

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Helena Szortika Quadros

**PROJETO ESTRUTURAL DE PONTE: COMPARATIVO DE
SOLUÇÕES COM VIGAS SEÇÕES T PRÉ-MOLDADA E
CAIXÃO MOLDADA *IN LOCO***

Porto Alegre
dezembro 2013

HELENA SZORTIKA QUADROS

**PROJETO ESTRUTURAL DE PONTE: COMPARATIVO DE
SOLUÇÕES COM VIGAS SEÇÕES T PRÉ-MOLDADA E
CAIXÃO MOLDADA *IN LOCO***

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Roberto Domingo Rios
Coorientadora: Virgínia Maria Rosito d'Avila Bessa

Porto Alegre
dezembro 2013

HELENA SZORTIKA QUADROS

**PROJETO ESTRUTURAL DE PONTE: COMPARATIVO DE
SOLUÇÕES COM VIGAS SEÇÕES T PRÉ-MOLDADA E
CAIXÃO MOLDADA *IN LOCO***

Este Trabalho de Diplomação foi julgado pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2013

Prof. Roberto Domingo Rios
Dr. pela UFRGS
Orientador

Profa. Virgínia Maria Rosito d'Ávila Bessa
Dra. pela UFRGS
Coorientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Roberto Domingo Rios (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

**Profa. Virgínia Maria Rosito d'Ávila Bessa
(UFRGS)**
Dra. pela UFRGS

Prof. Rubem C. Schwingel (UFRGS)
Msc. pela UFRGS

Eng. Douglas Finger de Lemos
Engenheiro Civil pela UFRGS

Dedico este trabalho a minha família, que sempre me apoiou em todas as minhas decisões e fez silêncio quando eu precisava estudar no fim de semana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Roberto Domingo Rios, orientador deste trabalho, pela ajuda, pelo conhecimento transmitido e por todos os horários disponíveis de consulta.

Agradeço à professora Virgínia Maria Rosito d'Avila Bessa, coorientadora deste trabalho, pelas dicas dadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à professora Carin Maria Schmitt, coordenadora deste trabalho, pelo conhecimento transmitido a nós, alunos, por lapidar minha ideia inicial e me ajudar a transformá-la nesse trabalho.

Agradeço a minha mãe, por ter me matriculado no cursinho pré-vestibular e acreditar que eu conseguiria a aprovação na UFRGS.

Agradeço ao meu pai, por ter me inscrito no vestibular para o curso de Engenharia Civil porque na UFRGS não tinha o curso de Moda.

Agradeço a minha irmã Joane, pelas correções de português e dicas ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a minha irmã Mariana, por buscar o meu café, o meu notebook, a minha borracha, enfim, minha minisecretária.

Agradeço ao meu namorado Rudy, pela compreensão nos fins de semana, e pelos últimos meses de faculdade, quando toda minha atenção era voltada para o TCC.

Agradeço a Pitty e Luna pela companhia.

Agradeço as minhas amigas Bruna, Juliana, Paula, Ruane e Tamires por me ajudarem a entrar em uma nova fase na faculdade e pela sua amizade.

Agradeço a Débora pelo material de pesquisa, sem o qual a referência bibliográfica não teria tantos livros.

Agradeço a todos as pessoas com quem estagiei pelos ensinamentos a mim passados, principalmente aos meus colegas da Finger & Sommer.

Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir a pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos.

Isaac Newton

RESUMO

Para permitir a continuidade de uma estrada através da transposição de um obstáculo pode-se construir uma ponte ou um viaduto. Essas estruturas possuem a particularidade de necessitar de uma solução para cada caso, ou seja, um projeto próprio. As pontes podem se dividir quanto à finalidade, tipo estrutural e material constituinte, e ser diferenciadas quanto ao traçado e o nível. Este trabalho versa sobre a análise de uma ponte em viga biapoiada de finalidade rodoviária, de concreto armado que se desenvolve em tangente e em nível. O estudo aborda duas soluções para a superestrutura, uma com seção aberta e, outra, com a fechada. A primeira, constituída por vigas T pré-moldadas e, a segunda, por um caixão monocelular moldado *in loco*. Primeiramente, buscou-se informações sobre as obras de arte, especialmente as pontes, de modo a abranger o conhecimento obtido ao longo da graduação e estágio sobre o assunto. O projeto estrutural apresentado se limitou a análise da superestrutura. Primeiramente se identificou as cargas atuantes na ponte, após esta etapa analisou-se estruturalmente, determinando os esforços solicitantes de cada seção. Para a solução em viga T, os esforços calculados foram momento de flexão e esforço cortante. Para a solução em viga caixão foram os mesmos esforços da T e o momento de torção. Em posse das quantidades de materiais pode-se comparar as duas soluções estruturais quanto a esse critério. A seção que resultou em uma menor quantidade de materiais para as condições estudadas foi a viga T.

Palavras-chave: Ponte em Concreto Armado. Ponte em Viga Seção T. Ponte em Viga Seção Caixão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama do delineamento do projeto de pesquisa	14
Figura 2 – Partes constituintes das pontes.....	16
Figura 3 – Definições geométricas	20
Figura 4 – Seção com viga T	23
Figura 5 – Seção com viga caixão	24
Figura 6 – Divisão dos elementos da ponte	32
Figura 7 – Distribuição de cargas na ponte	33
Figura 8 – Disposição das cargas do veículo na pista	34
Figura 9 – Representação dos trens tipo	35
Figura 10 – Linha de influência para relações y_a e y_b	37
Figura 11 – Linha de influência para esforço cortante e momento de flexão	38
Figura 12 – Seção transversal no apoio – viga T	42
Figura 13 – Seção transversal no vão – viga T	42
Figura 14 – Vista superior – viga T	43
Figura 15 – Perfil longitudinal – viga T	43
Figura 16 – Cargas na seção transversal – viga T	44
Figura 17 – Análise vigas centrais	46
Figura 18 – Análise vigas extremas	46
Figura 19 – Esforços cortantes – viga T	50
Figura 20 – Momentos de flexão – viga T	51
Figura 21 – Seção utilizada no programa Viga S – viga T	52
Figura 22 – Programa Viga S – viga T	52
Figura 23 – Localização das armaduras – viga T	53
Figura 24 – Seção transversal no apoio – viga caixão	56
Figura 25 – Seção transversal no vão – viga caixão	56
Figura 26 – Vista superior – viga caixão	57
Figura 27 – Perfil longitudinal – viga caixão	57
Figura 28 – Representação cálculo do momento de torção	60
Figura 29 – Esforços cortantes – viga caixão	61
Figura 30 – Momentos de flexão – viga caixão	62
Figura 31 – Seção utilizada no programa Viga S – viga caixão	62
Figura 32 – Programa Viga S – viga caixão	63
Figura 33 – Localização das armaduras – viga caixão	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cargas dos veículos	34
Tabela 2 – Características dos veículos	35
Tabela 3 – Resumo cargas permanentes – viga T	45
Tabela 4 – Valores por seção de esforços da carga permanente – viga T	45
Tabela 5 – Valores por seção de esforços da carga móvel – viga T	49
Tabela 6 – Valores por seção da combinação de cargas – viga T	50
Tabela 7 – Área de aço – viga T	53
Tabela 8 – Quantidade geral de materiais – viga T	54
Tabela 9 – Quantidade de material por elemento – viga T	54
Tabela 10 – Resumo cargas permanentes – viga caixão	58
Tabela 11 – Valores por seção de esforços da carga permanente – viga caixão	58
Tabela 12 – Valores por seção de esforços da carga móvel – viga caixão	60
Tabela 13 – Valores por seção da combinação de cargas – viga caixão	61
Tabela 14 – Área de aço – viga caixão	63
Tabela 15 – Quantidade geral de materiais – viga caixão	65
Tabela 16 – Quantidade de material por elemento – viga caixão	65
Tabela 17 – Quantidade de materiais T x Caixão	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	13
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA	13
2.3 PRESSUPOSTO	13
2.4 DELIMITAÇÕES	13
2.5 LIMITAÇÕES	13
2.6 DELINEAMENTO	14
3 PONTES: ASPECTOS CONCEITUAIS	16
3.1 PARTES CONSTITUINTES.....	16
3.2 CLASSIFICAÇÃO.....	17
3.2.1 Finalidade	18
3.2.2 Material	18
3.2.3 Tipo estrutural	19
3.3 CONCEITOS IMPORTANTES PARA DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA	20
4 PONTE EM VIGA	22
4.1 TIPOS DE VIGAS	23
4.1.1 Viga T	23
4.1.2 Viga Caixão	24
4.2 OUTROS ELEMENTOS DA SUPERESTRUTURA	25
4.2.1 Laje	25
4.2.2 Capeamento	26
4.2.3 Transversinas	26
4.2.4 Laje de transição	27
4.2.5 Alas	28
4.2.6 Guarda-rodas	28
4.2.7 Passeios	29
4.2.8 Guarda-corpo	29
4.3 MÉTODOS CONSTRUTIVOS	29
4.3.1 Pré-moldado	30
4.3.2 Moldado <i>in loco</i>	31
4.4 CARREGAMENTOS	31
4.4.1 Carga permanente	32

4.4.2 Carga móvel	33
4.4.3 Carga devida ao vento	36
4.5 LINHAS DE INFLUÊNCIA	36
4.6 NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS	39
5 PROJETO VIGA T	41
5.1 DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA	41
5.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CARGAS ATUANTES	43
5.2.1 Cálculo das cargas permanentes	44
5.2.2 Cálculo das cargas móveis	45
5.3 OBTENÇÃO DA COMBINAÇÃO DE CARGAS	49
5.4 DIMENSIONAMENTO	51
5.5 QUANTITATIVO DE MATERIAIS	53
6 PROJETO VIGA CAIXÃO	55
6.1 DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA	55
6.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CARGAS ATUANTES	57
6.2.1 Cálculo das cargas permanentes	58
6.2.2 Cálculo das cargas móveis	59
6.3 OBTENÇÃO DA COMBINAÇÃO DE CARGAS	61
6.4 DIMENSIONAMENTO	62
6.5 QUANTITATIVO DE MATERIAIS	64
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

As obras de arte conhecidas como pontes e viadutos são elementos necessários para transpor obstáculos. Enquanto as pontes são os elementos utilizados para transpor rios, lagos e vales, os viadutos são elementos utilizados para transpor outras vias não constituídas por água.

As pontes podem ser classificadas de acordo com a finalidade para a qual são construídas, materiais usados e tipo estrutural. No presente trabalho é estudada uma ponte rodoviária, de concreto armado e em viga. As pontes em viga se diferenciam quanto ao traçado que pode ser esconsa, em curva horizontal e tangente. A ligação entre um encontro e outro pode ser em curva vertical, em rampa ou em nível.

As pontes de concreto armado são dimensionadas de acordo com a classe de agressividade do ambiente que pode ser de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), I (fraca), II (moderada), III (forte) e IV (muito forte) e de acordo com a NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984), o trem tipo que pode ser classe 12, 35 e 45. Nas considerações de projeto deste trabalho a estrutura foi dimensionada para classe de agressividade III e trem tipo TB-45. A classe III considera que a estrutura está localizada em um local com ambiente marinho e grande risco de deterioração da estrutura. O TB-45 dimensiona a estrutura para a solicitação de um veículo tipo de 45 tf, o maior trem tipo existente hoje na NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 3).

A ponte é constituída de superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. A superestrutura, que recebe diretamente a carga da pista, é composta pelas lajes, vigas, transversinas, alas e lajes de transição. Na superestrutura há também elementos que servem para segurança, como por exemplo, o guarda-rodas e o guarda-corpo. A mesoestrutura pode ser composta somente por pilares, nos quais as vigas descarregam toda a carga, ou por pórticos, que são compostos de travessa e pilar. A infraestrutura é responsável por descarregar toda a carga da ponte no solo, podendo a fundação ser direta ou profunda. As fundações diretas são blocos e sapatas e, as profundas, são tubulões ou estacas.

O processo construtivo pode ser pré-moldado, moldado *in loco*, aduelas com avanços sucessivos, entre outros. Esse processo é definido através, por exemplo, do tempo disponível para a construção da obra de arte, recursos disponíveis, topografia da região e geometria da obra.

Este trabalho apresenta o estudo de uma ponte em viga através de um comparativo entre as vigas T pré-moldada e caixão moldada *in loco* projetadas para uma situação, podendo futuramente embasar a escolha por uma ou outra solução.

No segundo capítulo são descritos, questão de pesquisa, objetivo da pesquisa, pressuposto, delimitações, limitações e delineamento. Esses itens compõem as diretrizes da pesquisa que servem para definir o modo do desenvolvimento do trabalho.

Os capítulos três e quatro apresentam o resultado da pesquisa bibliográfica. No capítulo três é abordado o conceito de obras de arte, definem-se as partes constituintes, a classificação, a finalidade, o material, o tipo estrutural e os conceitos importantes para definição da geometria. O quarto capítulo, mostra a definição de uma ponte em viga, apresentando os tipos de vigas e os outros elementos constituintes da superestrutura de uma ponte, são também abordados os métodos construtivos, os tipos de carregamento, a definição de linhas de influência e as normas utilizadas para o projeto.

Os capítulos cinco e seis apresentam a estrutura estudada no trabalho, uma ponte em viga de finalidade rodoviária projetada em concreto armado que se desenvolve em tangente e em nível. Nesses capítulos é também apresentado o procedimento adotado para o cálculo e obtenção das quantidades de materiais para as soluções de ponte estudadas. No sétimo capítulo apresenta-se as conclusões finais juntamente com uma tabela comparativa entre as duas soluções adotadas.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: para uma ponte em viga de concreto armado qual das soluções estruturais estudadas resulta em menor quantidade de materiais?

