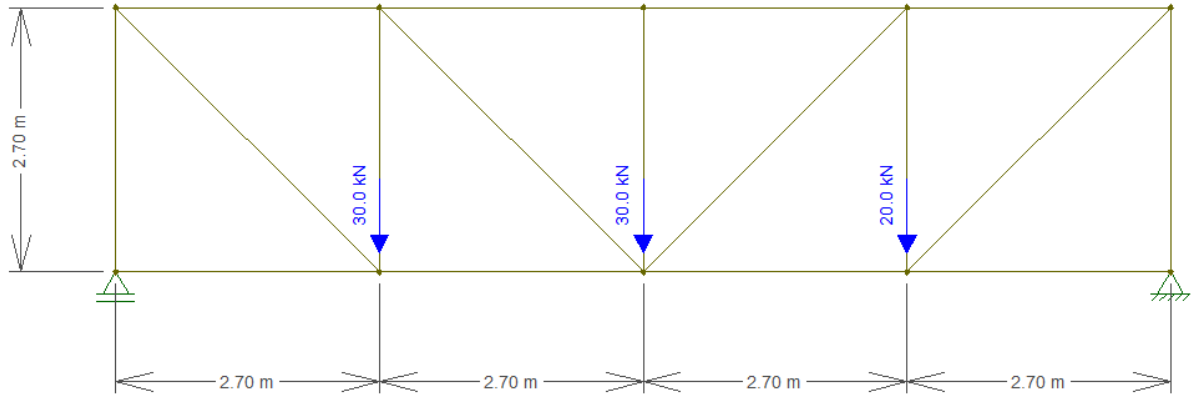


Figura 34: Treliça Pratt

Fonte: Autores (2020)

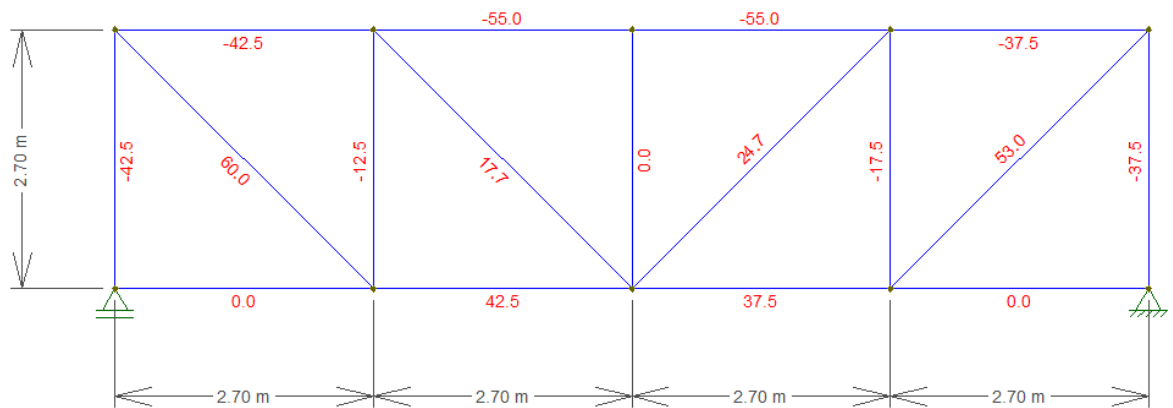


Figura 35: Tração e compressão nas barras

Fonte: Autores (2020)

O comportamento da Howe (Figura 36) se assemelha à Pratt, porém há a inversão de tração e compressão nas barras verticais e diagonais. Na Pratt a tração é na diagonal e na Howe é na vertical. A inversão ocorre também na compressão como apresentado na figura 37.

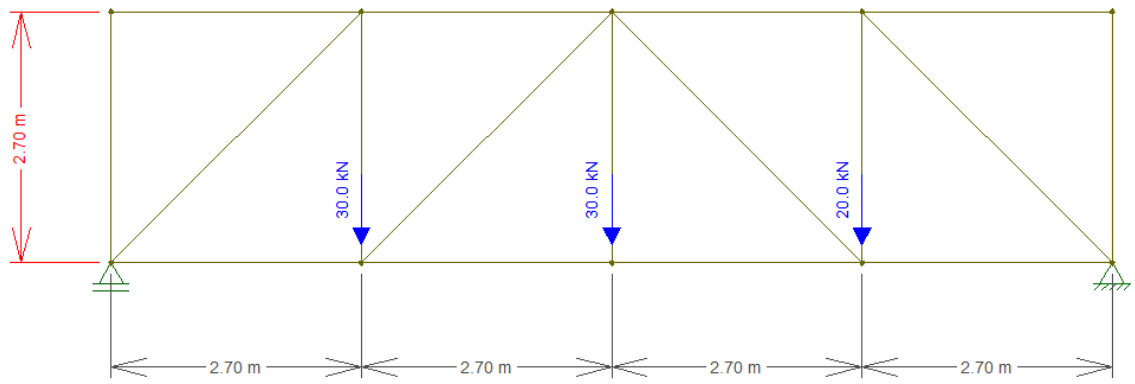


Figura 36: Treliça Howe

Fonte: Autores (2020)

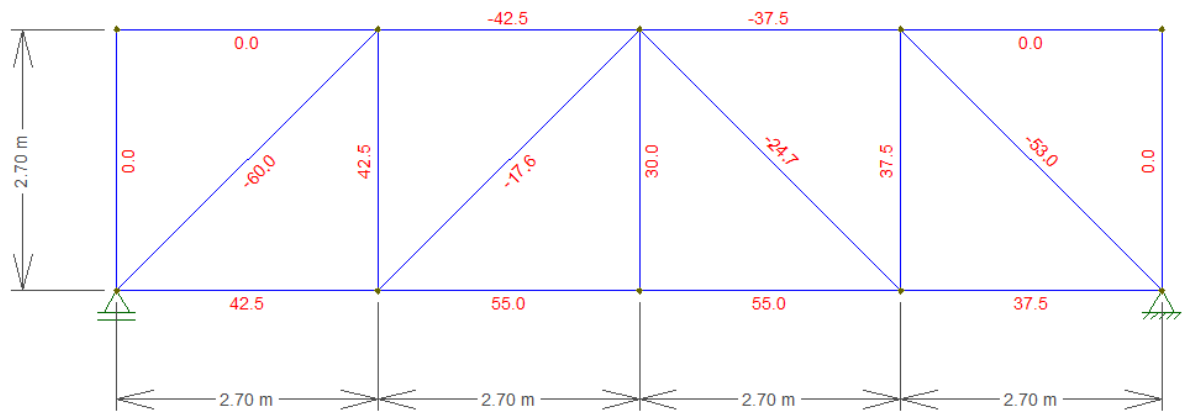


Figura 37: Tração e compressão nas barras

Fonte: Autores (2020)

3.3 Normas Técnicas

Normas Técnicas que baseiam o estudo e concepção de projeto de Pontes Metálicas:

- NBR 8681:2003- Ações e segurança nas estruturas - Procedimento
- NBR 7187:2003- Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido
- NBR 6123:2013 - Forças devidas ao vento em edificações
- NBR 7188:2013 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas
- NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios
- NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações
- NBR 16694:2020 - Projeto de pontes rodoviárias de aço e mistas (em consulta nacional)

3.4 Roteiro das equações

Numa concepção geral, há um conjunto de equações que contribuem para os parâmetros de dimensionamento da ponte. Normalmente, são organizadas em planilhas a fim de facilitar a visualização da correlação entre elas, sendo assim foram elaborados apêndices e utilizados anexos para compor o presente trabalho. Ao se pensar num roteiro de elaboração de uma ponte metálica treliçada, é importante levar em consideração:

- Pré-Dimensionamento da ponte metálica treliçada;
- Dados da Ponte;
- Cargas Atuantes;
- Cálculo de esforços e envoltória;
- Cálculo das Propriedades das seções;
- Verificação do Perfil da Longarina;
- Verificação da deformação e contra flecha;
- Conectores de cisalhamento;
- Enrijecedor de apoio;
- Enrijecedores transversais intermediários;
- Enrijecedor longitudinal;
- Solda de composição de perfis;
- Dimensionamento dos diafragmas;
- Verificação da Fadiga;
- Cálculo dos esforços e envoltória da transversina;
- Cálculo dos Esforços e Envoltória da Treliça

Sendo assim, das planilhas constadas nos apêndices destacam-se os parâmetros nos próximos itens a seguir.

3.4.1 Pré-Dimensionamento

O pré-dimensionamento se faz necessário para que se possa calcular o peso próprio da estrutura, que é a primeira parcela considerada no cálculo das ações, conforme os dados apresentados no quadro 2. Os cálculos evidenciados no Apêndice A.

Quadro 2 - Dados do Pré-Dimensionamento

Fonte: Autores (2020)

Altura da Treliça	Unidade: (m)
Distância entre nós	Unidade: (m)
Comprimento total da Ponte	Unidade: (m)
Seção Transversal	Unidade: (m)

3.4.2 Dados da Ponte

Os principais dados da ponte metálica treliçada podem ser observados no quadro 3, cujas abreviações utilizadas nas equações que virão a seguir também foram acrescentadas neste item. A escolha do aço das vigas soldadas pode ser feita através da consulta ao Anexo 6 e os cálculos no Apêndice B.

Quadro 3 - Dados construtivos iniciais da ponte

Fonte: Autores (2020)

Escolha do Aço das Vigas Soldadas	Definir
Comprimento da Ponte(m)	Vão
Número de longarinas	nl
Largura da Ponte(m)	B
Espessura média do revestimento asfáltico(cm)	tr
Aço das vigas soldadas - Resistência ao escoamento (kN/cm ²)	Fy
Aço das vigas soldadas - Resistência à ruptura (kN/cm ²)	Fu
Concreto da Laje (Mpa)	Fck
Concreto da Laje (kN/cm ²)	Fck
Espessura média da laje de concreto(cm)	Tc
Distância entre Vigas(m)	b
Distância entre Vigas(cm)	b

Na construção de pontes e viadutos são utilizados vários materiais de diversas propriedades, cada material é escolhido de acordo com a reponsabilidade dessa obra. A maioria das pontes e viadutos construídos no Brasil é construída com aço de alta resistência e baixa liga, usam em sua composição diversos elementos de liga adicionados ao carbono a fim de que possam atingir resistências mecânicas maiores (PINHO; BELLEI, 2007).

Este tipo de aço é resistente à corrosão e apresenta em sua composição os elementos cromo, cobre, vanádio, titânio e nióbio, e por serem resistentes à corrosão não necessitam de pintura. Ressalta-se que os aços comumente utilizados nesse tipo de construção são o ASTM A-572 e o ASTM A-588 (PINHO; BELLI, 2007).

3.4.3 Cargas Atuantes

3.4.3.1 Carga Permanente anterior à cura do concreto - CP1

Para definição de tal carga são utilizados o valor do vão e a distância entre as vigas determinados por valores retirados do Anexo 5, o peso do Escoramento em kgf/m² Valores estimados retirados do livro *“Pontes e Viadutos em Viga Mista”* de Fernando Pinho, as vigas de aço representadas pela unidade kN/m e a Carga Permanente anterior à cura do concreto em Kn/m, como pode ser visto no quadro 4. O detalhamento das cargas pode ser observado no Apêndice C.

Quadro 4 - Cálculo da Carga Permanente 1 - CP1

Fonte: Autores (2020)

Valor do Vão(m)	Vão=
Distância entre as vigas	b=
Carga da Laje de Concreto (kN/m)	$q_1 = t_c(m) * (B/nl) * 25$
Peso da Estrutura Metálica (kgf/m ²) -Para classe 45t	estru=
Peso do Escoramento (kN/m ²)	esco=
Vigas de aço (kN/m)	$q_2 = (estru + esco) * (B/nl)$
Carga Permanente anterior à cura do concreto (kN/m)	CP1= $q_1 + q_2$

3.4.3.2 Carga Permanente posterior à cura do concreto – CP2

Para definição da CP2, o Guarda roda de concreto em kN/m, onde na equação do quadro 5 o valor 0,23 m² refere-se a área do guarda roda da ponte, e 25 kN/m³ é o peso específico do concreto armado. E o Revestimento asfáltico em kN/m, onde na equação o valor 18 kN/m³ é o peso específico do asfalto. Logo então a Carga Permanente posterior à cura do concreto em kN/m.

Quadro 5 - Cálculo da Carga Permanente 2 - CP2

Fonte: Autores (2020)

Guarda roda de concreto (kN/m)	$q3 = [(0,23\text{m}^2) * 25\text{kN/m}^3] * (2/\text{nl})$
Revestimento asfáltico (kN/m)	$q4 = [\text{tr}(\text{m}) * (\text{B} - 2 * 0,4) * 18] * (1/\text{nl})$
Carga Permanente posterior à cura do concreto (kN/m)	$\text{CP2} = q3 + q4$

3.4.3.3 Carga Móvel com Coeficiente de Impacto Vertical

A NBR 7188:2013 indica valores adotados para o trem tipo tanto em kN quanto em kN/m². Quanto a equação do Coeficiente de impacto vertical pôde ser retirada da NBR 7188:2013 conforme quadro 6, para o item “Liv” considerar o valor de L (vão da estrutura).

Quadro 6 - Carga Móvel com Coeficiente de Impacto Vertical (CM+CIV)

Fonte: Autores (2020)

Coeficiente de Impacto Vertical (NBR 7188:2013)	$\text{CIV} = 1 + 1,06 * (20 / (\text{Liv} + 50))$
Trem tipo (NBR 7188:2013)	$\text{TT} = \text{Trem tipo}(\text{kN})$
Trem tipo (NBR 7188:2013)	$\text{P} = \text{Carga}(\text{kN/m}^2)$

3.4.4 Cálculo dos Esforços e da Envoltória

Para cálculo de tais esforços compreende-se as vigas externas e internas da ponte metálica treliçada, o trem tipo final com impacto e o cálculo dos esforços máximos das seções com envoltória de esforços para cada seção da viga todos claramente detalhados no Apêndice D. Obtendo-se então a equação final apresentada no quadro 7.

Quadro 7 - Esforços máximos nas emendas

Fonte: Autores, 2020

Identificação do ponto ou seção de ligação		Seção 0	Seção 1
Momento final (kN.m)	$M_f = M_{cp1} + M_{cp2} + M_c$	-	Identificar
Cortante final (kN)	$Q_f = Q_p + Q_p$	Identificar	Identificar

Na equação de Momento final tem-se M_{cp1} que se refere ao momento proveniente da carga Permanente 1 em kN.m, M_{cp2} é o momento proveniente da carga permanente 2 também representado pela unidade kN.m e o momento final máximo em kN.m. A equação de Cortante final o termo Q_p faz referência à cortante proveniente das Cargas Permanentes em kN e Q_p à cortante positivo em kN.

3.4.5 Cálculo das Propriedades das seções

A escolha das seções (figura 38) que compõe os perfis da ponte metálica treliçada é feita por um modo empírico até que possa chegar ao ajuste final. Existem premissas que auxiliam na escolha da seção por exemplo a altura do perfil (figura 39) parte de uma altura "d" de $L/20 < L/30$. Essa e outras premissas, bem como os cálculos das propriedades da seção mista, do perfil inicial e dos perfis para longa duração podem ser observadas no Apêndice E.

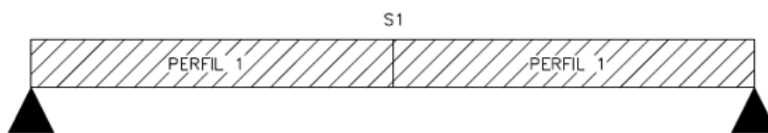


Figura 38 - Seção 1

Fonte: Autores (2020)

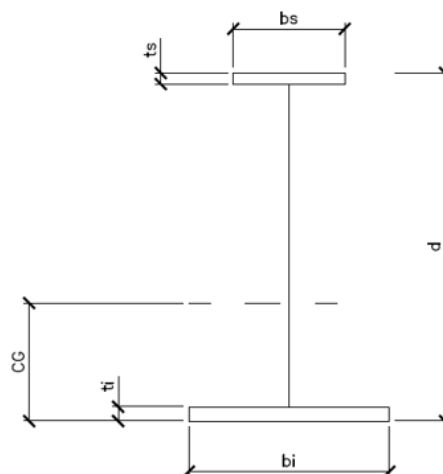


Figura 39 - Perfil 1

Fonte: Autores (2020)

3.4.6 Verificação das Vigas de Aço e Laje

Apresentadas no Apêndice F e o quadro 8 de forma sucinta estão as equações de cálculo de tração e compressão na flexão, o cisalhamento na Alma e a compressão no concreto, todas essas representadas pela unidade kN/cm². O Cálculo das tensões Admissíveis conforme AASHTO 17^a:2002 interfere na tomada de decisão da escolha do perfil que mais se adequa para as longarinas da ponte (listados no Anexo 1 – Perfis Laminados, Anexo 2 – Perfis Soldados e Anexo 3 – Perfis Laminados U), atendendo a condição evidenciada no quadro 9.

Quadro 8 - Tensões Admissíveis (AASHTO 17^a: 2002)

Fonte: Autores (2020)

Tração e Compressão na Flexão (kN/cm ²)	$F_b = 0,55 \cdot F_y$
Cisalhamento na Alma F_v (kN/cm ²)	$F_v = 0,33 \cdot F_y$
Compressão no Concreto (kN/cm ²)	$F_c = 0,40 \cdot F_{ck}$

Quadro 9 - Tensões Máximas nos Perfis

Fonte: Autores (2020)

Composição	Perfil	Condição
Mesa Superior (kN/cm ²)	$fbs = (Mcp1/ Ws) + (Mcp2/ WSMF) + (Mcm/ WSM)$	$fbs < Fb$
Mesa Inferior (kN/cm ²)	$fbi = (Mcp1/ Wi) + (Mcp2/ WIMF) + (Mcm/ WIM)$	$fbi < Fb$
Alma (kN/cm ²)	$fv = ((QP + Qp) / (h * tw))$	$fv < FV$
Laje de Concreto (kN/cm ²)	$fc = (Mcp2/ WCF) + (Mc/ WC)$	$fc < FC$

3.4.7 Verificação da Deformação e Contra Flecha**3.4.7.1 Flecha Máxima à carga móvel com Coeficiente de impacto Vertical**

Neste passo do roteiro que pode ser visto também no Apêndice G, as equações da flecha máxima são calculadas com o trem-tipo de cálculo com impacto vertical (quadro 10). A condição adotada é que é de preferência que a flecha não exceda a condição $L/800$, em áreas urbanas e se quando usada por pedestres o limite passa para $L/1000$.

Quadro 10 - Flecha máxima

Fonte: Autores (2020)

Módulo de elasticidade do aço	$Ea = (\text{kN/cm}^2)$
Cálculo flecha máxima $\Delta =$	$(5 * qm * (L^4 / 8) + (Pm * L^3) + Pm * (L - 3) * (3 * L^2 - ((L - 3)^2))) / (48 * Ea * ((IM1)))$
Máxima Admissível (AASHTO 17ª:2002)	$\Delta_{adm} = L / 800$
Condição:	Flecha máxima $< \Delta_{adm}$

O diagrama de contra-flecha (quadro 11) representa quais compensações devem ser incluídas nos cálculo afim de as deformações que as cargas permanente e a curvatura vertical da ponte exigem.

Quadro 11 - Diagrama de Contra Flecha

Fonte: Autores (2020)

Devido à CP1	Na seção $\Delta =$	$((CP1 * x) / (24 * Ea * (Ix1))) * (L^3 - 2L * X^2 + X^3)$
Devido à CP2	Na seção $\Delta =$	$((CP2 * x) / (24 * Ea * (IMIF1))) * (L^3 - 2L * X^2 + X^3)$
Devido à CP1+CP2	Na seção $\Delta_{total} (\text{mm}) =$	CP1+CP2

3.4.8 Conectores de Cisalhamento

Os conectores exercem o papel de integração da estrutura em aço com a composição em concreto da ponte. São calculados devido resistência a fadiga e verificados pela resistência última.

A distância máxima entre conectores é de 60cm. O número de conectores calculados para a fadiga, deve ser verificado pela resistência última, comandado pela menor resistência entre: - o perfil de aço - a laje de concreto na largura efetiva "bc" (PINHO; BELLEI, 2007, p. 132). O cálculo destas condições e a escolha do conector utilizado para o projeto pode ser observado no Apêndice H.

3.4.9 Enrijecedor de apoio

O enrijecedor de apoio deve ser feito de chapas em ambos os lados da alma e calculado como coluna. A seção da coluna será composta pelas duas chapas mais uma parte centrada da alma não maior que 18 vezes a espessura da alma "tw" (PINHO; BELLEI, 2007, p. 133). No projeto de estudo deste TCC não haverá enrijecedor de apoio, pois as longarinas se apoiam diretamente nas transversinas, cuja explicação também pode ser observada no Apêndice I.

3.4.10 Enrijecedores Transversais Intermediários

Para comprovação do uso ou não da necessidade de Enrijecedores Transversais Intermediários aplica-se as condições, retiradas do livro *"Pontes e Viadutos em Viga Mista"* de Fernando Pinho, fazendo uso dos resultados obtidos pelas equações do item 3.3.5 - Cálculo das Propriedades das seções e do item 3.3.6 - Verificação das Vigas de Aço e Laje, foram aplicadas as fórmulas apresentadas no Apêndice J.

3.4.11 Enrijecedor Longitudinal

Como no item 3.3.10 - Enrijecedores Transversais Intermediários a validação de sua necessidade ou não foram aplicadas se as condições, retiradas do livro *“Pontes e Viadutos em Viga Mista”* de Fernando Pinho (2007), como pode ser observado no Apêndice K deste trabalho.

3.4.12 Solda de Composição de Perfis

Para determinação deste item são calculados esforço na solda da mesa superior, esforço na solda da mesa inferior, dimensionamento da solda na composição dos perfis e Filete de solda mínimo que podem ser observados no Apêndice L. Embora todos estes mencionados dependam cálculo da cortante (quadro 12).

Quadro 12 - Cálculo Cortante Máximo

Fonte – Autores (2002)

Cortante Máximo	$Q_{cp1} =$ (kN)	$CP1 \cdot L/2$
Cortante Máximo	$Q_{cp2} =$ (kN)	$CP2 \cdot L/2$
Cortante Máximo	$Q_{px0}(KN) =$	Valor do Cortante positivo (kN)

3.4.13 Dimensionamento dos diafragmas

Os Diafragmas devem ser alocados em cada apoio e em todas as alas e espaçadas em intervalos que não excedam 7,6m. Diafragmas deverão preferencialmente ser do tipo X ou V. Os diafragmas devem ser dimensionados para transmitir adequadamente todas as cargas laterais para os apoios (PINHO; BELLEI, 2007, p. 23). O número de diafragmas e sua distância pode ser calculada através das equações do quadro 13. A especificação do perfil pode ser observada no Apêndice M e Anexos 1 e 2.

Quadro 13 - Dimensionamento de Diafragmas

Fonte: Autores (2020)

Número de diafragmas	$N^{\circ} \text{ diaf} = (L/7,6) + 1$
Distância entre diafragmas (mm)	Dist. diaf = $L/\text{num. diaf.}$

3.4.14 Verificação da Fadiga

Conforme observado livro “Pontes e Viadutos em Viga Mista” de Fernando Pinho a categoria para fadiga de rodovias estradas e ruas é de 500.000 ciclos (Anexo 4). Com isto verifica-se na solda da Composição dos perfis soldados das longarinas na Seção 1, na emenda da Composição dos perfis soldados das longarinas na Seção 1, No pé da solda de enrijecedores transversais e conectores, onde os cálculos podem ser observados no Apêndice N.

