UNIVERSIDADE POLITÉCNICA

A`POLITÉCNICA

INSTITUTO SUPERIOR DE GESTÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS - ISGCT

DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE UMA PONTE METÁLICA SOBRE O RIO UMBELUZI - BOANE

Trabalho de Fim de Curso para obtenção do grau de licenciada em

Engenharia Civil

De

LEVÍNIA DEUASSE

Estudante nº **373514**

DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Supervisor: Mestre Ângelo Mário Barros André Fernades Sumana

Maputo, Novembro de 2021

Universidade Politécnica – Maputo

LEVÍNIA DEUASSE

DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE UMA PONTE METÁLICA SOBRE O RIO UMBELUZI - BOANE

Orientador: Mestre Ângelo Mário Barros André Fernades Sumana

“Monografia apresentada ao Instituto Superior de Gestão Ciências e Tecnologias (ISGCT) da Universidade Politécnica (A’Politécnica) como parte dos requisitos de graduação e obtenção do grau de licenciada em Engenharia Civíl**”**

Maputo, Novembro de 2021.

LEVÍNIA DEUASSE

DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE UMA PONTE METÁLICA SOBRE O RIO UMBELUZI - BOANE

Monografia apresentada ao Instituto Superior de Gestão, Ciências e Tecnologias da Universidade Politécnica (A'Politécnica) como parte dos requisitos para obtenção do grau de licenciada em Engenharia Civíl.

O júri

_____

Mestre , Eng.º Ângelo Mário Barros André Fernades Sumana (Orientador)

_____

(Oponente)

_____

(Presidente)

Maputo, Novembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos aqueles que direta ou indiretamente me apoiaram, deram-me forças, animo e rezaram a Deus por mim para unir forças para seguir em frente com foco e determinação a fim de alcançar o objetivo de terminar a formação com sucesso.

Dedico a todos aqueles que têm o mesmo objectivo, de um dia ser um Engenheiro Civil, como forma de incentivá-los, que e possivel atingir aquilo que são os seus sonhos, apesar das adversidades e circunstâncias o importante e nunca desistir, porque somos todos capazes.

Dedico àqueles que de certa forma um dia, eventualmente poderão procurar inspiração neste trabalho para fazer muitos outros, como forma de criar projetos e contribuir também no desenvolvimento dos nossos pais, ou ate utilizar o mesmo como base para tornar real, ou seja, construir esta e mais pontes, acrescentando seus ideais e criatividade e dessa forma surgirem grandes obras de construção.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por tudo o que tem feito por mim até esta data, por me manter sempre firme e forte apesar de muitas dificuldades, nunca desistir dos meus sonhos, em tornar-me uma Engenheira civil.

Aos meus pais que com muito carinho, atenção e dedicação, incansavelmente fizeram esforço para que eu chegasse até esta etapa.

Ao Supervisor Engº Ângelo Sumana pela orientação, pela compreensão pelo incentivo, pelas dicas, ideias e partilha de experiências na àrea de estruturas que tornaram possível a conclusão deste projecto.

A Universidade Politécnica, pela oportunidade de fazer o curso, ao corpo Docente e não docente, que permitiu que hoje eu tivesse a honra de fazer parte desta familia que tem o nome de Engenheiros Civis de Mocambique.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, ***Levínia Deuasse***, declaro por minha honra que o presente Trabalho de fim de curso é exclusivamente da minha autoria, não constituindo plágio de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia. O mesmo é agora submetido de acordo com todos requisitos e exigências para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Civil, na Universidade Politécnica - Maputo.

Assinatura: _____

Data: ___/___/___

ABSTRACTO

O presente trabalho apresenta a concepção estrutural de uma ponte metálica mista, como forma de solucionar os problemas e dificuldades que a população da Vila de Boane tem enfrentado durante anos nos períodos chuvosos, encontrando-se na situação de interrupção das suas actividades laborais e comerciais pela obstrução da via, principalmente devido à elevação do caudal do Rio Umbeluzi.

O projecto de dimensionamento vem com uma série de soluções compondo uma só estrutura com objectivo de eliminar tais constrangimentos, partindo da decisão de calcular uma superestrutura com dimensões maiores em relação a ponte já existente, construida em betão.

Sem se tratar de uma reabilitação, pretende-se dimensionar da raiz para se começar a construir tambem da raiz, com foco no objectivo de inovar e criar as melhores condições de travessia possiveis para a população.

O processo de dimensionamento da estrutura consiste em fazer o levantamento de todos os dados relevantes relativos à ponte já existente, que condições apresenta resultando na situação mencionada anteriormente, fazer face a todos os aspectos como base na criação de uma nova realidade, seguindo os padrões de cálculo existentes e conhecidos pelos projectistas, com o auxilio de regulamentos e coeficientes de calculo de estruturas, tabelados.

Palavras–chave:

- Ponte metálica mista;
- Dimensionamento;
- Estruturas.

ABSTRACT

This work presents the structural design of a composite steel bridge, as a way to solve the problems and difficulties that the population of Vila de Boane has faced for years in the rainy season, finding themselves in a situation of interruption of their work and commercial activities by obstruction of the road, mainly due to the increase in the flow of the Umbeluzi River.

The dimensioning project comes with a series of solutions composing a single structure in order to eliminate such constraints, based on the decision to calculate a superstructure with larger dimensions in relation to the existing bridge, built in concrete.

Without dealing with a rehabilitation, it is intended to scale from the root to start building from the root, with a focus on innovating and creating the best possible crossing conditions for the population.

The structure design process consists of surveying all relevant data relating to the existing bridge, which conditions it presents resulting in the aforementioned situation, dealing with all aspects as a basis for the creation of a new reality, following the standards of existing calculation and known by the designers, with the help of regulations and tabled structural calculation coefficients.

Key words:

- Mixed metallic bridge;
- Dimensioning;
- Structures.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA iv
AGRADECIMENTOS v
DECLARAÇÃO DE HONRA vi
ABSTRACTO vii
ABSTRACT viii
LISTA DE SIMBOLOS xii
LISTA DE ABREVIATURAS xiii
LISTA DE TABELAS xiii
LISTA DE QUADROS xiii
LISTA DE FIGURAS xiv
LISTA DE IMAGENS xiv
❖ INTRODUÇÃO 1
❖ ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 2
CAPÍTULO 1 4
1.1. LEITURA BIBLIOGRÁFICA 4
1.1.1. AÇO ESTRUTURAL 4
1.1.2. TIPOS DE AÇO ESTRUTURAL 4
1.1.3. PROPRIEDADES DO AÇO 5
1.1.4. PONTES METALICAS 8
1.1.5. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DAS PONTES 12
1.1.6. PONTES SUSPENSAS 13
1.1.7. LIGAÇÕES METÁLICAS 19
1.1.8. NORMAS E REGULAMENTOS 21
1.2. PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO 21
1.2.1. PROBLEMA A SER INVESTIGADO 22
1.2.2. PERGUNTA A INVESTIGAR E AS HIPÓTESES A CONSIDERAR 22
1.2.3. PERGUNTAS INVESTIGATIVAS 22
1.3. CONSTRANGIMENTOS PREVISTOS NA INVESTIGAÇÃO 23
1.3.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO 23
1.3.2. DELIMITAÇÕES DO TRABALHO 23

1.4. OBJECTIVOS DA INVESTIGAÇÃO 24
1.4.1. OBJECTIVO GERAL 24
1.4.2. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS: 24
CAPÍTULO 2 25
2.1. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO 25
2.2. JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA 25
2.3. A IMPORTÂNCIA DO TEMA DE INVESTIGAÇÃO 26
CAPÍTULO 3 27
3.1. ESTUDO DE CASO 27
3.1.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO UMBELUZI 27
3.1.2. ATUAL PONTE EXISTENTE SOBRE O RIO UMBELUZI 29
3.1.3. CARACTERIZAÇÃO DA ATUAL PONTE SOBRE O RIO UMBELUZI 30
3.2. EPISÓDIOS DE OCORRÊNCIA DE CHUVAS 31
3.3. TOPOGRAFIA DO TERRENO 34
CAPÍTULO 4 37
4.1. MEMÓRIA DESCRITIVA 37
4.1.1. ASPECTOS GERAIS RELACIONADOS A PONTE SUSPENSA 37
4.1.2. ELEMENTOS DE PONTE SUSPENSA 38
4.1.3. CARACTERISTICAS GERAIS DA PONTE HÍBRIDA 38
4.1.4. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS 39
4.1.5. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS 52
4.1.6. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE SUSPENSA (HÍBRIDA) 53
4.1.7. PROCESSOS CONSTRUTIVOS 54
4.2. MEMÓRIA DE CÁLCULO 55
4.2.1. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO 55
4.2.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO 55
4.2.3. ACÇÕES 56
4.2.4. QUANTIFICAÇÃO DAS ACÇÕES 56
4.2.4.1. ACÇÕES PERMANENTES 56
4.2.4.2. AÇÕES VARIAVEIS 58

4.2.5. COMBINAÇÃO DAS ACÇÕES 62
4.2.5.1. COMBINAÇÃO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS, (E.L.U.). 62
4.2.5.2. COMBINAÇÃO AOS ESTADOS LIMITES DE SERVICO, (E.L.S.). 62
4.2.6. COEFICIENTES DE SEGURANÇA 63
4.2.7. VALORES DE CARGA 63
4.2.7.1. COMBINAÇÃO FUNDAMENTAL 63
4.2.7.2. COMBINAÇÃO RARA 64
4.2.7.3. COMBINAÇÃO FREQUENTE 64
4.2.7.4. COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTE 64
4.2.8. ANÁLISE ESTÁTICA 65
4.2.9. LIGAÇÕES METÁLICAS 69
CAPÍTULO 5 71
5.1. AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS 71
CAPÍTULO 6 72
6.1. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 72
❖ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73
ANEXO I – LIGAÇÕES APARAFUSADAS DAS BARRAS METÁLICAS 75
ANEXO II – DESENHO FINAL DA PONTE HÍBRIDA 76

LISTA DE SIMBOLOS

Kn – Quilonewton;

Kn/m^2 – Quilonewton por metro quadrado;

Kn/m^3 – Quilonewton por metro cúbico;

m – metro;

Gk – Carga permanente;

Qk – Carga variavel;

Kg – Quilograma;

e – espessura;

l – largura;

P_0 – peso inicial;

cm – centimetros;

PP – Peso Próprio;

Sglk – esforço resultante de acção permanente, tomada com o seu valor característico;

Sqlk – esforço resultante da acção variável considerada como acção de base da combinação, tomada com o seu valor característico;

Sqjk – esforço resultante de uma acção variável distinta da acção de base, tomada com o seu valor característico;

γ - Representa os coeficientes de majoração;

Ψ - Coeficiente de redução para as restantes acções variáveis.

q_{wk} – carga de superficie equivalente do tabuleiro

δ_f - coeficiente de força;

w_k - pressão dinâmica do vento.

Ϭsd – Tensão normal; $Ϭ_{Rd}$ – tensão resistente.

LISTA DE ABREVIATURAS

ARA-SUL – Administração Regional das Águas do Sul;

ELU – Estados Limites Últimos;

ELS – Estado Limite de Serviço;

REBAP – Regulamento de Estruturas de Betao Armado e Pre-esforcado;

RSA – Regulamento de Segurança e Acções.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados de levantamentos topográficos. 35
Tabela 2- Perfil em LNP, para diagonais e montantes das vigas treliçadas. 41
Tabela 3- Perfil em UNP, para os banzos superior e inferior das vigas treliçadas. 42
Tabela 4- Dimensões de chapa lisa de aço galvanizado. 43
Tabela 5- Chapa metálica para o passeio. 44
Tabela 6- Pesos específicos dos materiais de construção. 56
Tabela 7- Valores caracteristicos do modelo de carga 1. 60
Tabela 8- Pressão dinâmica do vento (w_k) 61
Tabela 9- Valores de cálculo das tensões resistentes, Ϭsd e $τ_{Rd}$ 68
Tabela 10- Valores de cálculo das tensões resistentes em ligações aparafusadas correntes. 69
Tabela 11- Dimensões usuais de chapas de interposição. 70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Tipos de treliças. 14
Quadro 2- Tipos de cabos. 17
Quadro 3- Forma e estrutura do cabo... 48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Elementos componentes de uma ponte. 12
Figura 2- Torres; Direção longitudinal. 16
Figura 3- Torres; Direção transversal. 16
Figura 4- Pontos de estações dos levantamentos topográficos. 35
Figura 5- Treliça Pratt com apoio no banzo superior, (diagonais tracionadas e montantes comprimidos); Secção longitudinal. 39
Figura 6- Vigas treliçadas em secção transversal, com contraventamento. 40
Figura 7- Treliça Pratt de perfis UNP e LNP. 42
Figura 8- Torres principais; Vistas Frontal e em perfil. 47
Quadro 3- Forma e estrutura do cabo 48
Figura 10- Vigas treliçadas em secção transversal, com transversinas nos pontos com ancoragens. 49
Figura 11- Dispositivo de amarração dos cabos, (Ancoragem). 51
Figura 12- Ancoragem ativa, estrutura interna. 51
Figura 13- Guarda-corpos 52
Figura 14- Lancil de segurança. 53
Figura 15- Modelo de carga rodoviária. 59

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1- Ponte de Coalbrookdale sobre o Rio Severn, na Inglaterra, construída em 1779. 9
Imagem 2-Ponte sobre o rio Paraíba do Sul, Brasil. 9
Imagem 3- Ponte em Viga metálica - Ponte Rio-Niterói - Rio de Janeiro, Brasil. 10
Imagem 4- Ponte em Arco – Ponte Luís I, construída em Portugal ligando as cidades do Porto e Vilas Novas de Gaia separadas pelo rio Douram. 10
Imagem 5- Ponte Treliçada – A ponte Jacques-Cartier é uma ponte situada em Montreal, na província de Quebec, Canadá. 11
Imagem 6- Ponte Aracajú-Barra dos Coqueiros, que foi construída no Brasil. 11

Imagem 7- Ponte suspensa pênsil - Golden Gate Bridge, ou ponte de São Francisco, nos Estados Unidos. 12
Imagem 8- Blocos de ancoragem. 18
Imagem 9- Mapa de localização do Rio Umbeluzi – Estudo de caso. 28
Imagem 10 - Ponte sobre o Rio Umbeluzi. 28
Imagem 11- Ponte de Betão sobre o Rio Umbeluzi. 31
Imagem 12-Ponte de Betão sobre o Rio Umbeluzi. 31
Imagem 13- Cheias no Distrito de Boane – Rio Umbeluzi. 32
Imagem 14- Levantamentos topográficos. 34

❖ INTRODUÇÃO

O presente trabalho representa a concepção do projeto de uma ponte metálica suspensa e rodoviária sobre o Rio Umbeluzi (Boane), como alternativa para a melhoria das condições em que a população do distrito de Boane utiliza a atual ponte como via de acesso.

Com desenvolvimento dos pais, tem se verificado a necessidade de construção de superestruturas, práticas e seguras, que façam garantir que serão minimizadas as dificuldades enfrentadas pelas populações no dia a dia.

O aço, será o material de principal uso durante a construção da ponte, e o principal foco nos cálculos de dimensionamento deste projeto; É considerado como sendo um material versátil e maleável, com um longo período de vida útil e que oferece propriedades gerais e especificas que satisfazem as necessidades dos projetos e consegue cumprir com os requisitos exigidos pela engenharia (quando bem escolhido e testado em ensaios), especialmente a resistência, daí, apresenta-se como um dos materiais com maior demanda no mercado no meio dos diversos materiais de construção.

O dimensionamento estrutural consiste basicamente: no dimensionamento de perfis metálicos, dimensionamento de ligações aparafusadas e dimensionamento de elementos de suporte para toda a estrutura da ponte que no caso são sabos de suspensão, terminando na verificação de segurança de todos estes elementos de cálculo; Consiste também em fazer a relação dos valores das acçoes e solicitações previstas pelos quais a estrutura estará sujeita.

Vai se recorrer ao mapa de ventos, sismos e outros fenomenos naturais cuja zona poderá estar constantemente propensa, com o auxilio do Regulamento de Segurança e Acções (RSA) é possivel fazer combinações de acções fundamentais e outras; Isto para todos os elementos estruturais da ponte e recordando que a mesma será para fins de trânsito rodoviário e de peões, vai se recorrer às Tabelas Técnicas para o levantamento de valores padrões de carga dos veículos em sua maior tonelagem. Constando que dessas acções busca-se a situação mais desfavorável para a estrutura num todo em fase de utilização da estrutura.

❖ ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

De modo a se atingir os objetivos propostos, o trabalho final de curso terá a seguinte composição e estrutura:

CAPITULO 1– MÉTODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

Neste capítulo será definido o tópico a ser investigado, o processo de investigação, o problema a investigar, a pergunta a investigar indicando os passos de investigação. Será também definida a metodologia de investigação, a ser usada acompanhada pela explicação e razão da escolha.

CAPITULO 2 – LEITURA BIBLIOGRÁFICA

Será feita a leitura e citação dos aspectos mais relevantes encontrados na bibliografia consultada. Este capítulo também será usado para estabelecer, onde houver, a analogia de diversos autores sobre os mesmos conceitos e a sua semelhança e aplicabilidade ao tema, levantando bases teóricas para a escolha dos procedimentos de cálculo no capítulo seguinte.

CAPITULO 3 – ESTUDO DE CASO

No capítulo do estudo de caso far-se-á a apresentação de todos os pontos e conhecimentos adquiridos durante a investigação feita que levasse a necessidade de realização deste projeto, partindo da apresentação das características geográficas, topográficas, que a zona da ponte contêm inclusive as características geométricas construtivas da ponte existente e as condições em que ela está a disposição da população para a travessia do Rio Umbeluzi.

CAPITULO 4 – INVESTIGAÇÃO E APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS METÁLICAS EM PONTES

O Capítulo quatro irá abordar antes de mais, e continuamente ao apresentado no capítulo anterior, dados cada vez mais detalhados do projeto de dimensionamento da ponte, com todas suas futuras características geométricas, elementos construtivos e estruturais.

Será feita a utilização dos métodos de dimensionamento, para em seguida aplicar usando os dados existentes em parte, em relação ao espaço e dimensões da ponte já existente, para em seguida ter-se o projeto da futura ponte, todo esse processo com auxílio de tabelas e

regulamentos para levantar constantes e valores de carga-padrão, estimando assim quais serão as solicitações de cargas a que a estrutura estará sujeita, para então garantir a verificação de sua segurança para o trânsito ao longo da vida útil da ponte. Todos estes aspectos serão apresentados nas memórias, descritiva e de cálculo do trabalho.

CAPITULO 5 – AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo vai ser tratar de validação dos resultados obtidos da investigação, e depois os resultados dos cálculos feitos para os esforços da estrutura, formular e apresentar o modelo final desejado, em que se vai considerar mais apropriado para o melhoramento das condições da zona em causa e da população utente da ponte e por fim fazer-se o alinhamento para as propostas que forem identificadas como adequadas para solução ou mitigação do problema.

CAPITULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo vai se apresentar as conclusões e tecer as recomendações que pareçam adequadas e pertinentes para as futuras construções de pontes com material metálico, em Moçambique, começando por perceber, onde é que os métodos de cálculo e de construção das pontes, aplicados falham diminuindo a qualidade das mesmas.

CAPÍTULO 1

1.1. LEITURA BIBLIOGRÁFICA

1.1.1. AÇO ESTRUTURAL

O aço é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono, com percentagens deste último variando entre 0,008 e 2,11%. Distingue-se do ferro fundido, que também é uma liga de ferro e carbono, mas com teor de carbono acima de 2,11%. O carbono é um material muito usado nas ligas de ferro, porém varia com o uso de outros elementos como o magnésio, o cromo, o vanádio, e o tungstênio.

O carbono e outros elementos químicos agem com o agente de resistência, prevenindo o deslocamento em que um átomo de ferro em uma estrutura cristalina passa para outro.

A diferença fundamental entre ambos é que o aço, pela sua ductilidade é facilmente deformável por forja, laminação e extrusão, enquanto que uma peça em ferro fundido é muito frágil.

A fabricação de aço teve início na Anatólia, cerca de 2000 a.C., tendo sido a Idade do aço plenamente estabelecida por volta de 1000 a.C. Neste período a tecnologia da fabricação do aço espalhou-se pelo mundo. Em, aproximadamente, 500 a.C. chegou às fronteiras orientais da Europa e por volta de 400 a.C. chegou à China.