2.2 OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo do trabalho é a comparação, quanto à quantidade de material, entre as soluções com vigas T pré-moldada ou caixão moldada *in loco* estudadas para um projeto de ponte.

2.3 PRESSUPOSTO

Para a ponte calculada, a viga T pré-moldada e a caixão moldada *in loco* são viáveis estruturalmente.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a apresentar o projeto estrutural de uma ponte de concreto armado em tangente e em nível, com um vão de 20 m de comprimento.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) análise somente da superestrutura, com a variação da seção da viga entre T e caixão;

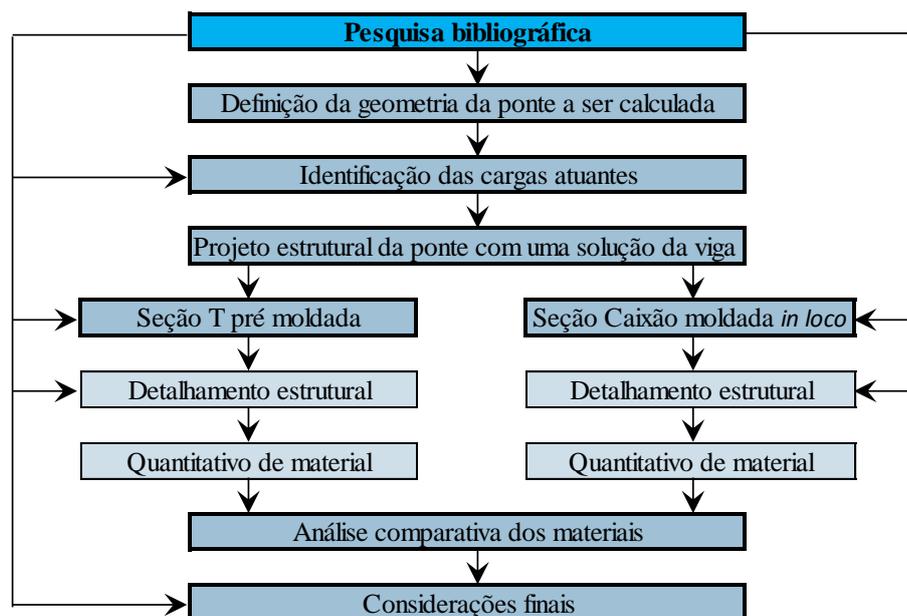
- b) considerações de que ambas as estruturas encontram-se no mesmo local;
- c) o tabuleiro da obra é formado por duas faixas de tráfego de 3,60 m, dois acostamentos de 1,00 m e dois guarda-rodas com largura de 0,40 m, totalizando a largura de 10,00 m.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição da geometria da ponte a ser calculada;
- c) identificação das cargas atuantes;
- d) projeto estrutural da ponte com uma solução da viga T pré-moldada;
- e) projeto estrutural da ponte com uma solução da viga caixão moldada *in loco*;
- f) detalhamento estrutural da ponte com a solução da viga T pré-moldada adotada;
- g) detalhamento estrutural da ponte com a solução da viga caixão moldada *in loco* estudada;
- h) análise comparativa dos materiais;
- i) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama do delineamento do projeto de pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

Primeiramente foi realizada a **pesquisa bibliográfica**, etapa mais importante do trabalho, pois foi nesta etapa que se buscou informações a fim de aprimorar o conhecimento sobre o tema escolhido e embasamento teórico para as considerações feitas. Inicialmente buscou-se um maior entendimento da estrutura estudada pesquisando sobre as partes constituintes das obras de arte, sua finalidade, materiais empregados e modelos estruturais mais utilizados. Após essa abordagem inicial foi possível estudar a ponte em viga, seus tipos e partes constituintes. A parte final da pesquisa foi sobre o projeto estrutural, estudando os tipos de carregamentos, métodos construtivos e algumas normas utilizadas.

No projeto estrutural, primeiro foi **definida a geometria da ponte** para que se possa ter o seu peso próprio, depois desta etapa se procedeu a **identificação das cargas atuantes**. Após a definição das cargas foi realizado o **projeto estrutural da ponte com a solução da viga T pré-moldada e caixão moldada *in loco***. Do projeto estrutural se obteve a combinação de cargas dos esforços cortantes e momentos de flexão, e através destas solicitações realizou-se o **detalhamento estrutural da ponte com a solução da viga T pré-moldada e caixão moldada *in loco***.

De posse do resultado do detalhamento estrutural pôde-se calcular a quantidade de material utilizada para cada uma das vigas e assim fazer uma **análise comparativa dos materiais**. Após a realização de todas as etapas do trabalho foi possível estabelecer as **considerações finais**.

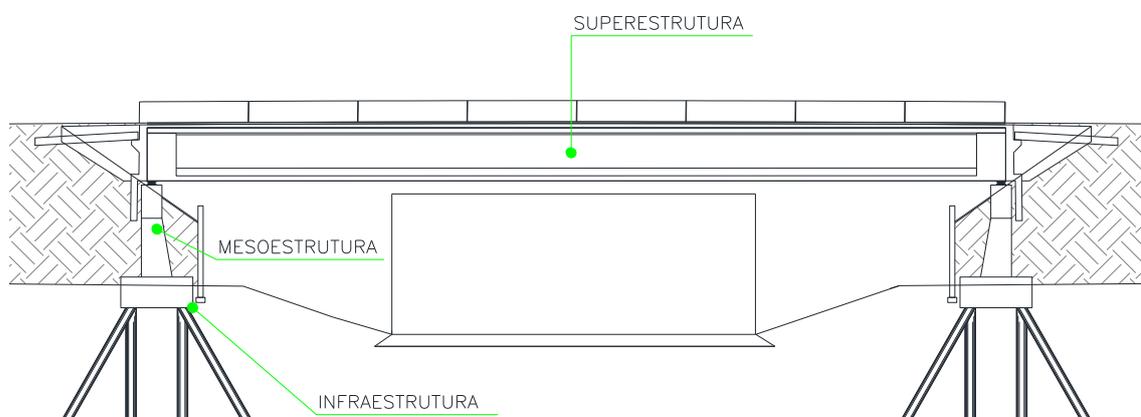
3 PONTES: ASPECTOS CONCEITUAIS

A obra de arte é uma estrutura projetada para transpor obstáculos e permitir a continuidade da via, podendo ser uma ponte ou um viaduto. A ponte tem como finalidade transpor vales, rios, oceanos e outros locais alagados. O viaduto tem por objetivo a transposição de obstáculos não constituídos por água, como outras faixas de tráfego (PFEIL, 1983a, p. 9).

Conforme Pfeil (1983a, p. 12), a construção das obras de arte é feita normalmente através de projetos específicos, pois, cada obra possui singularidades que a torna diferente das demais, mas suas partes constituintes são as mesmas. No presente trabalho a obra de arte estudada é uma ponte e, nos próximos itens, são apresentadas a classificação e alguns conceitos importantes.

3.1 PARTES CONSTITUINTES

As pontes podem ser divididas em infra, meso e superestrutura. Estas três partes constituintes estão indicadas na figura 2. O que caracteriza cada uma das partes é a função estrutural desempenhada (PFEIL, 1983b, p. 1).



(fonte: elaborado pela autora)

A superestrutura recebe diretamente as cargas da pista e as transmite à mesoestrutura. As suas principais funções estáticas, segundo Mason (1977, p. 13), são realizadas por:

- a) lajes: formam a pista de rolamento, recebem e permitem a distribuição das cargas dos veículos e contribuem para o aumento da resistência à flexão das vigas;
- b) longarinas: mais conhecidas como vigas, são dispostas longitudinalmente, suportam a estrutura e transmitem as cargas dos vãos aos pilares;
- c) transversinas de apoio e de meio de vão: dão rigidez à ponte e, quando engastadas na pista conduzem parte da carga móvel às vigas.

A mesoestrutura recebe a carga da superestrutura e a transmite para a infraestrutura que faz sua distribuição no solo. As principais funções estáticas da meso e da infraestrutura, conforme Pfeil (1983a, p. 14), são realizadas por:

- a) pilares: recebem as cargas verticais, como peso próprio da superestrutura e cargas horizontais, como frenagem, aceleração, empuxo de terra e de água. Em pontes com viga caixão pode ser adotado o uso de somente um pilar, em pontes de seção aberta deve ser utilizado um pilar por viga, caso não seja utilizada uma travessa;
- b) travessas: elementos que fazem a distribuição da carga das vigas e permitem a utilização de um menor número de pilares;
- c) blocos: reduzem a transição entre o pilar e a fundação;
- d) fundação: desempenham o papel de distribuição das cargas no solo.

3.2 CLASSIFICAÇÃO

De acordo com a classificação da ponte, é definido o modo como se deve proceder para realizar o projeto estrutural. Pfeil (1983b, p. 3), como já salientado nesse trabalho, afirma que as pontes se classificam principalmente de acordo com a finalidade para que são construídas, o tipo de material empregado e o tipo estrutural para que são dimensionadas.

Conforme O'Connor (1975, p. 13), na escolha do material e do tipo estrutural, alguns fatores que afetam o projeto de cada ponte devem ser considerados. Para a escolha do tipo de material, deve-se consultar a sua disponibilidade e qualidade na região onde a obra será construída. A definição do tipo estrutural deve considerar o comprimento do vão, condições do solo, altura livre, gabarito e limitações impostas pelo local de execução.

3.2.1 Finalidade

Deve-se conhecer a finalidade da ponte para definir qual o tipo de carga móvel irá solicitar a estrutura. Segundo Pfeil (1983b, p. 5), “Quanto à sua finalidade, as pontes podem ser rodoviárias, ferroviárias, para pedestres, geralmente chamadas de passarelas, etc. Podem, ainda, destinar-se ao suporte de tubulações para água, esgoto, gás, óleo, pistas de aeroportos e até vias navegáveis (ponte canal).”.

Uma ponte rodoviária é, conforme a NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 1), uma estrutura destinada a permitir a continuidade do tráfego dos veículos na via. A ponte rodoviária é dimensionada para a ação de um trem tipo que na superestrutura gera uma distribuição das cargas verticais e, na mesoestrutura, dos esforços longitudinais, como frenagem e aceleração.

3.2.2 Material

Conforme Pfeil (1983b, p. 5), “Quanto ao material com que predominantemente são construídas, as pontes podem ser de madeira, de pedra, de concreto armado, normal ou protendido, e metálicas (geralmente aço e, excepcionalmente, de ligas de alumínio).”. Cada material possui um diferente modo de dimensionamento, por ter diferentes propriedades físicas e mecânicas. Em pontes, além da resistência estática, pelo fato da estrutura ser solicitada frequentemente por cargas móveis, o material empregado deve ser resistente à fadiga.

No presente trabalho o material é o concreto armado. Segundo O’Connor (1975, p. 105), o concreto, quando especificado corretamente, e se for de boa qualidade, apresenta como vantagem a grande durabilidade, com relativamente pouca manutenção. O concreto armado, normalmente, resiste aos esforços de compressão e, o aço, aos de tração.

Segundo Mason (1977, p. 119), “As pontes em concreto armado são dimensionadas para o estado limite último. As solicitações características são determinadas para a carga permanente e móvel e multiplicadas por coeficientes de majoração, de modo a termos as solicitações de cálculo [...]”.

As estruturas de concreto armado quando inadequadamente dimensionadas, ou executadas incorretamente, tendem a apresentar falhas. As principais falhas que se pode encontrar em uma estrutura de concreto armado, conforme Pfeil (1983a, p. 218-219), são:

- a) deterioração do concreto: não é uma ocorrência frequente, porém pode acontecer pela presença de eflorescências, patologia gerada pela infiltração de água através das fissuras do concreto. Neste fenômeno, a água remove os sais do cimento e os deposita na superfície da ponte;
- b) corrosão das armaduras: causa uma diminuição da seção transversal da barra, desencadeada por reação química. Frequentemente, este processo ocorre quando a armadura perde a proteção da alcalinidade do concreto;
- c) fissuração: sob a ação de cargas de serviço o concreto armado apresenta microfissuras. Estas devem se manter dentro dos limites de abertura especificados pela NBR 6118/2007, sendo que a presença de aberturas maiores indica, entre outras ações, ocorrência de cargas maiores que as de projeto.

Para evitar essas falhas, a estrutura deve ser dimensionada de acordo com as indicações da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), respeitando a classe de agressividade do ambiente. Durante a execução o projeto deve ser rigidamente obedecido e a empresa executora deve contatar o projetista buscando esclarecer dúvidas e contornar dificuldades de execução. Ainda devem ser feitas vistorias periódicas nas obras de forma a evitar que algum eventual problema diminua a capacidade estrutural da ponte. Segundo Pfeil (1983a, p. 218-219), essas falhas podem ser reparadas com a injeção de nata de cimento ou resina nas fissuras, pois tratando as fissuras também se mitiga o problema da deterioração do concreto e da corrosão das armaduras.