3.4.15 Cálculo dos Esforços e Envoltória da Transversina

O atual item do roteiro das equações é baseado nos cálculos da Carga Pontual Proveniente das Longarinas, Esforços e Envoltória da Transversina (quadro 14) para chegar à Solução: $M_{rd} > M_{sd}$ e $V_{rd} > V_{sd}$, como pode ser visto no Apêndice O.

Quadro 14 - Cálculo dos esforços solicitantes - M_{sd} e V_{sd}

Carga Pontual Proveniente das Longarinas	Cortante Final(KN)*2
Seja o Perfil Metálico	Definir através do Anexo 2
Ação Permanente (Peso Próprio das transversinas)	CP (kN/m)=
Ação Variável (Já foi majorado nas longarinas)	CA (kN/m)=
Comprimento	L(cm)
Carga Pontual Proveniente das Longarinas	Cortante Final(KN)*2
Coefficiente de ponderação p/ ações permanentes agrupadas	$F_{cp} = \text{Ocupação} \geq 5 \text{ kN/m}^2$ - NBR 8681:2003

Continua.

Coeficiente de ponderação p/ ações variáveis agrupadas	$F_{ca} = \text{Ocupação} \geq 5 \text{ kN/m}^2$ -NBR 8800:2008
Carga Distribuída Majorada (kN/cm)	$Q_{sd} = \gamma_{fcp} \cdot CP + \gamma_{fca} \cdot CA$
Carga Pontual (kN)=	$R_{sd} = (\text{Proveniente das Longarinas})$
Momento Fletor Solicitante de Cálculo (kN.cm)	$M_{sd} = -((Q_{sd} \cdot L^2)/8) - (R_{sd} \cdot 130) - (R_{sd} \cdot 390) + (V_{sd} \cdot L/2)$
Esforço Cortante Solicitante de Cálculo(kN)	$V_{sd} = (R_{sd} \cdot 110 + R_{sd} \cdot 370 + R_{sd} \cdot 630 + R_{sd} \cdot 890 + Q_{sd} \cdot L \cdot L/2)/L$

Fonte: Autores (2020)

3.4.16 Cálculo dos Esforços e Envoltória da Treliça

Em posse do valor do Esforço da cortante solicitante de cálculo total (VSD) calculado no item - 3.4.15 Cálculo dos Esforços e Envoltória da Transversina é realizado um Pré-Dimensionamento para escolha do perfil metálico a compor as treliças da ponte.

Em posse dos dados do perfil metálico é feito a majoração da Carga Permanente do perfil da treliça, como preconizado na NBR 8681:2003 por questões de segurança (quadro 15). Para a constatação do uso do perfil metálico escolhido para treliça no Pré-Dimensionamento a solução é baseada em $T_{rd} > T_{sd}$ e $C_{rd} > C_{sd}$, onde os elementos tracionados e comprimidos resistentes necessariamente devem que ser maiores que os tracionados e comprimidos solicitantes, NBR 8681:2003. No Apêndice P estão evidenciados os cálculos das Barras Diagonais e Horizontais das treliças, verificados os Estados de Limites Últimos – ELU de Flambagens, Flecha Máxima e Contra Flecha.

Quadro 15 - Perfil metálico da Treliça

Esforço Cortante Solicitante de Cálculo Total (kN)	VSD
Perfil Metálico	Identificar
Coeficiente de ponderação para ações permanentes agrupadas (ocupação $\geq 5 \text{ kN/m}^2$)- NBR 8681:2003	$f_{cp} = 1,25$
Carga Permanente (kN/m)	De acordo com o Perfil Metálico
Carga Distribuída Majorada (kN/m)	$Q_{sd} = \gamma_{fcp} \cdot CP$

Fonte: Autores (2020)

4 LIGAÇÕES

Segundo a NBR 8800 (2008, p. 62) as ligações metálicas consistem em elementos de ligação, como enrijecedores, chapas de ligação, cantoneiras e consolos, e meios de ligação, como soldas, parafusos, barras redondas rosqueadas e pinos.

As ligações soldadas e parafusadas são regulamentadas pela AASHTO 17ª:2002 itens 10.19 a 10.32 e AASHTO / AWS D1.5M /D1.5:20C.” (PINHO, BELLEI, 2007, p. 66). Ao fazer um comparativo entre ligações soldadas e parafusadas a pergunta a ser feita é qual o melhor processo de ligação? Em resolução, não há uma vantagem ou desvantagem. Para escolher qual tipo de ligação utilizar, deve-se ser analisado todo o processo; a infraestrutura, equipamentos e a conjuntura de montagem.

4.1 Soldadas

A metodologia consiste em transformar a energia elétrica em calor, por meio de aro ampla resistência.

Dimensões da tira de soldagem menores podem ser utilizadas desde que consentido pelo engenheiro, seguro no nível das tensões e o emprego pertinente de pré-aquecimento. (PINHO, BELLEI,2007);

Necessitam ser tomados zelos incomuns usando-se pré-dimensionamento fora quando a valor do filete não transcender a espessura mais fina da liga para esta categoria em particular, como evidenciado na tabela 1. (PINHO, BELLEI,2007);

Tabela 1 - Dimensões mínima de uma solda de filete por um passe em milímetros.

Fonte: Pinho. Bellei (2007)

Maior espessura da metal base na junta	Espessura mínima da solda no filete
$t \leq 20$	6
$t \geq 20$	8

As Especificações de procedimento de soldagem (EPS) explicam como realizar a soldagem, técnica a ser realizada, temperatura de pré-aquecimento, número e temperatura de passes de solda, voltagem, tipo de junta, posição em que será realizada, espessura do eletrodo e equipamento e amperagem, que deve estar em sintonia com o consumível e o metal base usado. As normas conhecidas e aceitas no processo de soldagem são: AWS (*American Welding Society*), ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) ou API (*American Petroleum Institute*).

4.2 Parafusos

Em pontes e viadutos deve-se empregar para parafusos de alta resistência tipo ASTM A2325 e A490 (PINHO, BELLEI,2007), ainda segundo o autor existem quatro tipos de furo para parafusos de alta resistência aceitos pela AASHTO 17^a:2002, são eles: furos padrão (P), furos alargados (A), furos alongados curtos (AC) e furos alongados longos (AL), demonstrados na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Dimensões dos tipos de furos para parafusos em milímetros

Fonte: Pinho, Bellei (2007)

dp		P	A	AC	AL
mm.	Polegada				
16	(5/8)"	18	21	18X22	18X40
19	(3/4)"	21	24	21X25	21X48
22,2	(7/8)"	24	27	24X28	24X56
25,4	(1)"	27	32	27X33	27X64
28,4	(1 1/8)"	30	36	30X38	30X70
31,8	(1 1/4)"	34	40	34X42	34X80
35	(1 3/8)"	37	43	37X45	37X86
38	(1 1/2)"	40	46	40X48	40X96

4.2.1 Tipos de Ligações parafusadas

Segundo Bellei (2007, p. 67) ligações a cisalhamento deverão ser arquitetadas para agirem por atrito ou esmagamento. A definição de ligações por atrito consiste em que

para suas juntas sujeitas a esforço adverso de alto impacto das cargas, subordina-se a vibrações ou, por outra forma, em que as resistências às tensões pertinentes as ligas por atrição que são essenciais para as circunstâncias da durabilidade da estrutura.

Ligações junto a parafusos de elevada resistência subordinadas a tração ou associada de tração com cisalhamento devem ser feitas por meio de parafusos por atrito. Os parafusos de elevada resistência trabalham dentro de conexões a esmagamento estão limitadas a componentes sujeitas a compressão e integrantes complementares (PINHO, BELLEI,2007).

4.2.2 Fadiga

As tensões de tração a fadiga no parafuso não poderão ultrapassar os subsequentes valores da tabela 3:

Tabela 3 - Tensão de tração a fadiga em parafusos

Fonte: Pinho, Bellei (2007)

Número de ciclos	A325 kN/cm ²	A490 kN/cm ²
≤20000	26,5	33
>20000 e ≤500000	24,5	30,5
>50000	19	23,5

5 SISTEMA DE MONTAGEM POR LANÇAMENTO

O autor Bellei, (2007, p. 76) menciona que na maioria dos casos, as pontes são montadas por meio de lançamento de vigas retas de um ou mais vãos sucessivos. É um sistema mais em conta, apesar de, como todo método de montagem, requer um estudo cuidadoso para que não ocorra acidentes.

O processo de montagem de pontes por lançamento resume-se em pré-montar a treliça mais o bico de lançamento na margem do vão e mover o conjunto sobre apoios rolantes até a posição final sobre o vão. Em seguida, descer sobre os apoios definitivos, figuras 40 a 44 abaixo demonstram de uma maneira sucinta.

Ainda por Bellei, (2007, p. 76) remete-se que para prevenir que não ocorra tombamento sobre a água, geralmente é essencial um bico de lançamento usado como um alongamento provisório da ponte em companhia de um contrapeso, que pode ser composto por lajes pré-fabricadas. Esse bico, ordinariamente, tem um comprimento de mais ou menos dois terços do comprimento da ponte.

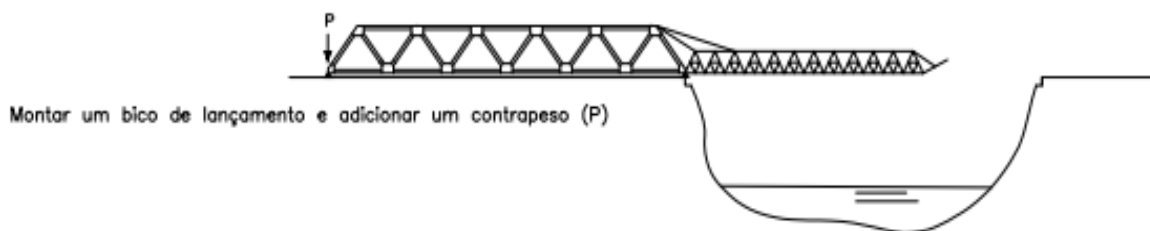


Figura 40 - Etapa 01 do Sistema de Montagem por Lançamento

Fonte: Autores (2020)

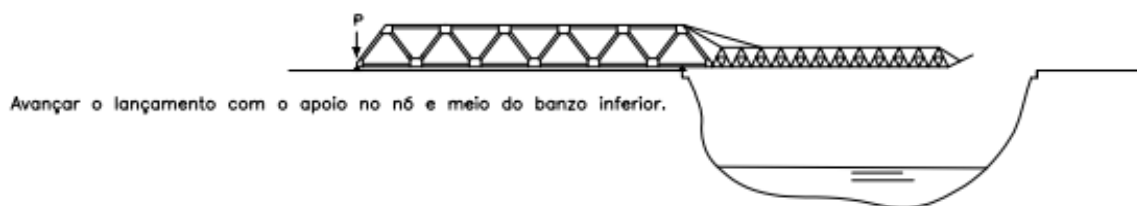


Figura 41 - Etapa 02 do Sistema de Montagem por Lançamento

Fonte: Autores (2020)

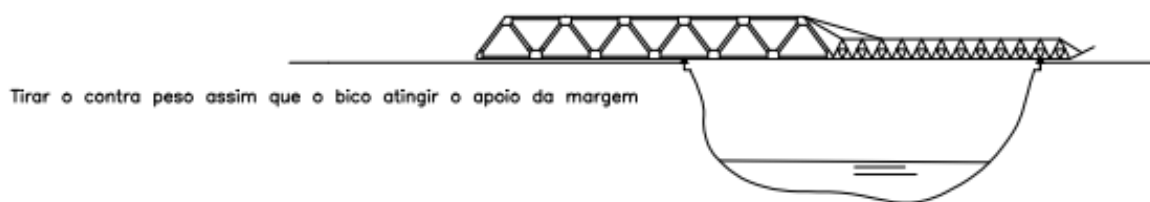


Figura 42 - Etapa 03 do Sistema de Montagem por Lançamento

Fonte: Autores (2020)

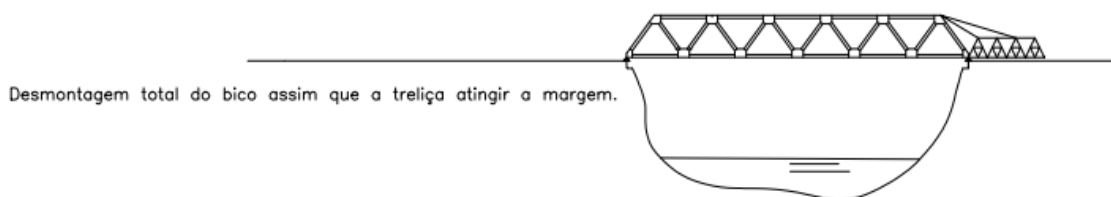


Figura 43 - Etapa 04 do Sistema de Montagem por Lançamento

Fonte: Autores (2020)

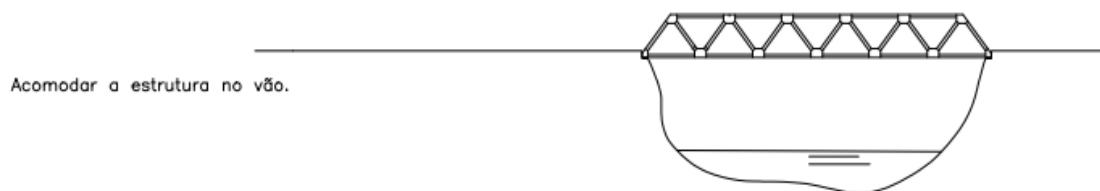


Figura 44 - Etapa 05 do Sistema de Montagem por Lançamento

Fonte: Autores (2020)

Outros itens em que deve ser analisado minuciosamente, é o tipo de solo em que será realizado o trabalho e o nível de lançamento, se for feito no mesmo nível dos apoios, o abaixamento das vigas é realizado por macacos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 45 tem-se a seção longitudinal pré-dimensionada e na figura 46 a seção transversal pré-dimensionada.

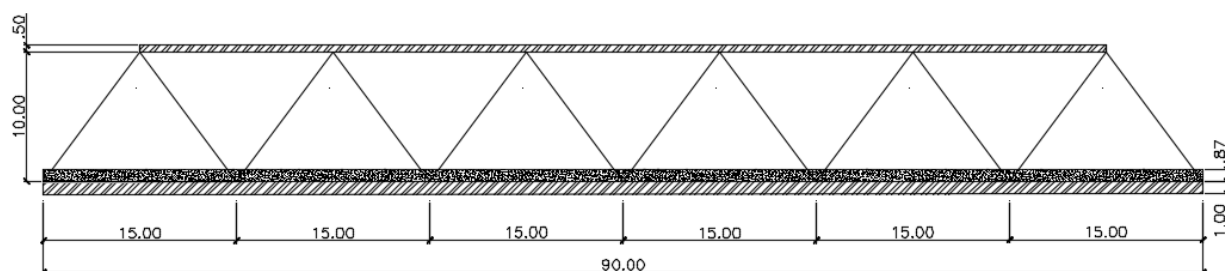


Figura 45 – Seção Longitudinal pré-dimensionada

Fonte: Autores (2020)

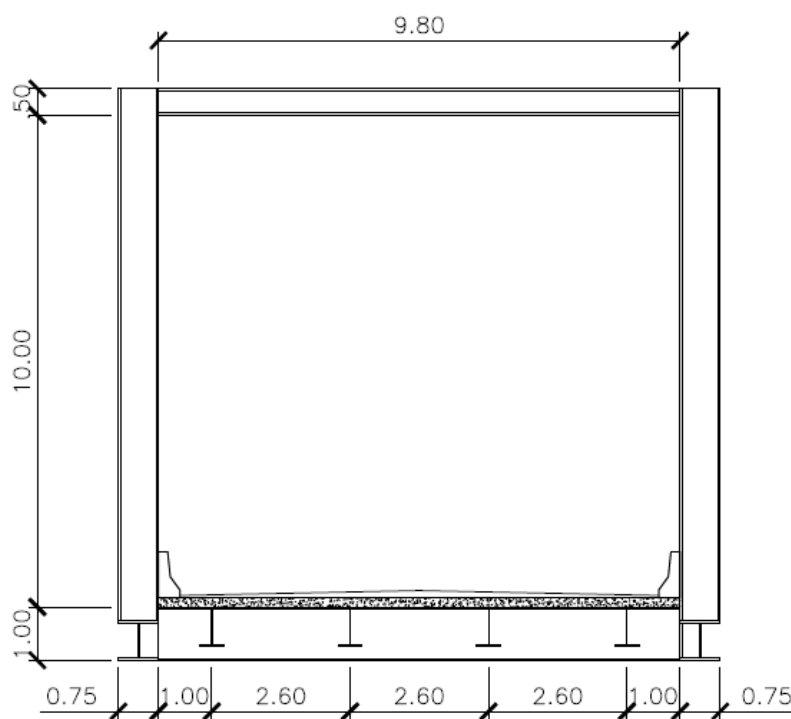


Figura 46 – Seção Transversal pré-dimensionada

Fonte: Autores (2020)

Como resultados exposto na tabela 4 com valores contemplados nos apêndices deste trabalho .Em relação ao roteiro de elaboração da ponte metálica treliçada, destacam-se:

Tabela 4 - Resultados de cálculos da Ponte Metálica Treliçada

Fonte: Autores (2020)

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA PONTE METÁLICA TRELIÇADA	
Altura da Treliza	10 m
Distância entre nós	15 m
Comprimento total da Ponte	90 m
Seção Transversal	9,8 m
DADOS DA PONTE	
Escolha do Aço das Vigas Soldadas	A588
Comprimento da Ponte	Vão= 15,0 m
Número de longarinas	nl= 4,0
Largura da Ponte	B= 9,8 m
Espessura média do revestimento asfáltico	tr= 12,5 cm
Aço das vigas soldadas - Resistência ao escoamento	Fy= 34,5 kN/cm ²
Aço das vigas soldadas - Resistência à ruptura	Fu= 48,0 kN/cm ²
Concreto da Laje em Mpa	Fck= 30,0 Mpa
Concreto da Laje em kN/cm ²	Fck= 3,0 kN/cm ²
Espessura média da laje de concreto	Tc= 20 cm
Distância entre Vigas em metros	b= 2,6 m
Distância entre Vigas em centímetros	b= 260,0 cm
CARGAS ATUANTES	
Valor do Vão	Vão= 15,0 m
Distância entre as vigas	b= 2,6 m
Carga da Laje de Concreto	q1= 12,3 kN/m
Peso da Estrutura Metálica -Para classe 45t	estru= 94,0 kgf/m ²
Peso do Escoramento	esco= 0,2 kN/m ²
Vigas de aço	q2= 2,8 kN/m
Carga Permanente anterior à cura do concreto	CP1= 15,0 kN/m
Guarda roda de concreto	q3= 2,9 kN/m
Revestimento asfáltico	q4= 5,1 kN/m
Carga Permanente posterior à cura do concreto	CP2= 7,9 kN/m
Coefficiente de Impacto Vertical (NBR 7187:2003)	CIV= 1,33
Trem tipo (NBR 7188:2013)	TT = 450 kN
Trem tipo (NBR 7188:2013)	P = 5,0 kN/m ²
CÁLCULO DE ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA	
Identificação do ponto ou seção de ligação	Seção 0
Momento final – Seção 0	Mf= 0
Momento final – Seção 1	Mf= 2.283,79 kN.m
Cortante final Máximo – Seção 0	Qfmáx.= 621,35 kN
Cortante final Máximo – Seção 1	Qfmáx.= 177,05
CÁLCULO DAS PROPRIEDADES DAS SEÇÕES (PERFIL)	
d	75,00 cm
tw	0,80 cm
bs	25,00 cm
ts	2,50 cm

bi	45,00 cm
ti	3,20 cm
fbs	10,15 kN/cm ²
fbi	18,30 kN/cm ²
fv	11,21 kN/cm ²
fc	0,69 kN/cm ²
VERIFICAÇÃO DAS VIGAS DE AÇO E LAJE	
Tração e Compressão na Flexão (kN/cm ²)	Fb= 19,0 kN/cm ²
Cisalhamento na Alma Fv(kN/cm ²)	Fv= 11,5 kN/cm ²
Compressão no Concreto (kN/cm ²)	Fc= 1,2 kN/cm ²
Composição	Condição
Mesa Superior (kN/cm ²)	fbs<Fb – Ok
Mesa Inferior (kN/cm ²)	fbi<Fb – Ok
Alma (kN/cm ²)	fv<FV – Ok
Laje de Concreto (kN/cm ²)	fc<FC – Ok
VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO E CONTRA FLECHA	
Módulo de elasticidade do aço	Ea= 20500 kN/cm ²
Cálculo flecha máxima Δ =	1,9 cm
Máxima Admissível	$\Delta_{adm} = 1,9$ cm
Condição:	Flecha máxima $\leq \Delta_{adm}$ – Ok
Devido à CP1	Na seção $\Delta = 1,87$ cm
Devido à CP2	Na seção $\Delta = 0,39$ cm
Devido à CP1+CP2	Na seção $\Delta_{total} = 22,63$ mm
CONECTORES DE CISALHAMENTO	
Número de ciclos utilizado	Ciclos ≤ 500.000
Diâmetro utilizado	Diâmetro= 2,2 cm
Tipo	No Projeto Conector Stud
ENRIJECADOR DE APOIO	
No projeto de estudo deste TCC não haverá enrijecedor de apoio, pois as longarinas se apoiam diretamente nas transversinas	
ENRIJECADORES TRANSVERSAIS INTERMEDIÁRIOS	
Verificação da condição de uso	Há necessidade de uso – Apêndice J
Tipo de enrijecedor	Para chapa simples
ENRIJECADOR LONGITUDINAL	
Verificação da condição	Não há necessidade de uso – Apêndice K
Tipo de enrijecedor	-
SOLDA DE COMPOSIÇÃO DE PERFIS	
Cortante Máximo	Qcp1= 112,82 kN
Cortante Máximo	Qcp2= 59,53 kN
Cortante Máximo	Qpx0= 449,0 kN
DIMENSIONAMENTO DOS DIAFRAGMAS	
Número de diafragmas	Nº diaf= 3,0
Distância entre diafragmas (mm)	Dist. diaf= 5000,00 mm
VERIFICAÇÃO DA FADIGA	
Na solda dos Perfis das longarinas Admissível na Seção	Sr = 16,2 kN/cm ²
Na solda dos Perfis das longarinas na Seção 1	Sr1 = 12,19 kN/cm ²
Condição 1	Sr > Sr1 – Ok
Na emenda da composição dos perfis - Admissível	Sr = 16,2 kN/cm ²
Na emenda da composição dos perfis na Seção 1	Sr2 = 12,19 kN/cm ²
Condição 2	Sr > Sr1 – Ok
No pé da solda de enrijecedores e conectores Admissível	Sr = 16,2 kN/cm ²
No pé da solda de enrijecedores e conectores Seção 1	Sr3 = 12,19 kN/cm ²
Condição 3	Sr > Sr3 - Ok

CÁLCULO DOS ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA DA TRANSVERSINA	
Carga Pontual Proveniente das Longarinas	946,46 kN
Seja o Perfil Metálico	PS1000X612
Ação Permanente (Peso Próprio das transversinas)	CP= 6,12 kN/m
Ação Variável (Já foi majorado nas longarinas)	CA= 0
Comprimento	L= 1000,00 cm
Carga Pontual Proveniente das Longarinas	Cortante Final(KN)*2
Coefficiente de ponderação p/ ações permanentes agrupadas	Fcp= 1,25
Coefficiente de ponderação p/ ações variáveis agrupadas	Fca= 1,50
Carga Distribuída Majorada	Qsd= 0,077 kN/cm
Carga Pontual (kN)=	Rsd= 946,46 kN
Momento Fletor Solicitante de Cálculo	Msd= 448996,39 kN.cm
Esforço Cortante Solicitante de Cálculo	Vsd= 1901,45 kN
CÁLCULO DOS ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA DA TRELIÇA	
Esforço Cortante Solicitante de Cálculo Total	1931,19 kN
Perfil Metálico	CS600X445
Coefficiente de ponderação para ações permanentes agrupadas (ocupação ≥ 5 kN/m ²)- NBR 8681:2003	fcp=1,25
Carga Permanente	4,46 kN/m
Carga Distribuída Majorada (kN/m)	5,57 kN/m

Em posse dos resultados acima referidos, pode-se analisar os principais valores estabelecidos no dimensionamento da ponte, de forma a discuti-los e validá-los.