(http://www.wikipedia.org/Wiki/Aço . consultado a 01.02.21)

1.1.2. TIPOS DE AÇO ESTRUTURAL

Quanto à composição química dos aços, como bases de classificação poderiam ser considerados os seguintes subgrupos:

- Os **aços-carbono,** que são os tipos mais usados, nos quais o aumento de resistência em relação ao ferro puro é produzido pelo carbono e, em menor escala, pelo manganês. Eles contêm as seguintes porcentagens máximas de elementos adicionais: (Carbono - 2,0%; Silício - 0,60%; Manganês - 1,65%; Cobre - 0,35%). (Pfeil W. e Pfeil M. 2009).
- Os **aços de baixa liga**, que são aços-carbono acrescidos de elementos de liga (cromo, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio), os quais melhoram algumas propriedades mecânicas, e alguns elementos de liga produzem aumento de resistência do aço,

modificando a sua microestrutura. Graças a esse fato, pode-se obter resistência elevada com teor de carbono de ordem de 0,20%, o que permite a soldagem dos aços sem preocupações especiais. (Pfeil W. e Pfeil M. 2009).

1.1.3. PROPRIEDADES DO AÇO

- **Ductilidade**

Denomina-se ductilidade a capacidade de o material se deformar sob acção das cargas. Os aços dúcteis, quando sujeitos a tensões locais elevadas, sofrem deformações plásticas capazes de redistribuir as tensões. (Pfeil W. e Pfeil M. 2009).

- **Fragilidade**

É o oposto da ductilidade. Os aços podem ter características de elementos frágeis pela acção de diversos agentes: baixas temperaturas ambientes, efeitos térmicos locais causados, por exemplo, por solda eléctrica. (Pinheiro, 2005: 10).

- **Tenacidade**

É a capacidade do material de absorver a energia total, elástica e plástica por unidade de volume até a sua ruptura. (Pinheiro, 2005: 10).

- **Resiliência**

Resiliência é a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, o que é equivalente, a capacidade de restituir energia mecânica absorvida. Denomina-se módulo de resiliência ou simplesmente resiliência a quantidade de energia elástica que pode ser absorvida por unidade de volume do metal traccionado. (Pfeil W. e Pfeil M. 2009).

- **Dureza**

Denomina-se dureza a resistência ao risco ou a brasão. Na prática faz-se a medição da dureza pela resistência que a superfície do metal oferece à penetração de uma peça de maior dureza. (Pinheiro, 2005: 10).

- **Fadiga**

Quando as peças metálicas trabalham sob efeito de esforços repetidos, pode haver ruptura em tensões inferiores às obtidas em ensaios estáticos. Esse efeito denomina-se ***fadiga*** do material. A resistência à fadiga e geralmente determinante no dimensionamento de pecas sob acção de efeitos dinâmicos importantes, tais como peças de maquinas, de pontes por exemplo. (Pfeil W. e Pfeil M. 2009).

- **Corrosão**

Denomina-se corrosão o processo de reacção do aço com alguns elementos presentes no ambiente em que se encontra exposto, sendo o produto desta reacção muito similar ao minério de ferro. A protecção contra corrosão dos aços expostos ao ar é feita usualmente por pintura ou por galvanização que consiste na adição, por imersão de uma camada de zinco as superfícies de aço, após a adequada limpeza das mesmas, (Pfeil W. e Pfeil M. 2009).

- **Efeito de temperatura elevada**

As temperaturas elevadas modificam as propriedades físicas dos aços. Temperaturas superiores a 100˚C tendem a eliminar o limite de escoamento bem definido. Estas temperaturas também reduzem a resistência de escoamento *fy* e ruptura *fu*, e ainda o módulo de elasticidade *E*. (Pfeil W. e Pfeil M. 2009).

- **Constantes físicas do aço**

Segundo (Pfeil W. e Pfeil M. 2009), podem ser adoptadas em todos os tipos de aço estrutural as seguintes características físicas:

- Módulo de deformação longitudinal ou módulo de elasticidade $E=200.000$ Mpa;

- Coeficiente de Poisson $v=0.3$;

- Coeficiente de dilatação térmica $\beta= 12 \times 10^{-6}$ por ˚C;

- Massa especifica ρ_a= 7850 kg/m³. (Pfeil W. e Pfeil M. 2009).

✦ **Vantagens da utilização do Aço Estrutural**

Pode-se tirar vantagem no aço nos seguintes aspectos:

- ✓ Fabricação das estruturas com precisão milimétrica, possibilitando um alto controle de qualidade do produto acabado;
- ✓ Garantia das dimensões e propriedades dos materiais;
- ✓ Material resistente à vibração e a choques;
- ✓ Possibilidade de execução de obras mais rápidas e reaproveitamento do material ou mesmo das sobras da obra;
- ✓ Possibilidade de executar estruturas leves para vencer grandes vãos, devido a sua alta resistência.

- ✦ **Desvantagens da utilização do Aço Estrutural**

- ✓ Grande necessidade de manutenção e tratamento superficial das pecas contra a oxidação, devido ao contacto com o ar atmosférico.
- ✓ Limitação no fabrico e fornecimento de perfis estruturais. (Pinheiro, 2005: 10)

- ✦ **Produtos siderúrgicos para estruturas**

Os aços estruturais são fornecidos em forma de barras, chapas e perfis. Sendo que os elementos estruturais das estruturas metálicas são constituídos primordialmente por perfis metálicos.

- ✓ **Barras**

As barras são produtos obtidos por laminação nas seções: circular, quadrada ou retangular alongada (chamada “chata”). As barras são referidas pelo seu diâmetro ou pelas dimensões de sua seção transversal.

- ✓ **Chapas**

As chapas também são elementos laminados com espessuras variadas e resistências variadas. As chapas finas são as que têm espessuras de até 5,0 mm, acima desse valor estão as chapas grossas. Os aços contem percentagens de carbono inferiores a 2,06 enquanto que o ferro fundido tem percentagens de carbono superiores a 2,06. Sao as ligas produzidas em maior quantidade do que qualquer outra liga. São especialmente importantes para construções de engenharia.

- ✓ **Perfis Laminados, com secção - I, H, C ou (U).**

Os perfis estruturais podem ser laminados, soldados ou de chapa dobrada.
Existem inúmeros produtos, fabricados em padrões americanos (série americana, perfis de faces, em geral, não paralelas) e padrões europeus (série europeia, de faces paralelas) de modo que serão fornecidas apenas denominações mais comuns e exemplos. Como regra geral, sempre é necessário trabalhar com a tabela do fornecedor para obter as propriedades do perfil. (UFPR, 2015/02: 1-4).

1.1.4. PONTES METALICAS

Breve historial

Falar sobre a História do Aço na Construção Civil é lembrar-se de célebres personagens, como Andrew Carnegie, o industrial que revolucionou o mercado de ferro e aço com a produção em massa, no final do século XIX. (http://www.wikipedia.org/Wiki/Aço consultado a 01.02.21)

Segundo Vitório (2015), a necessidade de aplicação das pontes metálicas surgiu majoritariamente devido à grande expansão das linhas ferroviárias, que se caracterizavam como o principal meio de transporte de passageiros e mercadoria na época. A partir do século XIX, acompanhando a revolução industrial, as pontes metálicas chegaram ao posto de tecnologia mais empregada para construção de grandes pontes.

As primeiras obras de aço surgiram praticamente ao mesmo tempo em que se iniciou a produção industrial desse material, por volta de 1780 existe registro da aplicação de aço na escadaria do museu do Louvre, em 1779, a Inglaterra iniciou a construção duma ponte na cidade de Coalbrookdale, que atravessaria o Rio Severn. (UFPR, 2015/02: 1).

Imagem 1- Ponte de Coalbrookdale sobre o Rio Severn, na Inglaterra, construída em 1779.

Fonte: Marcos,2016.

Aí houve o nascimento do aço, que apesar de caro era resistente o suficiente para a construção de uma estrutura bem maior do que as demais que existiam na época, fazendo com que isso se tornasse um marco na historia, no Brasil, a primeira obra em estrutura metálica foi a ponte sobre o rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro, em 1857. (UFPR, 2015/02: 1).

Imagem 2-Ponte sobre o rio Paraíba do Sul, Brasil.

Fonte: Marcos,2016.

Moçambique conheceu as suas primeiras estruturas metálicas em 1885, depois da Metrópole, Moçambique foi o primeiro território português a ter uma linha de caminho-de-ferro. Desde essa altura até a atualidade tem-se observado cada vez mais frequente a utilização de estruturas metálicas, em Moçambique.

(https://pt.wikipedia.org/wiki/Historia_do_transporte_ferroviario_em_Moçambique, [Acessado a 01.02.21].

Uma ponte quanto ao sistema estrutural da superestrutura pode ser classificada como:

- Ponte em Viga; Ponte Treliçada;
- Ponte em Arco; Ponte Estaiada;
- Ponte Suspensa (pênsil).

Imagem 3- Ponte em Viga metálica - Ponte Rio-Niterói - Rio de Janeiro, Brasil.

Fonte: Marcos, 2016.

Imagem 4- Ponte em Arco – Ponte Luís I, construída em Portugal ligando as cidades do Porto e Vilas Novas de Gaia separadas pelo rio Douram.

Fonte: https://www.engwhere.com.br/ponte-em-arco/

Imagem 5- Ponte Treliçada – A ponte Jacques-Cartier é uma ponte situada em Montreal, na província de Quebec, Canadá.

Fonte: Marcos, 2016.

Imagem 6- Ponte Aracajú-Barra dos Coqueiros, que foi construída no Brasil.

Fonte: Marcos, 2016.

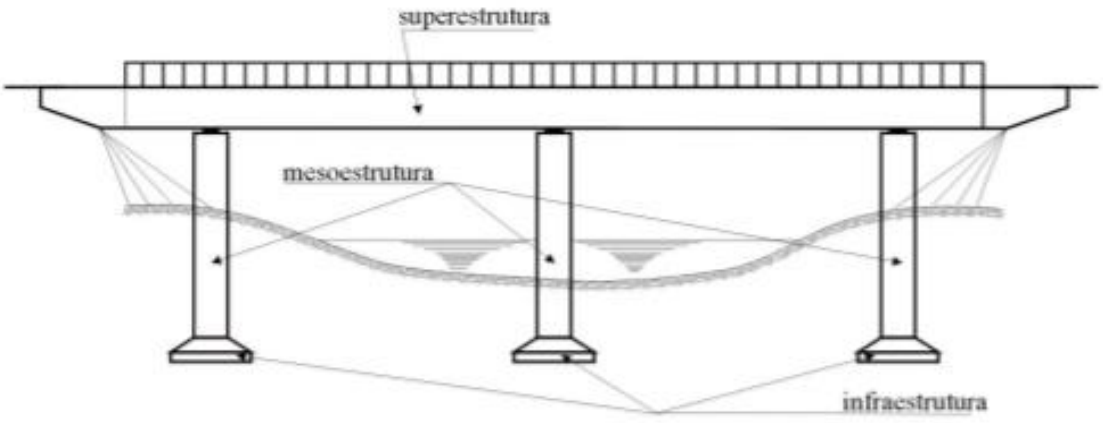
Imagem 7- Ponte suspensa pênsil - Golden Gate Bridge, *ou ponte de São Francisco, nos Estados Unidos.*

Fonte: Marcos,2016.

1.1.5. ELEMENTOS ESTRUTURAIS DAS PONTES

Estruturalmente uma ponte pode ser subdividida em três grupos, de elementos estruturais resistentes de carga; Esses três grupos são denominados de superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

Figura 1- Elementos componentes de uma ponte.



Fonte: Vitório, 2002

Segundo Pfeil (1979), a superestrutura é em geral composta por lajes e vigas principais e secundárias, tendo a função de absorver diretamente as cargas a que o tabuleiro estará sujeito

durante a sua vida util. A mesoestrutura é constituída pelos pilares, estes elementos tem a função de receber as cargas provenientes da superestrutura e transmiti-las a infraestrutura das pontes, incluindo as cargas geradas pela acção do vento. A infraestrutura das pontes é caracterizada pelas fundações, sendo responsáveis por absorver os esforços transmitidos pela mesoestrutura, e dissipá-los ao solo que sustenta a estrutura, pelo ponto onde foi construída.

Cada um desses grupos citados anteriormente tem seus elementos estruturais constituintes, a ser abordados nos próximos pontos.

1.1.6. PONTES SUSPENSAS

Elementos estruturais da ponte suspensa

Os elementos estruturais duma Ponte suspensa são:

- Vigas treliçadas;
- Torres;
- Cabos de suspensão;
- Blocos de ancoragem.

Estes elementos, destacando os cabos de suspensão e os pequenos blocos ou pontos de ancoragem fazem deste tipo de ponte diferente dos outros.
Porém a ponte classificada estruturalmente como suspensa tem suas variantes, uma denominada **Ponte Suspensa Estaiada,** outra como **Ponte Pênsil** e ainda uma como uma mistura das duas variantes.

Importa referir que sem aprofundar as matérias relativas a outros tipos de pontes, o presente projeto de dimensionamento tem como principal foco uma ponte suspensa mista, ou seja, pretende se dimensionar uma **Ponte Rodoviária Metálica Pênsil e Estaiada**.

Vigas treliçadas

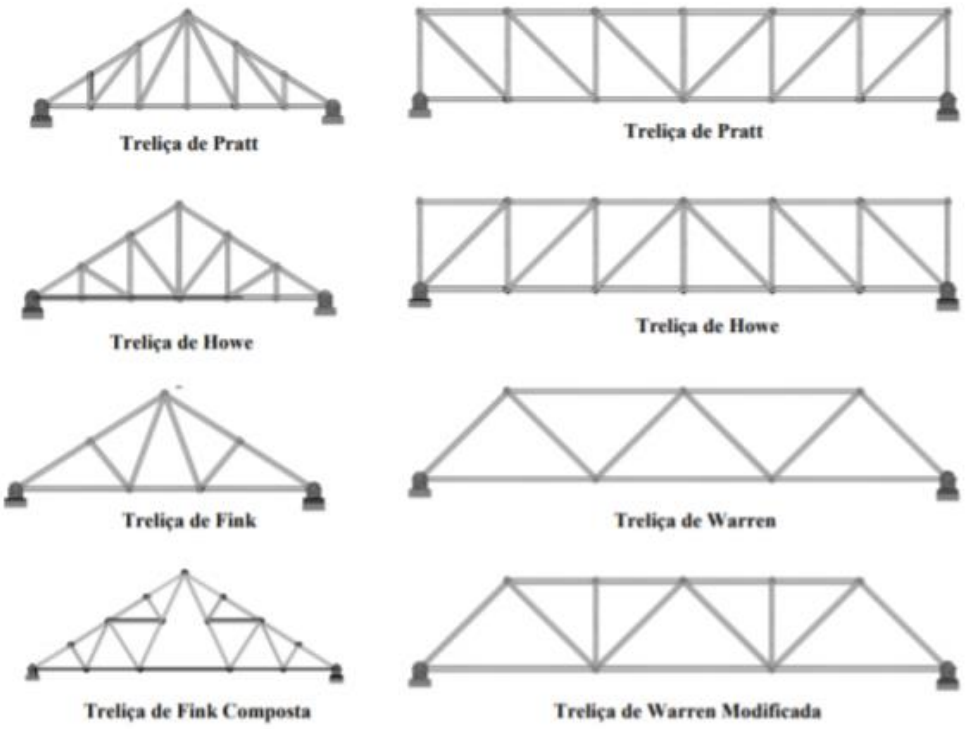
Vigas treliçadas são elementos longitudinais ou contraventados transversalmente, que podem ser de qualquer material, com a utilidade de suportar e distribuir para outros elementos estruturais, cargas provenientes de veículos e pessoas, ou seja, como suporte para o tabuleiro de pontes

suspensas é construída com variadas dimensões segundo a necessidade, também variando de projeto para projeto.

Estas cargas distribuem-se depois para os cabos e as torres, eram os tipos de tabuleiro mais aplicados em pontes suspensas, pois se revelaram soluções cujas rigidezes de flexão e torção se adequava mais a suspensão por cabos. Hoje em dia, este tipo de solução ainda é utilizado nas pontes que contêm dois níveis de tráfego. (Gemsing, 2011)

As peças treliçadas têm variedades, cada uma com um design, ou seja, posição dos seus perfis de formas diferenciadas umas das outras, os tipos de treliça como se pode afirmar, dentre todos conhecidos, abaixo se ilustra alguns exemplos:

Quadro 1- Tipos de treliças.



Fonte: GOMES, 2016

Para entender concretamente o conceito de superestrutura no caso de projetos de dimensionamento de pontes em material metálico utilizando vigas treliçadas, as vigas treliçadas são uma parte componente, em que para estar completa a parte da superestrutura, falta ligar-se ou

colocar-se por cima, já que esta serve de apoio, peças metálicas variando segundo necessário as suas especificações técnicas, que irão formar por cima das vigas uma camada como uma laje de pavimento, em que a mesma poderá ser revestida por outro material, ou não.

Torres

As pontes suspensas têm como apoio e ligados diretamente ao seu tabuleiro por meio pequenas peças de ancoragens colocadas ao logo de todo o vão, cabos de principais e de suspensão (colocados verticalmente), os cabos de suspensão apoiados em dois cabos principais para cada lado da ponte transversalmente, e estes cabos principais por sua vez são apoiados em torres.

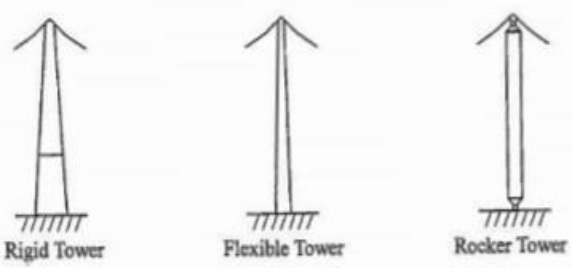
Estas torres podem ser de Betão ou de aço, normalmente construídas nas extremidades do vão da ponte suspensa, estas além de servir de apoio aos cabos principais, servem como apoio ao próprio tabuleiro, mas praticamente numa secção de menor dimensão.

As torres são elementos estruturais de grandes dimensões, quanto maior for o vão que elas recebem, maior a sua altura, contudo, não só dependem das dimensões do vão, mas também dos próprios cabos principais.

Segundo Brockenbrough (1999), a altura é influenciada pela deformação que o cabo irá sofrer devido ao seu peso próprio, contudo, a configuração das torres assume a forma de portais para que elas sejam económicas, a sua dimensão em altura tem que ser reduzida, sendo definida pela mínima largura que mantenha a estabilidade da estrutura.

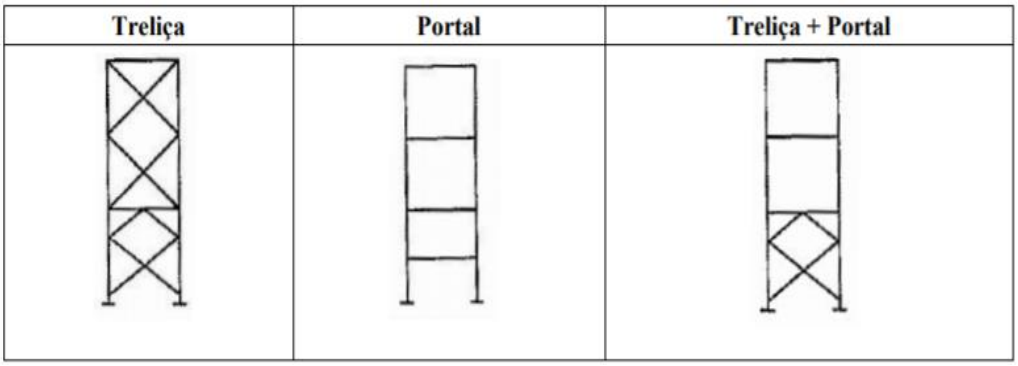
Segundo Chen (2014), Na direção longitudinal as torres podem ser classificadas como rígidas, flexíveis ou locking Towers; As torres flexíveis são geralmente associadas a pontes com vãos muito longos. Já as torres rígidas são as mais comuns em pontes com vários tramos e as locking Towers em pontes com pequenos vãos. Na direção transversal as torres são geralmente classificadas como portais ou torres treliçadas diagonalmente, podendo também existir uma combinação entre os dois tipos de torre.

Figura 2- Torres; Direção longitudinal.



Fonte: CHEN, 2014.

Figura 3- Torres; Direção transversal.