3.2.3 Tipo estrutural

O tipo estrutural define qual o modelo de projeto estrutural deve ser adotado, pois cada estrutura funciona de uma forma. Conforme Pfeil (1983a, p. 14, grifo do autor), “Quanto ao **tipo estrutural**, as pontes podem ser em laje, em vigas, em treliças, em quadros, em arco ou abóbadas, suspensas, estaiadas, etc.”. Os principais tipos de pontes estão descritos a seguir:

- a) arco: funciona basicamente à compressão e toda a pressão é transmitida diretamente para o solo;
- b) estaiada: possui um mastro central do qual partem estais que sustentam o tabuleiro;

- c) suspensas: possui duas torres com cabos de aço pendurados, dos cabos partem tirantes que suspendem o tabuleiro;
- d) quadro: formada por uma peça central em que pilares e vigas são solidarizados;
- e) treliçada: as barras são solicitadas somente por tração ou compressão;
- f) em viga: o tabuleiro é dimensionado, no vão, para tração nas fibras inferiores e compressão nas superiores.

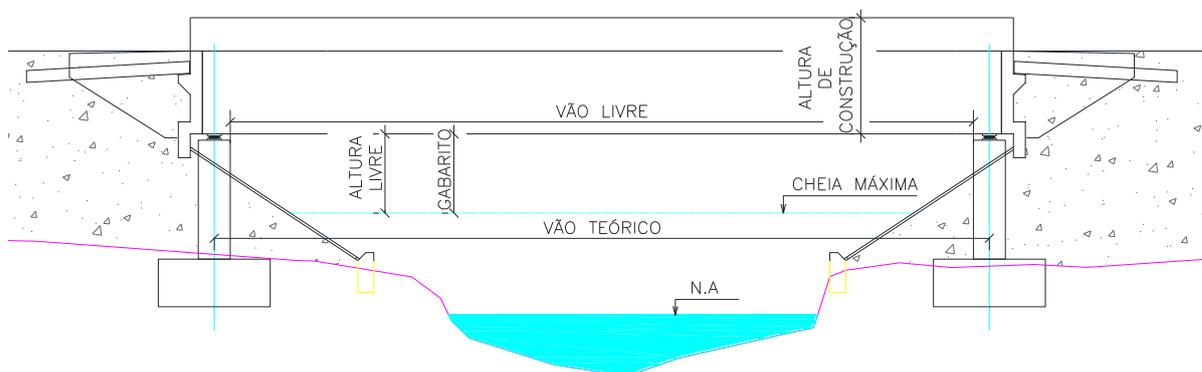
Conforme o já descrito, cada tipo estrutural possui uma diferente forma de dimensionamento, pois cada estrutura possui uma peça principal.

3.3 CONCEITOS IMPORTANTES PARA DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA

Algumas definições geométricas são muito importantes e devem ser conhecidas, segundo Pfeil (1983a, p. 41), são elas (figura 3):

- a) vão teórico do tramo: é a distância horizontal entre eixos de apoio;
- b) vão livre do tramo: é a distância horizontal entre as faces internas dos pilares;
- c) altura de construção: é a distância medida do ponto mais baixo da superestrutura ao ponto mais alto desta, verticalmente, pode variar de acordo com a seção. Em muitos casos a altura é um condicionante para o tipo de estrutura e de materiais adotados;
- d) altura livre: é a distância medida verticalmente do ponto mais baixo da superestrutura à superfície que se encontra sob a ponte ou o viaduto. Em uma ponte essa medida é feita com base na cota de cheia máxima do rio e num viaduto essa medida é feita da obra de arte até a faixa de tráfego;
- e) gabarito: é a altura livre a ser deixada abaixo da ponte ou viaduto e, normalmente, o gabarito que delimita a altura da construção.

Figura 3 – Definições geométricas



(fonte: elaborado pela autora)

As pontes podem se dividir quanto ao traçado da via em planta, que pode ser, conforme Pfeil (1983a, p. 41-42):

- a) tangente: a rodovia, na qual se insere a ponte se desenvolve em uma reta;
- b) curva horizontal: a rodovia, na qual se insere a ponte é em curva horizontal, podendo ser adotadas duas soluções construtivas para os vigaamentos,
 - vigas curvas, mantendo o eixo dos pilares de acordo com o eixo da estrada;
 - vigas retas, variando o eixo dos pilares em relação ao eixo da estrada;
- c) esconsa: a rodovia, a qual é transposta pelo viaduto não forma um ângulo reto com o mesmo.

As pontes podem ser divididas segundo o traçado da via em corte, que pode ser em nível, curva vertical e em rampa. Se os encontros estiverem na mesma altura, a obra se desenvolve em nível. Se os encontros estiverem em alturas diferentes, a obra pode se desenvolver em curva vertical ou em rampa. A escolha é feita baseada na altura dos apoios intermediários.

4 PONTE EM VIGA

A ponte em viga é o tipo estrutural mais antigo, pois uma tora de árvore caída sobre um rio caracteriza uma ponte em viga em sua forma mais simples. Estruturalmente este tipo de ponte é basicamente uma estrutura rígida colocada sobre dois pilares, assim o tabuleiro é solicitado por tração nas fibras inferiores e, por compressão, nas superiores. Na concepção de um projeto de ponte em viga de concreto armado, deve-se definir o tipo de seção transversal adotada, os métodos construtivos e o carregamento.

Conforme Pfeil (1983b, p. 82), “As pontes em vigas de concreto armado podem classificar-se segundo a disposição das vigas na seção transversal, ou segundo o esquema estrutural de cada viga considerada estruturalmente.”. O esquema estrutural pode ser definido de acordo com a seção transversal. Conforme Mason (1977, p. 3), para grandes pontes pode-se ter uma seção aberta, mais conhecida como T ou I, ou uma seção celular, mais conhecida como caixão. As diferentes seções resultam em pontes distintas e cada tipo de ponte estruturalmente funciona de forma diferente. Assim, as vigas T (seção aberta) são dimensionadas diferentemente das vigas caixão (seção celular).

Segundo Pucher (1961 p. 374), o método de cálculo para uma ponte em viga não se diferencia de um cálculo de vigas de um prédio que também podem apresentar momentos constantes ou variáveis em suas vigas. Em pontes o carregamento é dividido em permanente e móvel. O primeiro depende da seção transversal e material utilizado, e o segundo da finalidade da estrutura. A análise das cargas móveis deve ser feita através da variação da posição do trem tipo no tabuleiro na direção transversal e longitudinal. A solicitação do trem tipo é calculada pelo emprego de linhas de influência que dão como resultado a combinação de cargas cortantes e momentos de flexão.

Para um projeto de ponte é necessário definir o **tipo de viga** a ser adotado e a forma dos **outros elementos da superestrutura**. Após as definições iniciais, deve-se conceber o tipo de **método construtivo**. Em posse das definições anteriores é possível obter os **carregamentos**. Obtêm-se as solicitações com a aplicação do método das **linhas de influência** e seguindo a indicação das **normas utilizadas** neste trabalho.

4.1 TIPOS DE VIGAS

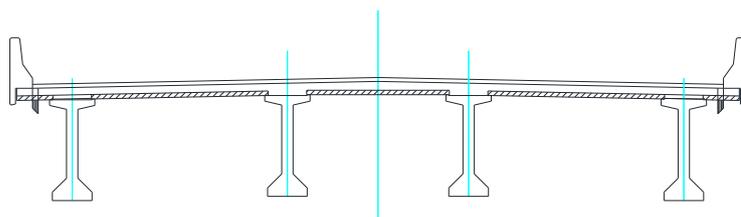
A superestrutura de uma ponte pode ter sua seção de duas formas: seção aberta e a celular. A seção aberta mais conhecida como T ou I é composta por longarinas, transversinas e lajes, que agem em conjunto formando uma grelha. A seção celular (caixão) é composta por uma única grande peça que possui uma distribuição uniforme de cargas por toda sua seção.

Segundo Mason (1977, p. 13), a ponte em seção aberta pode apresentar a superestrutura em grelha, em que as vigas longitudinais e as transversais e o tabuleiro trabalham em conjunto. A seção transversal da ponte em viga caixão é composta por uma única peça formada por lâminas solidárias entre si. Desta forma, o projeto estrutural pode ser feito com a simplificação da estrutura por uma barra de seção variável. Nos próximos itens são descritas as principais características das vigas T e caixão.

4.1.1 Viga T

A viga T é uma forma de seção transversal muito utilizada. É constituída basicamente pela laje, vigas e transversinas. Na figura 4, é possível observar uma seção transversal de uma ponte em viga T com base alargada.

Figura 4 – Seção com viga T



(fonte: elaborado pela autora)

A ponte em viga biapoiada possui no vão a parte superior solicitada por compressão e, a inferior, por tração. As lajes constituem o banzo comprimido e, na parte inferior da alma da viga está o tracionado. A seção da viga T pode não ser suficiente para a colocação de todas as armaduras necessárias. Neste caso, deve-se optar pelo alargamento da seção na parte inferior. Na consideração da força cortante, desde que respeite a resistência diagonal das bielas

comprimidas, a espessura das almas é pouco relevante. A adoção de almas delgadas gera uma diminuição na abertura de fissuras (LEONHARDT, 1979, p. 57).

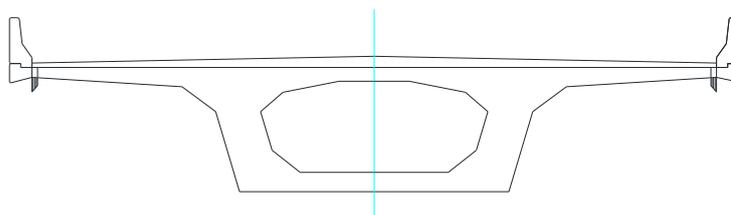
Conforme Pfeil (1983a, p. 76), normalmente a ponte em viga T é constituída por três ou mais vigas longitudinais, unidas transversalmente pelas transversinas. A ação conjunta das vigas e transversinas constitui uma grelha que gera uma distribuição das cargas pela superestrutura. Segundo Mason (1977, p. 13), as vigas longitudinais são responsáveis por vencer os vãos. As vigas transversais são destinadas a regular a distribuição de cargas nas longarinas. O tabuleiro serve como superfície de rolamento, transmite as cargas do tráfego à grelha e trabalha em conjunto para a distribuição das cargas.

4.1.2 Viga caixão

A viga em seção caixão (figura 5) é formada por uma única peça, na qual não é visível a divisão entre vigas e lajes. As partes constituintes, conforme Leonhardt (1979, p. 177), são:

- a) laje superior: forma a mesa colaborante das vigas, transmite e distribui a carga móvel às vigas;
- b) viga: possui no mínimo duas almas, que são dimensionadas conjuntamente com a laje, de forma a vencer o vão, sustentar a estrutura e transmitir as cargas para a laje inferior;
- c) laje inferior: permitir a distribuição das cargas das vigas.

Figura 5 – Seção com viga caixão



(fonte: elaborado pela autora)

Conforme Leonhardt (1979, p. 63), por apresentar uma grande rigidez à torção, as vigas em seção caixão são indicadas para pontes com seção variável. Também por esta característica, em pontes curvas, a viga seção caixão pode ser composta somente por pilares no início e no fim da ponte, sem necessitar de apoios intermediários.

Este tipo de seção transversal favorece a distribuição uniforme das cargas na seção transversal. Uma carga aplicada em qualquer ponto da pista se distribui igualmente e chega uniformizada na laje inferior (PFEIL 1983a, p. 76).

O projeto estrutural das pontes em seção caixão pode ser feito pela simplificação da estrutura como uma barra de seção variável, determinando para esta barra os esforços cortantes, momentos de flexão e torção. Após a obtenção da envoltória dos esforços é possível dimensionar a estrutura pelo método da resistência dos materiais e seguindo as indicações da norma de concreto armado (MASON, 1977, p. 37).

4.2 OUTROS ELEMENTOS DA SUPERESTRUTURA

Além das vigas, a superestrutura pode ser composta por outros elementos como laje, capeamento, transversinas, laje de transição, alas, guarda-rodas, passeios e guarda-corpos. A laje e as transversinas possuem funções estruturais e estão presentes nas pontes em viga. A laje de transição e as alas são projetadas de acordo com o tipo de solo nos encontros da obra. Os guarda-rodas e guarda-corpos são projetados para proteger os usuários das pontes. Esses elementos são descritos nos próximos subitens.

4.2.1 Laje

A laje, segundo Pfeil (1983a, p. 22), “[...] é o elemento de suporte direto da pista de rolamento e, eventualmente, dos passeios. As lajes de ponte são geralmente construídas em concreto armado, que é um material econômico e durável [...]” e sua parte superior é coberta por um capeamento que permite um melhor tráfego, normalmente o material adotado é o asfalto. Conforme Pucher (1961 p. 317), para seu dimensionamento, as cargas do peso próprio e móvel devem ser definidas.

Nas lajes, um dado importante é a largura colaborante das mesas, que é a porção da laje que está colaborando com a viga. Para realizar o projeto estrutural da superestrutura é necessário conhecer qual a colaboração da laje na flexão das almas das vigas (MASON, 1977, p. 71).

4.2.2 Capeamento

O capeamento asfáltico é muito adequado, pois apresenta boas características para o trânsito. O asfalto possui fácil manutenção, em casos de deterioramento da pista de rolamento, pode-se adotar um recapeamento (PFEIL, 1983a, p. 26).

Quanto à carga, segundo a NBR 7187 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a, p. 4), o peso da pavimentação é considerado calculando-se o seu volume e multiplicando por um valor de peso específico de no mínimo 24 kN/m^3 . Como a utilização da rodovia gera um desgaste na superfície em uma eventual manutenção pode ser feito um recapeamento, por isso deve-se prever uma carga adicional de 2 kN/m^3 .