Conforme definido após análise de pesquisa bibliográfica e descrito, além da Tabela 1, no “Item “Elaboração de Ponte Trelaçada”, fez-se o pré-dimensionamento do projeto para o vão de 90 m, com altura de treliça Warren de 10m, distância entre nós de 15,0 m, longarinas projetadas a 1 m do bordo externo e as internas com distância de 2,60 m, totalizando 9,80 m de largura e altura de 0,75 m. Para as transversinas o comprimento é de 9,8 m, ou seja, o tamanho da seção transversal da ponte e a altura 1,00m.

Em posse do pré-dimensionamento parte-se para os cálculos de verificação. O cálculo segue praticamente a mesma sequência da atuação de carga na estrutura da ponte (Figura 47).

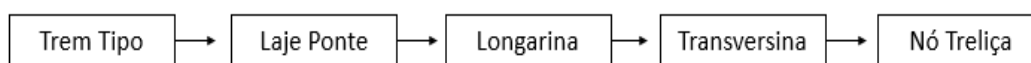


Figura 47 – Sequência de carga na estrutura

Fonte: Autores (2020)



Figura 48 - Vista da Ponte Treliçada em vão de 90m

Fonte: Autores (2020)

Primeiramente é definida as cargas permanentes do concreto e asfalto da ponte, depois o trem tipo (única inversão do esquema de atuação de cargas). Na sequência, verifica-se Perfil da Longarina, que é definido como PS 750 X 206, confirmando a altura de longarina pré-definida.

A transversina é definida como PS 1000 X 612, também confirmando a altura adotada no pré-dimensionamento. Para a treliça, única superestrutura da ponte a ser adotada com perfil soldado já tabelado, opta-se CS 750 X 687. Da estrutura da ponte, a treliça foi a única que não teve processo de pré-dimensionamento, justamente por ser reflexo da atuação de todas as cargas anteriormente definidas.

Em relação a escolha da treliça Warren, conforme pode ser vista nas figuras 48 e 50, como modelo de treliça a ser adotado, além da questão estética (modelo visualmente mais agradável e limpo), pode-se justificar finalmente pela atuação de cargas (Figura 49). Como a treliça resiste basicamente às forças de tração e compressão, ao verificar o diagrama de esforço normal da ponte- já com todas as cargas atuantes- observa-se três reações de compressão na parte superior horizontal e três na inferior horizontal. Sendo os maiores valores, como esperado, no centro da viga. Já

diagonalmente os maiores valores estão nas diagonais externas. Observa-se que o modelo Warren distribui de forma constante e prática as cargas, ao contrário de modelos mais confusos esteticamente como a Pratt e a Howe, sendo um facilitador na verificação dos perfis.

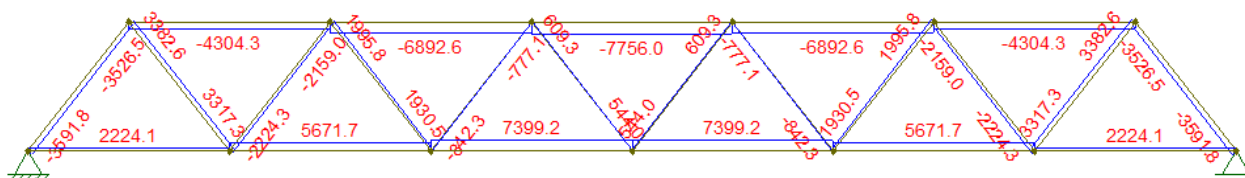


Figura 49 – Diagrama Esforço Normal

Fonte: Autores (2020)

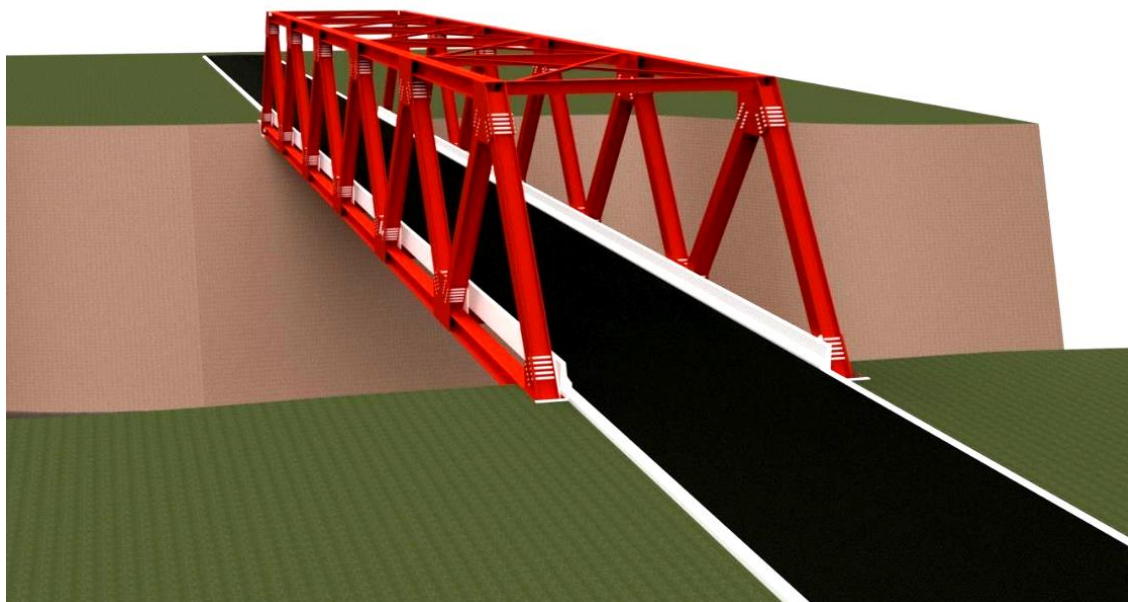


Figura 50 - Ponte Metálica Treliçada

Fonte: Autores (2020)

7 CONCLUSÃO

Conforme definido no capítulo 6 “Resultados e Discussões”, conclui-se que o referencial teórico norteou o cálculo, havendo situado e precisado eficientemente o processo de desenvolvimento da ponte, além de corroborar a escolha da treliça Warren como modelo de treliça a ser adotado.

Em relação a escolha do modelo treliçado metálico como opção construtiva conclui-se que elas podem ser esteticamente interessante, são vantajosas para vencer médios e grandes vãos, têm como vantagem a rapidez da montagem, a rapidez da fabricação, além de sofrer solicitação apenas por cargas principalmente axiais e atender alturas maiores com menos peso e redução de flecha, o que demonstra a competitividade do modelo construtivo. O vão de 90 metros, escolhido com propósito teórico, confirmou as vantagens referidas acima do modelo construtivo.

Como resposta à pergunta feita no Problema deste projeto, têm-se como resposta que a elaboração de um material criterioso sobre o tema deve ser feita partindo de uma pesquisa bibliográfica extensa. Apesar de escasso o material sobre pontes metálicas treliçadas, os autores pesquisaram em diferentes materiais sobre pontes de concreto armado, pontes metálicas, Normas Técnicas de Pontes (brasileiras e estrangeiras), para definir um roteiro prático e conciso de como elaborar uma ponte treliçada metálica. Com auxílio de programas computacionais como o FTOOL (2017), AutoCAD (2018), Fusion (2018), além do Microsoft Excel (2016), foi possível automatizar grande parte do processo de cálculo para uso em qualquer vão de ponte metálica treliçada.

Em relação ao problema abordado sobre os motivos que levam à subutilização do modelo construtivo, chega-se à conclusão que o desinteresse vem da falta de material publicado sobre o assunto em português, bem como do desinteresse acadêmico pelo tema, que tem voltado há décadas o interesse para o concreto armado no geral, bem como no uso de pontes do mesmo material, tendo mais recentemente surgido um movimento pela busca da utilização de outros materiais como o aço, que tem mercado interno com grande capacidade de crescimento devido à capacidade instalada de produção brasileira ser maior do que é efetivamente consumido.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO- **Especificações padrão para pontes rodoviárias**, Washington, D.C. 2002.
- AUTODESK- **AutoCAD 2018- Student Version**. São Rafael, Califórnia, 2016.
- AUTODESK- **Fusion 2018- Student Version**. São Rafael, Califórnia, 2016.
- CEDPHA- Conselho Estadual de Defesa do Patrimônio Histórico e Artístico do Amazonas. **Manaus- Ponte Benjamin Constant**. Disponível em <http://www.ipatrimonio.org/manaus-ponte-benjamin-constant#!/map=38329&loc=-23.266429319122242,-407.2247314453125,8>
Acessado 07/09/2019.
- CENTRO UNIVERSTÁRIO DE VOLTA REDONDA- UniFOA. **Manual UniFOA para elaboração de trabalhos acadêmicos**/ Flávia Lages de Castro, Marcelo Genestra, Maria Auxiliadora Motta Barreto(organizadores); [colaboradores Alexandre Fernandes Habibe... et al]. – Volta Redonda: FOA, 2008.
- DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais** Rio de Janeiro, 1996.
- ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO. **Pontes metálicas e mistas**/ José Afonso Pereira Vitório– Recife: UPE, 2015.
- FTOOL. **Two Dimensional Frame Analysis Tool**. PUC-Rio: Versão 4.00.00 Basic. Rio de Janeiro, 2017.
- GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisas**. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOOGLE STREET VIEW. **Elevado sobre a Avenida Brasil** Coordenadas:<[22.884914, -43.227635](https://www.google.com/maps/place/22.884914,-43.227635)> Acessado em 12/09/2019.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, Portal do governo, **Implosão de ponte abre caminho para hidrovía Tietê-Paraná**. Disponível em <http://www.saopaulo.sp.gov.br/sala-de-imprensa/release/implosao-de-ponte-abre-caminho-para-hidrovía-tiete-parana/>> Acessado em 21/09/2019.

INSTITUTO AÇO. **Dados do Setor.** Disponível em <https://institutoacobrasil.net.br/site/dados-do-setor/#> Acessado em 31/05/2020.

Microsoft - Excel 2016. Redmond, Washington.

MUSEU IMPERIAL. **Coleção Museu Histórico de Petrópolis.** Disponível em <http://200.159.250.2:10358/handle/acervo/4891> Acessado em 07/09/2019.

PEREIRA, Niomar. **O Brasil precisa de dois milhões de pontes", diz engenheiro do DER na Semana de Engenharia Civil.** Jornal de Beltrão. Paraná. 20 set. 2017. Educação, p. 1.

PINHO, Fernando Ottoboni. **Pontes em treliça com perfis laminados.** Rio de Janeiro, 2009.

PINHO, Fernando Ottoboni; Bellei, Ildony Hélio. **Pontes e viadutos em viga mistas.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2007.

PORTAL G1- GLOBO. **Governador de São Paulo assiste implosão de ponte em Pongai, SP.** Disponível em <http://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2012/06/governador-de-sp-acompanha-implosao-de-ponte-em-pongai-sp.html> Acessado em 15/09/2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE AREAL. **Prefeito Flávio Bravo declara emergência em Alberto Torres com obras paradas.** Disponível em <https://areal.rj.gov.br/prefeito-flavio-bravo-declara-situacao-de-emergencia-em-alberto-torres-com-obras-paradas/> Acessado em 07/09/2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PLYMOUTH. **Ponte Saltash.** Disponível em <https://www.visitplymouth.co.uk/explore/saltash-p485043> Acessado em 06/09/2019.

REGISTRO NACIONAL DE PROPRIEDADES DE MARYLAND. **Ponte treliçada Bollman** 2000. Disponível em <https://mht.maryland.gov/nr/nrdetail.aspx?nrid=101&from=nrnhllist.aspx%3E%20.%20acesso%20em%2006/09/2019> Acessado em 06/09/2019.

ROSSOW, Mark. **FHWA Bridge Inspector`s Manual**. Virgínia, 2012.

SciHi. **Ciência, tecnologia e arte na história**. 2017. Disponível em [<http://scihi.org/albert-fink-railroad-bridges/>](http://scihi.org/albert-fink-railroad-bridges/) Acessado em 10/09/2019.

SECRETARIA DO ESTADO DE CULTURA- Mapa de Cultura RJ. **Ponte Metálica Barra do Piraí**. Disponível em [1<http://mapadecultura.rj.gov.br/manchete/ponte-metalica-1>](http://mapadecultura.rj.gov.br/manchete/ponte-metalica-1) Acessado em 05/09/2019.

SOCIEDADE HISTÓRICA ESTRADA DE FERRO ONTÁRIO. **Treliça do tipo Post**. Disponível em [1<http://www.nyow.org/Articles/Country_Cousins/country2.html>](http://www.nyow.org/Articles/Country_Cousins/country2.html) Acessado em 10/09/2019.

TURISMO VALE DO CAFÉ. **Ponte Getúlio Vargas**. Disponível em [1<http://www.turismovaldocafe.com/2010/08/ponte-getulio-vargas-barra-do-pirai-rj.html>](http://www.turismovaldocafe.com/2010/08/ponte-getulio-vargas-barra-do-pirai-rj.html) Acessado em 05/09/2019.

TYRREL, Henry Grattan. **History of the bridge engineering**. Chicago: The GB Willians, 1911.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA- UFJF. Faculdade de Engenharia Civil. Concurso de Estruturas- Construindo uma ponte treliçada com picolés. MINAS GERAIS.

UTC PARTICIPAÇÕES- CONSTRAN. **Ponte rodoferroviária Paraná**. Disponível em [1<http://www.constran.com.br/contratodetalhes.php?idcontrato=93>](http://www.constran.com.br/contratodetalhes.php?idcontrato=93) Acessado em 14/09/2019.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXO 1 - PERFIS LAMINADOS

Tipo Família		Perfis Laminados																												
		DESIGNAÇÃO ASTM mm x kg/m	TASSÁREA m A kg/m cm ²	ALTA d mm	ALMA t _h mm	MESAS t _r b _r mm mm	R mm	Atc cm ²	x1 cm	g1 cm	Ite cm ⁴	EIXO X - X				EIXO Y - Y				cm ³	cm	cm ⁴	Propriedades da Torção			Esbelteza local		X _c kN/cm ²	Área de Pintura u m ² /m	Fator de Massividade u/A m ³
												I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	I _{xy} cm ⁴	Z _x cm ³	I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	I _{xy} cm ⁴	Z _y cm ³				r _r cm	r _y cm	C _w cm ⁶	Alma h/tw	Mesas b/2tf			
I	150	V 150 x 13,0	13,0 16,6	148	4,3 138	4,9 100	10,0 0,215	0,438 6,69	0,008 6,35	85,8 6,18	96,4 82	16,4 2,22	25,5 0,216	1,083 1,637	40,9 6,03	2,60 1,72	4181 27,48	10,20 7,18	0 0,67	404										
I	150	V 150 x 18,0	18,4 23,4	153	5,8 139	7,1 102	10,0 0,215	0,513 6,72	0,008 9,39	122,8 6,34	139,4 126	24,7 2,32	38,5 0,180	1,324 1,819	62,9 8,73	2,69 4,34	6683 20,48	7,18 11,52	0 0,69	293										
H	150	V 150 x 22,5	22,7 29,0	152	5,8 139	6,6 152	10,0 0,215	0,513 6,72	0,008 12,29	161,7 6,51	179,6 387	50,9 3,65	77,9 0,185	1,286 1,819	193,3 11,52	4,10 4,75	20417 20,48	11,52 12,25	0 0,88	305										
I	150	V 150 x 24,0	24,7 31,5	160	6,6 139	10,3 102	10,0 0,310	0,598 6,70	0,016 13,84	173,0 6,63	197,6 183	35,9 2,41	55,8 0,162	1,712 1,698	91,4 12,25	2,73 11,08	10206 17,48	4,95 10,95	0 0,69	221										
H	150	V 150 x 29,8	30,2 38,5	157	6,6 138	9,3 153	10,0 0,215	0,553 6,70	0,008 17,39	221,5 6,72	247,5 556	72,6 3,80	110,8 0,157	1,534 1,872	277,8 15,89	4,18 10,95	30277 17,94	8,23 19,88	0 0,90	233										
H	150	V 150 x 37,1	37,5 47,8	162	8,1 139	11,6 154	10,0 0,215	0,628 6,72	0,008 22,44	277,0 6,85	313,5 707	91,8 3,84	140,4 0,141	1,785 1,959	353,3 19,88	4,22 20,58	39930 14,67	6,54 9,62	0 0,91	190										
I	200	V 200 x 15,0	15,2 19,4	200	4,3 190	5,2 100	10,0 0,215	0,438 9,26	0,008 1305	130,5 8,20	147,9 87	17,4 2,12	27,3 0,213	1,106 2,493	43,4 6,70	2,55 2,05	8222 39,44	9,62 7,85	0 0,77	399										
I	200	V 200 x 19,3	19,7 25,1	203	5,8 190	6,5 102	10,0 0,215	0,513 9,28	0,008 1686	166,1 8,19	190,6 116	22,7 2,14	35,9 0,186	1,278 2,672	57,7 8,61	2,59 4,02	11098 29,31	7,85 11,08	0 0,79	312										
I	200	V 200 x 22,5	22,7 29,0	206	6,2 190	8,0 102	10,0 0,215	0,533 9,28	0,008 2029	197,0 8,37	225,5 142	27,9 2,22	43,9 0,170	1,413 2,704	70,9 10,27	2,63 6,18	13868 27,42	6,38 10,92	0 0,79	273										
I	200	V 200 x 26,6	26,9 34,2	207	5,8 190	8,4 133	10,0 0,215	0,513 9,29	0,008 2611	252,3 8,73	282,3 330	49,6 3,10	76,3 0,165	1,426 2,676	164,9 13,15	3,54 7,65	32477 29,34	7,92 12,59	0 0,92	268										
I	200	V 200 x 31,3	31,7 40,3	210	6,4 190	10,2 134	10,0 0,215	0,543 9,26	0,008 3168	301,7 8,86	338,6 410	61,2 3,19	94,0 0,147	1,597 2,712	204,7 15,83	3,60 12,59	40822 26,50	6,57 10,93	0 0,93	230										
H	200	V 200 x 35,9	35,9 45,7	201	6,2 181	10,2 165	10,0 0,215	0,533 8,81	0,008 3437	342,0 8,67	379,2 764	92,6 4,09	141,0 0,146	1,588 2,548	382,0 18,84	4,50 14,51	69502 25,90	8,09 12,59	0 1,03	226										
H	200	V 200 x 41,7	42,0 53,5	205	7,2 181	11,8 166	12,0 0,310	0,628 8,80	0,016 4114	401,4 8,77	448,6 901	108,5 4,10	165,7 0,149	1,860 2,450	450,2 21,97	4,53 23,19	83948 21,86	7,03 10,93	0 1,04	194										
H	200	V 200 x 46,1	46,0 58,6	203	7,2 181	11,0 203	10,0 0,215	0,583 8,83	0,008 4543	447,6 8,81	495,3 1535	151,2 5,12	229,5 0,142	1,697 2,619	767,1 24,65	5,58 22,01	141342 22,36	9,23 12,59	0 1,19	203										
H	200	V 200 x 52,5	52,5 66,9	206	7,9 181	12,6 204	12,0 0,310	0,663 8,77	0,016 5146	514,4 8,90	572,5 1784	174,9 5,16	265,8 0,145	1,955 2,491	891,8 28,29	5,61 33,34	166710 19,85	8,10 11,08	0 1,19	178										
H	200	HP 200 x 53,0	53,5 68,1	204	11,3 181	11,3 207	10,0 0,215	0,788 8,85	0,008 4977	488,0 8,55	551,3 1673	161,7 4,96	248,6 0,149	1,913 2,770	835,8 26,95	5,57 31,93	155075 14,28	9,16 12,59	0 1,20	176										
H	200	V 200 x 59,0	59,6 76,0	210	9,1 182	14,2 205	12,0 0,310	0,723 8,81	0,016 6147	594,8 8,99	655,9 2041	91,8 5,18	303,0 0,137	2,137 2,573	1020,0 32,07	5,64 47,69	195418 17,30	7,22 10,93	0 1,20	158										
H	200	V 200 x 71,0	71,5 91,0	216	10,2 181	17,4 206	10,0 0,215	0,733 8,84	0,008 7660	709,2 9,17	803,2 2537	246,3 5,28	374,5 0,111	2,350 2,739	1268,1 39,07	5,70 81,66	249376 15,20	5,92 10,93	0 1,22	134										
H	200	V 200 x 86,0	87,0 110,9	222	13,0 181	20,6 209	12,0 0,310	0,918 8,77	0,016 9498	895,7 9,26	984,2 3139	300,4 5,32	458,7 0,115	2,827 2,636	1568,2 47,18	5,77 142,19	317844 12,06	5,07 11,08	0 1,23	111										
I	250	V 250 x 17,9	18,1 23,1	251	4,8 240	5,3 101	10,0 0,215	0,463 11,80	0,008 2291	182,6 9,96	211,0 91	18,1 1,99	28,8 0,205	1,138 3,409	45,6 7,42	2,48 2,54	13735 45,92	9,53 7,39	0 0,88	381										
I	250	V 250 x 22,3	22,7 28,9	254	5,8 240	6,9 102	10,0 0,215	0,513 11,79	0,008 2939	231,4 10,09	267,7 123	24,1 2,06	38,4 0,182	1,309 3,509	61,2 9,50	2,54 4,77	18629 37,97	7,39 11,08	0 0,89	307										
I	250	V 250 x 25,3	25,6 32,6	257	6,1 240	8,4 102	10,0 0,215	0,528 11,79	0,008 3473	270,2 10,31	311,1 149	29,3 2,14	46,4 0,166	1,440 3,533	74,5 11,15	2,58 7,06	22955 36,10	6,07 10,93	0 0,89	273										
I	250	V 250 x 28,4	28,7 36,6	260	6,4 240	10,0 102	10,0 0,215	0,543 11,78	0,008 4046	311,2 10,51	357,3 178	34,8 2,20	54,9 0,149	1,581 3,552	88,7 12,90	2,62 10,34	27636 34,38	5,10 10,93	0 1,00	245										
I	250	V 250 x 32,7	33,0 42,1	258	6,1 240	9,1 146	10,0 0,215	0,528 11,77	0,008 4937	382,7 10,83	428,5 473	64,8 3,35	99,7 0,158	1,495 3,527	236,2 15,87	3,86 10,44	73104 36,03	8,02 10,93	0 1,07	255										
I	250	V 250 x 38,5	38,9 49,6	262	6,6 240	11,2 147	10,0 0,215	0,553 11,76	0,008 6057	462,4 11,05	517,8 594	80,8 3,46	124,1 0,138	1,687 3,559	296,7 19,24	3,93 17,63	93242 33,27	6,56 10,93	0 1,08	218										
I	250	V 250 x 44,8	45,2 57,6	266	7,6 240	13,0 148	10,0 0,215	0,603 11,78	0,008 7158	538,2 11,15	606,3 704	95,1 3,50	146,4 0,127	1,877 3,623	351,5 22,42	3,96 27,14	112398 28,95	5,69 10,93	0 1,09	190										
H	250	HP 250 x 62,0	62,5 79,6	246	10,5 225	10,7 256	12,0 0,310	0,793 10,96	0,016 8728	709,6 10,47	790,5 2995	234,0 6,13	357,8 0,161	1,928 3,350	1496,7 31,53	6,89 33,46	414130 19,10	11,96 12,59	0 1,47	185										
H	250	V 250 x 73,0	72,8 92,7	253	8,6 225	14,2 254	12,0 0,310	0,698 10,96	0,016 11257	889,9 11,02	983,3 3880	305,5 6,47	463,1 0,135	2,116 3,263	1939,6 39,49	7,01 56,94	552900 23,33	8,94 10,93	0 1,48	160										
H	250	V 250 x 80,0	80,0 101,9	256	9,4 225	15,6 255	12,0 0,310	0,738 10,97	0,016 12550	980,5 11,10	1088,7 4313	338,3 6,51	513,1 0,128	2,264 3,308	2156,2 43,51	7,04 75,02	622878 21,36	8,17 10,93	0 1,49	146										
H	250	HP 250 x 85,0	85,2 108,5	254	14,4 225	14,4 260	12,0 0,310	0,988 10,99	0,016 12280	966,9 10,64	1093,2 4225	325,0 6,24	499,6 0,146	2,400 3,467	2110,6 43,05	7,00 82,07	605403 13,97	9,03 10,93	0 1,50	138										
H	250	V 250 x 89,0	89,4 113,9	260	10,7 225	17,3 256	12,0 0,310	0,803 11,00	0,016 14237	1095,1 11,18	1224,4 4841	378,2 6,52	574,3 0,123	2,459 3,371	2419,5 48,51	7,06 102,81	712351 18,82	7,40 10,93	0 1,50	132										
H	250	V 250 x 101,0	101,1 128,7	264	11,9 225	19,6 257	12,0 0,310	0,863 10,97	0,016 16352	1238,8 11,27	1395,0 5549	431,8 6,57	656,3 0,116	2,699 3,400	2773,5 55,04	7,10 147,70	828031 16,87	6,56 10,93	0 1,51	117										
H	250	V 250 x 115,0	114,7 146,1	269	13,5 225	22,1 259	12,0 0,310	0,943 10,97	0,016 18920	1406,7 11,38	1597,4 6405	494,6 6,62	752,7 0,110	2,973 3,441	3201,0 62,50	7,16 212,00	975265 14,87	5,96 10,93	0 1,53	104										
I	310	V 310 x 21,0	21,4 27,2	303	5,1 292	5,7 101	10,0 0,215	0,478 14,36	0,008 3776	249,2 11,77	291,9 98	19,5 1,90	31,4 0,198	1,183 4,298	49,1 8,38	2,42 3,27	21628 53,25	8,86 7,54	0 0,98	361										
I	310	V 310 x 23,8	24,1 30,7	305	5,6 292	6,7 101	10,0 0,215	0,503 14,36	0,008 4346	285,0 11,89	333,2 116	22,9 1,94	36,9 0,185	1,284 4,348	57,7 9,63	2,45 4,65	25594 48,50	7,54 10,93	0 0,99	321										
I	310	V 310 x 28,3	28,6 36,5	309	6,0 291	8,9 102	10,0 0,215	0,523 14,34	0,008 5500	356,0 12,28	412,0 158	31,0 2,08	49,4 0,160	1,475 4,376	78,9 12,13	2,55 8,14	35441 45,20	5,73 10,93	0 1,00	273										
I	310	V 310 x 32,7	33,1 42,1	313	6,6 291	10,8 102	10,0 0,215	0,553 14,35	0,008 6570	419,8 12,49	485,3 192	37,6 2,13	59,8 0,142	1,654 4,422	95,8 14,36	2,58 12,91	43612 41,12	4,72 10,93	0 1,00	238										
I	310	V 310 x 38,7	39,0 49,7	310	5,8 291	9,7 165	10,0 0,215	0,513 14,31	0,008 8581	553,6 13,14	615,4 727	88,1 3,82	134,9 0,150	1,530 4,349	363,3 18,96	4,38 13,20	163728 46,66	8,51 10,9												