Fonte: CHEN, 2014.

No topo de cada uma das torres devem ter duas peças metálicas por onde devem atravessar os cabos, sendo duas peças para cada um dos cabos, em cada extremidade do vão principal da ponte; Estas peças metálicas são denominadas âncoras ou ancoradouros.

Cabos principais e pendurais

Como já sugere o subtítulo e se fez menção anteriormente uma ponte suspensa deve levar cabos principais e cabos de suspensão (cabos pendurais verticais);

A primeira ponte suspensa de fio-cabo foi a *Spider Bridge em Falls of Schuylkill* (1816), uma modesta e temporária passarela construída após o colapso do prédio de James Finley nas proximidades *Ponte Chain em Falls of Schuylkill* (1808). O vão da passarela era de 124 m, embora seu convés tivesse apenas 0,45 m de largura.

Os cabos de suspensão principais em pontes mais antigas costumavam ser feitos de uma corrente ou barras interligadas, mas os cabos de pontes modernas são feitos de vários fios de arame. Os cabos de suspensão devem ser ancorados em cada extremidade da ponte, pois qualquer carga aplicada à ponte se transforma em tensão nesses cabos principais. Os cabos principais continuam além dos pilares para os suportes no nível do convés, e ainda continuam para as conexões com âncoras no solo. A estrada é sustentada por cabos suspensores verticais ou hastes, chamados suspensores. (https://pt.jejakjabar.com/wiki/Suspension_bridge).

O facto de se distribuir os cabos de suspensão uniformemente e devido à necessidade de manter um equilíbrio de cargas quando se passar a fazer uso do tabuleiro; Como todos os restantes elementos, os cabos principais até mesmo as torres devem receber por sua vez as cargas do tabuleiro, de forma uniforme por tramo ou área por metro quadrado, onde houver a solicitação; E de todo um esquema estático que previne um eventual colapso da estrutura.

A escolha do tipo de cabo varia de acordo com o tipo de ponte suspensa segundo a sua distribuição de cargas a que estará sujeita.

Cada tipo de cabo diferencia um do outro pela sua secção, pelo numero de arames ou cordões que contêm e também pela disposição dos cordões que formam o cabo.

Quadro 2- Tipos de cabos.

Nome	Forma da Secção	Estrutura
Parallel Wire Strand		Os fios estão juntos de forma hexagonal e de forma paralela
Strand Rope		Seis grupos formados por grupos de fios circundam um grupo central
Spiral Rope		Fios estão aplicados em várias camadas
Locked Coil Rope		Fios deformados são utilizados para as camadas exteriores da corda espiral

Fonte: Martins, 2009.

Mesmo antes da analise dos cabos, após a verificação da quantidade de cargas com as quais os cabos devem trabalhar, existem exigências a fazer em termos de especificações técnicas, cujas

características são buscadas em tabelas próprias e determinadas no momento de dimensionamento dos mesmos cabos.

Blocos de ancoragem

Os blocos de ancoragem são geralmente peças de Betão armado de grandes dimensões, construídas a partir de certa distancia abaixo da superfície do solo como fundações, com características que variam segundo o vão e a quantidade de cargas que os cabos principais da ponte estarão sujeita a receber.

As extremidades dos cabos de suspensão das pontes são fixas em blocos de ancoragem, que normalmente são grandes e pesados e enterrados com certa profundidade no solo, que possam suportar a forca máxima de tração com que estas cordas de suspensão de uma ponte totalmente carregada pelas intempéries eventos, poderiam puxá-los. Atualmente os blocos de ancoragem são construídos em Betão armado, mas nos tempos passados eram feitos de pedra.

Imagem 8- Blocos de ancoragem.

Fonte: Gomes, 2016.

Como foi abordado anteriormente, os cabos principais são esticados de ponta a ponta nas extremidades da ponte, passando pelas torres, mas sendo então fixas em dois blocos de ancoragem, um de cada lado, ou seja, cada um dos blocos de ancoragem recebe uma das extremidades dos dois cabos.

Contudo, não se pode esquecer-se dos cabos pendurais, é importante lembrar que estes devem estar fixos diretamente na estrutura ou no elemento estrutural com maior rigidez longitudinal.

1.1.7. LIGAÇÕES METÁLICAS

De um modo geral no contexto das ligacoes metalicas, sao usados dois principais dispositivos de ligacao, que sao os parafusos e a solda.

Parafusagem

Neste processo de ligação ou conexão das pecas estruturais sao utilizados dois tipos de parafusos:

- **Comuns:** apresentam baixa resistência mecânica, sendo, portanto utilizados em ligações de peças secundárias como corrimãos, terças e outras peças pouco solicitadas;
- **Alta resistência:** são especificados para ligações de maior responsabilidade. Devido à característica de alta resistência, as ligações geralmente tem um número mais reduzido de parafusos, além de chapas de ligação menores.

Em barras comprimidas que não sejam pilares com extremidades usinadas, todas as partes das ligações devem ser dimensionadas para também resistir ao momento flector e força cortante resultantes de uma força transversal igual a 2% da força axial resistente de cálculo da barra conectada, aplicada na posição da emenda. A barra deve ser considerada bi rotulado para determinação do momento flector e da força cortante na emenda.

Em pilares com extremidades usinadas com transmissão de forças de compressão por contato, as ligações devem garantir a estabilidade estrutural e manter em posição todas as partes ligadas, com segurança. (Vasconcellos, 2011:40)

Soldadura

A resistência de cálculo de soldas é determinada com base em dois estados limites últimos:
- ruptura da solda na seção efetiva;
- ruptura do metal base na face de fusão.

Em nenhuma situação a resistência da solda poderá ser tomada maior do que a resistência do metal base na ligação.

Nas soldas de filete ou de entalhe, a solicitação considerada pode ser tomada como sendo o cisalhamento na seção efetiva, provocado pela resultante vetorial de todas as forças na junta que produzam tensões normais ou de cisalhamento na superfície de contato das partes ligadas. (Vasconcellos, 2011:54)

Para que se tenha um maior controlo de qualidade, as ligações soldadas devem ser executadas sempre que possível na fábrica. É o tipo de ligação ideal para união de peças com geometria complicada.

Contudo relações às peças estruturais existem diversos tipos de ligações, tais como:

- Ligação entre vigas;
- Ligação entre vigas e pilares;
- Emenda de pilares;
- Emenda de vigas;
- Apoio de colunas;
- Ligações do contraventamento.

Ao dimensionar as ligações metálicas determinam-se os esforços solicitantes nos seus elementos (parafusos, soldas e elementos acessórios, como chapas e cantoneiras), os quais devem ser menores que os respectivos esforços resistentes. A resistência dos conectores e trechos de solda sujeitos a esforços axiais e cisalhantes. A determinação dos esforços solicitantes na ligação é feita a partir da análise de um modelo estrutural (Pfeil W. e Pfeil M. 2009).

Classificação das ligações metálicas

Ainda com as especificacaoes anteriores, as ligações metálicas podem ser classificadas como:

- Ligação rígida;
- Ligação flexível;
- Ligação semirrígida;
- Segundo os esforços;
- Segundo a rigidez.

Ligação rígida - A ligação é tal que o ângulo entre os elementos estruturais que se interceptam permanece essencialmente o mesmo após o carregamento da estrutura.

Ligação flexível - Neste caso a restrição à rotação relativa entre os elementos estruturais deve ser tão pequena quanto se consiga obter na prática.
No caso de vigas, sujeitas à flexão simples, por exemplo, a ligação flexível transmite apenas a força cortante.

Ligação semirrígida - Neste caso o momento transmitido através da ligação não é nem zero (ou próximo de zero) como no caso de ligações flexíveis e nem o momento máximo (ou próximo dele) como no caso de conexões rígidas.
Para que se possa utilizar a ligação semirrígida, deverá ser conhecido primeiro a relação de dependência entre o momento resistente e a rotação.

Segundo os esforços - Os parafusos devem resistir a esforços de tração, cisalhamento ou ambos, ao passo que as soldas devem resistir a tensões de tração, compressão, cisalhamento ou a combinação de tensões tangenciais e normais.

Segundo a rigidez - É fato que o comportamento mecânico das ligações influi sensivelmente na distribuição dos esforços e deslocamentos das estruturas, tornando-se essencial o conhecimento da rigidez e da capacidade de rotação da ligação. (Vasconcellos, 2011:34)

1.1.8. NORMAS E REGULAMENTOS

As normas técnicas e regulamentos a utilizar para o presente projeto de dimensionamento são:

- Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, (RSA);
- Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado, (REBAP);
- Tabelas técnicas.

1.2.PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO

Com base em alguns passos que constam agrupados com o nome de processo de investigacao, é fácil dirigir ou realizar um estudo a escolha individual, para depois redigir ou descrever num documento todo o acontecimento e/ou conhecimento que se pretende aprofundar, com base em pesquisas e experiências feitas, os passos a que se refere anteriormente são os seguintes:

- Identificação do problema e do tema;
- Definição do problema a ser investigado;
- Determinação dos métodos de investigação;
- Identificação dos objectivos gerais e específicos do tema;
- Definição de dados de entrada e de saída da abordagem;
- Delimitação do tema e limitações do trabalho;
- Análise e interpretação dos dados da investigação;
- Escalonamento dos capítulos;
- Escrever o relatório de investigação.

1.2.1. PROBLEMA A SER INVESTIGADO

Formulação do problema a ser investigado

"As dificuldades ou até mesmo o impedimento de travessia do Rio Umbeluzi, que a populucação do distrito de Boane enfrenta, em épocas chuvosas".

1.2.2. PERGUNTA A INVESTIGAR E AS HIPÓTESES A CONSIDERAR

Formulação da pergunta a investigar

O projecto está a ser estudado a fim de responder a seguinte pergunta de investigação:

"Será que a construção de uma nova ponte pode reduzir ou mesmo eliminar as dificuldades de travessia da população sobre Rio Umbeluzi?"

Hipóteses a considerar

Da análise do problema e da pergunta de investigação sugerem-se as seguintes hipóteses:

H0: A construção de uma nova ponte pode reduzir as dificuldades de travessia sobre o Rio Umbeluzi.

H1: A construção de uma nova ponte, não pode reduzir as dificuldades de travessia sobre o Rio Umbeluzi.

1.2.3. PERGUNTAS INVESTIGATIVAS

Para rapidamente ser solucionado o problema e preocupação em causa, que leva ao desenvolvimento deste trabalho, e pos explanação e interpretação, é preciso colocar uma grelha

de perguntas investigativas, a saber:

- Quais são as dificuldades que a população de Boane enfrenta em época chuvosa para se deslocar na ponte existente no momento?
- Sera que a contrução de uma nova ponte e uma alternativa viável para responder aos desafios enfrentados pela população, ao atravessar o Rio Umbeluzi em tempo chuvoso?
- Será que a estrutura metálica da ponte será resiliente às intempéries, em longo prazo?
- Quais os impactos sócio-económicos que a construção da nova ponte irá criar futuramente?
- Quais são os beneficios que o projecto e estrutura da nova ponte pretendem oferecer?

1.3. CONSTRANGIMENTOS PREVISTOS NA INVESTIGAÇÃO

1.3.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

- Inexistência de acesso directo por meio electrônico, de base de dados constando relatórios de ocorrência de inundações e cota de nivel da subida dos caudais de rios de zonas mais propensas às cheias, anualmente;
- Dificuldades de acesso aos marcos de cotas na própria ponte de betão devido à obstrução pela presença de pântanos;
- Dificuldades na compreensão e interpretação dos regulamentos mais atualizados, utilizados na construção de pontes devidos os seus idiomas e difícil acesso digital.

1.3.2. DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

O presente projeto de dimensionamento circunscreve-se na concepção e cálculo da superestrutura de uma ponte estrutura metálica mista.

Concretamente, os cálculos de dimensionamento estarão inclinados somente para todo o elemento estrutural de material metálico, as vigas treliçadas, os cabos pendurais e principais, o tabuleiro (somente o vão teórico) e todas as ligações metálicas necessárias.

Sem envolver todos os procedimentos preliminares que são normalmente realizados antes da construção ou implementar qualquer projeto, como limpezas, movimentos de terras e cálculos relacionados, estudos de impactes ambientais entre outros.

Contudo, esta é uma parte do projeto, o restante se pretende com tempo completar. No final

pretende se obter um projeto completo, com a superestrutura a mesoestrutura e a infraestrutura da ponte calculadas, para num futuro breve se implementar construindo.

1.4. OBJECTIVOS DA INVESTIGAÇÃO

1.4.1. OBJECTIVO GERAL

Eliminar as dificuldades que a população que utiliza a ponte do Rio Umbeluzi atual, enfrenta para se locomover chegada a época chuvosa, todos os anos, criando um projecto duma nova ponte contando com o melhoramento de todas essas condições.

1.4.2. OBJECTIVOS ESPECÍFICOS:

- Estudar a viabilidade de construção de uma nova ponte, com maiores dimensões e diferente material, para utilizacao em longo prazo;
- Garantir que a estrutura seja construída de forma a garantir segurança;
- Garantir que as intempéries não sejam agentes que contribuam para que a ponte deixe de cumprir com sua utilidade;
- Quantificar as ações e solicitações para a melhor escolha do modelo de cálculo dos esforços e pré-dimensionar os elementos metálicos que compõe a ponte, que verifiquem os padrões de segurança;
- Combinação das ações e verificação da segurança aos estados limites últimos fundamentais e de utilização.

CAPÍTULO 2

2.1. METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

Para materialização deste trabalho seguiu-se rigorosamente:

- Pesquisa na internet;
- Consulta aos manuais do ramo de Engenharia Civil;
- Consulta ao Supervisor;
- Consulta as normas e regulamentos conhecidos para combinação de acções da ponte;
- Uso de ferramentas computacionais tais como Paint e Ftool para concepção de peças desenhadas e calculos;
- Cálculo com recurso aos conhecimentos adquiridos nas cadeiras tais como: Mecânica Aplicada, Resistência dos materiais, Estruturas Metálicas e Mistas, Análise de Estruturas e Betão Armado.

2.2. JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

Uma ponte é uma construção feita para interligar ao mesmo nível pontos não acessíveis que permitam passagem sobre o obstáculo a transpor que neste caso e um rio (Rio Umbeluzi).
Esta ponte será projetada com o fim de facilitar o trânsito de veículos e peões simultaneamente.
A ponte existente atualmente, e que esta ainda em uso não tem condições favoráveis para o mesmo efeito, embora tenha sido construída com um bom material e o mais resistente, que é o Betão, a ponte não tem as dimensões suficientes para que haja livre trânsito entre peões e veículos simultaneamente, sem qualquer risco de acidente para a população local, inclusive quando chega o tempo chuvoso a ponte chega a ficar totalmente submersa no rio devido ao aumento do nível do caudal.
Assim, pensando nestes aspectos, existem duas simples razões para se criar um projeto de uma nova ponte para substituir a existente;
A primeira razão é que é notável a grande necessidade de melhoria das condições acima citadas, não só para o bem estar da população, mas também como forma de contribuição para o

desenvolvimento da região em causa, pois será ainda mais fácil a locomoção das pessoas, para fins comerciais, por exemplo.

A segunda razão é que tal como é sabido a engenharia de um modo geral é uma área desafiadora, e o engenheiro deve ser capaz de enfrentar qualquer problema e resolver, conseguir fazer domínio e ter a iniciativa de querer criar e inovar, daí a decisão no que se refere que a ponte existente, que é de Betão e a que se pretende implementar é uma ponte metálica/mista.

2.3. A IMPORTÂNCIA DO TEMA DE INVESTIGAÇÃO

O presente trabalho surge com o intuito de relembrar aos profissionais da construção civil o quão importante é fazer uma mistura daquilo que são metas e objetivos da sociedade, com as necessidades que surgem com o crescimento da mesma, e a ambição de melhoria das condições em que esta se encontra ao longo do tempo.

Falando do aço, como qualquer outro material de construção tem vantagens e desvantagens na sua utilização, contudo, são conhecidas as propriedades que o mesmo oferece e faz-se entender de que forma fazer proveito.

Quando se trata de pontes metálicas surgem inúmeras variáveis no que toca aos métodos de dimensionamento e de construção, isto é, existem vários tipos de pontes e cada um deles vem com uma lista de materiais diferentes que se deve saber combinar entre si.

A combinação desses materiais varia fundamentalmente de acordo com as condições ambientais, varia com os custos, com a idealização daquilo que será a estética no final da execução.

Entretanto, devem-se criar formas em que o resultado será sempre uma obra de alta qualidade, com baixo custo e com rápido retorno do investimento feito para a sua realização.

CAPÍTULO 3

3.1. ESTUDO DE CASO

No capítulo do estudo de caso, pretende-se principalmente demostrar a localização geográfica, as características do relevo, relativamente ao ambiente em que se pretende que se seja construída, a ponte a ser calculada neste projeto de dimensionamento, porem, simultaneamente pretende se não deixar de fazer menção a todos os fatores que levaram a ver a necessidade de se fazer este projeto de dimensionamento;

Pretende se apresentar resumidamente (sem entrar em detalhes a nível estrutural), uma matéria de investigação constando todos os elementos considerados como a verdadeira razão de se idealizar um novo projeto (de ponte), sem esquecer-se de mencionar que exatamente no local pretendido existe já uma ponte, com o auxilio de textos redigidos de relatórios da investigação feita, e reforçadas com imagens que ilustram a realidade que se pretende relevar, que e a que a população do distrito de Boane esta a enfrentar já a muitos anos, pretende se então fazer o levantamento desses aspectos como razão, como problema, e para em seguida apresentar as novas ideias como possível solução, a longo prazo.

3.1.1. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO UMBELUZI

A Bacia Hidrográfica do Rio Umbeluzi está localizada no extremo sul da província de Maputo, onde está inserido o seu rio principal, que nasce no reino do Eswatini (antigo reino da Suazilândia), perto da fronteira ocidental com a África do Sul. Entra para Moçambique através de uma garganta cortada na cordilheira dos Pequenos Libombos, no distrito da Namaacha (Muchangos, 1999).

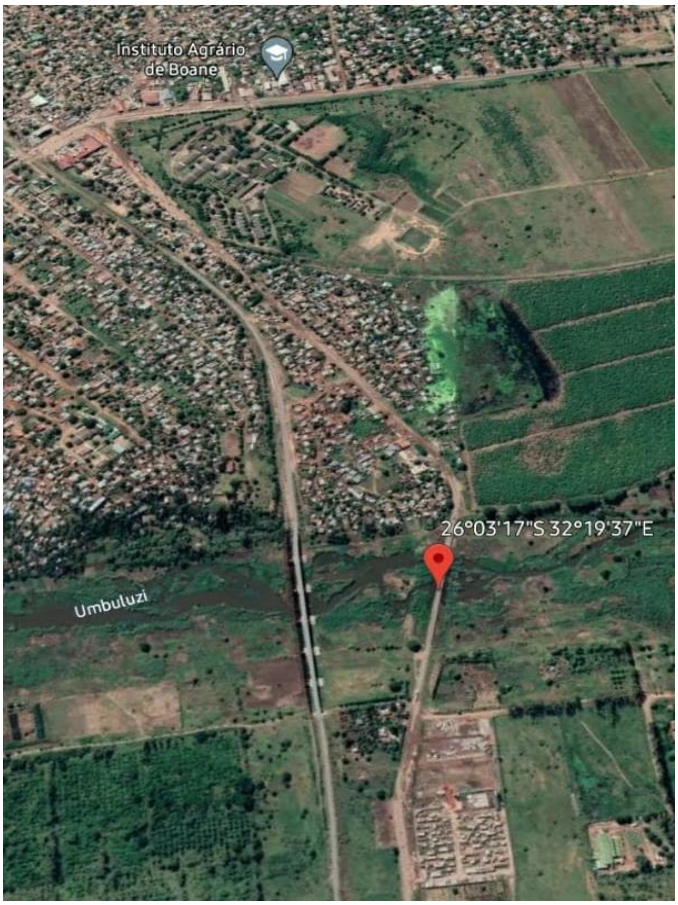
Segundo Droogers (2014), a bacia hidrográfica total do rio Umbeluzi é de cerca de 5400 km2. Sendo que cerca de 40% da área está em Moçambique, isso corresponde a cerca de 2240 Km2, 56% em Eswatini (Suazilândia) e apenas 2% na África do Sul.