4.2.3 Transversinas

As transversinas são vigas transversais e em pontes com viga caixão, de acordo com Leonhardt (1979, p. 193), só são utilizadas nos apoios, pois cada vez mais fica provado que esses elementos se tornam desnecessários para um maior enrijecimento e manutenção da forma transversal. Em pontes em seção aberta, as transversinas servem de apoio para as lajes e garantem rigidez à estrutura (PUCHER, 1961, p. 325). De acordo com Mason (1977, p. 46), é possível tirar proveito da ação combinada das transversinas e da laje do tabuleiro formando uma grelha. Nessas soluções há uma distribuição transversal da carga móvel. Conforme Pucher (1961 p. 326), o efeito em grelha deve ser considerado na hora do dimensionamento da transversina: elas devem ser o mais alto e esbelto possível. A largura utilizada normalmente para estes elementos é de 0,20 ou 0,25 m.

Quanto à carga móvel, segundo a NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 4), “Para o cálculo de cortinas e transversinas solidárias às lajes, o carregamento, na ausência de justificativa teórica mais precisa, deve ser o de um eixo isolado, com o peso total do veículo correspondente à classe da ponte, acrescido ainda do respectivo impacto.”. Em alguns casos, a contribuição das transversinas não é levada em conta, gerando uma simplificação no cálculo da viga.

As transversinas podem ser divididas em três tipos: de entrada, de apoio e de meio de vão. Cada um desses tipos desempenha uma função diferente na superestrutura. Nos próximos parágrafos, são descritos esses três tipos de transversinas.

As **transversinas de entrada**, também conhecidas como cortinas são projetadas para conter o aterro e servir de apoio para a laje. Caso esse elemento não fosse colocado, a viga seria solicitada em excesso nesse ponto. As transversinas de entrada geralmente acompanham toda a largura da ponte (PFEIL, 1983a, p. 25).

As **transversinas de apoio**, segundo Leonhardt (1979, p. 140), são necessárias para absorver os esforços produzidos pelo vento e como enrijecimento à torção das vigas principais. Para esta função a alma da transversina deve ser apoiada em toda a largura. Para as transversinas de apoio de seções caixão pode ser utilizada, na maioria dos casos uma chapa com base de 0,3 a 0,5 m.

As **transversinas de meio de vão** são utilizadas com fins estruturais normalmente nas pontes em viga de seção aberta. Segundo Leonhardt (1979, p. 140), são dispostas no meio do vão ($l/2$), de modo a obter uma melhor distribuição de cargas, pode-se também projetar duas transversinas a $l/3$ quando necessário. As transversinas de meio de vão são indicadas quando existe mais de duas vigas principais para realizar a transferência das cargas, obtendo assim uma grelha.

4.2.4 Laje de transição

Na construção de pontes normalmente nos encontros há um aterro que é contido pela superestrutura através da transversina de entrada. Porém, com o tráfego gerado pela utilização da rodovia, o aterro recalca, o que gera uma depressão no encontro da via com a ponte que forma um degrau, gerando desconforto para os motoristas e, em casos extremos, pode gerar acidentes (LEONHARDT, 1979, p. 87).

Para amenizar as diferenças de níveis da estrada e da ponte, deve ser adotada uma laje de transição. Segundo Pfeil (1983a, p. 31), “A laje ou placa de transição é uma placa apoiada num dente da estrutura e no próprio terrapleno. A função da placa de transição é amenizar as diferenças de nível entre o terrapleno e o tabuleiro da ponte, provocadas por recalques do

primeiro.”. O comprimento deste elemento é calculado de acordo com o recalque estimado para o encontro.

4.2.5 Alas

O aterro existente nos encontros da ponte com a rodovia é contido pela transversina de entrada, mas, para melhorar a contenção lateral do aterro, é adotada a utilização de alas laterais (PFEIL, 1983a, p. 31). As alas podem apresentar três formas possíveis de execução, conforme Leonhardt (1979, p. 81-83):

- a) alas paralelas: mais apropriadas para aterros e cortes, encerram o aterro paralelamente ao eixo da ponte, e são dispostas nas extremidades da transversina de entrada formando um ângulo de 90° cada;
- b) alas seguindo o talude: são uma extensão da transversina de entrada, não encerram o aterro e sim o limitam;
- c) alas dispostas em um plano inclinado: encerram o aterro em um plano inclinado e não são muito utilizadas por não apresentem uma boa solução do ponto de vista estético.

Embora sejam mais caras, em geral, as adotadas são as alas paralelas. A disposição estrutural é uma extremidade engastada nas paredes da transversina de entrada e a outra em balanço. O empuxo de terra deve ser considerado igual a 1,5 a 3 vezes o valor do empuxo de terra normal, pois o reaterro tende a se deformar entre as alas.

4.2.6 Guarda-rodas

Os guarda-rodas são obstáculos físicos que podem ser metálicos ou em concreto armado. Sua finalidade é impedir a saída dos veículos da pista de rolamento e absorver possíveis impactos de veículos desgovernados (PFEIL, 1983a, p. 26).

Na definição da geometria Leonhardt (1979, p. 72) afirma que “Os guarda-rodas devem ser tão baixos quanto possível e chanfrados a aproximadamente 45°, para que os veículos desgovernados não tenham um impacto lateral muito forte. As defensas devem ser flexíveis, para que os esforços que possam causar danos sejam pequenos.”.

Na consideração da carga móvel, segundo a NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 4), os guarda-rodas devem ser dimensionados de forma a absorver uma força horizontal concentrada aplicada em sua aresta superior de 60 kN. Essa carga é definida de forma a simular um eventual impacto de veículo.

4.2.7 Passeios

O passeio, conforme Pfeil (1983a, p. 26), é a parte constituinte de uma ponte destinada ao tráfego de pedestres. Quanto à definição geométrica, em geral, os passeios tem uma largura da ordem de 1,50 m e devem ter proteção física na divisão da pista com o passeio (guarda-rodas) e na parte externa (guarda-corpo). No dimensionamento devido à carga móvel, conforme a NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 4), “Os passeios, independentemente de largura ou altura, são carregados com a carga distribuída [...] não majorada pelo impacto.”.

4.2.8 Guarda-corpo

Segundo Pfeil (1983a, p. 27), os guarda-corpos são peças utilizadas para a proteção dos pedestres e devem ser dispostas lateralmente ao longo de todo o passeio. No dimensionamento, as peças são projetadas para resistir a um esforço horizontal transversal de 0,8 kN/m aplicado no ponto mais alto do guarda-corpo. Na definição da geometria, de acordo com Leonhardt (1979, p. 73), “Os guarda-corpos devem ter 0,9 a 1,0 m de altura nos passeios e 1,0 a 1,2 m de altura no caso de pontes rodoviárias, servem não apenas de proteção, como também, influem sensivelmente na aparência da ponte; por isso, devem ser bem projetados.”.

4.3 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Os métodos construtivos, como já destacado, são escolhidos entre outros fatores, de acordo com os recursos disponíveis, tempo necessário para o término da obra e tipo de ponte. A escolha do método é de extrema importância, pois pode comprometer a eficiência da estrutura.

O método construtivo é muito importante na solução do projeto de pontes, além dele ser marcante para a geometria da obra, de acordo com a logística pode introduzir esforços consideráveis durante a construção, que devem ser levados em conta durante o projeto (MASON, 1977, p. 301). Como, por exemplo, numa ponte em seção aberta com viga T e lajes pré-moldadas, durante a execução, antes da cura do concreto das junções, as vigas sustentam sozinhas todos os outros elementos como se fossem somente cargas distribuídas (lajes) e concentradas (transversinas). Após a cura do concreto das junções entre os elementos, as lajes e transversinas começam a contribuir na distribuição das cargas fazendo com que a estrutura funcione como uma grelha.

As pontes de concreto armado podem ser pré-moldadas ou moldadas *in loco*. Na solução de construção moldada *in loco*, deve ser utilizada uma equipe qualificada que siga rigorosamente o projeto estrutural. Na escolha por uma solução em pré-moldados, alguns fatores devem ser levados em conta na hora do projeto, como, por exemplo, os equipamentos de içamento e a disponibilidade dos mesmos na região, o método de transporte e a possibilidade deste ser realizado nas rodovias existentes (O'CONNOR, 1975, p. 2). Nos próximos subitens, são descritos os métodos pré-moldado e moldado *in loco*.

4.3.1 Pré-moldado

O método de construção em pré-moldados tende a apresentar um aumento de qualidade em comparação ao moldado *in loco*. Esse método construtivo vem sendo cada vez mais utilizado, pois introduz a industrialização, automatização e diminuição do tempo de construção. Na construção com pré-moldados, pode-se ter toda a obra com pré-moldagem, através de encaixes entre os elementos, ou compor a seção parcialmente por pré-moldagem e os encontros moldados *in loco* (MASON, 1977).

O método de construção em pré-moldados pode ser econômico desde que se tenham muitas pontes iguais ou com vãos parecidos. Em alguns casos, de acordo com a quantidade de vigas iguais a serem feitas, pode ser instalada uma fábrica de pré-moldados nas proximidades da obra (LEONHARDT, 1979, p. 45). O pré-moldado é indicado quando se tem o uso de elementos protendidos na obra, pois ele evita a fissuração do concreto nas fases construtivas (PFEIL, 1983a, p. 204).

As vigas de seção caixão pré-moldadas podem ser adotadas com vãos até 20 m de comprimento, se maior do que 20 m estas devem ser moldadas *in loco*. Ainda é possível se ter a opção de dividir a viga em segmentos longitudinais, acarretando na diminuição do comprimento de cada peça e, após a união de todos os segmentos transversais, estes são protendidos em conjunto (LEONHARDT, 1979, p. 68).

4.3.2 Moldado *in loco*

De acordo com Leonhardt (1979, p. 39), "O processo mais antigo é o da execução de formas, que são montadas sobre um escoramento e nas quais o concreto é 'fundido' ou lançado, no local.". No projeto, quando se adota a solução de moldagem *in loco*, alguns cuidados devem ser tomados, por exemplo, os escoramentos, geralmente de madeira, devem ser projetados de forma a suportar a ação do vento, peso das armaduras e do concreto. A concretagem dos elementos deve obedecer a um plano de concretagem, em que elementos pequenos tenham a execução em uma só etapa e peças grandes sejam executadas por etapas.

O objetivo dos cuidados na concretagem é a obtenção de um conjunto rígido, uma única peça (PFEIL, 1983a, p. 199). Além de todos esses cuidados, antes da concretagem, é necessário fazer a moldagem de corpos de prova, após um determinado número de dias, normalmente 7 e 28 se faz o rompimento dos corpos de prova para ver se a resistência especificada está sendo atingida. As armaduras devem ser conferidas de acordo com o projeto estrutural e os cobrimentos devem ser respeitados.

4.4 CARREGAMENTOS

Os carregamentos que agem sobre as pontes se dividem em cargas permanentes e variáveis. A carga permanente é basicamente o peso específico da estrutura, o qual depende da geometria dos elementos. As cargas variáveis, também conhecidas como úteis, são geradas pelo vento incidente na estrutura e o trem tipo. Conforme Pfeil (1983b, p. 95), "As cargas de peso próprio, tendo sua posição fixa na estrutura, se prestam a um cálculo mais simples que as cargas úteis, cuja posição no tabuleiro é variável.". Nos próximos itens, são descritos os três tipos de cargas: permanente, móvel e devida ao vento.

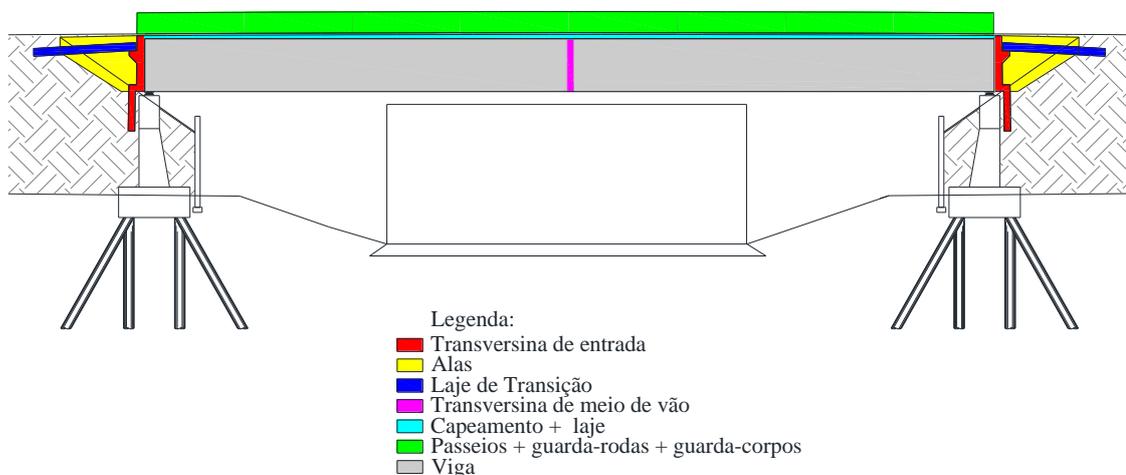
4.4.1 Carga permanente

Segundo Pfeil (1983a, p. 129), “As estruturas das pontes, como quaisquer outras, têm que suportar, além das cargas externas, o seu peso próprio. A importância relativa do peso próprio, no total de solicitações, depende do material empregado e do vão livre da ponte.”

As cargas permanentes, conforme a NBR 7187 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a, p. 4), são “Ações cujas intensidades podem ser consideradas como constantes ao longo da vida útil da construção. Também são consideradas permanentes as que crescem no tempo, tendendo a um valor limite constante.”

A carga permanente é dividida em distribuída e concentrada, conforme as figuras 6 e 7. As cargas distribuídas são capeamento, laje, passeios, guarda-rodas, guarda-corpos e viga. As cargas concentradas são devidas à laje de transição, às alas e às transversinas.