M	310	HP-310110,0	110,7	141,0	308	19,9	277	18,7	19,0	310	16,0	0,550	1,127	13,49	0,049	23703	1539,1	12,97	1730,6	7707	497,3	7,39	763,7	0,156	2,733	4,140	3890,8	55,53	8,33	125,66	1646704	15,91	10,00	U	1,80	128
H	310	W 310 x 117,0	117,7	149,9	314	11,9	277	18,7	18,7	307	16,0	0,550	0,952	13,47	0,049	27563	1755,6	13,56	1952,6	9024	587,9	7,76	893,1	0,137	2,820	3,993	4510,6	63,26	8,44	161,61	1965950	20,55	8,21	0	1,80	120
H	310	HP310x125,0	124,8	159,0	312	17,4	277	17,4	17,4	312	16,0	0,550	1,227	13,50	0,049	27076	1735,6	13,05	1963,3	8823	565,6	7,45	870,6	0,150	2,975	4,198	4407,4	62,69	8,38	177,98	191129	14,09	8,97	0	1,81	114
I	368	W 368 x 32,3	32,3	42,1	343	5,7	332	6,5	127	12,0	0,518	0,558	16,33	0,016	8358	479,8	14,83	247,6	231	45,3	2,63	72,8	0,182	1,533	4,822	145,4	14,28	3,15	84111	53,18	2,28	0	1,47	273		
I	368	W 368 x 35,0	35,0	46,2	353	6,5	332	10,7	158	12,0	0,518	0,533	16,31	0,016	10931	503,3	14,35	247,7	375	50,6	2,79	31,3	0,158	1,748	4,832	187,4	17,43	3,27	15,83	183551	47,32	5,38	0	1,48	236	
I	368	W 368 x 40,0	40,0	57,7	352	6,5	332	9,8	174	12,0	0,518	0,515	16,35	0,016	12228	520,5	14,28	274,3	818	32,7	3,77	148,8	0,158	1,836	4,942	488,7	20,79	4,48	16,78	238861	64,78	8,72	0	1,35	235	
I	368	W 368 x 54,0	54,0	84,8	355	7,2	332	15,6	174	12,0	0,518	0,528	16,32	0,016	14232	561,2	14,81	325,1	368	115,3	3,87	174,7	0,151	1,844	4,957	483,8	24,82	4,48	24,65	288334	62,75	7,87	0	1,38	218	
I	368	W 368 x 57,0	57,0	92,5	358	7,2	332	15,1	172	12,0	0,518	0,542	16,32	0,016	16140	591,8	14,32	314,8	1119	123,4	3,32	193,8	0,148	1,936	5,087	556,8	27,11	4,59	34,45	338934	58,36	6,56	0	1,37	183	
I	368	W 368 x 64,0	64,0	107,3	367	7,7	328	18,5	203	16,0	0,528	0,762	15,44	0,049	17838	631,1	14,88	345,5	1885	185,7	4,08	284,5	0,162	2,116	4,388	548,8	31,88	5,44	44,57	323362	37,38	7,52	0	1,46	179	
I	368	W 368 x 72,0	72,0	121,3	358	8,5	328	15,1	204	16,0	0,528	0,787	15,43	0,049	21853	1152,3	14,36	328,3	2168	239,8	4,84	324,8	0,151	2,285	4,497	1063,3	35,75	5,47	61,18	339882	33,47	6,75	0	1,47	161	
I	368	W 368 x 75,0	75,0	130,2	354	9,4	328	16,8	202	16,0	0,528	0,827	15,45	0,049	22719	1229,2	14,38	407,8	2416	255,7	4,88	351,3	0,141	2,558	4,559	1587,3	33,83	5,24	82,44	382781	38,68	6,18	0	1,46	146	
H	368	W 368 x 84,0	84,0	155,8	353	9,5	328	16,4	254	16,0	0,528	0,892	15,45	0,049	28225	1515,3	15,19	488,1	4083	353,8	6,22	538,1	0,144	2,538	4,554	2548,2	47,83	6,38	32,64	426783	38,34	7,74	0	1,48	145	
H	368	W 368 x 88,0	88,0	169,5	357	10,5	328	18,3	255	17,0	0,624	0,884	15,44	0,049	38273	1636,3	15,23	488,3	5853	337,1	6,25	686,1	0,148	2,777	4,551	2538,2	52,63	6,38	128,47	468448	27,28	6,37	0	1,48	138	
H	368	W 368 x 98,0	98,0	198,6	368	11,4	328	19,3	255	16,0	0,528	0,927	15,45	0,049	58415	1841,3	15,36	285,3	5578	435,2	6,28	645,5	0,123	2,857	4,639	2789,8	57,33	6,36	161,39	618878	25,28	6,49	0	1,63	138	
H	368	W 368 x 102,0	102,0	215,3	363	12,8	328	21,7	257	16,0	0,528	1,007	15,42	0,049	59533	2045,2	15,35	233,8	6167	478,4	6,23	735,4	0,125	3,119	4,632	3917,7	53,86	6,38	215,28	678786	22,42	5,32	0	1,78	118	
I	418	W 418 x 32,0	32,0	58,1	333	6,4	384	8,8	148	12,0	0,518	0,538	18,88	0,016	12777	648,5	15,34	276,8	884	57,7	2,88	38,3	0,178	1,584	5,715	214,6	16,29	3,48	19,68	153188	55,84	7,35	0	1,32	263	
I	418	W 418 x 46,1	46,1	53,2	483	7,8	384	11,2	148	12,0	0,518	0,518	18,76	0,016	15538	778,7	16,27	351,1	514	79,4	2,95	115,2	0,154	1,888	5,754	256,5	28,35	3,55	28,86	185734	58,34	6,25	0	1,38	215	
I	418	W 418 x 53,0	53,0	68,4	483	7,5	384	18,3	177	12,0	0,518	0,543	18,76	0,016	18734	923,7	16,55	182,2	1883	114,8	3,84	176,3	0,158	1,884	5,883	384,2	24,26	4,56	23,38	387154	47,63	8,12	0	1,48	216	
I	418	W 418 x 68,0	68,0	92,8	487	7,7	384	12,8	178	12,0	0,518	0,633	18,88	0,016	24787	1065,7	16,88	128,5	3285	135,4	3,38	285,2	0,142	1,959	5,821	682,1	27,83	4,65	39,78	487484	46,42	6,85	0	1,43	198	
I	418	W 418 x 87,0	87,0	116,3	418	8,8	384	14,6	173	12,0	0,518	0,788	18,73	0,016	24678	1238,8	16,31	182,7	4973	156,1	4,88	339,8	0,134	2,148	5,884	188,3	31,57	4,67	48,11	538545	48,23	6,22	0	1,58	179	
I	418	W 418 x 125,0	125,0	152,8	417	9,7	384	16,8	188	12,0	0,518	0,758	18,78	0,016	27816	1537,3	16,38	151,6	1153	175,2	4,88	263,1	0,127	2,318	5,834	778,4	35,37	4,78	62,24	612784	36,88	5,63	0	1,51	157	
I	418	W 418 x 158,0	158,0	188,6	417	10,2	384	18,2	181	12,0	0,518	0,819	18,78	0,016	35658	1518,4	16,87	129,2	1884	193,3	4,88	318,4	0,119	2,542	5,855	388,4	48,85	4,74	34,48	745165	32,72	4,87	0	1,52	148	
I	458	W 458 x 32,0	32,0	66,6	458	7,5	428	10,8	152	12,0	0,518	0,548	21,15	0,016	24978	549,8	17,11	183,3	634	83,5	3,83	191,7	0,168	1,787	6,287	316,6	22,85	3,79	21,79	384837	53,21	7,84	0	1,47	224	
I	458	W 458 x 46,0	46,0	76,2	455	8,8	428	13,3	153	12,0	0,518	0,568	21,15	0,016	23652	1127,8	16,35	128,1	736	184,1	3,29	165,4	0,159	2,816	6,624	397,2	26,27	3,83	34,88	387238	38,55	7,85	0	1,43	195	
I	458	W 458 x 58,0	58,0	87,6	453	9,4	428	15,4	154	12,0	0,518	0,723	21,14	0,016	23851	1389,7	16,46	185,4	341	132,2	3,28	192,4	0,158	2,255	6,583	455,2	38,42	3,38	32,29	461683	44,42	5,88	0	1,58	174	
I	458	W 458 x 74,0	74,0	104,3	457	9,8	428	16,5	158	12,0	0,518	0,718	21,13	0,016	33412	1442,4	16,77	167,4	1661	174,8	4,18	271,3	0,154	2,157	6,675	823,6	34,18	4,38	52,37	614467	44,83	6,55	0	1,54	162	
I	458	W 458 x 82,0	82,0	104,7	458	9,8	428	16,8	158	12,0	0,518	0,753	21,13	0,016	37457	1675,5	16,84	189,4	1882	194,8	4,22	393,3	0,128	2,518	6,716	338,8	37,83	5,83	78,62	615745	38,81	5,37	0	1,61	157	
I	458	W 458 x 93,0	93,0	114,1	453	10,5	428	17,7	152	12,0	0,518	0,793	21,11	0,016	41145	1775,5	16,38	218,4	2893	218,8	4,22	393,3	0,128	2,484	6,734	1845,1	41,67	5,81	32,43	693573	38,84	5,42	0	1,65	145	
I	458	W 458 x 97,0	97,0	125,4	461	11,4	428	19,8	153	12,0	0,518	0,838	21,13	0,016	44628	1916,7	16,89	218,7	2283	236,6	4,38	368,8	0,137	2,623	6,771	1939,6	45,81	5,83	115,85	1197188	35,44	5,88	0	1,65	135	
I	458	W 458 x 108,0	108,0	152,1	463	12,6	428	21,6	154	12,0	0,518	0,888	21,12	0,016	60378	2389,6	17,84	236,6	2515	253,3	4,32	482,7	0,116	2,814	6,885	1555,1	49,35	5,85	148,19	1283833	32,85	6,71	0	1,67	124	
I	538	W 538 x 66,0	66,0	85,4	525	8,3	582	11,4	165	12,0	0,518	0,719	24,84	0,016	34974	1532,2	20,46	158,8	857	183,3	3,28	165,8	0,157	1,934	7,085	437,4	32,47	4,82	31,22	562854	53,79	7,84	0	1,67	288	
I	538	W 538 x 72,0	72,0	91,6	524	8,8	582	18,3	207	12,0	0,518	0,719	24,84	0,016	39353	1525,2	20,83	175,5	1615	156,8	3,28	246,6	0,161	1,978	7,111	186,6	38,38	5,16	35,41	1885548	53,19	8,08	0	1,61	218	
I	538	W 538 x 74,0	74,0	95,1																																

ANEXO 2 - PERFIS SOLDADOS

Perfis Soldados																									
SÉRIE	PERFIL SOLDADO NBR-5884	MASSA ÁREA		ALT. d mm	ALMA		MESAS		EIXO X - X				EIXO Y - Y				Propriedades da Torção			Esbeltez local		Filete Solda e _c mm	Área de Pintura u m ² /m	Fator de Massividade u/A m ⁻¹	
		m	A		t _u	h	t _f	b _f	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y	Z _y	r _T	I _T	C _u	Alma	Mesas				
		kg/m	cm ²		mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁶	h/tw	b _f /2t _f				
CVS1000X485,93855	CVS	1000 X 486	485,9	619,0	1000	19,00	937	31,5	700	1164755	23295	43,38	25526	180129	5147	17,06	7802	18,97	1680	422272386	49	11,1	8	4,76	77
VS150X15,0143025	VS	150 X 15	15,0	19,1	150	4,75	137	6,3	100	754	100	6,28	113	105	21	2,34	32	2,67	2	5421	29	7,9	3	0,69	361
VS150X17,556525	VS	150 X 18	17,6	22,4	150	4,75	134	8,0	100	903	120	6,35	135	133	27	2,44	41	2,71	4	6721	28	6,3	5	0,69	309
VS150X19,18637	VS	150 X 19	19,2	24,4	150	6,30	134	8,0	100	934	124	6,18	142	134	27	2,34	41	2,66	5	6721	21	6,3	5	0,69	281
VS150X19,7996625	VS	150 X 20	19,8	25,2	150	4,75	131	9,5	100	1028	137	6,38	154	158	32	2,51	48	2,74	6	7814	28	5,3	5	0,69	274
VS150X21,393605	VS	150 X 21	21,4	27,3	150	6,30	131	9,5	100	1057	141	6,23	161	159	32	2,41	49	2,70	7	7814	21	5,3	5	0,69	252
VS200X18,8568775	VS	200 X 19	18,9	24,0	200	4,75	187	6,3	120	1679	168	8,36	188	182	30	2,75	46	3,17	3	17019	39	9,5	3	0,87	362
VS200X19,8459775	VS	200 X 20	19,8	25,3	200	4,75	187	6,3	130	1797	180	8,43	200	231	36	3,02	54	3,45	3	21638	39	10,3	3	0,91	360
VS200X21,9329	VS	200 X 22	21,9	27,9	200	4,75	184	8,0	120	2017	202	8,50	225	231	38	2,87	59	3,23	5	21234	39	7,5	5	0,87	312
VS200X23,1889	VS	200 X 23	23,2	29,5	200	4,75	184	8,0	130	2165	216	8,56	240	293	45	3,15	69	3,52	5	26997	39	8,1	5	0,91	308
VS200X24,6470375	VS	200 X 25	24,6	31,4	200	4,75	181	9,5	120	2305	230	8,57	256	274	46	2,95	69	3,27	8	24823	38	6,3	5	0,87	277
VS200X26,1385375	VS	200 X 26	26,1	33,3	200	4,75	181	9,5	130	2477	248	8,63	274	348	54	3,23	81	3,55	8	31560	38	6,8	5	0,91	273
VS250X20,7212525	VS	250 X 21	20,7	26,4	250	4,75	237	6,3	120	2775	222	10,25	251	182	30	2,62	47	3,10	3	26939	50	9,5	3	0,97	368
VS250X22,6994525	VS	250 X 23	22,7	28,9	250	4,75	237	6,3	140	3149	252	10,44	282	288	41	3,16	63	3,67	3	42778	50	11,1	3	1,05	363
VS250X23,797275	VS	250 X 24	23,8	30,3	250	4,75	234	8,0	120	3319	266	10,46	297	231	38	2,76	59	3,17	5	33733	49	7,5	5	0,97	320
VS250X24,6776525	VS	250 X 25	24,7	31,4	250	4,75	237	6,3	160	3524	282	10,59	313	430	54	3,70	82	4,24	4	63856	50	12,7	3	1,13	360
VS250X26,309275	VS	250 X 26	26,3	33,5	250	4,75	234	8,0	140	3788	303	10,63	336	366	52	3,30	80	3,74	6	53567	49	8,8	5	1,05	313
VS250X26,5114125	VS	250 X 27	26,5	33,8	250	4,75	231	9,5	120	3787	303	10,59	338	274	46	2,85	70	3,22	8	39563	49	6,3	5	0,97	287
VS250X28,821275	VS	250 X 29	28,8	36,7	250	4,75	234	8,0	160	4257	341	10,77	375	546	68	3,86	104	4,32	6	79959	49	10,0	5	1,13	308
VS250X32,4774125	VS	250 X 32	32,5	41,4	250	4,75	231	9,5	160	4886	391	10,87	429	649	81	3,96	123	4,36	10	93778	49	8,4	5	1,13	273
VS300X22,5856275	VS	300 X 23	22,6	28,8	300	4,75	287	6,3	120	4201	280	12,08	320	182	30	2,51	47	3,04	3	39127	61	9,5	3	1,07	372
VS300X24,5638275	VS	300 X 25	24,6	31,3	300	4,75	287	6,3	140	4744	316	12,31	357	288	41	3,04	63	3,60	3	62133	61	11,1	3	1,15	368
VS300X25,66165	VS	300 X 26	25,7	32,7	300	4,75	284	8,0	120	5000	333	12,37	376	231	38	2,66	59	3,12	5	49112	60	7,5	5	1,07	327
VS300X26,5420275	VS	300 X 27	26,5	33,8	300	4,75	287	6,3	160	5288	353	12,51	394	430	54	3,57	82	4,17	4	92746	61	12,7	3	1,23	364
VS300X28,3757875	VS	300 X 28	28,4	36,1	300	4,75	281	9,5	120	5690	379	12,55	425	274	46	2,75	70	3,17	8	57723	59	6,3	5	1,07	296
VS300X30,68565	VS	300 X 31	30,7	39,1	300	4,75	284	8,0	160	6365	424	12,76	470	546	68	3,74	104	4,26	7	116414	60	10,0	5	1,23	315
VS300X33,19765	VS	300 X 33	33,2	42,3	300	4,75	284	8,0	180	7047	470	12,91	516	778	86	4,29	131	4,83	7	165753	60	11,3	5	1,31	310
VS300X34,3417875	VS	300 X 34	34,3	43,7	300	4,75	281	9,5	160	7294	486	12,91	535	649	81	3,85	123	4,31	10	136825	59	8,4	5	1,23	281
VS300X37,3247875	VS	300 X 37	37,3	47,5	300	4,75	281	9,5	180	8096	540	13,05	591	924	103	4,41	155	4,89	11	194815	59	9,5	5	1,31	276
VS300X45,5790625	VS	300 X 46	45,6	58,1	300	4,75	275	12,5	180	10128	675	13,21	737	1215	135	4,57	204	4,96	24	251068	58	7,2	5	1,31	226
VS350X26,4282025	VS	350 X 26	26,4	33,7	350	4,75	337	6,3	140	6730	385	14,14	438	288	41	2,93	64	3,54	4	85089	71	11,1	3	1,25	371
VS350X28,4064025	VS	350 X 28	28,4	36,2	350	4,75	337	6,3	160	7475	427	14,37	482	430	54	3,45	83	4,11	4	127013	71	12,7	3	1,33	368
VS350X30,3846025	VS	350 X 30	30,4	38,7	350	4,75	337	6,3	180	8219	470	14,57	525	613	68	3,98	104	4,68	4	180845	71	14,3	3	1,41	364
VS350X32,550025	VS	350 X 33	32,6	41,5	350	4,75	334	8,0	160	8962	512	14,70	570	546	68	3,63	104	4,21	7	159695	70	10,0	5	1,33	321
VS350X35,062025	VS	350 X 35	35,1	44,7	350	4,75	334	8,0	180	9898	566	14,89	625	778	86	4,17	131	4,78	7	227378	70	11,3	5	1,41	316
VS350X36,2061625	VS	350 X 36	36,2	46,1	350	4,75	331	9,5	160	10249	586	14,91	648	649	81	3,75	123	4,27	10	187978	70	8,4	5	1,33	288
VS350X37,574025	VS	350 X 38	37,6	47,9	350	4,75	334	8,0	200	10834	619	15,04	680	1067	107	4,72	162	5,35	8	311904	70	12,5	5	1,49	311
VS350X39,1891625	VS	350 X 39	39,2	49,9	350	4,75	331	9,5	180	11351	649	15,08	712	924	103	4,30	156	4,84	12	267648	70	9,5	5	1,41	283
VS350X42,1721625	VS	350 X 42	42,2	53,7	350	4,75	331	9,5	200	12453	712	15,22	777	1267	127	4,86	192	5,41	13	367144	70	10,5	5	1,49	277