Rio Umbeluzi, nasce na região montanhosa numa altitude máxima de 1800 metros do norte da Suazilândia e, após um percurso sensivelmente de oeste para leste, desagua na baía do Maputo,

em estuário comum a vários rios (Matola, Infulene, Tembe). Na zona de maior altitude do seu troço moçambicano, fica situada a barragem dos Pequenos Libombos. (ARA-SUL, 2010).

Os principais afluentes do Rio Umbeluzi em território nacional são: o Rio Calichane que aflui no Umbeluzi a montante da barragem dos Pequenos Libombos e o rio Movene a jusante da barragem. O rio Umbeluzi tem um escoamento médio de cerca de 490x106 m3 na foz e de 360x106 m3 com um regime permanente. A precipitação média anual é de 736 mm. (ARA-SUL, 2010).

Imagem 9- Mapa de localização do Rio Umbeluzi – Estudo de caso.



Fonte: Google Earth.

Imagem 10 - Ponte sobre o Rio Umbeluzi.

Fonte: Autor.

A barragem dos pequenos Libombos, que recebe em território Moçambicano as águas do Rio Umbeluzi, foi construída com capacidade a gerir do seu caudal e a fim de se controlar a sua fluência ate aos pontos de tratamento de agua para em seguida fornecer ao consumo da população da província e cidade de Maputo.

Segundo a ARA-SUL, em ocasião de visita da Secretaria de Estado na Província de Maputo, Vitoria Dias Diogo a Barragem dos Pequenos Libombos, feita a 25 de Fevereiro, com os objetivos de verificar e saber o ponto de situação na gestão dos recursos hídricos da bacia Hidrográfica, após o incidente de derrame de combustível no Rio Umbeluzi, avançou se a informação em como pela primeira vez em sete anos, temos a barragem cheia, ficou se então a saber, que a barragem tem agua suficiente para os próximos anos, com que então a barragem esta acima de 90% de nível de enchimento, pelo que esta a efetuar descargas com vista a aumentar a sua capacidade de encaixe; Perante essa decisão, a ARA-SUL apela à população para evitar travessia do leito do rio e a retirar seus equipamentos e bens de junto das ribeirinhas.

Significa que, se só com o curso normal de agua do Rio nos anos anteriores, em época chuvosa do ano ocorriam inundações, com as descargas feitas devido à situação da barragem atualmente, pode ocorrer a subida do caudal sem ocorrência de chuvas, e vindo a se agravar nos próximos anos em época chuvosa, a subida do caudal será de valores maiores comparativamente aos tempos passados.

3.1.2. ATUAL PONTE EXISTENTE SOBRE O RIO UMBELUZI

A ponte que existe atualmente sobre o Rio Umbeluzi foi construída em Betão Armado e revestida em asfalto; Essa ponte ainda esta em condições em termos de resposta a necessidade de garantir segurança de travessia, mas isto tratando se de riscos de apresentar fendas e até mesmo demostrar que a estrutura já esta deteriorada a um nível avançado que leve a necessidade de se fazer com urgência uma reabilitação, não e o caso.

O facto e que devido às condições em que a mesma foi construída, em termos de dimensões, e segundo as características topográficas da região, fazem com que sempre ao chegar o tempo chuvoso do ano, quase todos os anos ocorrem inundações, tais inundações fazem com que a

ponte fique parcialmente a completamente submersa no rio, por este ter subido o seu caudal, dificultando assim a travessia dos veículos e dos peões utentes dessa via de acesso.

Eis onde reside o problema, ou a ponte foi construída sem se ter em conta que eventualmente em época chuvosa ira ficar submersa, ou simplesmente a cada ano que passa, o Rio Umbeluzi tem sofrido uma elevação no seu caudal.

Importa lembrar que a época chuvosa vai de Outubro de um ano a Marco do ano seguinte (ARA-SUL)

3.1.3. CARACTERIZAÇÃO DA ATUAL PONTE SOBRE O RIO UMBELUZI

Como forma de suporte na idealização dos dados estruturais da ponte do presente projeto de dimensionamento, houve a necessidade de fazer levantamento das medidas e características geométricas da atual ponte feita em Betão, bem como levantar nos dados da ponte, aspectos que fundamentam e justificam a situação denotada como o problema do presente projeto.

São os seguintes, os dados recolhidos em terreno do estudo de caso (10 de Janeiro de 2021):

- **Comprimento do vão –** 240.5m
- **Extensão –** 119m, 62m
- **Largura da ponte –** 6.80m
- **Numero de faixas de rodagem –** 2 faixas de rodagem
- **Altura do corrimão –** 83.6cm
- **Altura da superfície do rio ate ao pavimento da ponte –** 2.40m
- **Altura da superfície do rio ate ao corrimão –** 3.20m
- **Histórico do Rio em época chuvosa do ano –** ponte parcialmente a totalmente submersa
- **Materiais de construção –** Betão Armado, com revestimento do pavimento em asfalto.

Alguns desses dados não têm relativa importância neste projeto, mas viu se a necessidade de mencionar, juntamente com os mais relevantes, como o comprimento do vão, a largura da ponte, os valores de altura da superfície do rio até ao pavimento da ponte e ate ao corrimão (que são os pontos atingidos pelo rio quando chove), sem deixar de lado a ausência de espaço para a travessia dos peões.

Imagem 11- Ponte de Betão sobre o Rio Umbeluzi.

Fonte: Autor.

3.2. EPISÓDIOS DE OCORRÊNCIA DE CHUVAS

Após a data da primeira recolha de dados, do relatório anterior, houve a primeira ocorrência de chuvas na província de Maputo (começou a chover no inicio da madrugada do dia 24 ate a manha do dia seguinte), que apesar de não ter sido ao ponto de criar elevação do caudal, tal que levasse a impedir a travessia da população pelo Rio Umbeluzi, ficou claro que se chovesse um pouco mais, e a chuva se prolongasse por mais dois dias, seria quase que impossível atravessar o Rio como sempre se fez em dias normais, eis a seguinte imagem para ilustrar esta situação.

Imagem 12-Ponte de Betão sobre o Rio Umbeluzi.

Fonte: Autor.

Como dito anteriormente, segundo a ARA-SUL, a época chuvosa do ano inicia em Outubro de um ano e termina em Marco do ano seguinte, assim sendo, no momento da ocorrência dos episódios de dias de chuva que se pretende aqui demostrar, estávamos claramente dentro da época chuvosa do ano. Eis que surgiu um novo episódio (chuva dos dias 13, 14 e 15 de Fevereiro, que desta vez a sua intensidade levou ao Rio Umbeluzi a transbordar, fazendo com que a ponte que faz ligação entre o interior do distrito e a vila municipal, de Boane).

Segundo o Jornal 'O Pais'(15/02/2021), cerca de 30 mil pessoas encontraram-se isoladas no município de Boane, na Província de Maputo, em consequência das inundações causadas pela chuva que caia da desde a semana anterior, a ponte ficou submersa, estradas foram cortadas, centenas de casas foram alagadas e os prejuízos estendiam-se ao sector agrícola.

Por conta dessa ocorrência, para não deixar que as cheias afetassem as suas actividades, a população do município de Boane, arredores da Vila, viram-se obrigadas a recorrer a métodos para poder atravessar o rio, auxiliando se por pequenos barcos de alguns voluntários a ajudar, mas fazendo o pagamento de um valor de 15mt por pessoa. As imagens a seguir ilustram a forma como ficou a ponte após dias de chuva e de que forma a população pode resolver-se no seu cotidiano ate que já se pudesse utilizar a ponte para atravessar o Rio Umbeluzi como sempre vinha se fazendo.

Imagem 13- Cheias no Distrito de Boane – Rio Umbeluzi.

Fonte: Televisão Miramar – Programa, Fala Moçambique (20/04/2021).

O que se pretende abordar nestes relatos e o impacto que a forma como foi construída a ponte, teve nessas ocasiões de queda de chuva em grande intensidade, este ponto e o foco do presente projeto, em que se esta a ter em conta todos estes fatores que iram levar a necessidade da melhor escolha das dimensões da nova ponte a ser dimensionada, e principalmente no que concerne a altura da superestrutura.

Os dados recolhidos na primeira visita feita a atual ponte sobre o rio em causa, demostram então, conclusivamente, que após a chuva o Rio Umbeluzi teve o seu caudal elevado a mais de 5m, que e a altura medida referente a um ponto da superfície do rio (apoiando-se na fundação da ponte), ate um ponto onde se define a altura do corrimão, e sendo que as águas do rio, no seu pico de elevação do caudal cobriram o corrimão, eis o fator que leva a se determinar que fosse acima de 5 m.

Embora não haja clara informação, constando dados específicos como o valor do caudal que aumentou em cada ocorrência de chuvas que gerou as inundações reportadas ao longo dos anos, e outros dados específicos, relacionados com as datas, aos pontos conhecidos geograficamente, em que a população ficou mais ou menos afetada, quantidade de agua da chuva em milímetros, é possível através de todos os dados e informações recolhidas, gerar soluções em termos de engenharia da nova ponte, em que se possibilite limar as dificuldades da população, ao longo dos anos passados e principalmente em época chuvosa como já abordado.

Foram localizados em formato digital, Boletins Hidrológicos e de seca disponibilizados pela ARA-SUL, mas somente no período de 20 de Novembro a 29 de Marco de 2021. Não contendo mais opções de escolha de pesquisa de Boletins e relatórios relacionados aos outros anos conhecidos como críticos quando se fala de chuvas intensas.

3.3. TOPOGRAFIA DO TERRENO

A necessidade de estudo da topografia do terreno no presente projeto, surge precisamente devido o interesse de entender em que condições em época chuvosa o Rio Umbeluzi fica em termos de nível de caudal, a partir de que valores de conta em relação ao nível médio das aguas, para saber em que condições se deveria construir a nova ponte.

Foram feitos levantamentos topográficos com o fim de obter valores de cota e desníveis do terreno que são estudos de extrema importância quando se trata de construção de vias de acesso.

Embora não tenha sido um estudo aprofundado e completo da topografia do terreno, numa primeira fase, os valores de cotas e desníveis que serão apresentados foram fundamentais para determinar a nova altura da ponte de modo a evitar com que em tempo chuvoso o caudal do Rio Umbeluzi não chegue a atingir a ponte impedindo a travessia da população.

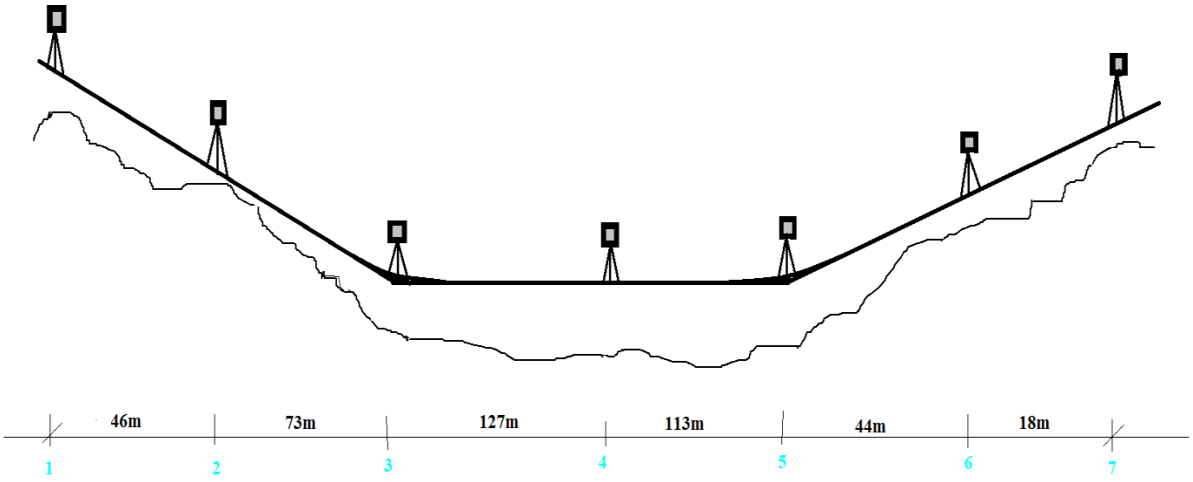
Imagem 14- Levantamentos topográficos.

Fonte: Autor.

Estes dados topográficos foram associados às medições feitas na ponte existente, onde não foi possível visualizar os valores de cota que normalmente são colocados nestes tipos de estruturas, pelos engenheiros, ou mesmo na sua inexistência, foi possível estimar com o auxílio de uma fita métrica que após dias de chuvas intensas na região, o caudal do Rio tem uma elevação de até 5 m de altura.

- Os levantamentos topográficos foram feitos com o auxilio de um nível, uma mira e um dispositivo GPS portátil; Devido às condições e dificuldades do Autor na locomoção e flexibilidade, só foi possível realizar esse trabalho em obra com o apoio de mais dois estudantes, com experiência de trabalho na área da topografia.

Figura 4- Pontos de estações dos levantamentos topográficos.



Fonte: Autor.

Tabela 1- Dados de levantamentos topográficos.

Estação	Leituras			Altura do instrumento	Desnível	Cota
	Fio superior	Fio médio	Fio inferior			
1	0.57	0.34	0.11	1.47m	1.13m	18.0m
3	2.67	2.55	2.43	1.47m	1.08m	15.79m
4	1.40	1.13	0.87	1.51m	0.38m	16.17m
5	0.60	0.45	0.30	1.53m	1.08m	17.25m
6	0.76	0.69	0.62	1.55m	0.86m	18.11m
7	0.49	0.40	0.31	1.51m	1.13m	19.24m

Fonte: Autor.

- A primeira leitura foi feita no ponto 2, foi somente calculada a cota com um valor de 16.87m; Neste ponto foram feitas as leituras das estações 1 e 3, dai só levantamentos a montante são as que estão representadas na tabela anterior.

É notável a diferença de cotas entre o primeiro e o ultimo pontos, uma diferença de 1.24m; Em termos práticos esta diferença não e notável estando no terreno, tal como estando na própria ponte e quase impossível notar, porém na projeção de qualquer estrutura faz muita diferença nos cálculos e na estimativa do resultado final em obra.

Esta diferença de cotas irá influenciar também no resultado final deste projeto de dimensionamento, como por exemplo, uma das extremidades da ponte estará ligeiramente baixa em relação à outra, o posicionamento e altura das torres da ponte suspensa prevista também será diferente.

CAPÍTULO 4

4.1. MEMÓRIA DESCRITIVA

A presente memória descritiva do faz menção de todos os elementos que irão compor a estrutura final da ponte (o tabuleiro, as torres e os cabos de suspensão com os devidos blocos de ancoragem).

Como a ponte que se pretende dimensionar é denominada em construção civil como sendo uma **Ponte suspensa,** demostra-se cada detalhe de cada elemento, quais as características, as dimensões e especificações técnicas que deverão constar e tomar em conta durante o processo de dimensionamento.

4.1.1. ASPECTOS GERAIS RELACIONADOS A PONTE SUSPENSA

O presente projeto prevê para a ponte suspensa uma estrutura com características diferentes e dimensões maiores relativamente à ponte de Betão atual; Em que para a futura ponte, conta-se com um comprimento e largura de vão maiores, criando maior conforto na travessia tanto dos veículos como dos peões, inclusive, os peões não terão a necessidade de partilhar o espaço com os veículos porque terão a partir daí o seu próprio passeio, idealizados com condições mínimas que garantam acertadamente segurança para a travessia do Rio Umbeluzi.

O projeto conta também com a necessidade de se elevar a cota da ponte de modo a permitir que ao longo de sua vida útil, chegada à época chuvosa do ano, com a tendência que o nível do Rio Umbeluzi tem, de subir, ira permitir que o mesmo ainda com o seu nível estimado mais alto possível não chegue ao nível das treliças na parte inferior da ponte.

Pretende-se que a ponte seja suspensa, não só como um desafio, ambição de experiência, dimensionar uma ponte do gênero, mas principalmente com a ideia de que o Rio Umbeluzi poderá fluir e tomar seu “caminho” sem qualquer obstáculo, embora existam outras soluções de engenharia que possam prever o mesmo efeito no seu design, esta solução (que é a construção de uma ponte suspensa) foi vista como das viáveis de se colocar em prática.

Dos obstáculos mencionados anteriormente, refere-se aos elementos de apoio da ponte, esta tem a designação de Ponte Suspensa, porque ao em vez de ter uma serie de pilares e sapatas como

fundações, esta comporta uma serie de cabos de suspensão ao longo do vão, fixos pelas extremidades em blocos de ancoragem ou pontos de amarração de cabos, todos estes elementos em conjunto utilizados precisamente como apoio para a ponte.

4.1.2. ELEMENTOS DE PONTE SUSPENSA

No dimensionamento de uma Ponte suspensa tal como quaisquer outros tipos de ponte, deve ser feito o levantamento de todos os elementos estruturais que a compõe, exclusivamente no presente projeto, e em seguida uma breve abordagem sobre como devera ser exatamente cada um deles posicionando se na composição da estrutura, isto é, apresentando todas as especificações técnicas, as opções existentes e utilizadas em construção civil e quais os escolhidos para determinado projeto, segundo a necessidade relativamente às cargas a que a estrutura será solicitada, quais as suas funções como elemento estrutural apos colocados (durante e depois da construção da ponte), ou seja, o seu comportamento estrutural, e suas propriedades mecânicas.

4.1.3. CARACTERISTICAS GERAIS DA PONTE HÍBRIDA

O projeto de dimensionamento determina para a ponte suspensa um vão livre de 240m divididos em 4 vãos de 60m, e 60m de extensão, totalizando num comprimento de 360m.

Quanto à largura da ponte, prevê para os veículos 7m, sendo 3,5m para cada faixa de rodagem, passeios para os pedestres numa largura de 1m em cada lado, mais 0.40m de largura para os guarda-rodas nos dois lados, mais 0.10m de largura (espaço restante) para a amarração dos cabos pendurais em ambos os lados da ponte, fixos diretamente nas extremidades do pavimento, na estrutura metálica.

Os elementos de que se fala na composição da estrutura da ponte no presente projeto de dimensionamento, estão subdivididos em dois grupos que são:

Elementos estruturais:

- Tabuleiro: (Vigas treliçadas)
  (Chapas metálicas)
- Torres principais;
- Cabos suspensão, principais e pendurais;
- Blocos de ancoragem.

Elementos não estruturais:

- Guarda-corpos;
- Guarda-rodas.

4.1.4. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Tabuleiro

Para o tabuleiro da ponte suspensa na área prevista ao trânsito de veículos em que são previstas duas faixas de rodagem com uma largura total de 7m, sendo para cada uma das faixas 3.5m de largura, o presente projeto de dimensionamento determina para a sua composição:

- Vigas treliçadas metálicas;

- Chapas metálicas;

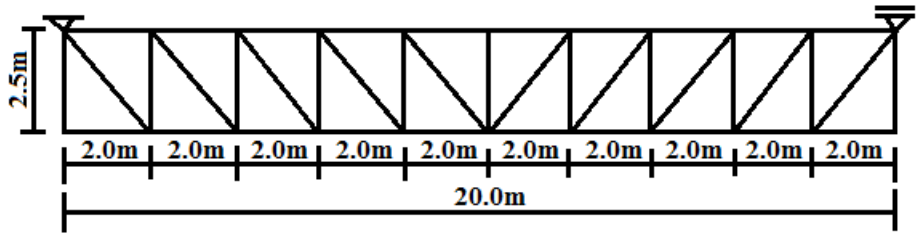
- Camada de Betão armado;

- Revestimento em asfalto.

Vigas treliçadas metálicas

O presente projeto prevê dimensionar para a ponte, vigas treliçadas do tipo Pratt. A Treliça Pratt é considerada a mais econômica em relação aos outros tipos e a razão pela qual e comumente utilizada na construção de pontes de aço, por ela conter estruturalmente suas barras diagonais tracionadas (com maior comprimento e menor secção transversal) e as montantes comprimidas e o aço funciona melhor a tração, o mesmo pode operar muito próximo da sua tensão de escoamento, quando sujeito a compressão há risco de flambagem.

Figura 5- Treliça Pratt com apoio no banzo superior, (diagonais tracionadas e montantes comprimidos); Secção longitudinal.



Fonte: Autor

As pecas treliçadas serão dimensionadas contando com o facto de que estas devem ser colocadas na ponte num vão livre de 240m.

Determina-se então que cada treliça devera ter 20m de comprimento, concluindo que no total serão necessárias 12 pecas treliçadas para vencer o vão livre de 240m; com relação à altura da treliça é recomendável que a mesma tenha 1/10 do comprimento do vão, equivalente a 2.5m, mais ou menos.