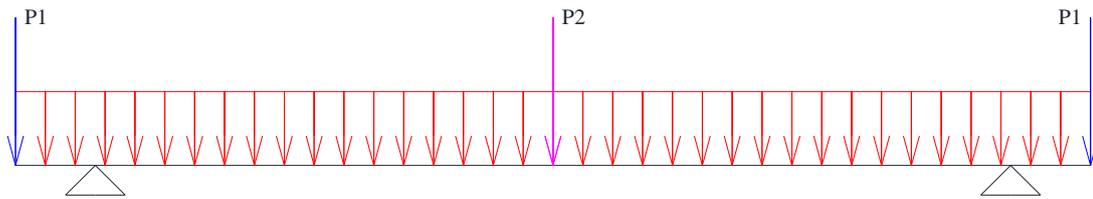
Figura 6 – Divisão dos elementos da ponte



(fonte: elaborado pela autora)

O peso próprio é a carga permanente da estrutura e, conforme Mason (1977, p. 8), é calculada multiplicando-se o volume do elemento de concreto armado pelo seu peso específico. Para o concreto armado o peso específico é estimado de 2,4 a 2,5 t/m³. Os outros elementos da estrutura (guarda-rodas, guarda-corpos e pavimentação) também entram no cálculo da carga permanente. Pfeil (1983b, p. 95) afirma que é definida uma porcentagem da carga permanente a ser suportada por cada viga principal. Através dessa porcentagem é possível obter a solicitação a que está sujeita cada uma das vigas.

Figura 7 – Distribuição de cargas na ponte



P1 - Transversina de entrada + Alas + Laje de Transição

P2 - Transversina de meio de vão

P3 - Capeamento + laje + passeios + guarda-rodas + guarda-corpos + viga

(fonte: elaborado pela autora)

4.4.2 Carga móvel

A carga móvel, segundo a NBR 7188, é uma simplificação das cargas atuantes na rodovia, que é feita através de um veículo tipo que reúne as características dos carregamentos provenientes do tráfego. Esse veículo tipo deve ser considerado em sua posição mais desfavorável para o projeto estrutural de cada elemento. Quando uma porção do carregamento gerar redução das solicitações, esta deve ser desconsiderada no cálculo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984). As cargas móveis produzem efeitos dinâmicos na ponte, conforme Mason (1977, p. 10-12), sendo eles:

- a) impactos vertical e lateral: gerado pelo trânsito de veículos sobre a estrutura e eventuais colisões entre veículos e ponte;
- b) força longitudinal: devida a frenagem e aceleração dos veículos;
- c) força centrífuga: ocasionada em pontes curvas pelo tráfego dos veículos.

Segundo Pfeil (1983a, p. 131-133), a carga móvel, também conhecida como carga útil, pode ser localizada em posições variáveis sobre o tabuleiro da ponte. Para isso, o veículo deve ser orientado no sentido do tráfego e ter a sua posição variada longitudinalmente (seção mais solicitada) e transversalmente (viga mais solicitada). No dimensionamento, considera-se todas essas posições pelo método de linhas de influência para gerar a combinação de cargas. O veículo, além do peso, ainda possui as cargas geradas pelo impacto vertical e lateral. O impacto é considerado através de um acréscimo percentual na carga e é calculado através de um coeficiente dado pela fórmula 1:

$$\text{Coeficiente de impacto} = 1,4 - 0,007 L \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

L = comprimento do vão em metros.

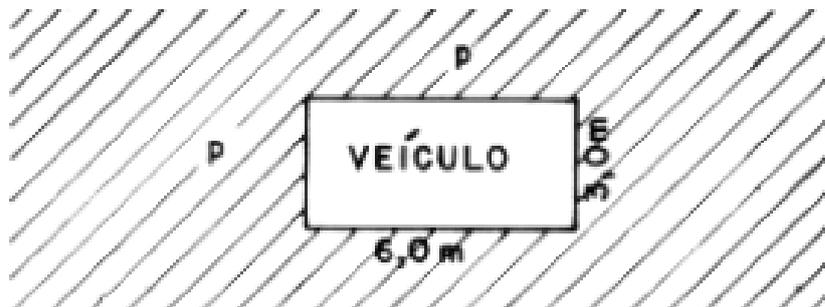
As cargas são definidas pela tabela 1, que apresenta, de acordo com a classe da ponte, o peso total do veículo e a carga uniformemente distribuída. A localização do veículo na pista indica como as cargas devem ser distribuídas no tabuleiro para realizar o procedimento do cálculo (figura 8).

Tabela 1 – Cargas dos veículos (NBR 7188)

Classe da ponte	Veículo			Carga uniformemente distribuída				Disposição da carga
	Tipo	Peso total		p		p'		
		kN	t _f	kN/m ²	kgf/m ²	kN/m ²	kgf/m ²	
45	45	450	45	5	500	3	300	Carga p em toda a pista
30	30	300	30	5	500	3	300	
12	12	120	12	4	400	3	300	Carga p' nos passeios

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 3)

Figura 8 – Disposição das cargas do veículo na pista (NBR 7188)



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 3)

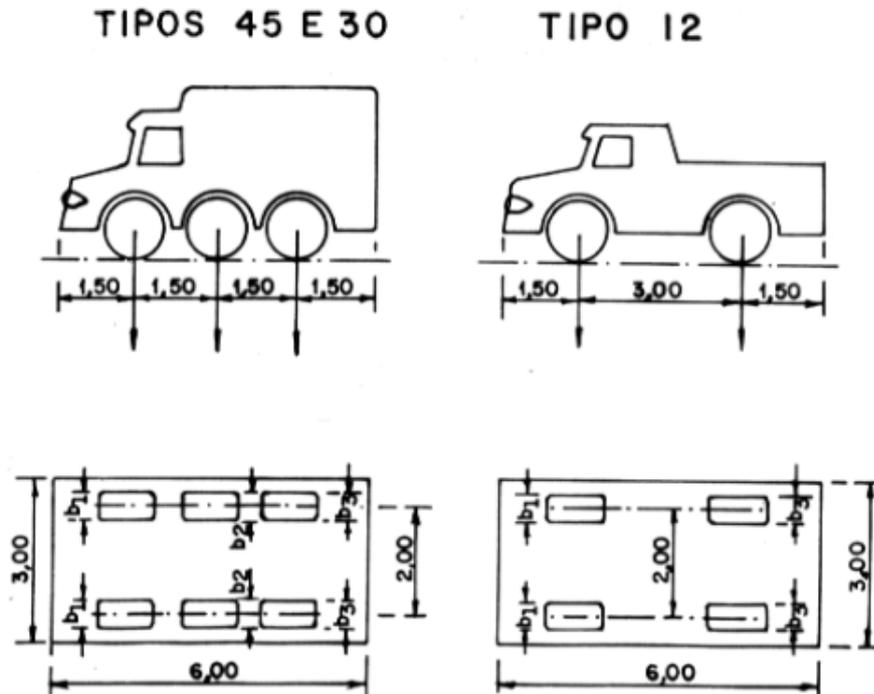
Uma descrição mais detalhada do trem tipo está apresentada na tabela 2. As dimensões dos trens tipo estão apresentadas na figura 9.

Tabela 2 – Características dos veículos (NBR 7188)

	Unidade	Tipo 45	Tipo 30	Tipo 12
Quantidade de eixos	Eixo	3	3	2
Peso total do veículo	kN - t_f	450 - 45	300 - 30	120 - 12
Peso de cada roda dianteira	kN - t_f	75 - 7,5	50 - 5	20 - 02
Peso de cada roda traseira	kN - t_f	75 - 7,5	50 - 5	40 - 04
Peso de cada roda intermediária	kN - t_f	75 - 7,5	50 - 5	-
Largura de contato b_1 de cada roda dianteira	m	0,50	0,40	0,20
Largura de contato b_3 de cada roda traseira	m	0,50	0,40	0,30
Largura de contato b_2 de cada roda intermediária	m	0,50	0,40	-
Comprimento de contato de cada roda	m	0,20	0,20	0,20
Área de contato de cada roda	m ²	0,20 x b	0,20 x b	0,20 x b
Distância entre os eixos	m	1,50	1,50	3,00
Distância entre os centros de roda de cada eixo	m	2,00	2,00	2,00

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984. p. 3)

Figura 9 – Representação dos trens tipo (NBR 7188)



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984. p. 4)

4.4.3 Carga devida ao vento

Mason (1977, p. 11) afirma que o “**Vento:** incide transversalmente sobre a ponte e a carga móvel, sendo o seu efeito avaliado através de pressões por unidade de área, estabelecidas regularmente.”. Conforme Pfeil (1983b, p. 65), essas pressões são definidas de acordo com a forma da superfície e a direção de incidência do vento e ainda podem interferir na pressão aerodinâmica, os efeitos de rajada e a situação da topografia da obra.

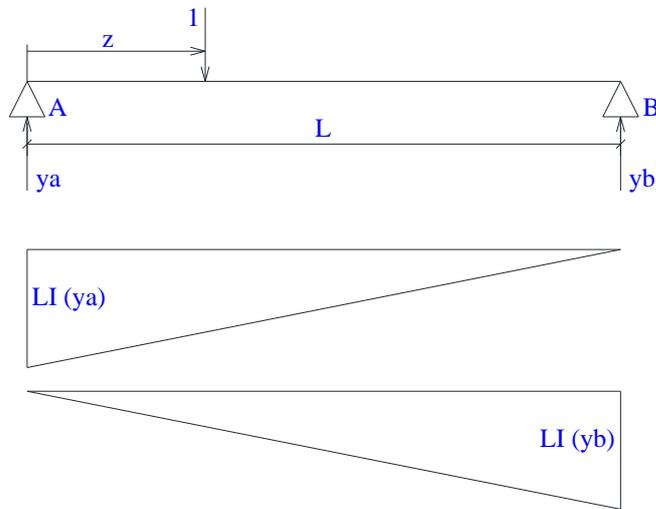
Segundo Leonhardt (1979, p. 75), quando as pontes estão situadas muito acima do nível do terreno, conforme a incidência do vento podem os veículos estar em uma situação de risco, principalmente quando no percurso há a passagem de um corte ou túnel para um vale, ou quando há a passagem de uma zona cheia de casas para uma via em terreno aberto. Em alguns casos é prudente proceder ao ensaio da estrutura em um túnel de vento.

4.5 LINHAS DE INFLUÊNCIA

Segundo Pfeil (1983b, p. 105), “Denomina-se linha de influência de uma solicitação S_m , num ponto m , uma das linhas cujas ordenadas fornecem os valores de S_m para diversas posições de uma carga unitária.”. Ainda, conforme Pfeil (1983b, p. 106), “Um processo geral para determinar as linhas de influência consiste em desenhar os diagramas das solicitações desejadas para diversas posições de uma carga unitária, efetuando-se, depois, uma troca de ordenadas.”.

Primeiramente representa-se a linha de influência das reações nos apoios para uma viga simplesmente apoiada (figura 10) para saber, conforme a localização da carga, qual a porcentagem está aplicada no apoio A e qual está no apoio B. Após esta determinação, o método das linhas de influência é aplicado para os esforços cortantes e momentos de flexão (figura 11).

Após a aplicação das linhas de influência obtêm-se como resultado as envoltórias para os esforços cortantes e momentos de flexão máximos de cada seção (MASON, 1977, p. 118). Em posse desses resultados, compatibilizados com os esforços da carga permanente, é possível fazer o dimensionamento da viga.

Figura 10 – Linha de influência para relações y_a e y_b 

(fonte: baseado em PFEIL, 1983b, p. 106)

O cálculo da linha de influência para o apoio A é dado pela fórmula 2:

$$y_a = 1 - (z / L) \quad \text{(fórmula 2)}$$

Onde:

y_a = porcentagem da carga no apoio A (%);

z = distância do ponto A (m);

L = comprimento total do vão (m).

O cálculo da linha de influência para o apoio B é dado pela fórmula 3:

$$y_b = z / L \quad \text{(fórmula 3)}$$

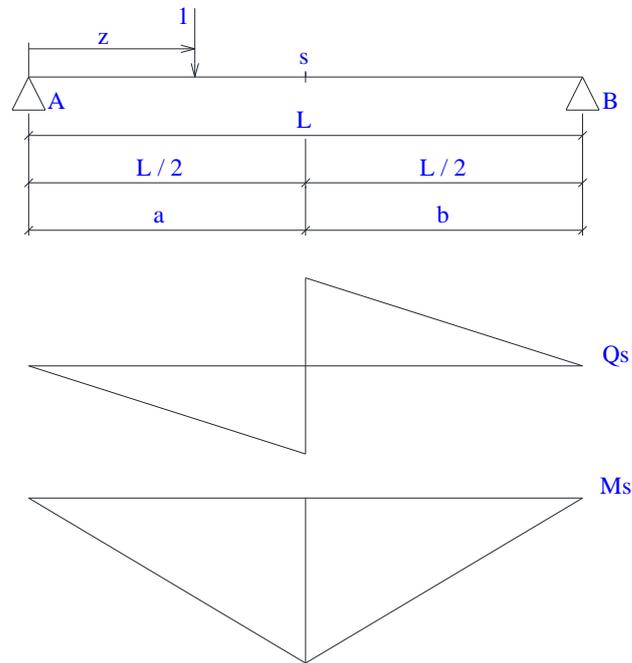
Onde:

y_b = porcentagem da carga no apoio B (%);

z = distância medida em relação ao ponto A (m);

L = comprimento total do vão (m).