VS350X51,3684375	vs	350 X 51	51,4	65,4	350	4,75	325	12,5	200	15604	892	15,44	963	1667	167	5,05	252	5,50	27	474609	68	8,0	5	1,49	228
VS400X28,2925775	vs	400 X 28	28,3	36,0	400	4,75	387	6,3	140	9137	457	15,92	525	288	41	2,83	64	3,48	4	11646	82	11,1	3	1,35	375
VS400X30,2707775	vs	400 X 30	30,3	38,6	400	4,75	387	6,3	160	10114	506	16,20	575	430	54	3,34	83	4,05	4	166656	82	12,7	3	1,43	371
VS400X31,9024	vs	400 X 32	31,9	40,6	400	4,75	384	8,0	140	10848	542	16,34	614	366	52	3,00	81	3,59	6	140551	81	8,8	5	1,35	332
VS400X34,4144	vs	400 X 34	34,4	43,8	400	4,75	384	8,0	160	12077	604	16,60	677	546	68	3,53	105	4,15	7	209803	81	10,0	5	1,43	326
VS400X35,0875375	vs	400 X 35	35,1	44,7	400	4,75	381	9,5	140	12332	617	16,61	692	435	62	3,12	95	3,65	9	165630	80	7,4	5	1,35	302
VS400X36,9264	vs	400 X 37	36,9	47,0	400	4,75	384	8,0	180	13307	665	16,82	740	778	86	4,07	132	4,72	8	298723	81	11,3	5	1,51	321
VS400X38,0705375	vs	400 X 38	38,1	48,5	400	4,75	381	9,5	160	13781	689	16,86	766	649	81	3,66	124	4,22	11	247238	80	8,4	5	1,43	295
VS400X39,4384	vs	400 X 39	39,4	50,2	400	4,75	384	8,0	200	14536	727	17,01	802	1067	107	4,61	162	4,22	11	409771	81	12,5	5	1,59	317
VS400X41,0535375	vs	400 X 41	41,1	52,3	400	4,75	381	9,5	180	15230	761	17,06	840	924	103	4,20	156	4,79	12	352024	80	9,5	5	1,51	289
VS400X44,0365375	vs	400 X 44	44,0	56,1	400	4,75	381	9,5	200	16679	834	17,24	914	1267	127	4,75	192	5,36	13	482886	80	10,5	5	1,59	284
VS400X53,2328125	vs	400 X 53	53,2	67,8	400	4,75	375	12,5	200	20863	1043	17,54	1136	1667	167	4,96	252	5,46	27	625651	79	8,0	5	1,59	235
VS450X51,145105	vs	450 X 51	51,1	65,2	450	6,30	431	9,5	200	22640	1006	18,64	1130	1268	127	4,41	194	5,19	15	614461	68	10,5	5	1,69	259
VS450X58,602605	vs	450 X 59	58,6	74,7	450	6,30	431	9,5	250	27249	1211	19,11	1339	2475	198	5,76	301	6,62	18	1200119	68	13,2	5	1,89	262
VS450X60,268375	vs	450 X 60	60,3	76,8	450	6,30	425	12,5	200	27962	1243	19,08	1378	1668	167	4,66	254	5,32	30	797526	67	8,0	5	1,69	220
VS450X70,080875	vs	450 X 70	70,1	89,3	450	6,30	425	12,5	250	33946	1509	19,50	1652	3256	260	6,04	395	6,75	36	1557668	67	10,0	5	1,89	211
VS450X70,91219	vs	450 X 71	70,9	90,3	450	6,30	418	16,0	200	33985	1510	19,40	1664	2134	213	4,86	324	5,42	58	1004565	66	6,3	6	1,69	187
VS450X80,03546	vs	450 X 80	80,0	102,0	450	6,30	412	19,0	200	38989	1733	19,56	1905	2534	253	4,99	384	5,47	95	1176486	65	5,3	6	1,69	166
VS450X83,47219	vs	450 X 83	83,5	106,3	450	6,30	418	16,0	250	41523	1845	19,76	2011	4168	333	6,26	504	6,85	72	1962042	66	7,8	6	1,89	177
VS450X94,95046	vs	450 X 95	95,0	121,0	450	6,30	412	19,0	250	47818	2125	19,88	2315	4949	396	6,40	598	6,91	118	2297825	65	6,6	6	1,89	156
VS500X61,075355	vs	500 X 61	61,1	77,8	500	6,30	481	9,5	250	34416	1377	21,03	1529	2475	198	5,64	302	6,55	18	1488026	76	13,2	5	1,99	255
VS500X72,553625	vs	500 X 73	72,6	92,4	500	6,30	475	12,5	250	42768	1711	21,51	1879	3256	260	5,94	395	6,70	37	1934052	75	10,0	5	1,99	215
VS500X85,94494	vs	500 X 86	85,9	109,5	500	6,30	468	16,0	250	52250	2090	21,85	2281	4168	333	6,17	505	6,81	72	2440167	74	7,8	6	1,99	182
VS500X97,42321	vs	500 X 97	97,4	124,1	500	6,30	462	19,0	250	60154	2406	22,02	2621	4949	396	6,31	598	6,88	118	2861887	73	6,6	6	1,99	160
VS550X63,548105	vs	550 X 64	63,5	81,0	550	6,30	531	9,5	250	42556	1547	22,93	1728	2475	198	5,53	302	6,50	19	1806857	84	13,2	5	2,09	258
VS550X75,026375	vs	550 X 75	75,0	95,6	550	6,30	525	12,5	250	52747	1918	23,49	2114	3256	261	5,84	396	6,65	37	2351125	83	10,0	5	2,09	218
VS550X88,41769	vs	550 X 88	88,4	112,6	550	6,30	518	16,0	250	64345	2340	23,90	2559	4168	333	6,08	505	6,77	73	2970375	82	7,8	6	2,09	185
VS550X99,89596	vs	550 X 100	99,9	127,3	550	6,30	512	19,0	250	74041	2692	24,12	2935	4949	396	6,24	599	6,84	119	3487799	81	6,6	6	2,09	164
VS600X81,2318	vs	600 X 81	81,2	103,5	600	8,00	581	9,5	300	62768	2092	24,63	2358	4277	285	6,43	437	7,68	27	3726627	73	15,8	5	2,38	230
VS600X94,985	vs	600 X 95	95,0	121,0	600	8,00	575	12,5	300	77401	2580	25,29	2864	5627	375	6,82	572	7,89	49	4853760	72	12,0	5	2,38	197
VS600X111,0304	vs	600 X 111	111,0	141,4	600	8,00	568	16,0	300	94091	3136	25,79	3448	7202	480	7,14	729	8,05	92	6139008	71	9,4	6	2,38	169
VS600X124,7836	vs	600 X 125	124,8	159,0	600	8,00	562	19,0	300	108073	3602	26,07	3943	8552	570	7,33	864	8,14	147	7215366	70	7,9	6	2,38	150
VS600X140,37056	vs	600 X 140	140,4	178,8	600	8,00	555	22,4	300	123562	4119	26,29	4498	10082	672	7,51	1017	8,22	235	8407268	69	6,7	8	2,38	133
VS600X152,29	vs	600 X 152	152,3	194,0	600	8,00	550	25,0	300	135154	4505	26,39	4918	11252	750	7,62	1134	8,27	322	9298828	69	6,0	8	2,38	123
VS650X84,3718	vs	650 X 84	84,4	107,5	650	8,00	631	9,5	300	75213	2314	26,45	2622	4278	285	6,31	438	7,61	28	4384443	79	15,8	5	2,48	231
VS650X98,125	vs	650 X 98	98,1	125,0	650	8,00	625	12,5	300	92487	2846	27,20	3172	5628	375	6,71	573	7,84	50	5715088	78	12,0	5	2,48	199
VS650X114,1704	vs	650 X 114	114,2	145,4	650	8,00	618	16,0	300	112225	3453	27,78	3807	7203	480	7,04	730	8,00	93	7235208	77	9,4	6	2,48	171
VS650X127,9236	vs	650 X 128	127,9	163,0	650	8,00	612	19,0	300	128792	3963	28,11	4346	8553	570	7,24	865	8,10	148	8510691	77	7,9	6	2,48	152
VS650X143,46056	vs	650 X 143	143,5	182,8	650	8,00	605	22,4	300	147178	4529	28,37	4950	10083	672	7,43	1018	8,18	235	9925820	76	6,7	8	2,48	136
VS650X155,43	vs	650 X 155	155,4	198,0	650	8,00	600	25,0	300	160963	4953	28,51	5408	11253	750	7,54	1135	8,23	323	10986328	75	6,0	8	2,48	125
VS700X105,19	vs	700 X 105	105,2	134,0	700	8,00	675	12,5	320	115045	3287	29,30	3661	6830	427	7,14	651	8,35	53	8066667	84	12,8	5	2,66	199
VS700X122,3344	vs	700 X 122	122,3	155,8	700	8,00	668	16,0	320	139665	3990	29,94	4395	8741	546	7,49	830	8,53	99	10220470	84	10,0	6	2,66	171
VS700X137,0296	vs	700 X 137	137,0	174,6	700	8,00	662	19,0	320	160361	4582	30,31	5017	10379	649	7,71	983	8,63	158	12030579	83	8,4	6	2,66	153
VS700X153,68416	vs	700 X 154	153,7	195,8	700	8,00	655	22,4	320	183368	5239	30,60	5716	12336	765	7,91	1157	8,72	251	14042147	82	7,1	8	2,66	136
VS700X166,42	vs	700 X 166	166,4	212,0	700	8,00	650	25,0	320	200642	5733	30,76	6245	13656	854	8,03	1290	8,78	345	15552000	81	6,4	8	2,66	126
VS750X108,33	vs	750 X 108	108,3	138,0	750	8,00	725	12,5	320	134197	3579	31,18	4001	6830	427	7,03	652	8,29	54	9282667	91	12,8	5	2,76	200

VS750X125,4744	VS	750 X 125	125,5	159,8	750	8,00	718	16,0	320	162620	4337	31,90	4789	8741	546	7,40	831	8,48	100	11769304	90	10,0	6	2,76	173
VS750X140,1696	VS	750 X 140	140,2	178,6	750	8,00	712	19,0	320	186545	4975	32,32	5458	10380	649	7,62	984	8,59	159	13862037	89	8,4	6	2,76	155
VS750X156,82416	VS	750 X 157	156,8	199,8	750	8,00	705	22,4	320	213178	5685	32,67	6210	12236	765	7,83	1158	8,69	252	16190941	88	7,1	8	2,76	138
VS750X169,56	VS	750 X 170	169,6	216,0	750	8,00	700	25,0	320	233200	6219	32,86	6780	13656	854	7,95	1291	8,74	346	17941333	88	6,4	8	2,76	128
VS800X111,47	VS	800 X 111	111,5	142,0	800	8,00	775	12,5	320	195074	3877	33,05	4351	6830	427	6,94	652	8,24	55	10584000	97	12,8	5	2,86	202
VS800X128,6144	VS	800 X 129	128,6	163,8	800	8,00	768	16,0	320	187573	4689	33,84	5194	8741	546	7,30	831	8,43	101	13427365	96	10,0	6	2,86	175
VS800X143,3096	VS	800 X 143	143,3	182,6	800	8,00	762	19,0	320	214961	5374	34,31	5910	10380	649	7,54	985	8,55	160	15823202	95	8,4	6	2,86	157
VS800X159,96416	VS	800 X 160	160,0	203,8	800	8,00	755	22,4	320	245485	6137	34,71	6714	12237	765	7,75	1159	8,65	253	18492653	94	7,1	8	2,86	141
VS800X172,7	VS	800 X 173	172,7	220,0	800	8,00	750	25,0	320	268458	6711	34,93	7325	13657	854	7,88	1292	8,71	347	20501333	94	6,4	8	2,86	130
VS850X120,4975	VS	850 X 120	120,5	153,5	850	8,00	825	12,5	350	190878	4491	35,26	5025	8936	511	7,63	779	9,03	60	15662913	103	14,0	5	3,08	201
VS850X139,2904	VS	850 X 139	139,3	177,4	850	8,00	818	16,0	350	231269	5442	36,10	6009	11437	654	8,03	993	9,24	110	19881309	102	10,9	6	3,08	174
VS850X155,3986	VS	850 X 155	155,4	198,0	850	8,00	812	19,0	350	265344	6243	36,61	6845	13581	776	8,28	1177	9,37	174	23439511	102	9,2	6	3,08	156
VS850X173,65456	VS	850 X 174	173,7	221,2	850	8,00	805	22,4	350	303358	7138	37,03	7785	16010	915	8,51	1385	9,48	276	27408286	101	7,8	8	3,08	139
VS850X187,615	VS	850 X 188	187,6	239,0	850	8,00	800	25,0	350	331998	7812	37,27	8499	17868	1021	8,65	1544	9,54	379	30397705	100	7,0	8	3,08	129
VS900X123,6375	VS	900 X 124	123,6	157,5	900	8,00	875	12,5	350	216973	4822	37,12	5414	8936	511	7,53	780	8,98	61	17588938	109	14,0	5	3,18	202
VS900X142,4304	VS	900 X 142	142,4	181,4	900	8,00	868	16,0	350	262430	5832	38,03	6457	11437	654	7,94	994	9,20	111	22336617	109	10,9	6	3,18	175
VS900X159,5386	VS	900 X 159	158,5	202,0	900	8,00	862	19,0	350	300814	6685	38,59	7345	13581	776	8,20	1178	9,33	175	26345006	108	9,2	6	3,18	158
VS900X176,79456	VS	900 X 177	176,8	225,2	900	8,00	855	22,4	350	343674	7637	39,06	8343	16010	915	8,43	1386	9,44	277	30820107	107	7,8	8	3,18	141
VS900X190,755	VS	900 X 191	190,8	243,0	900	8,00	850	25,0	350	375994	8355	39,34	9101	17868	1021	8,58	1545	9,51	380	34193929	106	7,0	8	3,18	131
VS950X126,7775	VS	950 X 127	126,8	161,5	950	8,00	925	12,5	350	245036	5159	38,95	5813	8936	511	7,44	780	8,93	62	19626617	116	14,0	5	3,28	203
VS950X145,5704	VS	950 X 146	145,6	185,4	950	8,00	918	16,0	350	295858	6229	39,94	6916	11437	654	7,85	995	9,15	112	24934842	115	10,9	6	3,28	177
VS950X161,6786	VS	950 X 162	161,7	206,0	950	8,00	912	19,0	350	338908	7133	40,56	7855	13581	776	8,12	1178	9,29	176	29420216	114	9,2	6	3,28	159
VS950X179,93456	VS	950 X 180	179,9	229,2	950	8,00	905	22,4	350	386806	8143	41,08	8911	16011	915	8,36	1386	9,41	278	34432011	113	7,8	8	3,28	143
VS950X193,895	VS	950 X 194	193,9	247,0	950	8,00	900	25,0	350	423027	8906	41,38	9714	17868	1021	8,51	1546	9,48	380	38213460	113	7,0	8	3,28	133
VS1000X139,73	VS	1000 X 140	139,7	178,0	1000	8,00	975	12,5	400	305593	6112	41,43	6839	13337	667	8,66	1016	10,29	69	32505208	122	16,0	5	3,58	201
VS1000X161,2704	VS	1000 X 161	161,3	205,4	1000	8,00	968	16,0	400	370339	7407	42,46	8172	17071	854	9,12	1295	10,53	126	41312256	121	12,5	6	3,58	174
VS1000X179,7336	VS	1000 X 180	179,7	229,0	1000	8,00	962	19,0	400	425095	8502	43,09	9306	20271	1014	9,41	1535	10,68	200	48759624	120	10,5	6	3,58	157
VS1000X200,65856	VS	1000 X 201	200,7	255,6	1000	8,00	955	22,4	400	486331	9727	43,62	10584	23897	1195	9,67	1807	10,81	316	57087252	119	8,9	8	3,58	140
VS1000X216,66	VS	1000 X 217	216,7	276,0	1000	8,00	950	25,0	400	532575	10652	43,93	11555	26671	1334	9,83	2015	10,98	433	63375000	119	8,0	8	3,58	130
VS1100X158,668125	VS	1100 X 159	158,7	202,1	1100	9,50	1075	12,5	450	394026	7164	44,15	8182	13341	667	8,12	1024	9,98	83	39421875	113	16,0	5	3,78	187
VS1100X180,1261	VS	1100 X 180	180,1	229,5	1100	9,50	1068	16,0	400	472485	8591	45,38	9647	17074	854	8,63	1304	10,27	140	50135723	112	12,5	6	3,78	165
VS1100X198,51865	VS	1100 X 199	198,5	252,9	1100	9,50	1062	19,0	400	538922	9799	46,16	10894	20274	1014	8,95	1544	10,45	214	59207091	112	10,5	6	3,78	150
VS1100X219,36354	VS	1100 X 219	219,4	279,4	1100	9,50	1055	22,4	400	613316	11151	46,85	12300	23901	1195	9,25	1816	10,60	331	69363646	111	8,9	8	3,78	135
VS1100X235,30375	VS	1100 X 235	235,3	299,8	1100	9,50	1050	25,0	400	669562	12174	47,26	13368	26674	1334	9,43	2024	10,69	447	77041667	111	8,0	8	3,78	126
VS1200X200,1436	VS	1200 X 200	200,1	255,0	1200	9,50	1168	16,0	450	630844	10514	49,74	11765	24308	1080	9,76	1646	11,59	157	85162752	123	14,1	6	4,18	164
VS1200X220,89115	VS	1200 X 221	220,9	281,4	1200	9,50	1162	19,0	450	720523	12009	50,60	13304	28865	1283	10,13	1950	11,79	240	100618930	122	11,8	6	4,18	149
VS1200X244,40504	VS	1200 X 244	244,4	311,3	1200	9,50	1155	22,4	450	821045	13684	51,35	15040	34028	1512	10,45	2294	11,95	371	117942387	122	10,0	8	4,18	134
VS1200X262,38625	VS	1200 X 262	262,4	334,3	1200	9,50	1150	25,0	450	897121	14952	51,81	16360	37977	1688	10,66	2557	12,05	502	13105154	121	9,0	8	4,18	125
VS1200X307,339275	VS	1200 X 307	307,3	391,5	1200	9,50	1137	31,5	450	1084322	18072	52,63	19634	47849	2127	11,06	3215	12,24	971	163303047	120	7,1	8	4,18	107
VS1300X237,4625	VS	1300 X 237	237,5	302,5	1300	12,50	1268	16,0	450	805914	12399	51,62	14269	24321	1081	8,97	1670	11,12	206	100155852	101	14,1	6	4,38	145
VS1300X258,06875	VS	1300 X 258	258,1	328,8	1300	12,50	1262	19,0	450	910929	14014	52,64	15930	28877	1283	9,37	1973	11,36	289	118379952	101	11,8	6	4,38	133
VS1300X281,4225	VS	1300 X 281	281,4	358,5	1300	12,50	1255	22,4	450	1028744	15827	53,57	17802	34040	1513	9,74	2317	11,58	420	138823863	100	10,0	8	4,38	122
VS1300X299,28125	VS	1300 X 299	299,3	381,3	1300	12,50	1250	25,0	450	1117982	17200	54,15	19227	37989	1688	9,98	2580	11,71	552	154307373	100	9,0	8	4,38	115
VS1300X343,928125	VS	1300 X 344	343,9	438,1	1300	12,50	1237	31,5	450	1337847	20582	55,26	22763	47861	2127	10,45	3238	11,95	1020	192449947	99	7,1	8	4,38	100
VS1400X259,835	VS	1400 X 260	259,8	331,0	1400	12,50	1368	16,0	500	1032894	14756	55,86	16920	33356	1334	10,04	2053	12,40	227	159621333	109	15,6	6	4,78	144
VS1400X282,79625	VS	1400 X 283	282,8	360,3	1400	12,50	1362	19,0	500	1169143	16702	56,97	18917	39606	1584	10,49	2428	12,67	319	188729474	109	13,2	6	4,78	133