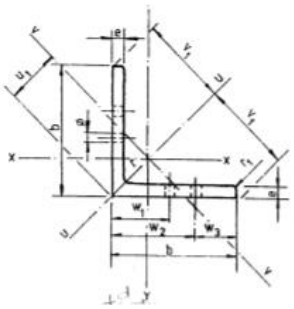
Em relação à largura da ponte, o projeto prevê duas vigas treliçadas, formadas por quatro peças de treliças como demostrado anteriormente, serão duas vigas treliçadas formadas por duas peças de treliçada cada uma.

Figura 6- Vigas treliçadas em secção transversal, com contraventamento.

Fonte: Autor

Quanto ao tipo de perfil a adoptar para a treliça foi determinado com o auxilio das Tabelas técnicas, o perfil em UNP para os banzos superior e inferior, os montantes e as diagonais no perfil em LNP.

Tabela 2- Perfil em LNP, para diagonais e montantes das vigas treliçadas.

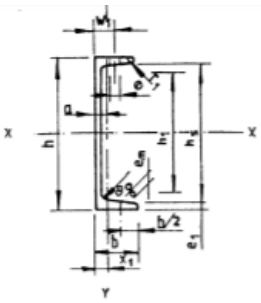


7.1.6 — *Perfil L NP (NP-335 e ISO 657-1)*

Designação L NP b × e mm	Massa m kg/m	Área A_s cm²	Dimensões r mm	r_1 mm	w_1 mm	w_2 mm	w_3 mm	Ø mm	Posição do centro de gravidade d cm	v_1 cm	u_1 cm	Características referidas aos eixos x-x e y-y $I_x = I_y$ cm⁴	$w_x = w_y$ cm³	$i_x = i_y$ cm	u-u I_u cm⁴	i_u cm	v-v I_v (min) cm⁴	w_v (min) cm³	i_v (min) cm	Área a pintar A_p m²/m
60 × 5	4,57	5,82	8	4	35	—	—	17	1,64	2,32	4,24	19,4	4,45	1,82	30,7	2,30	8,02	3,45	1,17	
60 × 6	5,42	6,91	8	4	35	—	—	17	1,69	2,39	4,24	22,8	5,29	1,82	36,2	2,29	9,43	3,95	1,17	0,233
60 × 7	6,26	7,98	8	4	35	—	—	17	1,73	2,44	4,24	26,0	6,09	1,81	41,3	2,27	10,7	4,40	1,16	
60 × 8	7,09	9,03	8	4	35	—	—	17	1,77	2,50	4,24	29,2	6,89	1,80	46,2	2,26	12,2	4,86	1,16	
65 × 7	6,83	8,70	9	4,5	35	—	—	21	1,85	2,61	4,60	33,4	7,18	1,96	53,0	2,47	13,9	5,31	1,26	0,252
65 × 9	8,62	11,00	9	4,5	35	—	—	21	1,93	2,73	4,60	41,4	9,05	1,94	65,4	2,44	17,3	6,35	1,26	
70 × 6	6,38	8,13	9	4,5	40	—	—	21	1,93	2,73	4,95	36,9	7,27	2,13	58,5	2,68	15,3	5,59	1,37	
70 × 7	7,38	9,40	9	4,5	40	—	—	21	1,97	2,79	4,95	42,3	8,41	2,12	67,1	2,67	17,5	6,27	1,36	0,272
75 × 7	7,94	10,1	10	5	40	—	—	23	2,09	2,98	5,30	52,4	9,72	2,28	83,6	2,88	21,5	7,21	1,46	
75 × 8	9,03	11,5	10	5	40	—	—	23	2,13	3,01	5,30	58,9	11,0	2,26	93,3	2,85	24,4	8,10	1,46	0,291
75 × 10	11,1	14,1	10	5	40	—	—	23	2,21	3,13	5,30	71,2	13,5	2,25	113	2,83	29,7	9,49	1,45	
80 × 6	7,34	9,35	10	5	45	—	—	23	2,17	3,07	5,66	55,8	9,57	2,44	88,5	3,08	23,1	7,54	1,57	
80 × 7	8,49	10,8	10	5	45	—	—	23	2,22	3,14	5,66	64,3	11,1	2,44	102	3,07	26,6	8,47	1,57	
80 × 8	9,63	12,3	10	5	45	—	—	23	2,26	3,19	5,66	72,2	12,6	2,43	115	3,05	29,9	9,36	1,56	0,311
80 × 10	11,9	15,1	10	5	45	—	—	23	2,34	3,30	5,66	87,5	15,4	2,41	139	3,03	36,3	11,0	1,55	
90 × 7	9,61	12,2	11	5,5	50	—	—	25	2,45	3,47	6,36	92,6	14,1	2,75	147	3,46	38,3	11,0	1,77	
90 × 8	10,9	13,9	11	5,5	50	—	—	25	2,50	3,53	6,36	104	16,1	2,74	168	3,45	43,1	12,2	1,76	0,351
90 × 9	12,2	15,5	11	5,5	50	—	—	25	2,54	3,59	6,36	116	17,9	2,73	184	3,44	47,8	13,3	1,76	
90 × 11	14,7	18,7	11	5,5	50	—	—	25	2,62	3,70	6,36	138	21,6	2,71	218	3,41	57,2	14,4	1,75	
100 × 8	12,2	15,5	12	6	45	60	40	25	2,74	3,87	7,07	145	19,9	3,06	230	3,85	59,8	15,5	1,96	
100 × 10	15,0	19,2	12	6	45	60	40	25	2,82	3,99	7,07	177	24,6	3,04	280	3,83	72,9	18,3	1,95	0,390
100 × 12	17,8	22,7	12	6	45	60	40	25	2,90	4,11	7,07	207	29,1	3,02	328	3,80	85,7	20,9	1,94	
120 × 10	18,2	23,2	13	6,5	50	80	40	25	3,31	4,69	8,49	313	36,0	3,67	497	4,63	129	27,5	2,36	
120 × 12	21,6	27,5	13	6,5	50	80	40	25	3,40	4,80	8,49	368	42,7	3,65	584	4,60	152	31,5	2,35	0,469
120 × 15	26,6	33,9	13	6,5	50	80	40	25	3,51	4,97	8,49	445	52,4	3,62	705	4,56	185	37,1	2,33	
150 × 12	27,3	34,8	16	8	50	105	45	28	4,12	5,83	10,6	737	67,7	4,60	1 170	5,80	303	52,0	2,95	0,586
150 × 15	33,8	42,0	16	8	50	105	45	28	4,25	6,01	10,6	898	83,5	4,57	1 430	5,76	370	61,6	2,93	
180 × 18	48,6	61,9	18	9	60	125	45	28	5,10	7,22	12,7	1 870	145	5,49	2 960	6,92	768	106	3,52	0,705
200 × 18	54,2	69,1	18	9	60	150	50	28	5,60	7,93	14,1	2 600	181	6,13	4 130	7,73	1 020	135	3,93	
200 × 20	59,9	76,3	18	9	60	150	50	28	5,68	8,04	14,1	2 850	199	6,11	4 530	7,70	1 170	146	3,92	0,785

Fonte: Tabelas técnicas, (pag. 257).

Tabela 3- Perfil em UNP, para os banzos superior e inferior das vigas treliçadas.

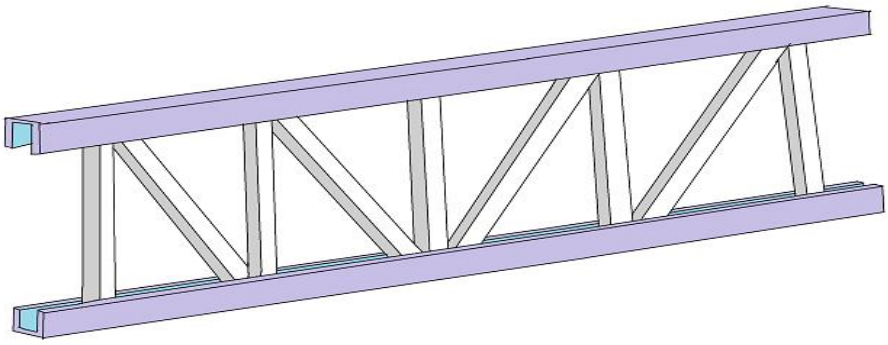


7.1.5 — *Perfil UNP (NP-338)*

Designação UNP (*)	Massa m kg m	Área A cm²	Dimensões h mm	b mm	a mm	e_m mm	r_1 mm	e_1 mm	h_1 mm	w_1 mm	Ø mm	Características referidas ao eixo x-x I_x cm⁴	W_x cm³	i_x cm	y-y I_y cm⁴	W_y cm³	i_y cm	Momento estático de meia secção S_x cm³	Posição do centro de gravid. x_1 cm	Dist. entre centros de comp. e de trac. h cm	Momento de inércia à torção J_t cm⁴	Área a pintar A_p m²/m
30 a	1,74	2,21	30	15	4	4,5	2	3,9	11,8	10	4,3	2,53	1,69	1,07	0,38	0,39	0,42	1,09	0,52	2,32	0,152	0,103
30	4,27	5,44	30	33	5	7	3,5	5,7	6,3	20	8,4	6,39	4,26	1,08	5,33	2,68	0,99	2,83	1,31	2,26	0,919	0,174
40 a	2,87	3,66	40	20	5	5	2,5	4,7	19,0	11	6,4	7,58	3,79	0,141	1,14	0,86	0,56	2,43	0,67	3,12	0,383	0,141
40	4,87	6,21	40	35	5	7	3,5	5,6	11,2	20	8,4	14,1	7,05	1,50	6,68	3,08	1,04	4,47	1,33	3,15	1,01	0,199
50 a	3,86	4,92	50	25	5	6	3	5,0	25,8	16	8,4	16,8	6,73	1,85	2,49	1,48	0,71	4,23	0,81	3,97	0,580	0,178
50	5,59	7,12	50	38	5	7	3,5	5,5	21,0	20	11	26,4	10,6	1,92	9,12	3,75	1,13	6,51	1,37	4,06	1,14	0,232
60 a	5,07	6,46	60	30	6	6	3	4,8	35,6	18	8,4	31,6	10,5	2,21	4,51	2,16	0,84	6,56	0,91	4,82	0,870	0,215
65	7,09	9,03	65	42	5,5	7,5	4	5,8	33,8	25	11	57,5	17,7	2,52	14,1	5,07	1,25	10,7	1,42	5,37	1,73	0,273
80	8,64	11,0	80	45	6	8	4	6,2	46	25	13	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	15,9	1,45	6,65	2,21	0,312
100	10,6	13,5	100	50	6	8,5	4,5	6,5	64	30	13	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	24,5	1,55	8,42	2,96	0,372
120	13,4	17,0	120	55	7	9	4,5	6,8	82	30	17/13	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,50	36,3	1,60	10,0	4,30	0,434
140	16,0	20,4	140	60	7	10	5	7,6	98	35	17	605	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	51,4	1,75	11,8	6,02	0,489
160	18,8	24,0	160	65	7,5	10,5	5,5	7,9	115	35	21/17	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89	68,8	1,84	13,3	7,81	0,546
180	22,0	28,0	180	70	8	11	5,5	8,2	133	40	21	1 350	150	6,95	114	22,4	2,02	89,6	1,92	15,1	9,98	0,611
200	25,3	32,2	200	75	8,5	11,5	6	8,5	151	40	23/21	1 910	191	7,70	148	27,0	2,14	114	2,01	16,8	12,6	0,661
220	29,4	37,4	220	80	9	12,5	6,5	9,3	167	45	23	2 690	245	8,48	197	33,6	2,30	146	2,14	18,5	17,0	0,718
240	33,2	42,3	240	85	9,5	13	6,5	9,6	184	45	25/23	3 600	300	9,22	248	39,6	2,42	179	2,23	20,1	20,8	0,775
260	37,9	48,3	260	90	10	14	7	10,4	200	50	25	4 820	371	9,99	317	47,7	2,56	221	2,36	21,8	23,7	0,834
280	41,8	53,3	280	95	10	15	7,5	11,2	216	50	25	6 280	448	10,9	399	57,2	2,74	266	2,53	23,6	33,2	0,890
300	46,2	58,8	300	100	10	16	8	12	232	55	28	8 030	535	11,7	495	67,8	2,90	316	2,70	25,4	40,6	0,950
350	60,6	77,3	350	100	14	16	8	13,9	282	58	28	12 840	734	12,9	570	75,0	2,72	459	2,40	28,6	63,2	1,047
400	71,8	91,5	400	110	14	18	9	15,6	324	60	28	20 350	1 020	14,9	846	102	3,04	618	2,65	32,9	85,2	0,182

Fonte: Tabelas técnicas, (pag. 255).

Figura 7- Treliça Pratt de perfis UNP e LNP.



Fonte: Autor.

- Relativamente às extensões de 60m, o projeto prevê que o tabuleiro seja constituído por lajes pré-fabricadas, com dimensões por determinar mais para frente, (ou especificações de fabricante), assentes em pilares de Betão e estes por sua vez apoiado de sapatas flexíveis a serem eventualmente dimensionados, todos estes elementos estruturais. Estima-se então que serão necessárias segundo o vão de 60m, seis lajes pré-fabricadas maciças (três em cada lado), de Betão armado com um comprimento de 20m e largura de 10m igualmente ao vão livre da ponte; E no final da montagem os guarda-corpos deveram ser colocados continuamente em toda a ponte.

Chapas metálicas

Rodovia

Em relação ao pavimento que será destinado ao de transito rodoviário, vejamos a seguir as especificações abaixo tabeladas com as chapas lisas de aço galvanizado;

Tabela 4- Dimensões de chapa lisa de aço galvanizado.

7.3 — Chapa

7.3.1 — *Chapa lisa de aço galvanizado*

N.º	Massa (kg) de chapas de dimensões (m)						
BG(1)	1,80 × 1,00	2,00 × 1,00	2,20 × 1,00	2,50 × 1,00	2,50 × 1,25	3,00 × 1,00	3,00 × 1,50
5/16"	112,150	124,611	137,072	155,764	194,705	186,916	280,375
3/8"	134,588	149,542	164,497	186,928	233,660	224,314	336,471
7/16"	157,013	174,458	191,904	218,073	272,591	261,688	392,532
1/2"	179,451	199,390	219,329	249,237	311,547	298,085	448,627
9/16"	201,875	224,306	246,736	280,382	350,478	336,159	504,688
5/8"	224,314	249,237	274,161	311,547	389,434	373,856	560,784
3/4"	269,177	299,085	328,993	373,856	467,320	448,627	672,941
7/8"	314,039	348,932	383,826	436,166	545,207	523,399	785,098
1"	358,902	398,780	438,658	498,475	623,094	598,170	897,255

Fonte: Tabelas técnicas, (pag. 294).

Segundo a secção escolhida 3m*1m marcada na tabela anterior, e colocada como sendo a largura 1m e comprimento 3m de chapa, teríamos transversalmente 7 e longitudinalmente, ou seja, ao longo do vão da ponte, um total de 80 chapas, o que significa que para cobrir todo o tabuleiro

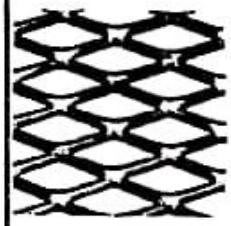
seriam necessárias 560 chapas lisas de aço galvanizado, com espessura de 1” equivalente a 25mm.

Passeio

Para travessia dos peões, o passeio com uma largura de 1,0m e o comprimento igualmente ao vão da ponte, com um total de 360m. O pavimento terá de ser feito em chapa metálica, em aço distendido, (segundo as tabelas técnicas);

Foi então escolhido [Gradil T 6/85 (Painéis de 1m*6m); Abertura das malhas (9.5cm*4.0cm); Abertura das barras que formas as malhas (5 mm*8.5mm); Massa (14 kg/m^2)].

Tabela 5- Chapa metálica para o passeio.

	Em aço distendido Gradil 8/80 PD (Painéis de 1 m × 2,5 m)	4,0 × 1,0	4 × 8	26
	Gradil 8/80 (Painéis de 1 m × 3 m)	4,2 × 1,2	4 × 8	22
	Gradil 8/70 (Painéis de 1 m × 3,5 m)	4,2 × 1,2	4 × 7	19
	Gradil 11/70 (Painéis de 1 m × 3,5 m e 1,25 m × 4,5 m)	4,0 × 1,4	3 × 7	14
	Gradeal 8/85 (Painéis de 1 m × 4 m)	6,8 × 2,8	4 × 8,5	16
	T 6/85 (Painéis de 1 m × 6 m)	9,5 × 4,0	5 × 8,5	14
	Gradil Esteira 11/40 (Painéis de 1 m × 2,5 m)	2,0 × 0,2	3 × 4	20

Fonte: Tabelas técnicas, (pag.292).

Assim sendo para cada um dos passeios, segundo as dimensões apresentadas pela tabela, teríamos um total de 60 chapas, totalizando 120 chapas destinadas aos passeios para toda a ponte suspensa.

As chapas deverão ter de altura/espessura 150 mm; Posicionadas ou fixas por um tipo de ligação metálica a especificar adequadamente nos próximos capítulos.

Dimensionamento

Já determinado o número de chapas que o tabuleiro deve levar o tipo de chapas e o material, a massa especifica; O dado mais importante é a massa.

As chapas metálicas entram no dimensionamento da superestrutura da ponte fazendo parte do peso próprio do tabuleiro devido sua carga permanente no conjunto de camadas que o constituem, e é somente esse o objetivo da necessidade de escolher o material segundo as especificações técnicas que constam nas tabelas técnicas, no caso deste projeto de dimensionamento.

Camada de Betão Armado

O tabuleiro deverá levar uma laje de Betão armado, com características a determinar através de cálculos segundo os critérios de dimensionamento de laje e sua disposição construtiva, que constam nos regulamentos conhecidos (REBAP, RSA);

Esta camada, que deverá cobrir toda a extensão da ponte, será então formada por uma laje maciça com um comprimento de 360m, com largura delimitada pelos passeios para os peões, ou seja, 7m de largura. A altura da laje segundo o REBAP (Artigo 102.º – Espessura mínima):

102.1 – A espessura das lajes maciças não deve ser inferior aos valores seguintes:

7 cm, no caso de lajes submetidas principalmente a cargas distribuídas;
10 cm, no caso de lajes submetidas a cargas concentradas relativamente importantes;
12 cm, no caso de lajes submetidas a cargas concentradas muito importantes;

As condições impostas pelo regulamento representam três casos que farão referência a situação da superestrutura, isto é, o calculo da superestrutura é a contar com as cargas concentradas dos veículos, e as distribuídas do peso próprio dos materiais que compõe a estrutura. Portanto, deve-se levar em conta o menor valor, citado no artigo anteriormente apresentado, nesse caso, conclui se que a espessura da laje de Betão armado devera ter um valor mínimo de 7 cm.

Camada de revestimento

Para o pavimento rodoviário, o projeto prevê a execução do revestimento do pavimento em asfalto, em que normalmente tem uma camada com uma espessura de 8 a 15 cm, no caso do presente projeto a camada de revestimento em asfalto terá 10 cm de espessura.

Inclinação do tabuleiro

Sendo que em termos práticos há necessidade de construir sempre o pavimento das vias de comunicação, para o escoamento das aguas quando chove, é uma solução utilizada para evitar o rápido desgaste do pavimento. Determina-se uma inclinação do tabuleiro de 1%.