Figura 11 – Linha de influência para esforço cortante e momento de flexão



(fonte: baseado em PFEIL, 1983b, p. 107-108)

A linha de influência para o esforço cortante é dada pelas fórmulas 4 e 5, cada uma das fórmulas é para um trecho da viga:

$$Q_s = (z / L), \text{ para } 0 < z < a \quad (\text{fórmula 4})$$

$$Q_s = 1 - (z / L), \text{ para } a < z < b \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

Q_s = porcentagem do esforço cortante na seção S (%);

z = distância do ponto A (m);

L = comprimento total do vão (m);

a = comprimento medido do ponto A até a seção S (m);

b = comprimento medido da seção S até o ponto B (m).

A linha de influência para o momento de flexão é dada pelas fórmulas 6 e 7, cada uma das fórmulas é para um trecho da viga:

$$M_s = [z / (a + b)] \cdot b, \text{ para } 0 < z < a \quad (\text{fórmula 6})$$

$$M_s = [(z b) / (a + b)] - z + a, \text{ para } a < z < b \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

M_s = porcentagem do momento de flexão na seção S (%);

z = distância do ponto A (m);

L = comprimento total do vão (m);

a = comprimento medido do ponto A até a seção S (m);

b = comprimento medido da seção S até o ponto B (m).

4.6 NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS

Para o trabalho algumas normas técnicas foram utilizadas. As normas que sugerem procedimentos de cálculo especificadamente para pontes são a NBR 7188 e a NBR 7187. A NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 1) indica como as cargas móveis devem ser consideradas no cálculo das pontes rodoviárias. São definidas três classes para as pontes rodoviárias com diferentes trens de carga. A NBR 7187 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a p. 1) sugere todos os requisitos que devem ser obedecidos na execução dos projetos de pontes de concreto armado, e as outras normas que devem ser consultadas.

Outras duas normas foram utilizadas, a NBR 8681 e a NBR 6118. A NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b p. 1) “[...] visa os requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações [...]”. A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007 p. 1) “[...] fixa os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais.”. Essa Norma também “[...] estabelece os requisitos gerais a serem atendidos pelo projeto como um todo, bem como os requisitos específicos relativos a cada uma de suas etapas.”.

5 PROJETO VIGA T

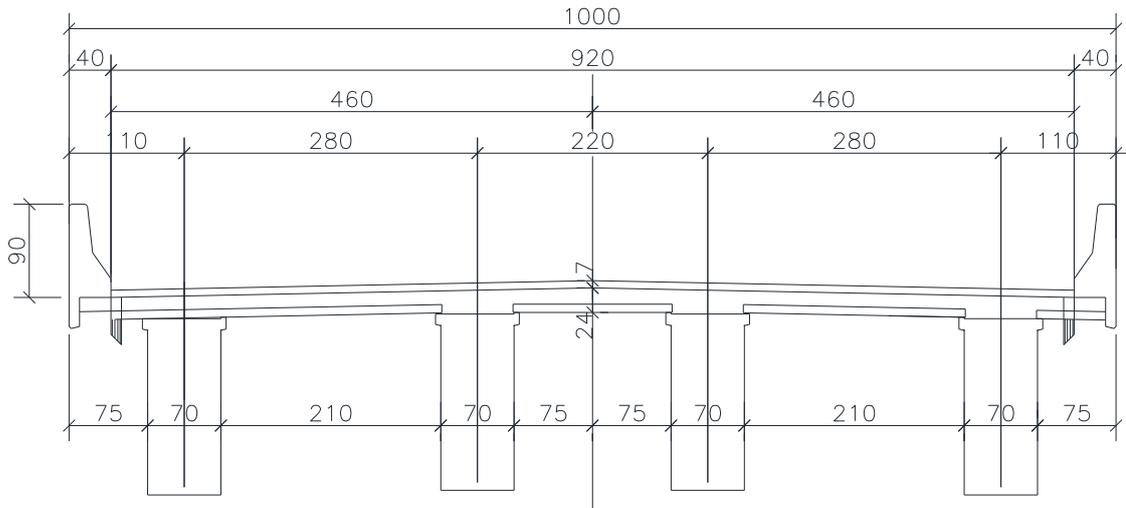
Para a elaboração do projeto da viga T, definiu-se a geometria da ponte conforme a topografia do local de implantação e a altura livre disponível, respeitando o gabarito mínimo exigido pelo contratante. Primeiramente validou-se a geometria antes de proceder a identificação das cargas atuantes na estrutura. Conforme recomendações das normas, a superestrutura foi dimensionada para a ação das cargas permanentes e móveis. A ponte foi dividida em vinte seções equidistantes. O dimensionamento foi conduzido de forma a definir armaduras que suportem os esforços que agem em cada uma delas. Após o dimensionamento, realizou-se o cálculo da quantidade de materiais necessários para a sua execução. Nos próximos itens, estão descritos os passos que foram seguidos no projeto estrutural da viga.

5.1 DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA

A estrutura estudada é uma ponte de concreto armado cujo traçado se desenvolve em tangente e em nível. O vão é de 20 m e o tabuleiro da obra é formado por duas faixas de tráfego de 3,60 m, dois acostamentos de 1,00 m e dois guarda-rodas com largura de 0,40 m, totalizando a largura de 10,00 m. A seção transversal adotada é composta por quatro vigas T de base alargada próxima aos apoios, pré-lajes e laje. A laje possui largura de 9,80 m, espessura variável de 0,218 m na parte externa do tabuleiro e 0,237 m no eixo. É concretada *in loco* e, sua parte inferior, é delimitada pelas pré-lajes e vigas. As pré-lajes têm 0,08 m de espessura, e apoiam 0,06 m na viga, elas são divididas em centrais e externas, as primeiras possuem comprimento de 1,52 m e, as segundas, de 3,46 m e se estendem até o balanço. A viga possui 1,70 m de altura, sendo que a espessura da alma é 0,20 m no vão e 0,70 m no apoio.

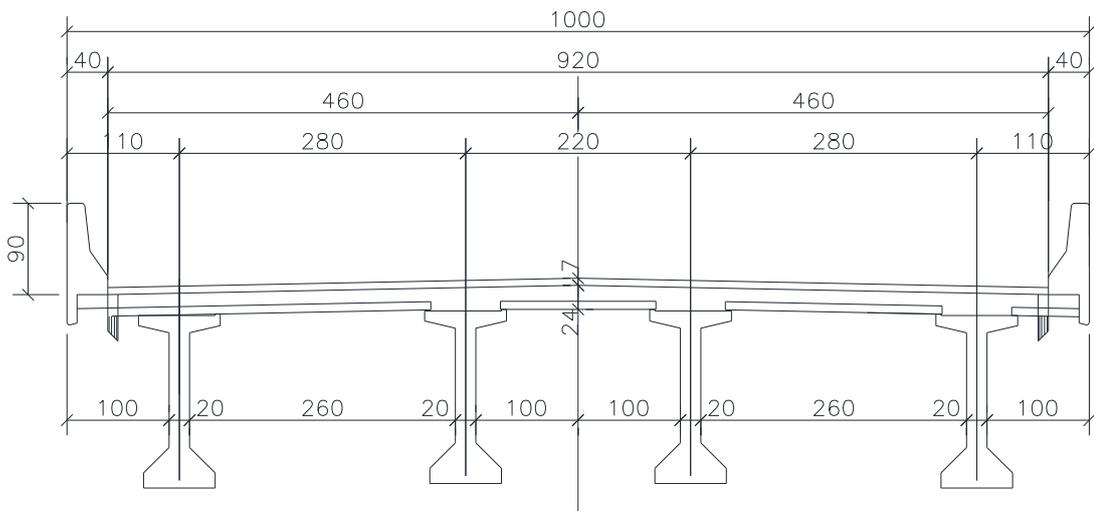
A superestrutura também é composta por duas transversinas de entrada, quatro lajes de transição, quatro alas, guarda-rodas de ambos os lados do tabuleiro e pavimento. Estes elementos podem ser observados nas figuras 12 a 15 que mostram as seções da viga T no apoio, no vão, vista superior e perfil longitudinal.

Figura 12 – Seção transversal no apoio – viga T



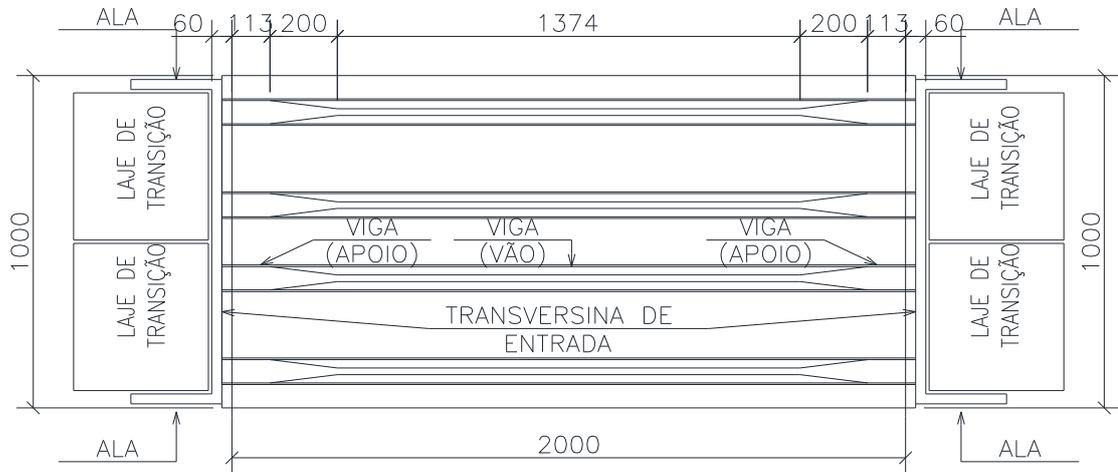
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 13 – Seção transversal no vão – viga T



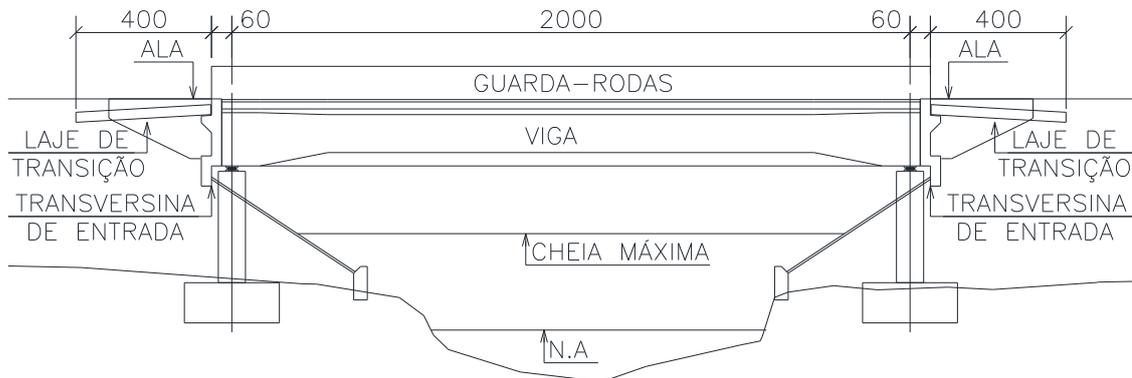
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 14 – Vista superior – viga T



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 15 – Perfil longitudinal – viga T



(fonte: elaborado pela autora)

5.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CARGAS ATUANTES

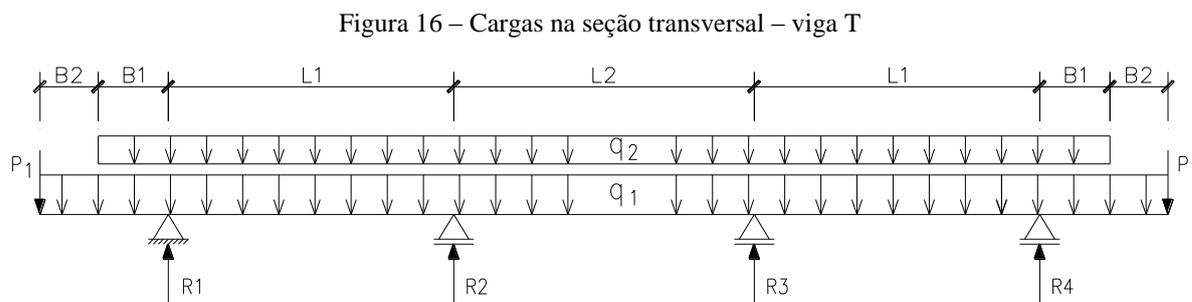
A estrutura estudada foi calculada de forma a suportar o peso próprio, a carga móvel, os esforços devidos ao vento e os empuxos de terra e água. O peso próprio depende basicamente da geometria da ponte. A carga móvel solicita a estrutura com cargas verticais e com as forças horizontais geradas por frenagem e aceleração. Os pilares podem ser solicitados por empuxos de terra ou de água, dependendo do meio onde se encontram. Os esforços devidos ao vento agem diretamente nos aparelhos de apoio como forças, pois a superestrutura é muito rígida. O

presente trabalho delimitou-se a análise da superestrutura, portanto os esforços considerados foram o peso próprio e a carga móvel, e são detalhados nos próximos itens.

5.2.1 Cálculo das cargas permanentes

Na ponte em seção aberta com viga em seção T, considera-se que cada viga recebe uma porcentagem da carga da superestrutura. As cargas permanentes foram analisadas através de elemento contínuo. O carregamento distribuído longitudinalmente em cada viga foi determinado pela reação da mesma.