VS1400X308,819	vs	1400 X 309	308,8	393,4	1400	12,50	1355	22,4	500	1322113	18887	57,37	21168	46689	1868	10,89	2853	12,90	464	221407872	108	11,2	8	4,78	121
VS1400X328,71875	vs	1400 X 329	328,7	418,8	1400	12,50	1350	25,0	500	1438060	20544	58,60	22883	52105	2084	11,15	3178	13,04	610	246175130	108	10,0	8	4,78	114
VS1400X378,468125	vs	1400 X 378	378,5	482,1	1400	12,50	1337	31,5	500	1724041	24629	59,80	27140	65647	2626	11,67	3990	13,31	1131	307254979	107	7,9	8	4,78	99
VS1400X424,390625	vs	1400 X 424	424,4	540,6	1400	12,50	1325	37,5	500	1983133	28330	60,57	31033	78147	3126	12,02	4739	13,48	1847	362579346	106	6,7	8	4,78	88
VS1400X477,968875	vs	1400 X 478	478,0	608,9	1400	12,50	1311	44,5	500	2279533	32565	61,19	38531	92730	3709	12,34	5614	13,62	3026	425851152	105	5,6	8	4,78	78
VS1500X269,6475	vs	1500 X 270	269,6	343,5	1500	12,50	1468	16,0	500	1210476	16140	59,36	18606	33357	1334	9,85	2057	12,28	233	183521333	117	15,6	6	4,98	145
VS1500X292,60875	vs	1500 X 293	292,6	372,8	1500	12,50	1462	19,0	500	1367419	18232	60,57	20749	39607	1584	10,31	2432	12,56	325	217051349	117	13,2	6	4,98	133
VS1500X318,6315	vs	1500 X 319	318,6	405,9	1500	12,50	1455	22,4	500	1543737	20583	61,67	23167	46890	1868	10,73	2857	12,81	471	254718539	116	11,2	8	4,98	123
VS1500X338,53125	vs	1500 X 339	338,5	431,3	1500	12,50	1450	25,0	500	1677461	22366	62,37	25008	52107	2084	10,99	3182	12,96	617	283284505	116	10,0	8	4,98	115
VS1500X388,280625	vs	1500 X 388	388,3	494,6	1500	12,50	1437	31,5	500	2007598	26768	63,71	29582	65648	2626	11,52	3994	13,23	1137	353799510	115	7,9	8	4,98	101
VS1500X434,203125	vs	1500 X 434	434,2	553,1	1500	12,50	1425	37,5	500	2307085	30761	64,58	33768	78148	3126	11,89	4743	13,41	1853	417755127	114	6,7	8	4,98	90
VS1500X487,779375	vs	1500 X 488	487,8	621,4	1500	12,50	1411	44,5	500	2650168	35336	65,31	38607	92731	3709	12,22	5618	13,57	3032	491001933	113	5,6	8	4,98	80
VS1600X328,444	vs	1600 X 328	328,4	418,4	1600	12,50	1555	22,4	500	1785655	22321	65,33	25227	46692	1868	10,56	2861	12,72	477	290362539	124	11,2	8	5,18	124
VS1600X348,34375	vs	1600 X 348	348,3	443,8	1600	12,50	1550	25,0	500	1938424	24230	66,09	27195	52109	2084	10,84	3186	12,87	623	322998047	124	10,0	8	5,18	117
VS1600X398,093125	vs	1600 X 398	398,1	507,1	1600	12,50	1537	31,5	500	2315887	28949	67,58	32086	65650	2626	11,38	3998	13,16	1144	403625291	123	7,9	8	5,18	102
VS1600X444,015625	vs	1600 X 444	444,0	565,6	1600	12,50	1525	37,5	500	2658693	33234	68,56	36564	78150	3126	11,75	4747	13,35	1860	476837158	122	6,7	8	5,18	91
VS1600X497,591875	vs	1600 X 498	497,6	633,9	1600	12,50	1511	44,5	500	3051871	38148	69,39	41745	92733	3709	12,10	5622	13,51	3039	560788131	121	5,6	8	5,18	82
VS1700X338,2565	vs	1700 X 338	338,3	430,9	1700	12,50	1655	22,4	500	2048493	24100	68,95	27351	46694	1868	10,41	2865	12,62	484	328339872	132	11,2	8	5,38	125
VS1700X358,15625	vs	1700 X 358	358,2	456,3	1700	12,50	1650	25,0	500	2221576	26136	69,78	29445	52110	2084	10,69	3189	12,79	630	365315755	132	10,0	8	5,38	118
VS1700X407,905625	vs	1700 X 408	407,9	519,6	1700	12,50	1637	31,5	500	2649532	31171	71,41	34653	65652	2626	11,24	4001	13,09	1150	456732322	131	7,9	8	5,38	103
VS1700X453,828125	vs	1700 X 454	453,8	578,1	1700	12,50	1625	37,5	500	3038582	35748	72,50	39424	78151	3126	11,63	4751	13,29	1866	539825439	130	6,7	8	5,38	93
VS1700X507,404375	vs	1700 X 507	507,4	646,4	1700	12,50	1611	44,5	500	3485268	41003	73,43	44945	92735	3709	11,98	5625	13,46	3045	635209745	129	5,6	8	5,38	83
VS1800X348,069	vs	1800 X 348	348,1	443,4	1800	12,50	1755	22,4	500	2332876	25921	72,54	29536	46695	1868	10,26	2869	12,54	490	368650539	140	11,2	8	5,58	126
VS1800X367,96875	vs	1800 X 368	368,0	468,8	1800	12,50	1750	25,0	500	2527539	28084	73,43	31758	52112	2084	10,54	3193	12,70	636	410237630	140	10,0	8	5,58	119
VS1800X417,718125	vs	1800 X 418	417,7	532,1	1800	12,50	1737	31,5	500	3009158	33435	75,20	37283	65653	2626	11,11	4005	13,02	1157	513120604	139	7,9	8	5,58	105
VS1800X463,640625	vs	1800 X 464	463,6	590,6	1800	12,50	1725	37,5	500	3447378	38304	76,40	42346	78153	3126	11,50	4755	13,22	1873	606719971	138	6,7	8	5,58	94
VS1800X465,4422	vs	1800 X 465	465,4	592,9	1800	16,00	1737	31,5	500	3162016	35134	73,03	39923	65684	2627	10,53	4049	12,69	1283	513120604	109	7,9	8	5,57	94
VS1800X511,035	vs	1800 X 511	511,0	651,0	1800	16,00	1725	37,5	500	3597089	39968	74,33	44949	78184	3127	10,96	4798	12,94	1998	606719971	108	6,7	8	5,57	86
VS1800X517,216875	vs	1800 X 517	517,2	658,9	1800	12,50	1711	44,5	500	3950984	43900	77,44	48208	92736	3709	11,96	5629	13,40	3052	714266777	137	5,6	8	5,58	85
VS1800X564,2266	vs	1800 X 564	564,2	718,8	1800	16,00	1711	44,5	500	4097080	45523	75,50	50770	92767	3711	11,36	5672	13,15	3177	714266777	107	5,6	8	5,57	77
VS1900X428,61	vs	1900 X 429	428,6	546,0	1900	16,00	1850	25,0	500	3041613	32017	74,64	37128	52146	2086	9,77	3243	12,23	777	457763672	116	10,0	8	5,77	106
VS1900X478,0022	vs	1900 X 478	478,0	608,9	1900	16,00	1837	31,5	500	3576198	37644	76,64	42927	65688	2628	10,39	4055	12,61	1297	572790135	115	7,9	8	5,77	95
VS1900X523,595	vs	1900 X 524	523,6	667,0	1900	16,00	1825	37,5	500	4062991	42768	78,05	48244	78187	3127	10,83	4804	12,87	2012	677520752	114	6,7	8	5,77	86
VS1900X576,7866	vs	1900 X 577	576,8	734,8	1900	16,00	1811	44,5	500	4622882	48662	79,32	54404	92770	3711	11,24	5678	13,09	3191	797959225	113	5,6	8	5,77	79
VS2000X460,795	vs	### X 461	460,8	587,0	2000	16,00	1950	25,0	550	3670473	36705	79,08	42366	69389	2523	10,87	3906	13,53	843	676006755	122	11,0	8	6,17	105
VS2000X515,2897	vs	### X 515	515,3	656,4	2000	16,00	1937	31,5	550	4326007	43260	81,18	49112	87413	3179	11,54	4888	13,94	1415	846171159	121	8,7	8	6,17	94
VS2000X565,5925	vs	### X 566	565,6	720,5	2000	16,00	1925	37,5	550	4923357	49234	82,66	55299	104050	3784	12,02	5795	14,21	2202	1001215179	120	7,3	8	6,17	86
VS2000X624,2791	vs	### X 624	624,3	795,3	2000	16,00	1911	44,5	550	5610913	56109	84,00	62469	123460	4489	12,46	6853	14,45	3498	1179648116	119	6,2	8	6,17	78

FONTE: BELLEI, I; PINHO, F; PINHO, M. Edifícios de múltiplos andares em aço: 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.

ANEXO 3 - PERFIS LAMINADOS U

Perfis Laminados U						
SÉRIE	DESIGNAÇÃO ASTM mm x kg/m	MASSA m kg/m	ALT. h mm	Largura b mm	ALMA t _w mm	MESA t _f mm
C	76,20 x 6,10	6,10	76,20	35,80	4,32	6,90
C	101,60 x 8,04	8,04	101,60	40,20	4,67	7,50
C	152,40 x 12,2	12,20	152,40	49,80	5,08	8,70
C	203,20 x 17,10	17,10	203,20	57,40	5,59	9,90
C	254,00 x 22,70	22,70	254,00	66,00	6,10	11,10
C	304,80 x 30,70	30,70	304,80	74,70	7,11	12,70

FONTE: BELLEI, I; PINHO, F; PINHO, M. Edifícios de múltiplos andares em aço: 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.

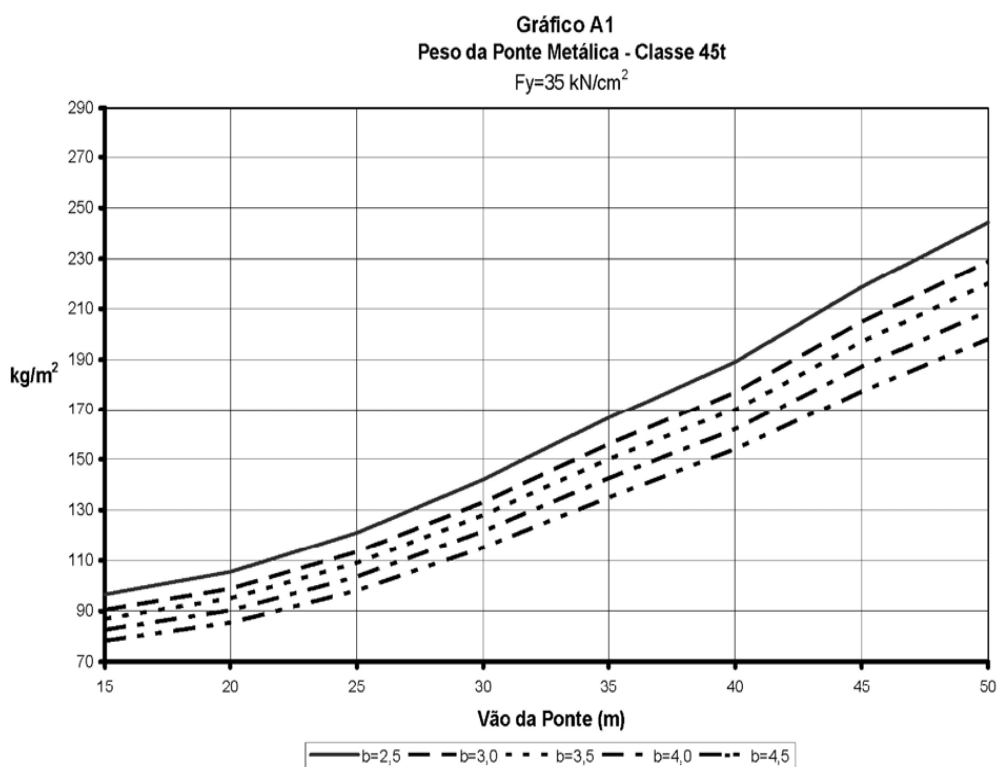
ANEXO 4 - RESISTÊNCIA ADMISSÍVEL DOS CONECTORES A CISALHAMENTO

Resistência admissível dos conectores a cisalhamento devido a fadiga de acordo com o número de ciclos					
Ciclos	PINO	kN	w/cm	α	β
	Diâmetro (cm)				
Ciclos \leq 100.000 e Diâmetro= 1,9 cm	1,9	33	4,7	9,2	7,1
Ciclos \leq 100.000 e Diâmetro= 2,2 cm	2,2	44	6,2	9,2	7,1
Ciclos \leq 100.000 e Diâmetro= 2,2 cm	2,5	56	7,9	9,2	7,1
Ciclos \leq 500.000 e Diâmetro= 1,9 cm	1,9	26	4,9	7,3	5,3
Ciclos \leq 500.000 e Diâmetro= 2,2 cm	2,2	35	6,3	7,3	5,3
Ciclos \leq 500.000 e Diâmetro= 2,2 cm	2,5	46	8,7	7,3	5,3
Ciclos \leq 2.000.000 e Diâmetro= 1,9 cm	1,9	20	4,8	5,4	4,2
Ciclos \leq 2.000.000 e Diâmetro= 2,2 cm	2,2	26	6,2	5,4	4,2
Ciclos \leq 2.000.000 e Diâmetro= 2,2 cm	2,5	34	8,1	5,4	4,2
Ciclos $>$ 2.000.000 e Diâmetro= 1,9 cm	1,9	13	3,5	3,7	3,7
Ciclos $>$ 2.000.000 e Diâmetro= 2,2 cm	2,2	18	4,9	3,7	3,7
Ciclos $>$ 2.000.000 e Diâmetro= 2,2 cm	2,5	23	6,2	3,7	3,7

Fonte: PINHO, Fernando Ottoboni; Bellei, Ildony Hélio. Pontes e viadutos em viga mistas. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2007.

ANEXO 5 - PESO PONTE METÁLICA PARA CLASSE 45 t

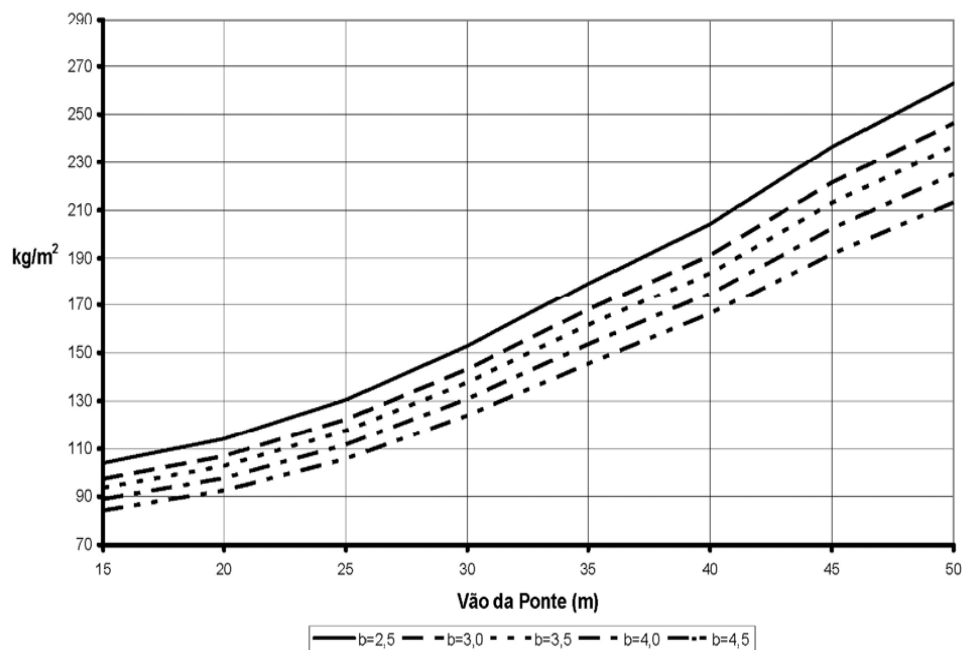
PESO PONTE METÁLICA PARA CLASSE 45 t



$f_y(\text{kn/cm}^2) =$	34,5
Vão e b	kg/m ²
Vão 15m e b=2,5	95
Vão 15m e b=2,6	94
Vão 15m e b=3,0	90
Vão 15m e b=3,5	87
Vão 15m e b=4,0	84
Vão 15m e b=4,5	81
Vão 20m e b=2,5	110
Vão 20m e b=3,0	95
Vão 20m e b=3,5	92
Vão 20m e b=4,0	90
Vão 20m e b=4,5	88
Vão 25m e b=2,5	120
Vão 25m e b=3,0	112
Vão 25m e b=3,5	110
Vão 25m e b=4,0	100
Vão 25m e b=4,5	96
Vão 30m e b=2,5	140
Vão 30m e b=3,0	131
Vão 30m e b=3,5	129
Vão 30m e b=4,0	120
Vão 30m e b=4,5	116
Vão 35m e b=2,5	168
Vão 35m e b=3,0	154
Vão 35m e b=3,5	150
Vão 35m e b=4,0	140
Vão 35m e b=4,5	135
Vão 40m e b=2,5	190
Vão 40m e b=3,0	174
Vão 40m e b=3,5	170
Vão 40m e b=4,0	160
Vão 40m e b=4,5	152
Vão 45m e b=2,5	220
Vão 45m e b=3,0	207
Vão 45m e b=3,5	200
Vão 45m e b=4,0	189
Vão 45m e b=4,5	174
Vão 50m e b=2,5	245
Vão 50m e b=3,0	230
Vão 50m e b=3,5	220
Vão 50m e b=4,0	210
Vão 50m e b=4,5	197

Fonte: Pontes e Viadutos de Viga Mista, 2007

Gráfico A2
Peso da Ponte Metálica - Classe 45t
 $F_y=30 \text{ kN/cm}^2$



Fonte: Pontes e Viadutos de Viga Mista, 2007

$f_y(\text{kn/cm}^2)=$	30
Vão e b	kg/m ²
Vão 15m e b=2,5	108
Vão 15m e b=3,0	100
Vão 15m e b=3,5	94
Vão 15m e b=4,0	90
Vão 15m e b=4,5	87
Vão 20 m e b=2,5	114
Vão 20 m e b=3,0	108
Vão 20 m e b=3,5	103
Vão 20 m e b=4,0	98
Vão 20 m e b=4,5	92
Vão 25 m e b=2,5	130
Vão 25 m e b=3,0	122
Vão 25 m e b=3,5	117
Vão 25 m e b=4,0	112
Vão 25 m e b=4,5	97
Vão 30 m e b=2,5	152
Vão 30 m e b=3,0	147
Vão 30 m e b=3,5	140
Vão 30 m e b=4,0	132
Vão 30 m e b=4,5	126
Vão 35 m e b=2,5	180
Vão 35 m e b=3,0	170
Vão 35 m e b=3,5	160
Vão 35 m e b=4,0	153
Vão 35 m e b=4,5	147
Vão 40 m e b=2,5	203
Vão 40 m e b=3,0	191
Vão 40 m e b=3,5	187
Vão 40 m e b=4,0	173
Vão 40 m e b=4,5	167
Vão 45 m e b=2,5	238
Vão 45 m e b=3,0	220
Vão 45 m e b=3,5	212
Vão 45 m e b=4,0	200
Vão 45 m e b=4,5	192
Vão 50 m e b=2,5	262
Vão 50 m e b=3,0	250
Vão 50 m e b=3,5	240
Vão 50 m e b=4,0	227
Vão 50 m e b=4,5	212

ANEXO 6 - TABELA DE TIPOS DE AÇO

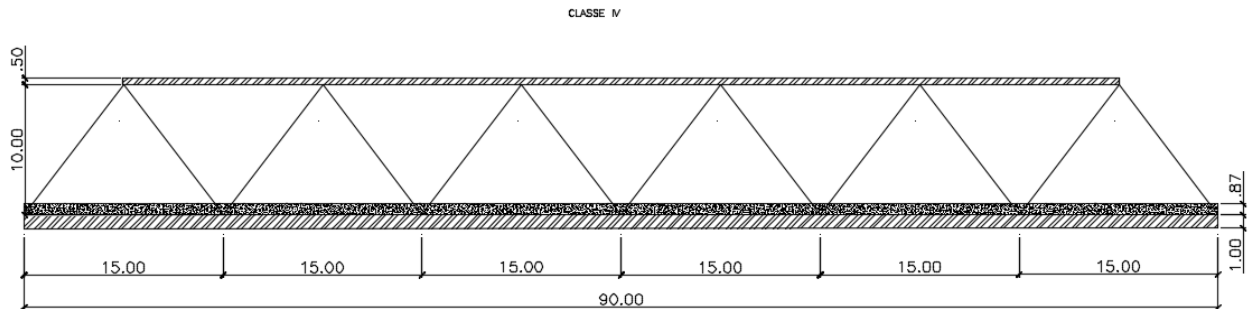
Tipos de Aço			
Denominação	Fy(kN/cm ²)	Fu(kN/cm ²)	E(kN/cm ²)
A36	25	40	20000
A572- Grau 42	29	41,5	20000
A572- Grau 50	34,5	45	20000
A572- Grau 55	38	48,8	20000
A572- Grau 60	41,5	52	20000
A572- Grau 65	45	55	20000
A588	34,5	48	20000

Fonte: Tabela adaptada da NBR 8800

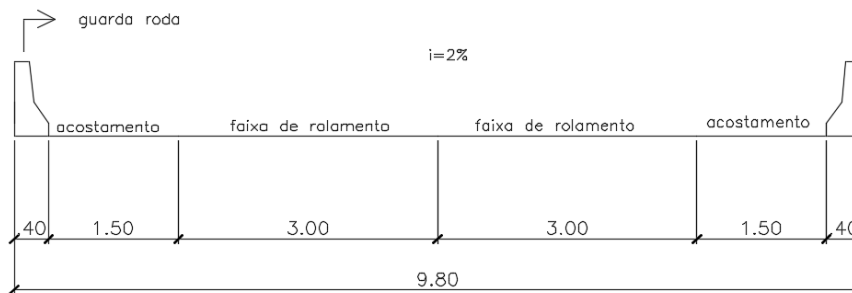
APÊNDICE A - PRÉ-DIMENSIONAMENTO DA PONTE METÁLICA TRELIÇADA

1- Dados do Pré Dimensionamento da Ponte Metálica Trelaçada

Altura da Trelaç(m)=	10
Distância entre nós(m)=	15
Comprimento total da Ponte(m)=	90
Seção Transversal(m)=	9,8

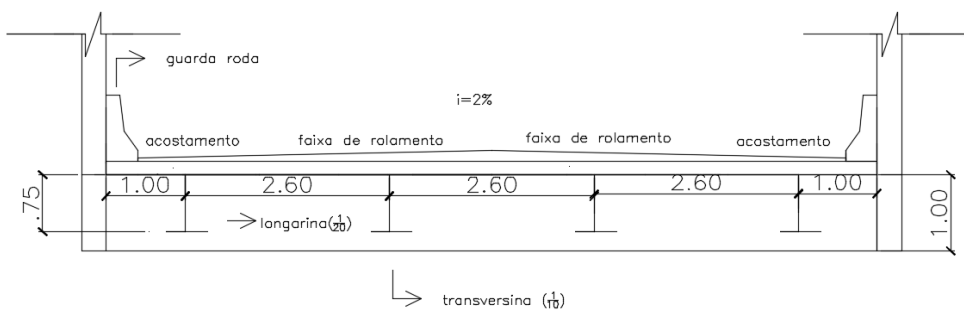


Usaremos $d = 0,75$



Distância das Longarinas Transversalmente	DL=	ST/5	CL(m)=	1,96
-------------------------------------------	-----	------	--------	------

Usaremos DL externo =1 e DInterno=2,6



Altura da Transversina	AT=	ST/10	AT(m)=	0,98
------------------------	-----	-------	--------	------

Usaremos AT =1,00 m

APÊNDICE B – DADOS DA PONTE

Dados da Ponte			
1.1- Dados construtivos iniciais ponte metálica treliçada			
Escolha do Aço das Vigas Soldadas	A588		
Comprimento da Ponte(m)	Vão=	15,0	
Número de longarinas	nl=	4,0	
Largura da Ponte(m)	B=	9,8	
Espessura média do revestimento asfáltico(cm)	tr=	12,5	
Aço das vigas soldadas (kN/cm ²)	Fy=	34,5	
Aço das vigas soldadas (kN/cm ²)	Fu=	48,0	
Concreto da Laje (Mpa)	fck=	30,0	
Concreto da Laje (kN/cm ²)	fck=	3,0	
Espessura média da laje de concreto(cm)	tc=	20	Obs: Mín 19cm, tabela anexo 6;
Distância entre Vigas(m)	b=	2,6	
Distância entre Vigas(cm)	b=	260,0	
Obs: Comprimento da Ponte nesse caso é o valor de nó a nó da treliça;			

APÊNDICE C - CARGAS ATUANTES

Cargas Atuantes			
Vão teórico de cálculo(m)	L=Vão(m)	L=	15,0
Vão teórico de cálculo(cm)	L=Vão(cm)	L=	1500,0
2.1- Carga Permanente anterior à cura do concreto - CP1			
Valor do Vão e b (usando como base o de projeto, pode-se aproximar)=		Vão 15m e b=2,6	
Carga da Laje de Concreto (kN/m)	$q1=tc(m)*(B/nl)*25$	q1=	12,3
Peso da Estrutura Metálica (kgf/m ²) -Para classe 45t	Valores retirados do anexo 5	estru=	94,0
Peso da Estrutura Metálica (kN/m ²) -Para classe 45t	Valores retirados do anexo 5	estru=	0,94
Peso do Escoramento (kgf/m ²)	Valores estimados retirados do livro	esco=	20,0
Peso do Escoramento (kN/m ²)	Pontes e Viadutos em Viga Mista	esco=	0,2
Vigas de aço (kN/m)	$q2=(estru+esco)*(B/nl)$	q2=	2,8
Carga Permanente anterior à cura do concreto (kN/m)	$CP1= q1+q2$	CP1=	15,0
Obs: 1kN=100 kgf			
2.2- Carga Permanente posterior à cura do concreto - CP2			
Guarda roda de concreto (kN/m)	$q3=[(0,23m^2)*25]*(2/nl)$	q3=	2,9
Revestimento asfáltico (kN/m)	$q4=[tr(m)*(B-2*0,4)*18]*(1/nl)$	q4=	5,1
Carga Permanente posterior à cura do concreto (kN/m)	$CP2= q3+q4$	CP2=	7,9
Obs: 0,23 m ² é a área do guarda roda, 25 é o peso específico do concreto armado, 18 é o peso específico do asfalto, 2 o número de guarda roda e 0,4 a espessura do guarda roda;			
2.3- Carga Móvel + Coeficiente de Impacto Vertical (CM+CIV)			
Coeficiente de Impacto Vertical (NBR 7187:2003)	$CIV=1+1,06*(20/(Liv+50))$	CIV	1,33
Trem tipo (NBR 7188:2013)	Trem tipo(kN)	TT=	450,0
Trem tipo (NBR 7188:2013)	Carga(kN/m ²)	P=	5,0
Obs: Liv é o vão da estrutura. Considerar valor de L;			