Torres principais

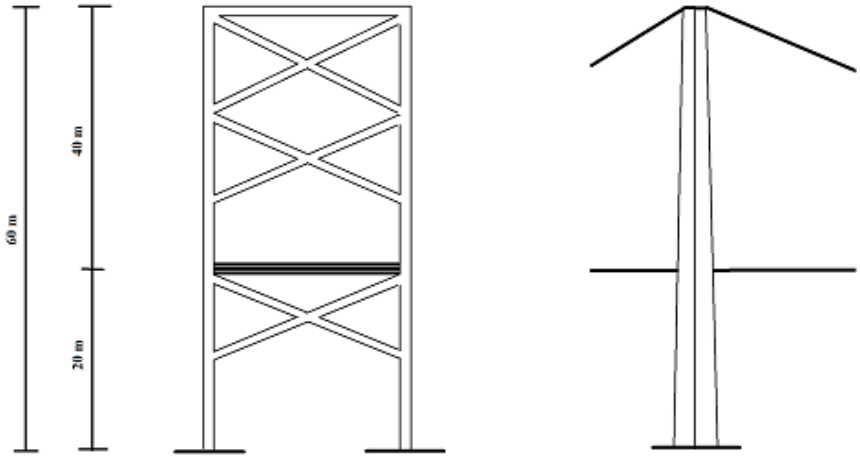
Caracterização e referências

O presente projeto está previsto o dimensionamento de duas torres em Betão, que deverão ser construídas nas extremidades do vão livre da ponte. Em geral, as torres de uma ponte suspensa devem ter de altura 20% a 25% do vão livre da estrutura. Neste caso considerando 25%, sendo que o vão livre da ponte suspensa tem 240 m de comprimento, as torres de Betão terão de ter uma altura de 60 m, a partir do nível médio das aguas. Em que dos 60 m, 20 m corresponde a altura do tabuleiro em relação ao solo. Sem se esquecer de que deflexão dos cabos influencia na altura das torres, sendo que o cabo com maior comprimento terá de ter um ângulo de inclinação de 25^{o}, segundo um estudo de Walther et al (1985), a ser ainda retificado, caso necessário, no processo de dimensionamento dos cabos de suspensão.

As torres são o suporte da segurança dos cabos principais que irão manter fixos e verticalmente posicionados os cabos pendurais.

Por outro lado, sendo uma ponte mista, além dos cabos pendurais que partem dos cabos principais para as torres, serão ancorados os estais que partem do tabuleiro diretamente para as torres da ponte.

Figura 8- Torres principais; Vistas Frontal e em perfil.



Fonte: Autor.

Dimensionamento

Calcular as torres principais da ponte consiste não mais que determinar a sua altura, como foi abordado no ponto anterior, após determinar que a altura da torre correspondera a 25% do comprimento do vão (60m), importa determinar quais serão as condições de colocação dos cabos principais, as torres têm as funções de sustentar o tabuleiro e também os cabos, contudo, as cargas a que o tabuleiro estará sujeito não terá influencia na estruturação e características da torre, mas sem esquecer o facto de que no topo das torres deveram existir dispositivos de amarração para os cabos principais preparados para suportar as cargas que passarão do tabuleiro para os cabos pendurais e depois aos cabos principais.

Cabos suspensão, principais, pendurais e estais.

Caracterização e referências

Como foi abordado anteriormente, os cabos de suspensão utilizados em pontes, neste caso suspensas, são formados por cordões ou fios de aço, unidos segundo um modelo de formação e segundo dimensões necessárias variando de projeto para projeto, com o fim de substituir o máximo possível a utilização de infraestruturas para o suporte das cargas provenientes da superestrutura de uma ponte.

Segundo as tabelas técnicas o tipo de cabo a utilizar e o denominado Strand Rope, com estrutura formada por seis grupos de fios que circundam um grupo central, como demostra a tabela abaixo.

Quadro 3- Forma e estrutura do cabo.

Nome	Forma da Secção	Estrutura
Parallel Wire Strand		Os fios estão juntos de forma hexagonal e de forma paralela
Strand Rope		Seis grupos formados por grupos de fios circundam um grupo central
Spiral Rope		Fios estão aplicados em várias camadas
Locked Coil Rope		Fios deformados são utilizados para as camadas exteriores da corda espiral

Fonte: Martins, 2009.

Figura 9- Tipo de cabo a utilizar,

Fonte: Nisbett, (2018).

A escolha do cabo a utilizar nas estruturas e principalmente na construção de pontes, embora a geometria do cabo seja relevante, o que dita são as cargas que estes cabos terão que suportar. Para todos os pontos de aplicação de cabos de suspensão, podemos encontrar a mesma estrutura do cabo, mas com dimensões diferentes; Quanto maior o esforço, maior e o diâmetro total do cabo, da mesma forma que para esta ponte e qualquer ponte suspensa, quanto maior o vão, mais esforço, logo ou devem ser colocados pequenos cabos ao longo de todo o vão, ou no cabo de um numero reduzido de cabos, maiores devem ser as suas dimensões.

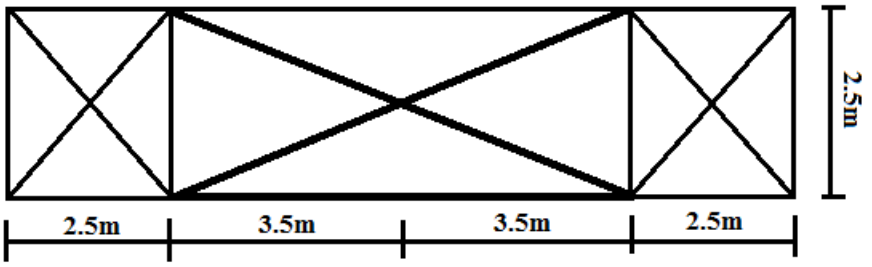
Os cabos pendurais deverão ser ancorados de duas formas, segundo as características dos dois tipos de ponte suspensa; No caso da ponte Estaiada os cabos devem ter de 15 a 25m de espaçamento, enquanto que para a ponte pênsil os espaçamentos tendem a ser menores que 10m entre os cabos.

Para os cabos denominados Estais da parte Estaiada da ponte, determina-se desde já um distanciamento entre os cabos de 10m, na escolha de colocação de apenas 6 cabos Estais, fica-se com apenas com o vão de 180m, em que ao se determinar um distanciamento entre os cabos de 4m, consequentemente seriam necessários 45 cabos pendurais.

Transversalmente, nas extremidades do tabuleiro os cabos formam duas fileiras de 51 cabos, teríamos um total de 102 cabos em todo o tabuleiro, que devem ser ancorados junto aos nos das treliças.

A cada nó da treliça onde devem estar fixos os cabos, as barras das vigas treliçadas devem ter duas barras metálicas em X como contraventamento, denominadas transversinas, como ilustra a figura abaixo.

Figura 10- Vigas treliçadas em secção transversal, com transversinas nos pontos com ancoragens.



Fonte: Autor.

Dimensionamento

Cabos principais

No dimensionamento da secção transversal dos cabos principais existem duas partes, em que a primeira consiste na escolha da secção, e ignorando o peso próprio dos cabos, fazer o calculo das reações vindas do tabuleiro sendo estas cargas permanentes e sobrecargas, e por outro lado fazer o levantamento e uso de todas essas cargas permanentes e sobrecargas para obter a secção transversal do cabo.

Ainda com relação ao dimensionamento dos cabos, importa referir que são encontradas e tomadas em consideração duas possibilidades, que influem na estrutura que fazem variar a posição dos cabos, uma e quando os cabos principais estão sujeitos a cargas distribuídas e outra quando recebe cargas concentradas.

Estas variações têm formas de calculo diferentes embora o final, o objetivo de calculo seja o mesmo, são de extrema importância porque a posição dos cabos na estrutura da ponte influencia na forma como estes trabalham as cargas que recebem do tabuleiro.

Cabos pendurais

O dimensionamento dos cabos de suspensão pendurais da ponte consiste na determinação da forca que será a resultante vinda do tabuleiro para os cabos, assim sendo as caraterísticas geométricas de composição ou formação dos cordões, principalmente destes cabos, no dimensionamento e de tamanha importância sendo que estes tem o papel de estabelecer na estrutura num todo um equilíbrio de forcas ao longo da superestrutura.

Em geral a analise e calculo dos cabos destes cabos requer reconhecer o seu desempenho na estrutura, obtendo depois, ou escolhendo antes do dimensionamento, a secção transversal do cabo, levar em conta a sua posição vertical na estrutura já sabendo a priori como as forças serão distribuídas ao longo do tabuleiro sejam elas cargas permanentes ou sobrecargas, em direção aos cabos, as tensões máximas de cedência do aço que será a de todos os cabos; Todos estes dados e elementos jogados em expressões de calculo criadas para auxiliar no levantamento das limitações da estrutura dos cabos segundo sua função no projeto.

Estais

Nas pontes estaiadas os cabos são fixos no tabuleiro e suportados diretamente pelas torres.

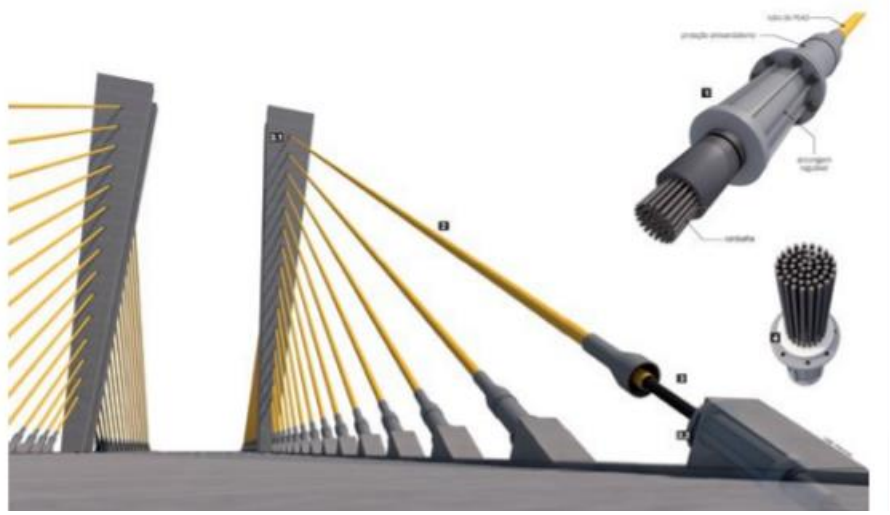
Ancoragem

Caracterização e referências

Denominados ancoragens são os dispositivos de amarração de cabos de reforço nas estruturas; No caso de pontes suspensas, as ancoragens podem ser de dois tipos, com dimensões reduzidas, pequenas pecas de amarração de cabos pendurais nos tabuleiros e nas torres principais, o outro tipo já construído geralmente debaixo de solos, com maiores dimensões segundo o vão da ponte, bloco de ancoragem como demostrado na Figura 8, do capitulo 1.

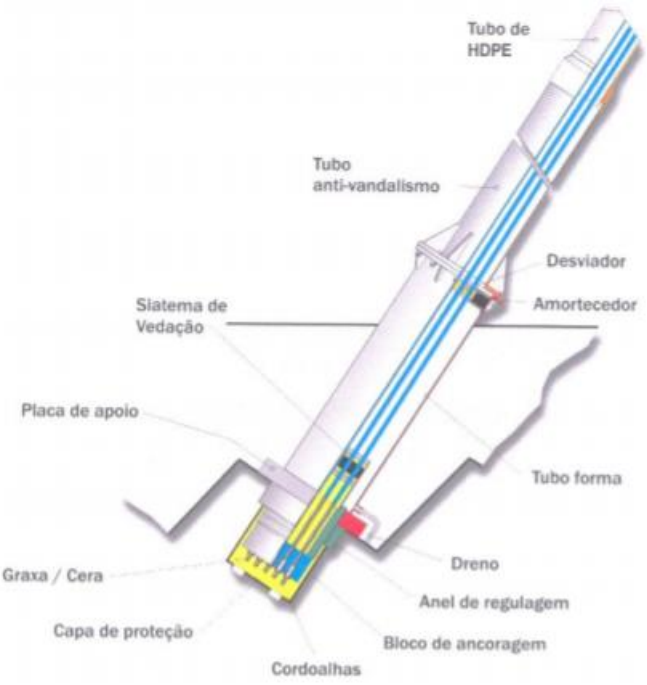
Ainda com relação aos dispositivos de amarração de cabos de suspensão, temos os de cabos pendurais e de estais para pontes estaiadas, no que surge a diferença entre si no ponto de amarração nas torres da ponte.

Figura 11- Dispositivo de amarração dos cabos, (Ancoragem).



Fonte: Nisbett, (2018).

Figura 12- Ancoragem ativa, estrutura interna.



Fonte: Nisbett, (2018).

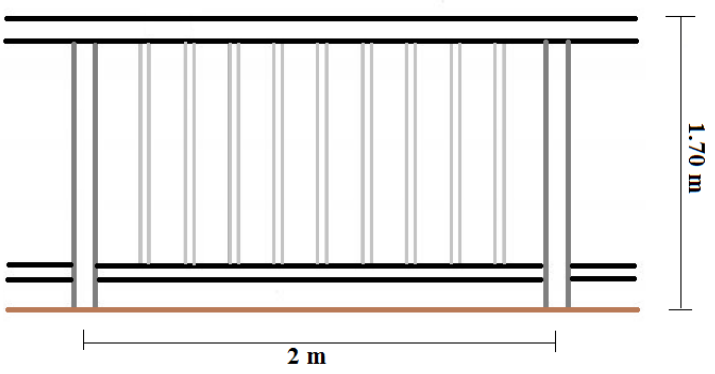
4.1.5. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS NÃO ESTRUTURAIS

Guarda-corpos

Caracterização e referências

Os guarda-corpos são peças laterais de proteção aos pedestres. Deverão fixados nas extremidades dos passeios com altura 1,70 m; Feito em material metálico, os guarda-corpos devem estar fixos por meios de parafusos ou ate mesmo soldadura, caso necessário, na camada de chapas destinada aos passeios de ambos os lados da ponte, como forma de garantir que esteja fixo e contribua na segurança dos pedestres.

Figura 13- Guarda-corpos



Fonte: Autor.

No dimensionamento da ponte não chega a ser necessariamente preciso calcular o peso total dos guarda-corpos a utilizar, embora que dependendo do material o seu peso especifico terá o seu contributo no peso próprio do tabuleiro, ainda levando em conta os perfis escolhidos e outras especificações técnicas, o presente projeto ira optar por fazer o uso somente do valor de sobrecarga permanente contido nos regulamentos de dimensionamento de estruturas.

Guarda-rodas

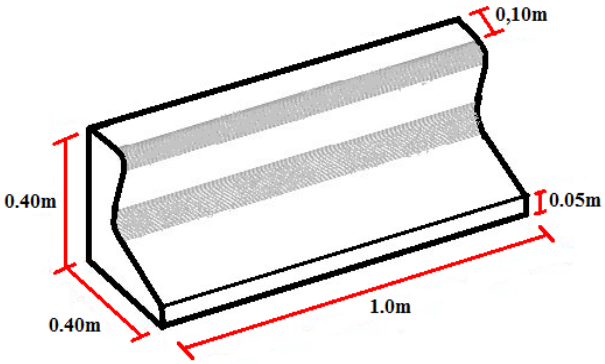
Caracterização e referências

O guarda-rodas são peças que podem ser de qualquer material de construção, Betão ou metal construído nas vias fazendo parte da pavimentação e com dimensões de modo a anular por completo a possibilidade de os veículos escalarem os passeios, solução frequentemente utilizada

em pontes e viadutos; Essas pecas são parte de uma das soluções de construção de um guarda-rodas.

Estaa previsto no presente projeto, como solução para o guarda-rodas, a utilização de lancis de segurança, feitos em Betão, para proteger os passeios.

Figura 14- Lancil de segurança.



Fonte: Autor.

4.1.6. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DA PONTE SUSPENSA (HÍBRIDA)

Para a concepção da ponte, foram tomadas em conta em termos teóricos, como base, o histórico da estrutura da ponte existente atualmente sobre o Rio Umbeluzi, o tipo de ambiente em si, e de um modo geral, na pratica, a localização em estudo de caso, topografia da região em causa, a natureza cargas a que se preve que a nova estrutura estara sujeita em suas novas condições relação as dimensões, todos estes aspectos de modo a proporcionar para a população da vila de boane facilidade e segurança ao atravessar o rio Umbeluzi.

4.1.7. PROCESSOS CONSTRUTIVOS

O presente projeto de dimensionamento é de uma ponte suspensa do tipo Pênsil e Estaiada, ao mesmo tempo, uma mistura das duas tipologias de pontes, que é denominada ponte **Híbrida**.

A concepção básica de uma ponte suspensa pênsil é composta por pilares, cabos principais, cabos de suspensão, tabuleiro de pistas e pontos de ancoragem.

O tabuleiro de pistas é suportado pelos cabos de suspensão, o peso do tabuleiro tracciona os cabos que trabalham perfeitamente na vertical (para a parte denominada pênsil), essa carga e então distribuída pelos cabos principais, inclusive estes cabos tem uma secção muito maior, pois recebe as cargas de todos os cabos verticais.

Os cabos principais ligam-se aos pilares, que por sua vez recebem essa carga e direciona para as fundações, dessa forma as dissipando; Mas essa distribuição de cargas da ponte pênsil só é possível graças à aplicação dos pontos de ancoragem que fica nas extremidades dos acessos da ponte; Estes pontos de ancoragem são responsáveis pelo equilíbrio de forcas, pois caso não existissem, os pilares sofreriam uma flexão, seria então necessário uma rigidez muito maior para resistir aos esforços.

Com o emprego da ancoragem, equilibrando o sistema os pilares trabalham com uma compressão simples, permitindo uma economia significativa no projeto.

A construção de uma ponte pênsil bem como estaiada, começa na execução das fundações e pilares de apoio em simultâneo os pontos (blocos) de ancoragem também são construídos, após essas etapas são instalados os cabos principais permitindo o início da construção do tabuleiro por trechos, onde a cada nova secção um conjunto de cabos de suspensão eram instalados para suportar a estrutura das pistas, começando junto aos pilares e ai o processo e repetido até que se encontrem no meio do vão e nas extremidades de acesso à ponte.

Na parte estaiada da ponte deve-se considerar que um certo número dos cabos estais, que seriam considerados pendurais, ao em vez de ligados aos cabos principais são ancorados directamente as torres principais.

4.2. MEMÓRIA DE CÁLCULO

A presente memória de cálculo, e referente ao projecto de dimensionamento da estrutura metálica de uma ponte sobre o Rio Umbeluzi, como já abordado anteriormente trata-se de uma ponte suspensa; Foi feita uma breve introdução daquilo que são os seus elementos de superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, passa-se entao em seguida, a calcular entrando em minimos detalhes cada um desses elementos (somente para a superestrutura).

4.2.1. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

A concepção e dimensionamento desta ponte metálica destinada a fins civis para tráfego rodoviário, será feito baseado em alguns documentos normativos como o RSA, o REBAP, fazendo a aplicação de conhecimentos estatísticos atuais de cargas e desenvolvimento estrutural, considerando ainda conceitos relevantes e fazer estudo acções especificas, combinação de ações considerando no dimensionamento dos elementos estruturais os estados limites seguintes: estados limites últimos (ELU) e estados limites de serviço (ELS), e verificação de segurança da estrutura que é no que consiste o pré-dimensionamento.

4.2.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO

Relativamente ao método de calculo da superestrutura, é importante referir que a base é precisamente a treliça, ou seja, é a partir das vigas treliçadas que se pretende resolver o primeiro passo, que é o calculo do peso próprio do tabuleiro.

Começando então por reunir todas as cargas permanentes, o peso próprio do pavimento em função do peso especifico dos materiais constituintes do piso e sobrecargas permanentes e com o auxilio de uma ferramenta de calculo, aplicar todas as cargas nas vigas treliçadas para adquirir os esforços internos e as reações de apoio, os momentos positivos e negativos, enfim todo o carregamento do tabuleiro da ponte que os cabos terão de suportar.

O calculo do carregamento nas treliças, será feito primeiro só para as cargas permanentes em seguida só as cargas variáveis, para a análise do comportamento do tabuleiro, com o auxílio da ferramenta de cálculo Ftool.

Após os resultados valores do carregamento que ira direto ao tabuleiro devem ser feitos os cálculos das tensões nos cabos.

4.2.3. ACÇÕES

As ações e solicitações de cargas pelas quais a estrutura estará sujeita, classificam-se em permanentes e variáveis, que em função do tempo considera-se que o valor das ações permanentes e constante durante a vida útil da estrutura e o valor das ações variáveis pode variar com o tempo.

Em pontes as ações permanentes são: o peso próprio da estrutura que inclui o pavimento, os guarda-corpos, os guarda-rodas, que são elementos estruturais e não estruturais de caráter permanente na ponte; Quanto às ações variáveis são consideradas: as cargas de tráfego rodoviário, forca de travagem ou frenagem, o vento e temperatura ambiente.

4.2.4. QUANTIFICAÇÃO DAS ACÇÕES

4.2.4.1. ACÇÕES PERMANENTES

Quantificação do peso próprio do pavimento

O peso próprio do pavimento da ponte, consiste na carga total do somatório dos pesos dos elementos que o constituem.

Tabela 6- Pesos específicos dos materiais de construção.

Material de construção	Peso [KN/m^{3}]
Aço	77
Asfalto	18
Betão Simples	24
Betão Armado	25

Fonte: REBAP.

- **Chapas metálicas**

No cálculo do peso total das chapas necessárias na construção da ponte, deve-se primeiramente calcular o peso de uma chapa (em função do peso especifico do material, e as dimensões dadas por chapa), em seguida multiplicar pelo numero de chapas a utilizar, segundo as dimensões escolhidas nas tabelas técnicas, no caso, tanto para as chapas a serem colocadas no pavimento rodoviário, tanto para o pavimento do passeio, as tabelas técnicas fornecem logo o valor de peso

de uma peça, tais valores serão utilizados então para o mesmo efeito, mas passando primeiro por multiplicar pelo numero de chapas calculado anteriormente.
Multiplicar resultado das chapas por 1.25, coeficiente de majoração das ligações e acessórios das chapas.

- **Rodovia**

- Peso dado (P_o) = 598.170 kg/m^2 => 5.866KN/m^2

- Nr. de chapas (Nr_{chapas}) = 560 chapas

- Carga total = $P_0 \times Nr_{chapas} = 5.866 \times 560 = 351.96 KN/m^2$

- **Passeio**

- Peso dado (P_o) = 14 kg/m^2 => 0.14KN/m^2

- Nr. de chapas (Nr_{chapas}) = 120 chapas

- Carga total = $P_0 \times Nr_{chapas} = 0.14 \times 120 = 16.8 KN/m^2$

- **Peso próprio da laje de Betão**

O valor do peso próprio da laje depende principalmente da sua espessura; Esta acção resulta da área da secção transversal da laje de Betão, multiplicada pelo seu peso volúmico, seja o valor de espessura de 0.25m e considerando o peso especifico do Betão armado:

$$Pp_{laje}\ [KN/m^2] = e[m] \times Peso\ [KN/m^3]$$

$$\Rightarrow \quad Pp_{laje}\ [KN/m^2] = 0.25 \times 25 = 6.25 KN/m^2$$

Quantificação do revestimento

No projeto, o revestimento do pavimento e em asfalto; O valor do peso próprio da camada de revestimento e dado pelo peso volumico multiplicado pela espessura da camada e pela largura do tabuleiro.

$$Pp_{rev.}\,[KN/m] = e_{asfalto}\,[m] \times P\,[KN/m^3]$$

$$\Rightarrow\ Pp_{rev.}\,[KN/m^2] = \ 0.10\ \times 18 \times 7 = \ 1.8\,KN/m^2$$

Quantificação das restantes cargas permanentes

- **Passeios**

Segundo o Artigo 44.1^0 do R.S.A., deve ser considerada a sobrecarga uniformemente distribuída do passeio das pontes rodoviárias, num valor de 3 KN/m^2; Os coeficientes de combinação da pressão dinámica do vento são: $\Psi_0 = 0.6$; $\Psi_1 = 0.4$; $\Psi_2 = 0.2$.

- **Guarda-corpos**

No cálculo do peso próprio do tabuleiro formado num todo com todos os seus elementos (as vigas treliçadas, as camadas de chapas metálicas, de Betão e o revestimento e outros), este elemento entra com o seu valor de sobrecarga de 1.5KN/m, segundo o Artigo 44.2^o do R.S.A., onde no projeto devera ser considerada como uma carga horizontal, aplicada no nível superior dos guarda-corpos. Os correspondentes valores reduzidos são nulos.

- **Guarda-rodas**

Os lancis são pecas pré-fabricadas com peso especifico padronizado proporcional às dimensões existentes variando entre os fabricantes, contudo, embora se tenha o peso por peca de lancil, pretende-se utilizar no dimensionamento um valor de sobrecarga do guarda-rodas de 20KN, uma forca concentrada e considerada como sendo horizontal, segundo o Artigo 44.3^0 do R.S.A. Este valor de carga do guarda-rodas também será adicionado no calculo do peso próprio do tabuleiro por ser uma sobrecarga permanente. Os correspondentes valores reduzidos são nulos.

- Coeficiente de majoração das ligações da treliça = 1.15 multiplica-se na carga total.

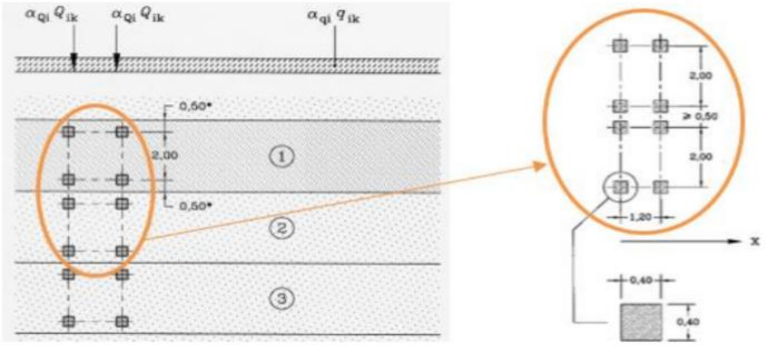
4.2.4.2. AÇÕES VARIAVEIS

Quantificação da carga rodoviária

Notando a dificuldade de localização de qualquer atualização regulamentar relativamente as cargas rodoviárias para o dimensionamento de pontes metálicas, no lugar de fazer a utilização

dos padrões de carga fornecidos pelo R.S.A. (dado 200 KN), optou-se por fazer uso dos valores indicados abaixo pelo Eurocódigo 1parte 2.

Figura 15- Modelo de carga rodoviária.



Fonte: manual ponte 80m - (adaptado EN 1991-2, 2003)

O eurocódigo fonece para o dimensionamento da ponte, alguns modelos de carga a utilizar, dos quais optou-se por utlilizar o primeiro.

A tabela abaixo ilustra os valores de carga rodoviária para cada modelo, passando se a utilizar 300 KN por eixo para cargas concentradas e 9 KN/m^2 por eixo para cargas destribuidas. No calculo da carga total é necessario ainda no caso do presente projecto, multiplicar o valor tabelado por eixo, pelo maior numero de eixos a passar na estrutura;

- Numa visita de estudo ao local de estudo de caso o Autor presenciou a travessia da ponte de 6 camiões da ***Empresa LALGY*** seguidamente, inclusive cada um destes deveria passar por sua vez, nunca ao mesmo tempo, devido as dimensões da ponte existente atualmente sobre o Rio Umbeluzi, o que automaticamente implicaría que nenhum pedestre tivesse a chance de atravessar ao mesmo tempo a este veículo pesado, ou então se assim fosse o mesmo correrria riscos.
- O veiculo pesado tem até 9 eixos, significa entao que do valor de carga concentrada tabelado de 300 KN passa a se considerar o valor de carga = 2700 KN, no caso, a carga uniformemente destribuida passa a ser 81 KN/m^2.
- O R.S.A. menciona que em combinações de acções o veículo pode ser considerado posicionando-se em qualquer ponto da via, e no caso de haver 2 faixas ha necessidade de

considerar em pelomenos um ponto de cada uma das faixas. Logo, 162 KN/m^2 é o valor de carga rodoviaria a utilizar nos proximos calculos.

Tabela 7- Valores caracteristicos do modelo de carga 1.

Localização	Cargas concentradas	Cargas uniformemente distribuídas
	Carga por eixo - Q_{ik} (kN)	q_{ik} (kN/m^2)
Via número 1	300	9
Via número 2	200	2,5
Via número 3	100	2,5
Outras vias	0	2,5
Restante área (q_{rk})	0	2,5

Fonte: manual ponte 80m - (adaptado EN 1991-2, 2003)

Segundo o Artigo 41.1^0 do R.S.A., os coeficientes de combinação da carga rodoviária são:
- $\Psi_0 = 0.6$; $\Psi_1 = 0.4$; $\Psi_2 = 0.2$.

Quantificação da força de frenagem

A força de frenagem é uma força que atua ao nível do pavimento das faixas de rodagem em pontes rodoviárias; Considerada força longitudinal e uniformemente distribuída no pavimento, para obter o efeito resultante da variação de velocidade dos veículos na ponte.

O valor característico da forca de frenagem segundo o Artigo 43^0 do R.S.A., é de 30 KN/m.

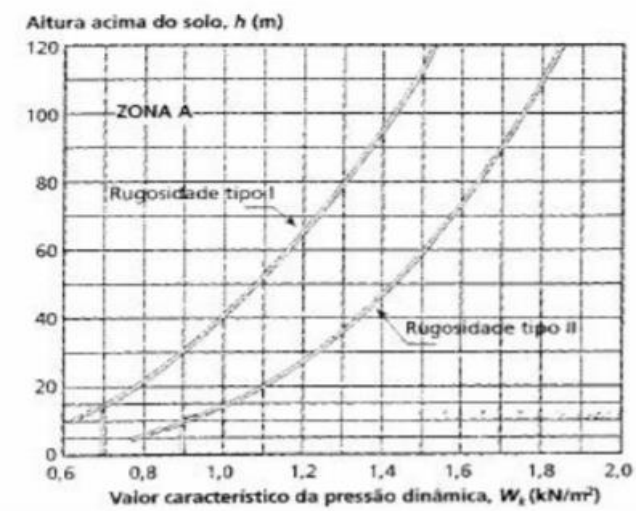
Quantificação do vento

A quantificação do vento em ação, numa estrutura e de extrema importância, principalmente em pontes que quanto maior a altura em relação ao solo mais solicitada e pelo vento; A ação do vento testa a rigidez da estrutura, e são inúmeros os fatores a ter em conta para a quantificação no dimensionamento da ponte.

Na analise da quantificação da ação do vento da superestrutura da ponte, segundo o Artigo 21^0 do R.S.A., e necessário ter em conta a rugosidade aerodinâmica do solo, no presente projeto depara-se com a rugosidade aerodinâmica do solo tipo II, classificação referente a zonas rurais e periferia de zonas urbanas.

O valor característico da pressão dinâmica do vento, apresentado na tabela e no ábaco abaixo, e estimado em função da altura da ponte em relação ao solo e a rugosidade determinada anteriormente.

Tabela 8- Pressão dinâmica do vento (w_k)



h (m)	w_k (kN/m²) I	II
0	0,70	0,90
10	0,70	0,90
15	0,70	1,04
20	0,79	1,12
25	0,85	1,19
30	0,91	1,25
35	0,96	1,30
40	1,01	1,35
50	1,09	1,44
60	1,17	1,52
70	1,24	1,59
80	1,31	1,65
100	1,43	1,76
120	1,54	1,86

Fonte: R.S.A.

Porque a altura determinada para a ponte e de 20 m do solo, pelo que neste caso existe uma rugosidade tipo II, o valor de pressao dinamica do vento é de 1.12 KN/m^2.

A accao horizontal do vento sobre o tabuleiro da ponte pode ser quantificada em funcao da pressao dinamica do vento e o coeficiente de forca, dados pela seguinte expressao:

$$\boldsymbol{q_{wk}\,[KN/m^2]} \;=\; \boldsymbol{\delta_f \times w_k}$$

Segundo o Anexo I (3.8- coeficiente de forca), o valor a utilizar é de 1.5; Sendo dada anteriormente a pressão dinâmica do vento, passa-se a ter:

$$\boldsymbol{q_{wk}\,[KN/m^2]} \;=\; 1.5 \times 1.12 = 1.68\; KN/m^2$$

Segundo o Artigo 24.3^0 do R.S.A., os coeficientes de combinacao da pressao dinamica do vento sao: $\Psi_0 = 0.4$; $\Psi_1 = 0.2$; $\Psi_2 = 0$.

Quantificação da temperatura

Embora não apresente, o projeto prevê juntas de dilatação a adicionar a estrutura, como solução para nos caso da estrutura estar sujeita a variações diferenciais e/ou uniformes de temperatura, haver livre dilatação dos elementos estruturais metálicos, tais que não seja de dimensões que resultem em colapso da mesma. Esta solução torna desnecessária a quantificação da temperatura para a ponte.

4.2.5. COMBINAÇÃO DAS ACÇÕES

4.2.5.1. COMBINAÇÃO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS, (E.L.U.).

Os estados limites últimos (E.L.U.) são referentes a uma situação de colapso da estrutura, devido a ruptura e desgaste repentinos dos elementos estruturais por não ter se respeitado os regulamentos necessários para dimensionar a estrutura nas condições em causa.

Combinação fundamental

$$Sd = \gamma_{gi} \sum_{i=1}^{m} S_{Gik} + \gamma_q \left[S_{Q1k} + \sum_{j=2}^{n} \Psi_{0j} \times S_{Qjk} \right]$$

4.2.5.2. COMBINAÇÃO AOS ESTADOS LIMITES DE SERVICO, (E.L.S.).

Os estados limites de utilizacao ou servico (E.L.S.) sao referentes a ocorrencia de deformacoes excessivas nas estruturas; O dimensionamento de estruturas segundo estes estados é com o objectivo de reduzir ou mesmo anular as chances de ocorrência de vibrações desconfortaveis aos usuários garantindo e verificando o correto funcionamento de todos elementos estruturais.

Combinação rara: que corresponde ao estado limite de muito curta duração.

$$Sd = \sum_{i=l}^{m} S_{Gik} + \left[S_{Gik} + \sum_{j=2}^{n} \Psi_{0j} \times S_{Qik} \right]$$

Combinação frequente: que corresponde ao estado limite de curta duração.

$$Sd = \sum_{i=l}^{m} S_{Gik} + \left[\Psi_{1j} S_{Glk} + \sum_{j=2}^{n} \Psi_{2j} \times S_{Qjk} \right]$$

Combinação quase permanente: que corresponde ao estado limite de longa duração.

$$Sd = \sum_{i=l}^{m} S_{Gik} + \left[\sum_{j=2}^{n} \Psi_{2j} \times S_{Qjk} \right]$$

4.2.6. COEFICIENTES DE SEGURANÇA

Coeficientes de segurança são valores que figuram nas combinações de ações das estruturas, para a verificação de segurança aos estados limites. Segundo o RSA (Artigo 9.3º), devem ser usados os seguintes coeficientes de segurança:

γ_g – carga permanente desfavorável = 1.5 γ_g – carga permanente favorável = 1.0

γ_q – carga variável desfavorável = 1.5 γ_q – carga variável favorável = 0

- Nas combinações de ações são mais levados em consideração os casos mais desfavoraveis para a estrutura. Utilizados em seguida para os cálculos de verificação de segurança.

4.2.7. VALORES DE CARGA

G_k = 728.175 KN Q_k = 192 KN; (Ψ_0 = 0.6; Ψ_1 = 0.4; Ψ_2 = 0.2)

Vento = 1.68 KN; (Ψ_0 = 0.4; Ψ_1 = 0.2; Ψ_2 = 0)

4.2.7.1. COMBINAÇÃO FUNDAMENTAL

$$Sd = \gamma_{gi} \sum_{i=1}^{m} S_{Gik} + \gamma_q \left[S_{Q1k} + \sum_{j=2}^{n} \Psi_{0j} \times S_{Qjk} \right]$$

Acção de base - sobrecarga

Nsd = 728.175 + 192 × 1.5 + 0.4 × 1.5 × 1.68 = 1017.18 KN **(+ desfavorável)**

Acção de base - vento

Nsd = 728.175 + 1.68 × 1.5 + 0.6 × 1.5 × 192 = 1191.49 KN **(+ desfavorável)**

4.2.7.2. COMBINAÇÃO RARA

$$Sd = \sum_{i=l}^{m} S_{Gik} + \left[S_{Gik} + \sum_{j=2}^{n} \Psi_{0j} \times S_{Qik} \right]$$

Acção de base - sobrecarga

Nsd = 728.175 + 192 × 1.5 + 0.4 × 1.5 × 1.68 = 1017.18 KN

Acção de base - vento

Nsd = 728.175 + 1.68 × 1.5 + 0.6 × 1.5 × 192 = 903.50 KN

4.2.7.3. COMBINAÇÃO FREQUENTE

$$Sd = \sum_{i=l}^{m} S_{Gik} + \left[\Psi_{1j} S_{Glk} + \sum_{j=2}^{n} \Psi_{2j} \times S_{Qjk} \right]$$

Acção de base – sobrecarga

Nsd = 728.175 + 192 × 0.4 × 1.5 + 0.2 × 1.5 × 1.68 = 843.88 KN

Acção de base – vento

Nsd = 728.175 + 1.68 × 1.5 × 0.2 + 0.4 × 1.5 × 192 = 843.88 KN

4.2.7.4. COMBINAÇÃO QUASE PERMANENTE

$$Sd = \sum_{i=l}^{m} S_{Gik} + \left[\sum_{j=2}^{n} \Psi_{2j} \times S_{Qjk} \right]$$

Acção de base – sobrecarga

Nsd = 728.175 + 192 × 1.5 + 0 × 1.5 × 1.68 = 1016.18 KN

Acção de base – vento

$$Nsd = 728.175 + 1.68 \times 1.5 + 0.2 \times 1.5 \times 192 = 788.30\ KN$$

4.2.8. ANÁLISE ESTÁTICA

Após a determinação das cargas solicitadas a estrutura, do valores encontrados devem ser trabalhadas as combinações mais desfavoráveis, que é o maior valor resultante encontrado.

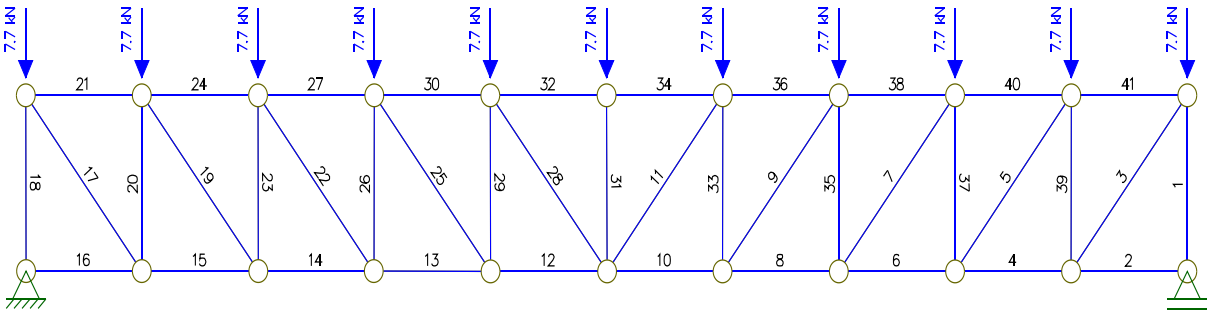
Para a colocação do valor de carga desfavorável, na treliça e calcular as reações de apoio de esforços internos (o passo a seguir), a carga será destribuida ao longo de todo o seu comprimento, em forma de cargas concentradas verticalmente nos nós, em seguida com o auxilio da ferramenta de calculo Ftool, mais abaixo apresenta-se as tabelas dos valores encontrados.

Embora a acção do vento esteja a figurar em todas as combinações feitas, viu-se a necessidade de conisderar a combinacao onde esta como accao de base, mais desfavorável, bem como a outra combinação onde não é a base, isto é, tem-se dois valores a utilizar, considerados ambos como os valores de carga que causem os efeitos mais desfavoraveis para a estrutura.

Base – sobrecarga= 1017.18 KN – Com 12 trelicas e 11 nós cada uma – 7.705 KN em cada nó.

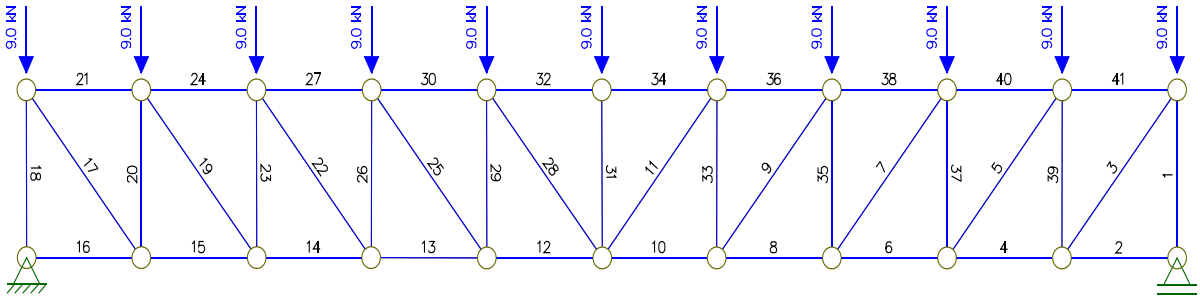
Base – vento= 1191.49 KN – Com 12 trelicas e 11 nós cada uma – 9.024 KN em cada nó.