Obs: Caso o valor de "Vão" e "b" não sejam iguais aos de projeto, pode-se usar o mais próximo abaixo ou então adicionar os valores no anexo 5;

Obs: Caso essa célula apresente erro é devido a existência de tabelas do anexo 5 apenas para fck 35 e fck 30;

APÊNDICE D - CÁLCULO DE ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA

Cálculo dos Esforços e da Envoltória			
3.1- Reações nas Vigas (RA e RB)			
Excentricidade (m)	$ex = 0,4 + 1,5 \cdot (B-3b)/2$	ex=	0,90
Carga distribuída a (kN/m)	$qa = (p(b-ex-1,5)^2)/2b$	qa=	0,04
Carga distribuída b (kN/m)	$qb = p \cdot 3(b-ex)/b$	qb=	9,8
Carga Pontual (kN)	$Pe = TT \cdot (B-ex)/3b$	Pe=	98,1
Obs: "ex" é a distância do centro do trem tipo até eixo da longarina externa;			
3.2-Trem tipo sobre as vigas externas (RA E RB)			
Carga distbuída total externa (kN/m)	$qme = qa + qb$	qme=	9,85
Carga concentrada total externa (kN)	$Pme = (Pe - qb \cdot 6/3)$	Pme=	78,5
Obs: 6 é o comprimento da carga concentrada longitudinalmente e 3 o número de concentradas;			
3.3-Vigas internas (RC e RD)			
Fração da carga móvel para as vigas internas	$fdist = (b/1,676)/2$	fdist=	0,78
3.4-Trem tipo sobre as vigas internas			
Carga distbuída total interna (kN/m)	$qmi = p \cdot 3 \cdot fdist$	qmi=	11,63
Carga concentrada total interna (kN)	$Pmi = (TT \cdot fdist/3) - (qmi \cdot 6/3)$	Pmi=	93,1
3.5-Trem tipo final com impacto			
Carga distbuída com impacto(kN/m)	$qm = se(Pmi \cdot 3 + qmi \cdot L > Pme \cdot 3 + qme \cdot L; qmi \cdot CIV; qme \cdot CIV)$	qm=	15,4
Carga concentrada com impacto (kN)	$Pm = se(Pmi \cdot 3 + qmi \cdot L > Pme \cdot 3 + qme \cdot L; Pmi \cdot CIV; Pme \cdot CIV)$	Pm=	123,4



3.6-Cálculo dos esforços máximos das seções (Formulário) + Envolvória de esforços para cada seção da viga

Identificação do ponto ou seção de ligação		Seção 0	Seção 1
Distância em metros até o apoio (x)		0	7,5
Momento proveniente da Carga Permanente 1 (kN.m)	$M_{cp1} = CP1 * x / 2 * (L - x)$	-	423,08
Momento proveniente da Carga Permanente 2 (kN.m)	$M_{cp2} = CP2 * x / 2 * (L - x)$	-	223,24
Momento positivo proveniente da carga pontual opção 1 (KN.m)	$M_{p1} = 3 * P_m * x * (L - x - 1,5) / L$	-	1.110,93
Momento positivo proveniente da carga pontual opção 2 (KN.m)	$M_{p2} = se(x=0;0; P_m * x / L * (3L - 3x - 1,5 * L / x))$	-	1.203,51
Momento positivo proveniente da carga distribuída (kN.m)	$M_q = q_m * x * (L - x) / 2$	-	433,96
Momento combinado máximo(kN.m)	$M_c = se(M_{p1} >= M_{p2}; M_{p1} + M_q; se(x <= 1,5; M_{p1} + M_q; M_q + M_{p2}))$	-	1.637,47
Cortante proveniente das Cargas Permanentes (kN)	$Q_P = (CP1 + CP2) * ((L/2) - x)$	172,35	-
Cortante positivo (kN)	$Q_p = ((q_m * ((L - x) / 2) * (1 - x / L)) + ((3 * P_m / L) * (L - x - 1,5)))$	449,00	177,05
Cortante negativo (kN)	$Q_n = (q_m * x^2) / (2 * L) + ((3 * P_m * (x - 1,5)) / L)$	-	177,05

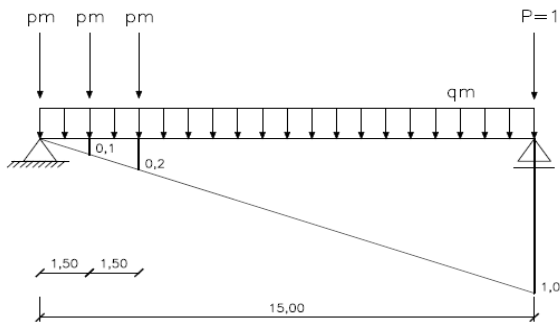
Obs: "x" é a distância do apoio até a seção avaliada; As barras de aço têm 12m. Como a distância entre treliças é de 15 m, opta-se por usar barras de 12m e cortar outra de 12m em quatro partes para completar os 3m que faltam. Nesse caso são 8 barras de 12m. Seis utilizadas na totalidade e outras duas dividida em seções de 3m, de forma a evitar desperdício .

3.7-Esforços máximos nas emendas

Identificação do ponto ou seção de ligação		Seção 0	Seção 1
Momento final (kN.m)	$M_f = M_{cp1} + M_{cp2} + M_c$	-	2.283,79
Cortante final máximo (kN)	$Q_{f\text{máximo}} = Q_P + Q_p$	621,35	177,05

3.8-Esforços mínimo na emenda

Cortante final mínimo carregando trem tipo no apoio A, com seção na emenda x=15m	$Q_{f\text{mín}} = Q_P + (q_m * 15 * 1/2) + P_m * 0,1 + P_m * 0,2$	$Q_{f\text{mín}}(\text{kN}) =$	325,11
----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	--------------------------------	--------



APÊNDICE E - CÁLCULO DAS PROPRIEDADES DAS SEÇÕES

Cálculo das Propriedades das Seções																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: yellow;">Perfil 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d (cm)</td> <td style="background-color: yellow;">75,00</td> </tr> <tr> <td>tw (cm)</td> <td style="background-color: yellow;">0,80</td> </tr> <tr> <td>bs (cm)</td> <td style="background-color: yellow;">25,00</td> </tr> <tr> <td>ts (cm)</td> <td style="background-color: yellow;">2,50</td> </tr> <tr> <td>bi (cm)</td> <td style="background-color: yellow;">45,00</td> </tr> <tr> <td>ti (cm)</td> <td style="background-color: yellow;">3,20</td> </tr> </tbody> </table>		Perfil 1		d (cm)	75,00	tw (cm)	0,80	bs (cm)	25,00	ts (cm)	2,50	bi (cm)	45,00	ti (cm)	3,20										
Perfil 1																									
d (cm)	75,00																								
tw (cm)	0,80																								
bs (cm)	25,00																								
ts (cm)	2,50																								
bi (cm)	45,00																								
ti (cm)	3,20																								
4.1 Propriedades das Seções (Formulário)																									
$h(i) = d(i) - ts(i) - ti(i)$																									
$A(i) = bs(i) \cdot ts(i) + bi(i) \cdot ti(i) + h(i) \cdot tw(i)$																									
$Peso(i) = A(i) \cdot \gamma$																									
$CG(i) = [bs(i) \cdot ts(i) [d(i) - ts(i)/2] + h(i) \cdot tw(i) [h(i)/2 + ti(i)] + bi(i) \cdot ti(i) [ti(i)/2]] / A(i)$																									
$Ix(i) = [bs(i) \cdot [ts(i)]^3 + bi(i) \cdot [ti(i)]^3 + tw(i) [h(i)]^3] / 12 + [d(i) - CG(i) - ts(i)/2]^2 \cdot ts(i) \cdot bs(i) + [CG(i) - ti(i)/2]^2 \cdot ti(i) \cdot bi(i) + [h(i)/2 + ti(i) - CG(i)]^2 \cdot h(i) \cdot tw(i)$																									
$Ws(i) = Ix(i) / [d(i) - CG(i)]$																									
$Wi(i) = Ix(i) / CG(i)$																									
$Rx(i) = Ix(i) / A(i) ^{1/2}$																									
$Iy(i) = [ts(i) / [bs(i)]^3 + ti(i) \cdot [bi(i)]^3 + h(i) [tw(i)]^3] / 12$																									
$Wy(i) = Iy(i) / [bi(i)/2]$																									
$Ry(i) = [Iy(i) / A] ^{1/2}$																									
$\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$																									
Obs: 1kN= 100 Kg. Feita a conversão, usei $\gamma=0,785$ para achar direto valor em Peso (Kgf/m) quando multiplicado pela área em cm ² ;																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: yellow;">Perfil</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>h (cm)</td> <td>69,30</td> </tr> <tr> <td>A (cm²)</td> <td>261,94</td> </tr> <tr> <td>Peso (kgf/m)</td> <td>205,62</td> </tr> <tr> <td>CG (cm)</td> <td>26,49</td> </tr> <tr> <td>Ix (cm⁴)</td> <td>258.301,41</td> </tr> <tr> <td>Ws (cm³)</td> <td>5.324,45</td> </tr> <tr> <td>Wi (cm³)</td> <td>9.751,76</td> </tr> <tr> <td>Rx (cm)</td> <td>31,40</td> </tr> <tr> <td>Iy (cm⁴)</td> <td>27.558,17</td> </tr> <tr> <td>Wy (cm³)</td> <td>1.224,81</td> </tr> <tr> <td>Ry (cm)</td> <td>10,26</td> </tr> </tbody> </table>		Perfil		h (cm)	69,30	A (cm ²)	261,94	Peso (kgf/m)	205,62	CG (cm)	26,49	Ix (cm ⁴)	258.301,41	Ws (cm ³)	5.324,45	Wi (cm ³)	9.751,76	Rx (cm)	31,40	Iy (cm ⁴)	27.558,17	Wy (cm ³)	1.224,81	Ry (cm)	10,26
Perfil																									
h (cm)	69,30																								
A (cm ²)	261,94																								
Peso (kgf/m)	205,62																								
CG (cm)	26,49																								
Ix (cm ⁴)	258.301,41																								
Ws (cm ³)	5.324,45																								
Wi (cm ³)	9.751,76																								
Rx (cm)	31,40																								
Iy (cm ⁴)	27.558,17																								
Wy (cm ³)	1.224,81																								
Ry (cm)	10,26																								

4.2 Propriedades da Seção Mista	
Largura Efetiva da Mesa de Concreto	$bc = \text{se}(L/nl > b, b, L/nl) > 12 \cdot tc, 12 \cdot tc, \text{if}(L/nl > b, b, L/nl)$
Espessura média da laje de concreto(cm)	$bc(\text{cm}) = 240,0$
Espessura média da laje de concreto(cm)	$tc(\text{cm}) = 20,0$
Mísula	$mis(\text{cm}) = 7,5$
Distância do Centro de Gravidade até a face da ligação	$ec = (tc/2)$
Distância do Centro de Gravidade até a face da ligação	$ec = 10,00$
Relação Ea/Ec	$n = ((\text{se}(fck > 41; 6; \text{se}(fck > 31; 7; \text{se}(fck > 24; 8; 9))))$
Relação Ea/Ec	$n = 8,0$
Relação Ea/Ec final	$nf = 3 \cdot n$
Relação Ea/Ec final	$nf = 24,0$
Obs: Utiliza-se $nf = 3n$ apenas quando as cargas são de longa duração;	
4.3 Propriedades da Seção Mista (Formulário)	
$Ym = ((bc/n) \cdot tc \cdot (ec+d) + (A \cdot CG)) / (((bc/n) \cdot tc) + A)$	
$Ymf = ((bc/nf) \cdot tc \cdot (ec+d) + A \cdot CG) / (((bc/nf) \cdot tc) + A)$	
$IMI = Ix + (A \cdot ((Ym - CG)^2)) + (((bc/n) \cdot tc^3) / 12) + ((bc/n) \cdot tc \cdot ((ec+d - Ym)^2))$	
$IMF = Ix + (A \cdot ((Ymf - CG)^2)) + (((bc/nf) \cdot t^3) / 12) + ((bc/nf) \cdot tc \cdot ((ec+d - Ymf)^2))$	
$WSM = IMI / (d - Ym)$	
$WSM = IMF / (d - Ymf)$	
$WIM = IMI / Ym$	
$WIMF = IMF / Ymf$	
$WC = (IMI \cdot n) / (d + ec + (tc/2) - Ym)$	
$WCF = (IMIF \cdot nf) / (d + ec + (tc/2) - Ymf)$	
4.4 Propriedades dos perfis (inicial)	
n=8	Perfil
Ym (cm)	67,22
IMI (cm ⁴)	902.569,16
WSM (cm ³)	115.986,76
WIM (cm ³)	13.427,42
WC (cm ³)	259.903,63
4.5 Propriedades dos perfis (para longa duração)	
nf=24	Perfil
Ymf (cm)	51,82
IMIF (cm ⁴)	653.244,58
WSMF (cm ³)	28.182,57
WIMF (cm ³)	12.605,80
WCF (cm ³)	363.089,91

APÊNDICE F - VERIFICAÇÃO DO PERFIL DA LONGARINA

Verificação do Perfil da Longarina			
5.1 Tensões Admissíveis			
Tração e Compressão na Flexão	$F_b(kN/cm^2)=0,55F_y$	Fb=	19,0
Cisalhamento na Alma	$F_v(kN/cm^2)=0,33F_y$	Fv=	11,5
Compressão no Concreto	$F_c(kN/cm^2)=0,40F_{ck}$	Fc=	1,2
5.2 Tensões Máximas nos Perfis (Formulário)			
Mesa Superior (kN/cm ²)	$f_{bs} = (M_{cp1}/W_s) + (M_{cp2}/W_{SMF}) + (M_{cm}/W_{SM})$		
Mesa Inferior (kN/cm ²)	$f_{bi} = (M_{cp1}/W_i) + (M_{cp2}/W_{IMF}) + (M_{cm}/W_{IM})$		
Alma (kN/cm ²)	$f_v = ((Q_P + Q_p)/(h \cdot t_w))$		
Laje de Concreto (kN/cm ²)	$f_c = (M_{cp2}/W_{CF}) + (M_c/W_C)$		
5.3 Tensões Máximas nos Perfis			
	Perfil	Condição	Condição
$f_{bs}(kN/cm^2) =$	10,15	ok	$f_{bs} < F_b$
$f_{bi}(kN/cm^2) =$	18,30	ok	$f_{bi} < F_b$
$f_v(kN/cm^2) =$	11,21	ok	$f_v < F_V$
$f_c(kN/cm^2) =$	0,69	ok	$f_c < F_C$
PS	750	x	206
Vamos usar Perfil Soldados PS 750 X206 (para as longarinas)			

APÊNDICE G - VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO E CONTRA FLECHA

Verificação da Deformação e Contra Flecha					
6.1 Flecha Máxima devido à carga móvel + CIV					
Módulo de elasticidade do aço (kN/cm ²)				Ea=	20500
$\Delta =$	$(5 \cdot q_m \cdot (L^4/8) + (P_m \cdot L^3) + P_m \cdot (L-3) \cdot (3 \cdot L^2 - ((L-3)^2))) / (48 \cdot E_a \cdot (I_{MI1}))$				
$\Delta(\text{cm}) =$	1,9	$\Delta_{adm} = L/800$	$\Delta_{adm} =$	1,9	ok
6.2 Diagrama de Contra Flecha					
Devido à CP1	$\Delta =$	$((CP1 \cdot x) / (24 \cdot E_a \cdot (I_{x1})) \cdot (L^3 - 2L \cdot x^2 + x^3))$			
Na seção	$\Delta_1(\text{cm}) =$	1,87			
Devido à CP2	$\Delta =$	$((CP2 \cdot x) / (24 \cdot E_a \cdot (I_{MIF1})) \cdot (L^3 - 2L \cdot x^2 + x^3))$			
Na seção	$\Delta_1(\text{cm}) =$	0,39			
Devido à CP1+CP2	$\Delta =$	CP1+CP2			
Na seção	$\Delta_{total}(\text{mm}) =$	22,63			

APÊNDICE H - CONECTORES DE CISALHAMENTO

Conectores de Cisalhamento					
Número de ciclos utilizado e diâmetro=		Ciclos <= 500.000 e Diâmetro= 2,2 cm			
7.1 Do tipo STUD					
Altura	hs (cm) =	12,00			
Diâmetro	ds (cm) =	2,20			
Área	Asc (cm ²)=	Pi.D ² /4	Asc (cm ²)=	3,80	
Verificação	hs/ds>4	Verificação=	5,45	ok	
Resistência à fadiga					
Alfa	α (Kn/cm ²) =	7,30			
Zrs =	α*ds ²	Zrs (Kn/Stud) =	35,33		
Resistência última :					
Ec (kN/cm ²) =	(4800 Mpa *fck ^{1/2})/ (1Mpa ^{1/2})		Ec(kN/cm ²)=	2629,07	
Sus (kN/Stud)=	0,5 Asc*(fck.Ec) ^{1/2}		Sus(kN/ Stud)=	168,80	
Sus (kN/Stud)=		168,80	>	41,5* Asc=	157,76
Valor a ser utilizado=		157,76	Obs: Devemos Usar o menor valor;		
7.2 Do tipo Perfil Laminado U					
Perfil U escolhido=	152,40 x 12,2		Obs: Valores no anexo 3. O tipo de perfil escolhido modifica o resultado encontrado à frente. A escolha pelo perfil que mais se adequa à ponte a ser modelada é uma escolha empírica;		
Espessura média da aba em cm (tfu)=	0,87				
Espessura da alma em cm (twu)=	0,51				
Comprimento do U em cm (w)=	15,00		Obs: Valor não é de tabela. Definição do projetista;		
Resistência à fadiga					
β (Kn/cm ²) =	5,30				
Zru =	β *w				
Zru (Kn/Perfil U) =	79,50				
Resistência última					
Ec (kN/cm ²) =	(4800 Mpa *fck ^{1/2})/ (1Mpa ^{1/2})		Ec(kN/cm ²)=	2629,07	
Suu (kN/Perfil U)=	0,3*(tfu+twu/2)*w*(fck.Ec) ^{1/2}		Suu (kN/Perfil U)=	449,20	

7.4 Verificação do No. Mínimo de conectores 1/2 Viga			
Resistência última do perfil do aço			
aço (kN)=	$A_1 \cdot F_y$		9036,93
Resistência última da laje de concreto			
concreto (kN)=	$0,85 \cdot f_{ck} \cdot b_c \cdot t_c$		12240,00
Resistência última a ser utilizada			
P(kN)=	$\min(\text{aço}; \text{concreto})$		9036,93
Para os conectores STUD			
Nsmin=	$P / (0,85 \cdot S_{us})$ ou $P / (0,85 \cdot 41,5 \cdot A_{sc})$	Nsmin (Studs)=	67
Nstuds=	$(4 \cdot x_1 / d_{0s})$	Nstuds(Studs)=	158
Nstuds > Nsmin	ok		
Para os conectores do perfil U			
Numin=	$P / (0,85 \cdot S_{uu})$	Numin (Perfil U)=	24
Nstuds=	(x_1 / d_{0u})	Nstuds(Perfil U)=	54
Nstuds > Nsmin	ok		
Conclusão: Utilizaremos no Projeto Conector Stud			

APÊNDICE I - ENRIJECEDOR DE APOIO**Enrijecedor de apoio**

No projeto de estudo deste TCC não haverá enrijecedor de apoio, pois as longarinas se apoiam diretamente nas transversinas;

APÊNDICE J - ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS INTERMEDIÁRIOS

Enrijecedores Transversais Intermediários					
9.1 Verificação da necessidade de enrijecedores transversais					
tw1=	0,80	>	h1/150=	0,46	
Fve=	$50500/(h2/tw2)^2$				
fv1=	11,21	>	Fve=	6,73	
fv1=	11,21	<	FV=	11,5	
Há necessidade de enrijecedores transversais					
9.2 Espaçamento entre apoio e o primeiro enrijecedor transversal					
Seja do1(cm)=	50,00	<	1,5*h1=	104,0	ok
k (kN/cm2)=	$(5+(5/(d01/h1)^2))$			k=	14,60
C01=	$se(h1/tw1 < 160 * raiz(K)/raiz(Fy); 1; se(h1/tw1 < 200 * raiz(K)/raiz(Fy); 160 * raiz(K)/(h1/(tw1 * raiz(Fy))); (31000 * K / ((h1/tw1)^2) * Fy))$				
C01=	1,00				
fv1=	11,21				
fv3=	C01*Fy/3	fv3(kN/cm2)	11,50		
fv3=	11,50	<	Fv=	11,5	ok
Usar o primeiro enrijecedor transversal a 50,00 cm máximo do apoio					
9.3 Espaçamento entre os demais enrijecedores transversais intermediários dos perfis externos					
Seja do2(cm)=	70,00	>=	3*h1=	207,90	ok
Seja do2(cm)=	70,00	<	$h1*(260/((h1/tw1)^2))=$	624,30	ok
k (kN/cm2)=	$(5+(5/(d02/h1)^2))$			k=	9,90
C02=	$se(h1/tw1 < 160 * raiz(K)/raiz(Fy); 1; se(h1/tw1 < 200 * raiz(K)/raiz(Fy); 160 * raiz(K)/(h1/(tw1 * raiz(Fy))); (31000 * K / ((h1/tw1)^2) * Fy))$				
C02=	0,99				
fv2=	11,50				
Fv2=	$Fy/3*(c02+(0,87*(1-c02)/(raiz(1+((d02/h1))))))$				11,45
fv1=	11,50	<	Fv2=	11,5	ok
Usar os demais enrijecedores transversais a 70,00 cm máximo do apoio					

9.4 Dimensionamento dos enrijecedores transversais intermediários

bsi(cm)=	17,00	>	$5+(h1/30)$	7,31	ok
bsi(cm)=	17,00	>	$bs1/4$	6,25	ok
tsi(cm)=	1,25	>	$bsi/16$	1,06	ok

Momento de Inércia Mínimo dos Enrijecedores Transversais

J=	$se((2,5*((h1/d02)^2)-2)<0,5; 0,5;(2,5*((h1/d02)^2)-2))$
Ist=	$(d02*(tw1)^3)*J$
J=	0,50
Ist(cm4)=	17,92

Área mínima do enrijecedor transversal (chapa simples)

Tipo de enrijecedor	Para chapa simples
---------------------	--------------------

B=	2,40
----	------

Fcr=	$6222/(bsi/tsi)^2$	Fcr (kN/cm2)=	33,64	<	Fy(kN/cm2)=	34,50	ok
Ast=	$(0,15*B*(h1/tw1)*(1-c02)*(fv1/Fv2)-18)*Fy/Fcr*(tw2^2)$	Ast (cm2)=	-11,60				
As=	$tsi*bsi$	As(cm2)=	21,25	>	Ast (cm2)=		Segundo a norma, quando área dá negativa ou próxima a zero, considera-se apenas a inércia
Is=	$tsi*bsi^3/3$	Is(cm4)=	2047,08	>	Ist (cm4)=	17,92	ok
Usar 1 chapa de	1,25	x	17,00	cm			

APÊNDICE K - ENRIJECEDOR LONGITUDINAL

Enrijecedor Longitudinal				
10.1 Verificação da necessidade de enrijecedores longitudinais				
tw1(cm)=	0,80	>	$(h1 \cdot \text{raiz}(fbs1))/600$ =	0,37
tw1(cm)=	0,80	>	$h1/170$ =	0,41
Não há necessidade de enrijecedor longitudinal.Seguir para item 11				