Acção de base – sobrecarga



Barra	Valor [KN]	Barra	Valor [KN]	Barra	Valor [KN]	Barra	Valor [KN]
B_1	*-42.4*	**B_{12}**	*74.0*	**B_{23}**	*-27.0*	**B_{34}**	*-77.0*
B_2	*0*	**B_{13}**	*64.7*	**B_{24}**	*-49.4*	**B_{35}**	*-19.3*
B_3	*44.4*	**B_{14}**	*40.3*	**B_{25}**	*14.8*	**B_{36}**	*-74.0*
B_4	*27.7*	**B_{15}**	*27.7*	**B_{26}**	*-19.3*	**B_{37}**	*-27.0*
B_5	*34.5*	**B_{16}**	*-0.1*	**B_{27}**	*-64.7*	**B_{38}**	*-64.7*
B_6	*49.3*	**B_{17}**	*44.4*	**B_{28}**	*4.9*	**B_{39}**	*-34.7*
B_7	*24.7*	**B_{18}**	*-42.4*	**B_{29}**	*-11.5*	**B_{40}**	*49.2*
B_8	64.7	**B_{19}**	34.6	**B_{30}**	*-74*	**B_{41}**	*-27.7*
B_9	14.8	**B_{20}**	-34.7	**B_{31}**	*-7.7*		
B_{10}	73.9	**B_{21}**	-27.7	**B_{32}**	*-77.1*		
B_{11}	*5.0*	**B_{22}**	*24.7*	**B_{33}**	*-11.6*		

Acção de base – vento



Barra	Valor [KN]	Barra	Valor [KN]	Barra	Valor [KN]	Barra	Valor [KN]
B_1	*-0.1*	**B_{12}**	*86.3*	**B_{23}**	*-31.5*	**B_{34}**	*-89.9*
B_2	*-49.5*	**B_{13}**	*75.6*	**B_{24}**	*-57,6*	**B_{35}**	*-22.5*
B_3	*51.9*	**B_{14}**	*57.5*	**B_{25}**	*17.3*	**B_{36}**	*-86.3*
B_4	*32.3*	**B_{15}**	*32.5*	**B_{26}**	*28.8*	**B_{37}**	*-31.5*
B_5	*40.3*	**B_{16}**	*-0.1*	**B_{27}**	*-75.5*	**B_{38}**	*-75.5*
B_6	*57.5*	**B_{17}**	*51.9*	**B_{28}**	*5.7*	**B_{39}**	*-40.5*
B_7	*28.8*	**B_{18}**	*-49.5*	**B_{29}**	*-13.5*	**B_{40}**	*-57.5*
B_8	*75.5*	**B_{19}**	*40.4*	**B_{30}**	*-85.4*	**B_{41}**	*-32.4*
B_9	*17.3*	**B_{20}**	*-40.5*	**B_{31}**	*-9.0*		
B_{10}	*86.3*	**B_{21}**	*-32.3*	**B_{32}**	*-89.9*		
B_{11}	*5.8*	**B_{22}**	*28.8*	**B_{33}**	*-13.5*		

Dimensionamento da barra mais solicitada, no caso, sujeita ao esforço de compressão:

B_{32} e B_{34} = -89.9 KN

Tabela 9- Valores de cálculo das tensões resistentes, Ϭsd e τ_{Rd} .

Tipos de aço	Tensões normais $\sigma_{Rd} = f_{yd}$	Tensões tangenciais $\tau_{Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} f_{yd}$
Fe 360	235	135
Fe 430	275	160
Fe 510	355	205

Fonte: Tabelas técnicas.

A utilizar Fe360 – $Ϭ_{Rd}$ = 235 Mpa = 235 KN/cm^2 - pelas tabelas técnicas.

Pré-dimensionamento

$Ϭ_{sd} = N_{sd} / A \leq Ϭ_{Rd}$

$A = 89.9 \times 10^2 / 235 = 38.26$ cm^2

UNP 240 → (A = 42.3 cm^2)

Verificação de resistência

Condição: $Ϭ_{sd} \leq Ϭ_{Rd}$

$Ϭ_{sd} = 89.9 \times 10^2 / 42.3 \Rightarrow Ϭ_{sd} = 212.53$ KN/cm^2 = 212.53 Mpa < 235 Mpa ….. OK!

4.2.9. LIGAÇÕES METÁLICAS

As ligações metálicas de referência no presente projecto são as das vigas treliçadas; Nestes elementos estruturais são normalmente ligadas ou unidas suas barras mátalicas através de parafusos ou solda.

O presente projecto prevê se focar no dimensionamento de ligações metálicas por parafusos, ou seja as barras das treliça deverão estar unidas por parafusos, isto porque este método apresenta maior segurança, eficácia em termos de esforços nas barras.

Foi anteriormente abordado superficialmente os aspectos envolventes e as variantes deste tipo de ligação, por conseguinte há a necessidade de aprofundar os detalhes, como as dimensões dos parafusos, as dimensões das chapas a utilizar para as ligações segundo as dimensões das barras, o tipo de material necessário, basicamente resumindo, é necessário saber as especificações dos parafusos a utilizar.

Dimensionamento dos parafusos

Para o dimensionamento de um parafuso é necessario ter conhecimento do material do parafuso a ser usado, as forças atuantes e seus coeficientes de segurança.

Verificação de segurança das ligações aparafusadas correntes

Tabela 10- Valores de cálculo das tensões resistentes em ligações aparafusadas correntes.

Corte	Tracção	Esmagamento
0,7 f_{yd}*	0,8 f_{yd}*	2,25 f_{yd}**

Fonte: Tabelas técnicas, (pag. 396).

Sendo utilizado o Aço: Fe 360→ fyd 235Mpa

a. **Verificação ao corte**

$0.7f_{yd}$ => $0.7 \times 235 = 164.5$ Mpa

b. **Verificação a tração**

$0.8f_{yd}$ => $0.8 \times 235 = 188$ Mpa

c. Verificação ao esmagamento

$2.25f_{yd}$ => $2.25 \times 235 = 528.75$ Mpa

Dados:

Perfil: LNP => e = 20 mm b = 200 mm

Perfil: UNP => e = 9.6 mm h = 240 mm

- Estes dados é que condicionam a situação da distribuição construtiva das ligações das barras.

Tabela 11- Dimensões usuais de chapas de interposição.

Diâmetro do parafuso d		Chapas redondas mm			Chapas quadradas mm										
					d_1	Para madeira		Para perfis I				Para perfis [			
Poleg.	mm	D	d_1	e_1		a	e_1	a	b	c	e_2	a	b	c	e_2
3/8	9,5	22	11	2,5	11,5	30	4	22	1,5	4,6	3	22	1	3,8	3
1/2	12,7	28	14	3	15	40	5	30	2	6,2	4	30	2,5	4,9	4
5/8	15,9	34	17,5	3	18	50	6	36	2,5	7,5	5	36	2	5,9	5
3/4	19,1	40	21	4	22	60	7	44	3	9,2	6	44	3,5	7	5
7/8	22,2	45	24	4	25	70	7	50	3	10,0	7	50	3	8	6
1	25,4	52	27	5	28	80	8	56	3	10,8	7	56	3	8,5	6

Fonte: Tabelas técnicas, (pag. 398).

$T_{sd} = \frac{4 \times \tau sd}{3.14 \times d^2} \leq 0.7fyd$ => (d = 44) => τsd = 250 Mpa KO!

$$\Rightarrow \quad \tau sd = \frac{3.14 \times 0.030^2 \times (0.7 \times 235 \times 10^3)}{4}$$

⇨ τsd = 116.219 Mpa < 164.5 Mpa, Ok!

$\frac{\tau sd}{e * d} \leq 2.25fyd \rightarrow \tau sd = (200 + 240 + 4 + 4) \times 10^{-3} \times 0.030 \times 2.25 \times (235 \times 10^3)$

⇨ τsd = 7106.4 Mpa (tensão de esmagamento);

Número de parafusos

⇨ (adopta-se 2 a 4 parafusos)

- No calculo do numero de parafusos a adoptar nas ligações, faz-se o uso do valor de tensão de esmagamento calculado anteriormente e o valor de esforço nas barras em causa, para cada nó, segundo a ordem seguida no anexo I.

É ilustrado no anexo I a distribuição construtiva das ligações determinadas para as barras metálicas, com o auxilio de chapas de imposição.

CAPÍTULO 5

5.1. AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Segundo a ordem de cálculo para a metodologia utilizada no projecto, em seguida ao cálculo do tabuleiro da ponte, passa-se ao cálculo das tensões recebidas pelos cabos, vindas do tabuleiro e encaminhadas aos cabos principais a as torres, em que estes por sua vez recebidas pelas torres são dissipadas directamente pelo solo.

Os cálculos do presente projeto num todo devem terminar na estimativa de todos os esforços recebidos pelos cabos, o que influi na determinação das dimensões necessárias para a verificação de segurança dos mesmos.

Após os cálculos do carregamento do peso próprio do tabuleiro, após as combinações de cargas levantadas, houve a necessidade de fazer um cálculo de destribuição das cargas pelas treliças, sendo que o autor não tinha a possibilidade de calcular em conjunto todas as vigas trelicadas fez o uso de uma, como modelo, o que embora se considere que o carregamento estaria destribuído pelas vigas de igual modo, o método utilizado não garante precisão nos valores dos esforços, precisamente pela delimitação do tema, o cálculo da estrutura deveria ser num todo.

CAPÍTULO 6

6.1. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente projecto de dimensionamento, como se fez mensão anteriormente, está direccionado ao cálculo da parte metálica da ponte, ou seja, somente o cálculo dos elementos de material metálico, contudo este ponto faz parte das delimitações do projecto;

Conclui-se que há a necessidade de completar o projecto, para se obter uma base sólida daquilo que são todos os tratamentos que os elementos estruturais da ponte devem levar, e só dessa forma será possivel fazer uma avaliação do seu comportamento ao longo da vida util da estrutura.

A avaliação do comportamento do solo perante a solicitação das cargas vindas dessa estrutura é de extrema importância, porque o posicionamento das torres principais durante a contrução, o que não foi no projecto determinado, poderá sofrer influência em resposta a estas acções, e principalmente após a informação de mudanças no caudal do Rio Umbeluzi, como informado no capitulo do Estudo de Caso, para os próximos anos.

E recomendável que seja feita uma nova avaliação de impactes ambientais antes da construção da nova ponte devido a situação do terreno da zona em causa,trata-se uma zona pantanosa, que a cada ano, chagada a época chuvosa se torna imprevisível, independentemente do facto do projecto ja ter levado em conta estes factores no cálculo de dimensionamento.

Há necessidade de revisão da classificaço da estrada onde se encontra a ponte, em termos de trânsito rodoviário, devido o peso bruto dos veículos utentes da via de acesso, devido os padrões de classificação conhecidos, com certeza a via não foi contruída a contar com os veiculos pesados que fazem a travessia da ponte existente atualmente, ou ainda que se tivesse contado com os veiculos pesados de trasporte de mercadoria e materiais de construção, ja nao existem condições favoráveis de transitabilidade.

❖ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, Adolfo José. Bases Geoambientais para a gestão da bacia hidrográfica do rio Umbelúzi - Moçambique. 2012. 162f. Dissertação de (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências. Universidade federal do rio de janeiro, 2012.

Brockenbrough, Roger L.; Merritt, Frederick S. Structural steel designer's handbook. New York: McGraw-Hill, 1999.

Chen, Wai-Fah; Duan, Lian (2014) – editado; Bridge Engineering Handbook: Construction and Maintenance. CRC press,.

DROOGERS, Peter et al. (2014), Water allocation models for the Umbelúzi River Basin, Mozambique. The Netherlands, Wageningen, Future Water,. Report Future Water: 132. Disponível em: https://www.futurewater.nl/wpcontent/uploads/2015/01/WAM_ARASul. [Acessado a 25.05.2021].

EN 1991-2 – (2003), Actions on structures - Part 2: General actions – Traffic load on bridges. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

GOMES, M. I. S. (2016), Estudo e análise de treliças: apostila. Lisboa: Instituto Politécnico de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil,.

Gimsing, Niels J.; Georgakis, Christos T. (2011), Cable supported bridges: concept and design. John Wiley & Sons,.

https://pt.wikipedia.org/wiki/Historia_do_transporte_ferroviario_em_Moçambique [Acessado a 01.02.21];

http://www.wikipedia.org/Wiki/Aço [Acessado a 01.02.21].

http://www.estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2015/02/Capitulo1.pdf [Acessado a 01.02.21].

https://en.wikipedia.org/wiki/The_Iron_Bridge [Acessado a: 25.05.2021].

https://www.engwhere.com.br/ponte-em-arco/ [Acessado a: 30.04.2021].

https://www.passeidireto.com/arquivo/37940664/tipos-de-trelicas [Acessado a: 30.04.2021].

https://pt.jejakjabar.com/wiki/Suspension_bridge [Acessado a: 20.05.2021].

NISBETT, Keith J. (2018); Elementos Mecânicos Flexíveis.10ª Edição Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC038/Prof.Jorge_Erthal/Slides/6-1-Cabos.pdf [Acessado a: 20.05.2021].

MARCOS,António. (2016); Ciência, Engenharia, Arquitetura e Tecnologia – Os 6 tipos mais comuns de ponte. Disponível em: http://o-portico.blogspot.com/2016/11/os-6-tipos-mais-comuns-de-pontes.html [Acessado a: 20.05.2021].

MARTINS, N. M. E. (2009), Estudo dos cabos e pendurais de uma ponte pedonal suspensa face ao seu processo construtivo; Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal,.

MORIN, E. (1999), Introdução ao pensamento complexo. Lisboa: Instituto Piaget,1990.
MUCHANGOS, A. Moçambique: Paisagens Regiões Naturais. Maputo, Tipografia Globo Lda..

O'CONNOR, Colin (1975). 281 p. Pontes: superestruturas. 1. edicao. Rio de Janeiro,.

PFEIL, Michéle; PFEIL, Walter (2009), Estruturas de aço, 8ª edição, GN: Brasil;

PFEIL, W.; PFEIL, M. (2009); Estruturas de aço: Dimensionamento prático segundo a NBR 8800:2008. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC,

PINHEIRO, Antônio Carlos da F. Bragança (2005), Estruturas Metálicas: Cálculos, 2ª edição, SP: Brasil;

UFPR – Universidade federal do Paraná (2015), Estruturas metálicas: Aços Estruturais, Capitulo 1, PRN: Brasil;

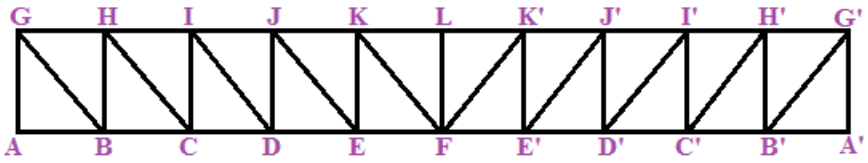
VASCONCELLOS, Alexandre Luiz (2011), Ligações em estruturas metálicas. Vol.1, 4ª edição, RJ: Brasil.

VITÓRIO, J. A P. (2015),Pontes metálicas e mistas: tópicos de conservação, danos e reforços estruturais: apostila. Pernambuco: Escola Politécnica de Pernambuco, , 56 p.

Vitório, José Afonso Pereira (2002) , Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão. Recife, CREA-PE,.

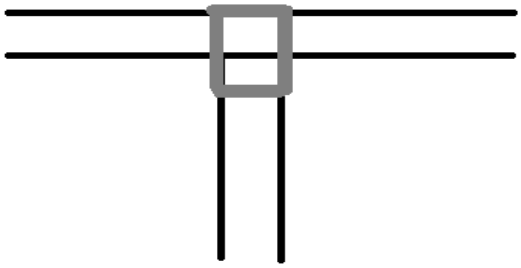
WALTHER, R.; HOURIET, B.; ISLER, W.; MOÏA P. (1985), Ponts haubanés. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes,. 202p

ANEXO I – LIGAÇÕES APARAFUSADAS DAS BARRAS METÁLICAS

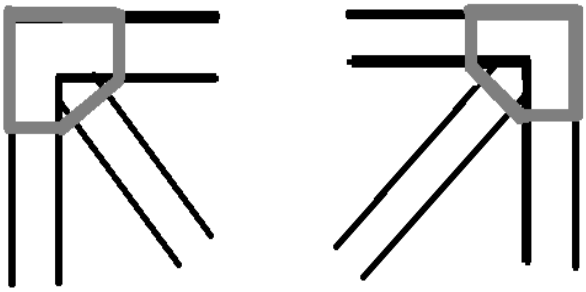


Nós A e **A'**

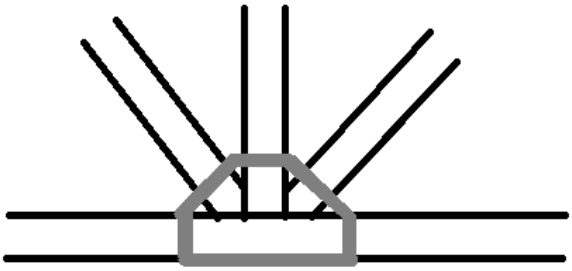
Nó L



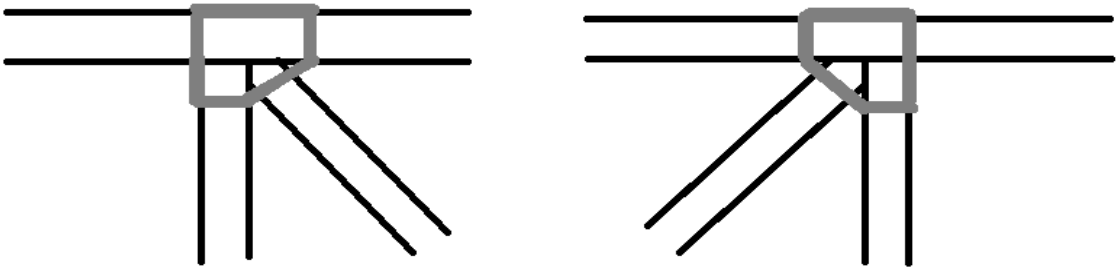
Nós G e **G'**



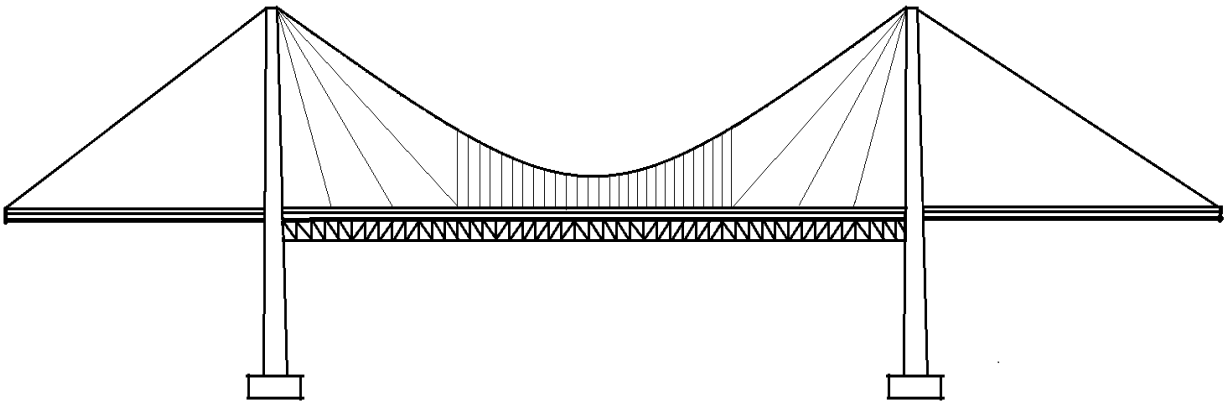
Nó F



Nós K e **K'** igualmente para os **Nós E** e **E'**



ANEXO II – DESENHO FINAL DA PONTE HÍBRIDA



- **Comprimento do vão livre –** 240 m;
- **Extensão –** 60 m, 60 m;
- **Largura da ponte –** 10 m;
- **Numero de faixas de rodagem –** 2 faixas de rodagem;
- **Altura das torres –** 60 m;
- **Altura da ponte em relação ao solo –** 20 m;
- **Materiais de construção –** Vigas e chapas de aço, Betão Armado, com revestimento do pavimento em asfalto;
- **Numero de cabos Estais –** 6;
- **Numero de cabos pendurais –** 45;
- **Distanciamento dos cabos Estais –** 10 m;
- **Distanciamento dos cabos Pendurais –** 4 m.