APÊNDICE L - SOLDA DE COMPOSIÇÃO DE PERFIS

Solda de Composição de Perfis				
Cortante Máximo	Qcp1=	CP1*L/2	Qcp1 (Kn)=	112,82
Cortante Máximo	Qcp2=	CP2*L/2	Qcp2 (Kn)=	59,53
Cortante Máximo	Qpx0(KN)=	449,00		
11.1 Esforço na solda da mesa superior (Formulário)				
$Scp1_sup = Qcp1 * (bs1 * ts1 * (d1 - CG1 - ts1/2)) / Ix1$				
$Scp2_sup = (Qcp2 * (bs1 * ts1 * (d1 - YMF1 - ts1/2)) + (bc * tc / nf) * (d1 - ec - YMF1)) / IMIF1$				
$Scm_sup = Qpx0 * (bs1 * ts1 * (d1 - YMF1 - ts1/2)) + (bc * tc / n) * (d1 - ec - YMF1) / IMI1$				
$Solda_sup = Scp1_sup + Scp2_sup + Scm_sup$				
11.2 Esforço na solda da mesa superior				
Scp1_sup (Kn/cm)=	1,29			
Scp2_sup (Kn/cm)=	0,73			
Scm_sup (kN/cm)=	0,21			
Solda_sup (kN/cm)=	2,23			
11.3 Esforço na solda da mesa inferior (Formulário)				
$Scp1_inf = Qcp1 * (bi1 * ti1 * (CG1 - ti1/2)) / Ix1$				
$Scp2_inf = (Qcp2 * (bi1 * ti1 * (YMF1 - ti1/2))) / IMIF1$				
$Scm_inf = Qpx0 * (bi1 * ti1 * (YM1 - ti1/2)) / IMI1$				
$Solda_inf = Scp1_inf + Scp2_inf + Scm_inf$				
11.4 Esforço na solda da mesa inferior				
Scp1_inf (Kn/cm)=	1,57			
Scp2_inf (Kn/cm)=	0,66			
Scm_inf (kN/cm)=	4,70			
Solda_inf (kN/cm)=	6,93			

11.5 Dimensionamento da solda na composição dos perfis				
Tensão admissível na solda	$F_{vs} =$	$0,27 \cdot F_u$	$F_{vs} \text{ (kN/cm}^2\text{)} =$	12,96
Resistência de 1 cm de filete de 1 mm	$R_{\text{filete}} =$	$F_v \cdot 0,707 / 10$	$R_{\text{filete}} \text{ (kN/cm/mm)} =$	0,81
Filete de solda necessária	Filete (mm) =	$\max(\text{Solda}_{\text{sup}}; \text{Solda}_{\text{inf}}) / 2 / R_{\text{filete}}$		4,25
11.6 Filete de solda mínimo (T= maior espessura da chapa na ligação)				
T ≤ 19 mm	Filete Mínimo de 6 mm			
T > 19 mm	Filete Mínimo de 8 mm			
Perfil 1				
Mesa Superior	$t_{si} \text{ (mm)} =$	25,00	>	19
Mesa Inferiir	$t_i \text{ (mm)} =$	32,00	>	19
Perfil 2				
Usar filete de 8 mm na solda da flange superior do perfil 1				
Usar filete de 8 mm na solda da flange inferior do perfil 1				

APÊNDICE M - DIMENSIONAMENTO DOS DIAFRAGMAS

Dimensionamento dos diafragmas				
Número de diafragmas	num_diaf=	$(L/7,6)+1$	num_diaf=	3,00
Distância entre diafragmas	dis_diaf=	$L/(num_diaf-1)$	dis_diaf (mm)=	7500,00
<p style="text-align: center;">Obs: Os Diafragmas devem ficar nas extremidades e, nesse caso, como a distância total é de 15m, deve haver um diafragma central. Nas extremidades, o diafragma vai ser substituído pela transversina, que é mais robusta;</p>				
12.1. Especificação do perfil				
Altura mínima da travessa do diafragma				
d1(mm)=		750,00		
df= d/2 (Perfis Laminados)=		375,00	Usar Perfil	W 610x101
df= 3*d*/4 (Perfis Soldados)=		562,50	Usar Perfil	CVS 800 X 288,27712
Opta-se pelo Perfil Laminado				

APÊNDICE N - VERIFICAÇÃO DA FADIGA

Verificação da Fadiga			
Categoria para fadiga	Rodovias, Estradas, Ruas	500000,00	ciclos
13.1 Na solda da Composição dos perfis soldados das longarinas na Seção 1			
Faixa de Tensão Admissível	Sr (kN/cm ²)=	16,2	
sr1=	Mc(x1)/WIM1	12,19	
Se (sr1 < Sr ; ok ; verificar)	ok		
13.2 Na emenda da Composição dos perfis soldados das longarinas na Seção 1			
Faixa de Tensão Admissível	Sr (kN/cm ²)=	16,2	
sr2=	Mc(x1)/WIM1	12,19	
Se (sr2 < Sr ; ok ; verificar)	ok		
13.3 No pé da solda de enrijecedores transversais e conectores			
Faixa de Tensão Admissível	Sr (kN/cm ²)=	16,2	
sr3=	Mc(x1)/WIM1	12,19	
Se (sr3 < Sr ; ok ; verificar)	ok		

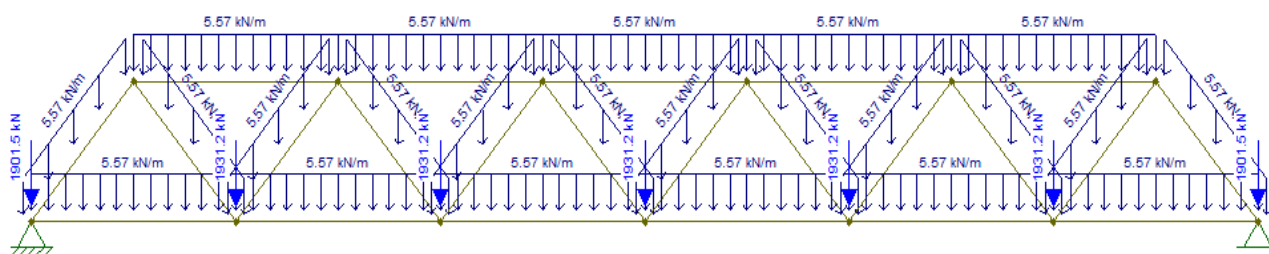
APÊNDICE O - CÁLCULO DOS ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA DA TRANSVERSINA

Cálculo dos Esforços e Envoltória da Transversina			
Carga Pontual Proveniente das Longarinas(KN)=	946,46		
Dados:			
Seja o Perfil Metálico=	PS1000X612		
Ação Permanente (Peso Próprio das transversin	CP (kN/m)=	6,12	
Ação Variável (Já foi majorado nas longarinas)	CA (kN/m)=	0,00	
Comprimento	L(cm)	1000,00	
Solução: Mrd > Msd e Vrd > Vsd			
Cálculo dos esforços solicitantes -Msd e Vsd			
<p style="text-align: center;">TRANSVERSINA COM CARGA PROVENIENTE DA LONGARINA</p>			
Coeficiente de ponderação p/ ações permanentes agrupadas (ocupação >= 5kN/m2)- NBR 8681:2003			fcp= 1,25
Coeficiente de ponderação p/ ações variáveis agrupadas (ocupação >= 5 kN/m2) -NBR 8800:2008			fca= 1,50
Carga Distribuída Majorada (CA+CP)	$Qsd = \gamma fcp * CP + \gamma fca * CA$	Qsd (kN/cm)=	0,077
Carga Pontual Somente com CMI +I (Proveniente das Longarinas)		Rsd (kN)=	601,75
Carga Pontual Somente com CP1+CP2(Proveniente das Longarinas)		Rsd (kN)=	344,71
Carga Pontual Total(Proveniente das Longarinas)		Rsd (kN)=	946,46
Momento Fletor Solicitante de Cálculo	$Msd = - ((Qsd * L^2) / 8) - (Rsd * 130) - (Rsd * 390) + (Vsd * L / 2)$	Msd (kN.cm)=	463867,81
Esforço Cortante Solicitante de Cálculo CMI+I (Para cálculo da Flecha Treliça)	$Vsd = (Rsd * 110 + Rsd * 370 + Rsd * 630 + Rsd * 890 + Qsd * L * L / 2) / L$	Vsd (kN)=	1241,77
Esforço Cortante Solicitante de Cálculo CP1+CP2 (Para cálculo da Contra Flecha Treliça)	$Vsd = (Rsd * 110 + Rsd * 370 + Rsd * 630 + Rsd * 890 + Qsd * L * L / 2) / L$	Vsd (kN)=	727,68
Esforço Cortante Solicitante de Cálculo Total	$Vsd = (Rsd * 110 + Rsd * 370 + Rsd * 630 + Rsd * 890 + Qsd * L * L / 2) / L$	Vsd (kN)=	1931,19
Cálculo do momento fletor resistente de cálculo - Mrd (menor entre FLA, FLM E FLT)			
Propriedades do aço	A588	fy (Kn/cm2)=	34,50
		E (kN/cm2)=	20000,00

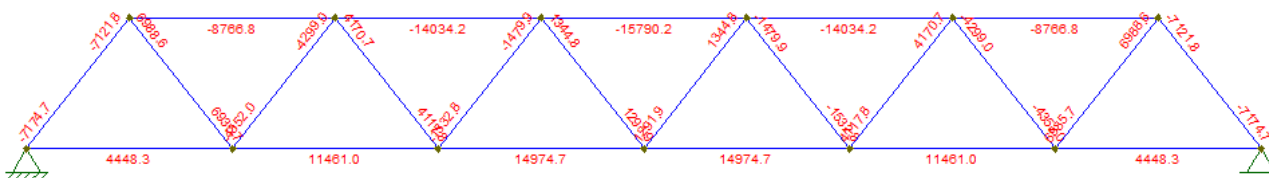
<i>Cálculo do Momento de Inércia necessário para um deslocamento máximo de L/500 para uma combinação rara de serviço e contra flecha CP.</i>		
$\Delta_{lim}=L/500$	$\Delta_{lim}(cm)=$	2,00
$I_{xmin}=(1/(E*\Delta_{lim}))*(5*(CA+CP)*L^4/384)$	$I_{xmin}(cm^4)=$	19929,596
<i>Cálculo do módulo de seção plástico Zx mínimo necessário (seção compacta).</i>		
$Z_{xmin}=Msd*1,10/fy$	$Z_{xmin}(cm^3)=$	14.789,99
Propriedades do Perfil	PS1000X612	
d(mm)=	1000,00	
bf(mm)=	1000,00	
tw(mm)=	16,00	
tf (mm)=	31,50	
r (mm)=	0,00	
$I_x (cm^4)=$	1587546,32	$I_x > I_x \text{ min}$
$W_x (cm^3)=$	31750,93	
$Z_x (cm^3)=$	34019,63	$Z_x > Z_x \text{ min}$
$r_y (cm)=$	25,95	
$I_y (cm^4)=$	525031,98	
$I_t (cm^4)=$	2215,96	
$C_w (cm^6)=$	1231114828,13	
$h=d-2tf-2r$	$h(mm)=$	937
alma=se($h/tw > 5,7*raiz(E/fy)$;"alma esbelta"; "alma não esbelta")		alma não esbelta
Verificação do ELU de flambagem local da alma- FLA		
$Z_x*fy=$		1173677,10
$1,5*W_x*fy=$		1643110,44
$\min(Z_x*fy;1,5*W_x*fy)=$		1173677,10
FLA=se($h/tw \leq 3,76*raiz(E/fy)$); $\min(Z_x*fy;1,5*W_x*fy)$; se($3,76*raiz(E/fy) < h/tw \leq 5,70*raiz(E/fy)$); $Z_x*fy - ((Z_x*fy) - (W_x*0,7fy) * (((h/tw - 3,76*raiz(E/fy)) / (5,7*raiz(E/fy) - 3,76*raiz(E/fy))))); 0)$		
FLA=		1173677
FLM=se($bf/2tf \leq 0,38*raiz(E/fy)$); $\min(Z_x*fy;1,5*W_x*fy)$; se($0,38*raiz(E/fy) < bf/2tf \leq 1,0*raiz(E/fy)$); $Z_x*fy - ((Z_x*fy) - (W_x*0,7fy) * (((bf/2tf - 0,38*raiz(E/fy)) / (1,0*raiz(E/fy) - 0,38*raiz(E/fy))))); 0)$		
FLM=		990408
Verificação do ELU de flambagem por torção- FLT		
$C_b=$	1,0	
$L_b=$	$L_b(cm)=$	260,00
$L_p=1,76*r_y*raiz(E/fy)$	$L_p(cm)=$	1099,48
$\beta_1=(fy-0,3fy)*w_x/E*I_t$	$\beta_1=$	0,0173
$L_r=(1,38*raiz(I_y*I_t)/(I_t*\beta_1))*raiz(1+raiz(1+((27*$	$L_r(cm)=$	2870,6
$M_{pl}=Z_x*F_y$	$M_{pl}(kN.cm)=$	1173677,1
$M_r=(fy-0,3fy)*W_x$	$M_r(kN.cm)=$	766784,9
FLT=se($L_b \leq L_p$); $\min(Z_x*F_y;1,5*W_x*F_y)$; se($L_p < L_b \leq L_r$); $C_b*(M_{pl} - (M_{pl} - M_r)*(L_b - L_p)/(L_r - L_p))$; ($C_b*\pi^2*E*I_y/L_b^2$)* $raiz((C_w/I_y)*(1+0,039*I_t*L_b^2/C_w))$		
FLT=	$FLT(kN.cm)=$	1173677
FLA=	$FLA(kN.cm)=$	1173677
FLM=	$FLM(kN.cm)=$	990408
$M_{rd}=\min(FLA,FLM,FLT)/1,1$	$M_{rd}(Kn.cm)=$	1066979
$Msd/M_{rd} < 1$	$Msd/M_{rd} =$	0,435
Valor de Msd/Mrd está ok		

APÊNDICE P - CÁLCULO DOS ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA DA TRELIÇA

Cálculo dos Esforços e Envoltória da Treliça		
Carga Pontual Proveniente das Transversinas nos nós (KN)=	1931,19	
Dados Pré-Dimensionamento:		
Seja o Perfil Metálico=	CS600X445	
massa(kg/m)=	445,57	
massa(kN/m)=	4,46	
d(mm)=	600,00	
bf(mm)=	600,00	
tw(mm)=	22,40	
tf (mm)=	37,50	
r (mm)=	0,00	
Ix (cm4)=	383495,63	
Wx (cm3)=	12783,19	
Zx (cm3)=	14199,75	
ry (cm)=	15,42	
Iy (cm4)=	135049,17	
It (cm4)=	2320,11	
Cw (cm6)=	106787109,38	
Coefficiente de ponderação p/ ações permanentes agrupadas (ocupação >= 5kN/m2)- NBR 8681:2003	fcp=	1,25
Carga Distribuída Majorada	Qsd= γfcp*CP	5,57



Treliça com cargas provenientes da Transversina + Peso Próprio da Treliça



DEN

Dados:					
Comprimento	L(cm)	1500			
Solução: Trd > Tsd					
Cálculo da força de tração solicitante - Tsd					
Força de Tração Solicitante de Cálculo	Tsd=	Tsd (kN)=	14974,70		
Cálculo da força de tração resistente de cálculo - Trd					
Propriedades do aço	A588	fy (Kn/cm2)=	34,50	fu (kN/cm2)=	48,00
Propriedades do Perfil	CS600X431				
d(mm)=	600,00	Obs: Valores retirados tabela Perfis Laminados;			
tw(mm)=	19,00				
bf(mm)=	600,00				
tf(mm)=	37,50				
Ag(cm2)=	549,75				
ry(cm)=	15,67				
Escoamento da Seção Bruta- ESB					
$\alpha(Ae/Ag)=$	0,8				
ESB= Ag*fy/1,1	ESB(kN)=	17242,16			
Ae= Ag* α	Ae(cm2)=	439,8			
Ruptura da Seção Líquida Efetiva- RSE					
RSE= Ae*fu/1,35	RSE(kN)=	15637,33			
Cálculo Trd					
Trd=min(ESB;RSE)	Trd(kN)=	15637,3			
Condição =	Trd > Tsd	Trd maior que Tsd			
Condição =	Tsd/Trd < 1	0,96	ok		
Verificação esbeltez	$\lambda=L/ry < 300$	$\lambda=$	95,7		
Esbeltez ok					
Usar o Perfil			CS600X431		
Cálculo de Elementos Tracionados - Barra Diagonal					
Dados:					
Comprimento	L(cm)	1802,8			
Solução: Trd > Tsd					

Cálculo da força de tração solicitante - Tsd			
Força de Tração Solicitante de Cálculo	Tsd=	Tsd (kN)=	6988,80
Cálculo da força de tração resistente de cálculo - Trd			
Propriedades do aço	A588	fy (Kn/cm2)=	34,50
Propriedades do Perfil	CS600X249	fu (kN/cm2)=	48,00
d(mm)=	600,00	Obs: Valores retirados tabela Perfis Laminados;	
tw(mm)=	16,00		
bf(mm)=	600,00		
tf(mm)=	19,00		
Ag(cm2)=	317,92		
ry(cm)=	14,67		
Escoamento da Seção Bruta- ESB			
$\alpha(Ae/Ag)=$	0,8		
ESB= Ag*fy/1,1		ESB(kN)=	9971,13
Ae= Ag*0,8		Ae(cm2)=	254,3
Ruptura da Seção Líquida Efetiva- RSE			
RSE= Ae*fu/1,35		RSE(kN)=	9043,06
Cálculo Trd			
Trd=min(ESB;RSE)		Trd(kN)=	9043,1
Condição =	Trd > Tsd	Trd maior que Tsd	
Condição =	Tsd/Trd < 1	0,77	ok
Verificação esbeltez	$\lambda=L/ry < 300$	$\lambda=$	122,9
Esbeltez ok			
Usar o Perfil		CS600X249	
Cálculo de Elementos Comprimidos - Barra Horizontal Superior			
Dados:			
Comprimento de flambagem XX	Lx(cm)=	1500	
Coefficiente de Flambagem XX	kx=	1	
Comprimento de flambagem YY	Ly(cm)=	1500	
Coefficiente de Flambagem YY	ky=	1	
Solução: Crd > Csd			
Cálculo da força de compressão solicitante - Csd			
Combinação última normal		Csd (kN)=	15790,20

Cálculo da força de compressão resistente de cálculo - Crd					
Propriedades do aço	A588	fy (Kn/cm2)=	34,50	E (kN/cm2)=	20000,00
Propriedades do Perfil	CS750X687				
d(mm)=	750,00				
tw(mm)=	31,50				
bf(mm)=	750,00				
tf(mm)=	44,50				
Ag(cm2)=	875,72				Obs: Valores retirados tabela Perfis Soldados;
rx(cm)=	32,19				
ry(mm)=	18,91				
R (mm)=	0,00				
h= d-2tf-2R	h(mm)=	661,00			
Verificação do ELU de flambagem local					
Mesas(AL) do grupo 4	Qs=se(bf/2tf<0,56*raiz(E/fy);1;se(0,56*raiz(E/fy)<bf/2tf<=1,03*raiz(E/fy);1,415-0,74*(bf/2tf)*raiz(fy/E);0,69*E/(fy*((bf/2tf)^2)))				
Mesas(AL) do grupo 4	Qs=	1,00			
Alma(AA) do grupo 2	Qa=(Ag-(h-menor(h;1,92*tw*raiz(E/fy))*(1-(0,34/h/tw)*raiz(E/fy))*tw)/Ag				
Alma(AA) do grupo 2	Qa=	1,00			
Q= Qs*Qa	Q=	1,00			
Verificação do ELU de flambagem Global					
$\lambda_{ox} = ((k_x * L_x) / (r_x * \pi)) * (\text{raiz}((Q * f_y) / E))$	$\lambda_{ox} =$	0,62			
$\lambda_{oy} = ((k_y * L_y) / (r_y * \pi)) * (\text{raiz}((Q * f_y) / E))$	$\lambda_{oy} =$	1,05			
$\lambda_o = \max(\lambda_{ox}; \lambda_{oy})$	$\lambda_o =$	1,05			
$\max(k_x * l_x / r_x; k_y * l_y / r_y) < 200$	$\max((k_x * l_x / r_x; k_y * l_y / r_y)) =$	79,33	<	200 (ok)	
$\chi = \text{se}(\lambda_o < 1,5; 0,658^{\lambda_o^2}; 0,877 / \lambda_o^2)$	$\chi =$	0,631			
$\text{Crd} = \chi * Q * A_g * f_y / 1,10$	$\text{Crd}(\text{kN}) =$	17331			
Csd/Crd=	0,91	<1	ok		
Usar o Perfil		CS750X687			
Dados:					
Comprimento de flambagem XX	Lx(cm)=	1802,8			
Coefficiente de Flambagem XX	kx=	1			
Comprimento de flambagem YY	Ly(cm)=	1802,8			
Coefficiente de Flambagem YY	ky=	1			
Solução: Crd > Csd					

Cálculo da força de compressão solicitante - Csd						
Combinação última normal					Csd (kN)=	7174,70
Cálculo da força de compressão resistente de cálculo - Crd						
Propriedades do aço	A588	fy (Kn/cm2)=	34,50	E (kN/cm2)=	20000,00	
Propriedades do Perfil	CS600X545					
d(mm)=	600,00	Obs: Valores retirados tabela Perfis Soldados;				
tw(mm)=	31,50					
bf(mm)=	600,00					
tf(mm)=	44,50					
Ag(cm2)=	694,97					
rx(cm)=	25,39					
ry(mm)=	15,19					
R (mm)=	0,00					
h= d-2tf-2R	h(mm)=	511,00				
Verificação do ELU de flambagem local						
Mesas(AL) do grupo 4	$Q_s = \text{se}(bf/2tf < 0,56 \cdot \text{raiz}(E/fy); 1; \text{se}(0,56 \cdot \text{raiz}(E/fy) < bf/2tf \leq 1,03 \cdot \text{raiz}(E/fy); 1,415 - 0,74 \cdot (bf/2tf) \cdot \text{raiz}(fy/E); 0,69 \cdot E / (fy \cdot ((bf/2tf)^2)))$					
Mesas(AL) do grupo 4	Qs=	1,00				
Alma(AA) do grupo 2	$Q_a = (Ag - (h - \text{menor}(h; 1,92 \cdot tw \cdot \text{raiz}(E/fy) \cdot (1 - (0,34/h/tw) \cdot \text{raiz}(E/fy)) \cdot tw)) / Ag$					
Alma(AA) do grupo 2	Qa=	1,00				
Q= Qs*Qa	Q=	1,00				
Verificação do ELU de flambagem Global						
$\lambda_{ox} = ((kx \cdot Lx) / (rx \cdot \pi)) \cdot \text{raiz}((Q \cdot fy) / E)$	$\lambda_{ox} =$	0,94				
$\lambda_{oy} = ((ky \cdot Ly) / (ry \cdot \pi)) \cdot \text{raiz}((Q \cdot fy) / E)$	$\lambda_{oy} =$	1,57				
$\lambda_o = \max(\lambda_{ox}; \lambda_{oy})$	$\lambda_o =$	1,57				
$\max(kx \cdot lx / rx; ky \cdot ly / ry) < 200$	$\max((kx \cdot lx / rx; ky \cdot ly / ry)) =$	118,69	<	200 (ok)		
$\chi = \text{se}(\lambda_o < 1,5; 0,658 \cdot \lambda_o^2; 0,877 / \lambda_o^2)$	$\chi =$	0,356				
$Crd = \chi \cdot Q \cdot Ag \cdot fy / 1,10$	Crd(kN)=	7764				
Csd/Crd=	0,92	<1	ok			
Usar o Perfil		CS600X545				