Para o cálculo da porcentagem de carga recebida por cada viga realizou-se uma análise da seção transversal, sendo aplicadas as cargas dos elementos que se distribuem ao longo da superestrutura. Nesta análise foram considerados guarda-rodas (P_1), laje (q_1) e pavimento (q_2). O peso específico utilizado no trabalho para o pavimento foi $2,4 \text{ t/m}^3$ e para o concreto foi $2,5 \text{ t/m}^3$. Os resultados obtidos desta análise (R_1 , R_2 , R_3 e R_4) correspondem à carga suportada por cada viga. Na figura 16, L_1 e L_2 são as distâncias entre eixos de vigas, B_1 é a distância do eixo da viga até o guarda-rodas e B_2 é a largura do guarda-rodas.



(fonte: elaborado pela autora)

No cálculo das reações foi utilizado o programa Ftool desenvolvido por Martha (2012) e resultou em 32% para cada uma das vigas extremas e 18% para cada uma das vigas centrais. O resultado da análise mostra que as extremas suportam uma maior quantidade de carga (32%).

Para continuar o cálculo da viga além da reação R_1 aplicada como carga distribuída ao longo de todo o vão, foi considerado o seu peso próprio e o alargamento nos apoios. A tabela 3

mostra um resumo das cargas permanentes. Após esta etapa dividiu-se o perfil longitudinal em vinte seções equidistantes e utilizou-se o programa Ftool para obtenção dos valores do esforço cortante e momento de flexão em cada uma delas (tabela 4). Os resultados apresentados foram obtidos para as vigas extremas e adotados para as demais, não necessitando repetir o processo de cálculo.

Tabela 3 – Resumo cargas permanentes – viga T

Cargas Concentradas	Carga (t)	Abcissa (m)
Transversina de entrada, laje de transição e ala	38,79	0,00
Transversina de entrada, laje de transição e ala	38,79	20,00
Carga Distribuída	Carga (t/m)	
Pavimento, guarda-rodas e vigas	4,32	0-20

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 4 – Valores por seção de esforços da carga permanente – viga T

Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)
0,00	43,20	0,00	7,00	12,96	196,56	14,00	-17,28	181,44
1,00	38,88	41,04	8,00	8,64	207,36	15,00	-21,60	162,00
2,00	34,56	77,76	9,00	4,32	213,84	16,00	-25,92	138,24
3,00	30,24	110,16	10,00	0,00	216,00	17,00	-30,24	110,16
4,00	25,92	138,24	11,00	-4,32	213,84	18,00	-34,56	77,76
5,00	21,60	162,00	12,00	-8,64	207,36	19,00	-38,88	41,04
6,00	17,28	181,44	13,00	-12,96	196,56	20,00	-43,20	0,00

(fonte: elaborado pela autora)

Os resultados obtidos foram exatamente como eram esperados. Para uma viga bi-apoiada o esforço cortante apresenta seu maior valor nos apoios e é zero no meio do vão. O momento de flexão é zero nos apoios e apresenta o seu maior valor no meio do vão.

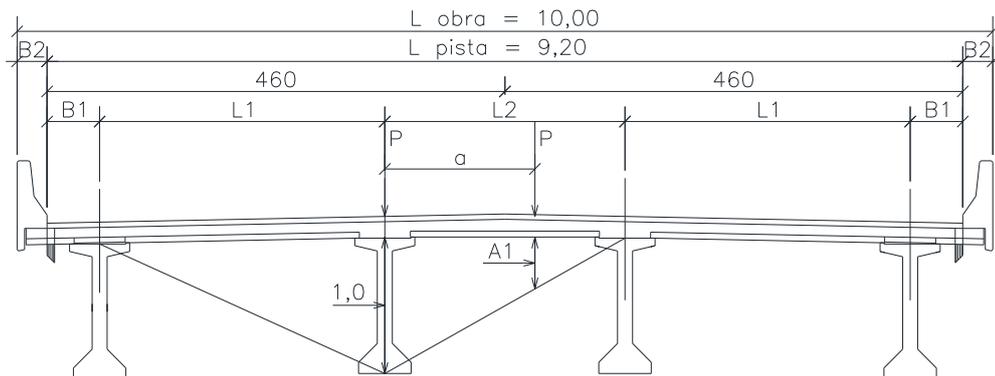
5.2.2 Cálculo das cargas móveis

Para obtenção do trem de carga longitudinal foi empregado o conceito de carga móvel (item 4.4.2) e o de linhas de influência (item 4.5). Para a análise por linhas de influência considera-se que a laje está somente apoiada na viga, quando na verdade ela está engastada. O engaste

se dá pelo fato de a viga pré-moldada em sua face superior possuir ferros de esperas em que é feito o encaixe das pré-lajes. Após esta etapa o conjunto é concretado, formando uma peça monolítica. Essa simplificação na consideração da ligação faz com que as taxas de aço sejam maiores que as realmente necessárias, mas gera uma redução na complexidade dos cálculos.

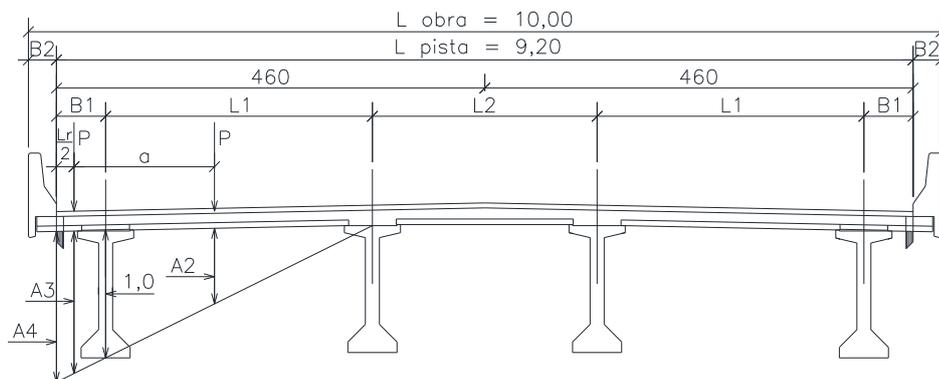
No cálculo das cargas móveis, como já citado anteriormente no item 4.4.2, o veículo utilizado foi o TB-45 da NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 3). Primeiramente calculou-se o coeficiente de impacto (fórmula 1) para o vão teórico considerado de 20,00 m. O primeiro estudo realizado no sentido transversal da pista, com o intuito de encontrar qual a viga mais solicitada e dimensionar as demais por esta. A análise foi conduzida, primeiro para as centrais (figura 17) e após para as extremas (figura 18). Os valores de B2, B1, L1 e L2 são os mesmos já descritos no item 5.2.1.

Figura 17 – Análise vigas centrais



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 18 – Análise vigas extremas



(fonte: elaborado pela autora)

Para obter a porcentagem da carga móvel recebida por cada viga, foi utilizado o método das linhas de influência (LI). Para a carga concentrada (P), multiplicou-se o peso de uma roda (P') por suas ordenadas da LI. Para a carga distribuída (p), multiplicou-se a carga móvel distribuída na pista (p') pela área da LI.

Na análise das vigas centrais, a posição mais desfavorável do trem tipo é com o eixo de uma roda (P) posicionada em cima do eixo da viga e outra colocada no vão central, distantes 2,00 m (a). A ordenada da linha de influência a ser calculada para as vigas centrais é A1. Na análise das vigas extremas, a posição mais desfavorável do trem tipo é com o eixo de uma roda (P) disposta o mais próximo do guarda rodas (Lr/2) e outra em direção ao eixo da pista, separadas por 2,00 m (a). As ordenadas da linha de influência a serem determinadas para as vigas centrais são A2, A3 e A4. Para o cálculo da carga do veículo (P) e a carga uniformemente distribuída (p) foram utilizadas fórmulas diferentes para os dois tipos de vigas apresentados. Para as centrais as fórmulas 8 e 9 e para as extremas as fórmulas 10 e 11.

Vigas centrais:

$$P = \text{Coeficiente de impacto} \cdot P' \cdot (1 + A1) \quad (\text{fórmula 8})$$

Onde:

P' = carga de uma roda do TB-45 (t);

P = carga a ser aplicada no cálculo (t);

Coeficiente de impacto = valor calculado pela fórmula 1 (-);

A1 = ordenada da linha de influência abaixo do eixo da roda no vão (-);

$$p = p' \cdot \text{Coeficiente de impacto} \cdot [(L1 + L2) \cdot 1,0 / 2] \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

p' = carga móvel distribuída na pista (t/m²);

p = carga móvel a ser aplicada no cálculo (t/m);

L1 = distância entre o eixo da viga extrema e da central (m);

L2 = distância entre o eixo das vigas centrais(m);

Coeficiente de impacto = valor calculado pela fórmula 1 (-);

Vigas extremas:

$$P = \text{Coeficiente de impacto} \cdot P' \cdot (A3 + A2) \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

P' = carga de uma roda do TB-45 (t);

P = carga a ser aplicada no cálculo (t);

Coeficiente de impacto = valor calculado pela fórmula 1 (-);

$A2$ = ordenada da linha de influência abaixo do eixo da roda no vão entre vigas (-);

$A3$ = ordenada da linha de influência abaixo do eixo da roda no balanço (-);

$$p = p' \cdot \text{Coeficiente de impacto} \cdot [(L1 + B1) \cdot A4 / 2] \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

p' = carga móvel distribuída na pista (t/m^2);

p = carga móvel a ser aplicada no cálculo (t/m);

$L1$ = distância entre o eixo da viga extrema e da central (m);

$B1$ = distância entre o guarda-rodas e o eixo da primeira viga extrema (m);

$A4$ = ordenada da linha de influência abaixo do guarda-rodas (-);

Coeficiente de impacto = valor calculado pela fórmula 1 (-);

Assim como na carga permanente, o resultado da análise das vigas mostra que as extremas suportam uma maior quantidade de carga. Após a obtenção dos valores de P e p foi utilizado o programa Ftool para a obtenção dos diagramas de esforço cortante e momento de flexão (tabela 5). Aplicou-se a carga P em três posições distanciadas de 1,50 m e a p foi distribuída ao longo de toda a estrutura.

Tabela 5 – Valores por seção de esforços da carga móvel – viga T

Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)
0,00	60,02	0,00	7,00	34,15	256,90	14,00	-37,60	237,23
1,00	56,08	56,08	8,00	30,78	272,10	15,00	-41,13	213,20
2,00	52,22	104,63	9,00	27,49	281,22	16,00	-44,75	183,09
3,00	48,44	146,90	10,00	24,29	284,26	17,00	-48,44	146,90
4,00	44,75	183,09	11,00	-27,49	281,22	18,00	-52,22	104,63
5,00	41,13	213,20	12,00	-30,78	272,10	19,00	-56,08	56,08
6,00	37,60	237,23	13,00	-34,15	256,90	20,00	-60,02	0,00

(fonte: elaborado pela autora)

5.3 OBTENÇÃO DA COMBINAÇÃO DE CARGAS

A combinação de cargas é obtida através da aplicação de coeficientes de majoração nas permanentes e móveis. Os coeficientes de majoração conforme as tabelas 2 e 5 da NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b), são 1,35 para cargas permanentes (γ_g) e 1,5 para cargas móveis (γ_p). As fórmulas 12 e 13 apresentam o modo de obtenção dessas combinações (tabela 6):

$$V = V_p \cdot \gamma_g + V_m \cdot \gamma_p \quad (\text{fórmula 12})$$

Onde:

V = esforço cortante resultante (t);

V_p = esforço cortante carga permanente (t);

V_m = esforço cortante carga móvel (t);

γ_g = coeficiente de majoração da carga permanente (-);

γ_p = coeficiente de majoração da carga móvel (-);

$$Mf = M_p \cdot \gamma_g + M_m \cdot \gamma_p \quad (\text{fórmula 13})$$

Onde:

M_f = momento de flexão resultante (t.m);

M_p = momento carga permanente (t.m);

M_m = momento carga móvel (t.m);

γ_g = coeficiente de majoração da carga permanente (-);

γ_p = coeficiente de majoração da carga móvel (-);

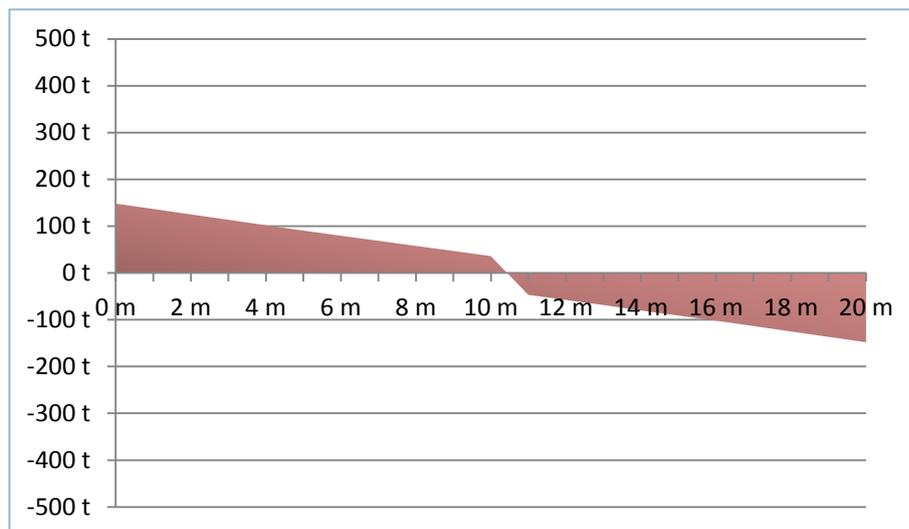
Tabela 6 – Valores por seção da combinação de cargas – viga T

Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)
0,00	148,35	0,00	7,00	68,72	650,71	14,00	-79,73	600,79
1,00	136,61	139,52	8,00	57,83	688,09	15,00	-90,86	538,50
2,00	124,99	261,92	9,00	47,07	710,51	16,00	-102,12	461,26
3,00	113,48	369,07	10,00	36,44	717,99	17,00	-113,48	369,07
4,00	102,12	461,26	11,00	-47,07	710,51	18,00	-124,99	261,92
5,00	90,86	538,50	12,00	-57,83	688,09	19,00	-136,61	139,52
6,00	79,73	600,79	13,00	-68,72	650,71	20,00	-148,35	0,00

(fonte: elaborado pela autora)

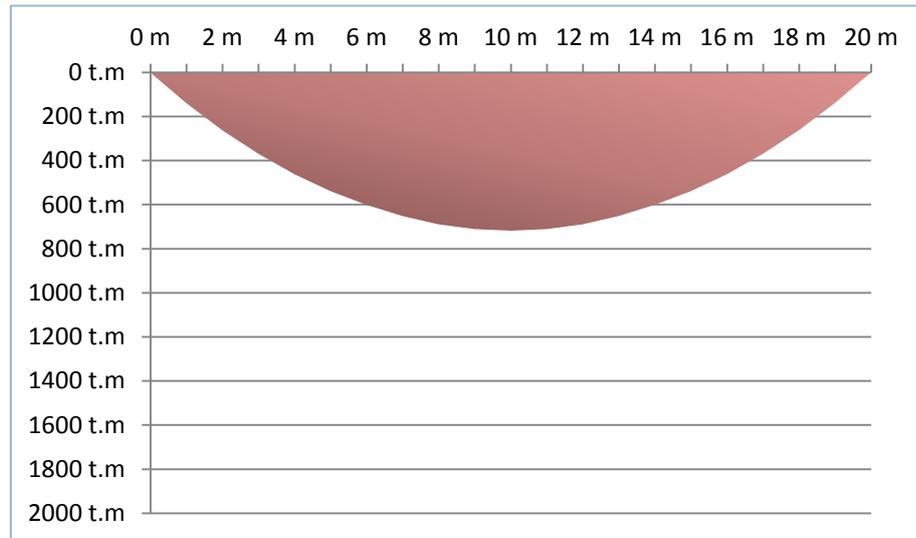
As figuras 19 e 20 apresentam as envoltórias de esforços cortantes e momentos de flexão obtidas para a viga T. Esses resultados foram utilizados para o dimensionamento de todas as seções.

Figura 19 – Esforços cortantes – viga T



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 20 – Momentos de flexão – viga T



(fonte: elaborado pela autora)

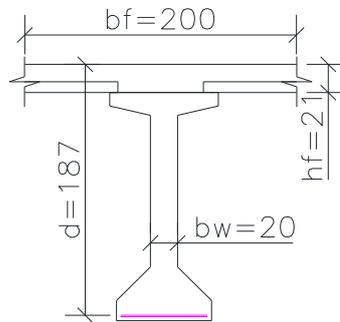
5.4 DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento utilizou-se o programa Viga S¹, que gera como resultados a área de aço, esta posteriormente foi transformada em número de barras. A opção de seção adotada no programa para o dimensionamento das armaduras foi a T, essa escolha levou em consideração que na estrutura o momento de flexão gera somente esforços positivos, o que torna necessária a colocação de armaduras na parte inferior da viga. Todo o dimensionamento foi elaborado para a seção no vão, as medidas adotadas para dimensionamento foram (figura 21):

- a) b_w : 0,20 m – alma da viga;
- b) d : 1,87 m – altura da viga 1,91 m menos o cobrimento 3,00 cm e a espessura de uma barra de 10 mm;
- c) b_f : 2,00 m – largura da mesa colaborante;
- b) h_f : 0,325 m – média da espessura da laje superior.

¹ O Viga S é um programa para o cálculo de armaduras em vigas de concreto armado. É um software não comercial, desenvolvido para apresentação em salão de iniciação científica (16. : 2004 : Porto Alegre). Autor Serguem Trott e orientador Roberto Domingos Rios.

Figura 21 – Seção utilizada no programa Viga S – viga T



(fonte: elaborado pela autora)

O programa Viga S (figura 22) foi utilizado para o dimensionamento de cada uma das vinte seções solicitadas pelo momento de flexão e esforço cortante. Os resultados de área de aço obtidos estão apresentados na tabela 7. A localização esquemática das armaduras está apresentada na figura 23.

Figura 22 – Programa Viga S – viga T

Dimensionamento de vigas com seção T			
Dados dos materiais fyk = <input type="text" value="500"/> MPa fck = <input type="text" value="35"/> MPa	Dados de projeto Mf = <input type="text"/> kN.m V = <input type="text"/> kN Mt = <input type="text"/> kN.m	Dados da seção bw = <input type="text" value="20"/> cm bf = <input type="text" value="200"/> cm d = <input type="text" value="187"/> cm hf = <input type="text" value="21"/> cm	Botões <input type="button" value="CALCULAR"/> <input type="button" value="Seção Retangular"/> <input type="button" value="INFORMAÇÕES"/> <input type="button" value="SAIR"/>
Flexão <input type="checkbox"/> Momento de apoio interno Armadura longitudinal de flexão: As = <input type="text"/> cm ² As' = <input type="text"/> cm ² Asmin = <input type="text"/> cm ² OBS: <input type="text"/>	Corte Inclinação das bielas comprimidas: <input type="text" value="45"/> graus <small>(valor entre 30 e 45 graus)</small> VRd2 = <input type="text"/> kN <input type="text"/> Estribos: Inclinação dos estribos: <input type="radio"/> 90 graus <input type="radio"/> 45 graus Asw/S = <input type="text"/> cm ² /m (Asw/S)mín = <input type="text"/> cm ² /m Vmín = <input type="text"/> kN	Torção C = <input type="text" value="4"/> TRd2 = <input type="text"/> kN.m <input type="text"/> Estribos: A90/S = <input type="text"/> cm ² /m (A90/S)mín = <input type="text"/> cm ² /m Armadura longitudinal de torção: Asl = <input type="text"/> cm ² (Asl)mín = <input type="text"/> cm ²	

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 7 – Área de aço – viga T

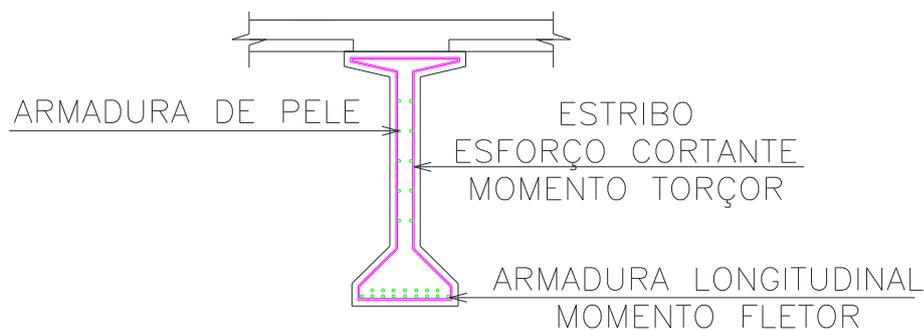
Seção	Asw/s (cm ² /m)	As (cm ²)	Seção	Asw/s (cm ² /m)	As (cm ²)	Seção	Asw/s (cm ² /m)	As (cm ²)
0,00	23,46	0,00	7,00	8,23	115,71	14,00	10,33	106,56
1,00	21,21	24,18	8,00	6,14	122,59	15,00	12,46	95,20
2,00	18,99	45,67	9,00	4,08	126,74	16,00	14,62	81,23
3,00	16,79	64,70	10,00	2,57	128,12	17,00	16,79	64,70
4,00	14,62	81,23	11,00	4,08	126,74	18,00	18,99	45,67
5,00	12,46	95,20	12,00	6,14	122,59	19,00	21,21	24,18
6,00	10,33	106,56	13,00	8,23	115,71	20,00	23,46	0,00

(fonte: elaborado pela autora)

Armadura de pele foi calculada de acordo com o item 17.3.5.2.3 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) que indica que esta deve ser 0,10% da área de concreto da alma em cada face da viga. O espaçamento entre as armaduras de pele não deve ser maior que 20 cm.

O espaçamento entre armaduras foi calculado de acordo com o item 18.3.2.2 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). As barras longitudinais foram dispostas em duas camadas, o espaçamento foi calculado na direção horizontal (a_h) e na vertical (a_v).

Figura 23 – Localização das armaduras – viga T



(fonte: elaborado pela autora)

5.5 QUANTITATIVO DE MATERIAIS

Para viga T foi quantificado o volume de concreto, a área de forma, o peso de aço, o volume de pavimento, o comprimento de guarda-rodas, o número de vigas pré-moldadas e pré-lajes a

serem içadas e o volume de concreto moldado *in loco*. A quantidade geral de materiais da superestrutura é apresentada na tabela 8 e a discretização por elemento na tabela 9.

Tabela 8 – Quantidade geral de materiais – viga T

Viga T		
Descrição	Unidades	Quantidades
Volume de Concreto	m ³	155,13
Área de Forma	m ²	841,51
Aço CA-50	kg	10309,00
Pavimento	m ³	13,65
Guarda-rodas	m	42,40

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 9 – Quantidade de material por elemento – viga T

Viga T			
	Volume de concreto (m ³)	Aço CA-50 (kg)	Área de forma (m ²)
Vigas	61,42	1099,00	472,01
Alas	4,75	374,00	36,38
Transversina de entrada	20,00	1556,00	126,00
laje de transição	22,32	1521,00	12,78
laje	34,98	4288,00	10,34
pré-laje	11,66	1471,00	184,00
Total:	155,13	10309,00	841,51

(fonte: elaborado pela autora)

6 PROJETO VIGA CAIXÃO

No projeto da viga caixão, primeiro foi definida a geometria da ponte de acordo com as exigências do contratante e topografia da região. Após a validação da geometria procedeu-se a quantificação das cargas permanente e móvel. A aplicação destas na estrutura e o seu cálculo resultaram na combinação de cargas para esforços cortantes, momento de flexão e momento de torção. A ponte foi dividida longitudinalmente em vinte seções equidistantes e com base nos valores obtidos nas envoltórias realizou-se o dimensionamento das armaduras. Após esta etapa obteve-se o quantitativo de materiais. Todos os passos do projeto estrutural da viga estudada estão descritos nos próximos itens.

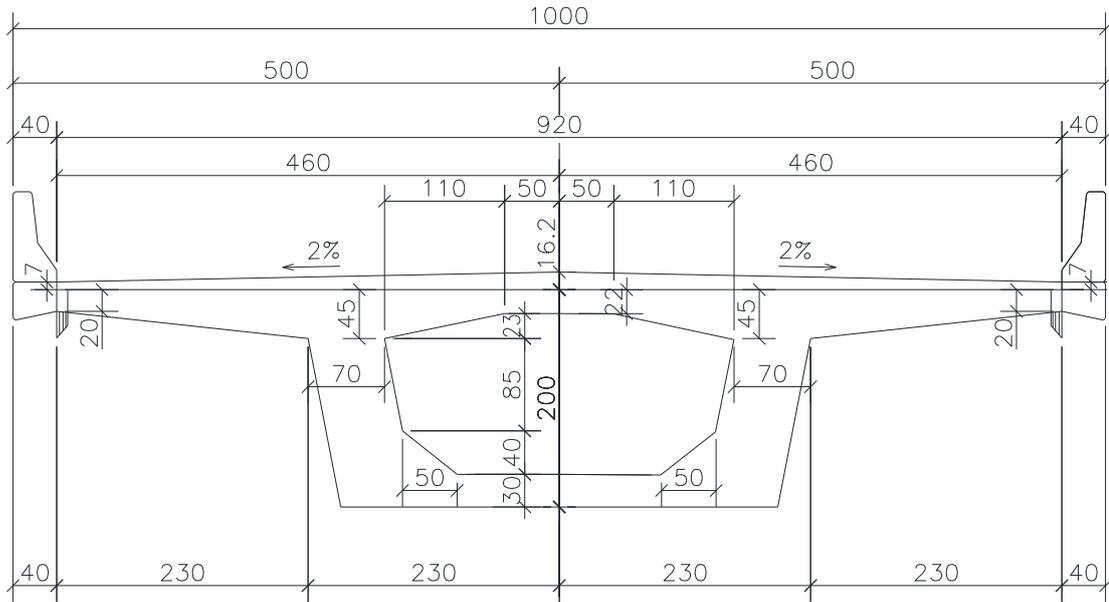
6.1 DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA

A estrutura estudada é uma ponte de concreto armado cujo traçado se desenvolve em tangente e em nível. O vão é de 20 m e o tabuleiro é formado por duas faixas de tráfego de 3,60 m, dois acostamentos de 1,00 m e dois guarda-rodas com largura de 0,40 m, totalizando a largura de 10,00 m. A seção de viga adotada foi um caixão monocelular. A laje superior possui largura de 9,60 m e espessura média de 0,30 m. A viga possui 2,00 m de altura e espessura de 0,40 m no vão e 0,70 m no apoio. A laje inferior possui largura de 4,00 m e espessura de 0,15 m no vão e 0,30 m no apoio.

A superestrutura também é composta por duas transversinas de entrada, duas transversinas de meio de vão, quatro lajes de transição, quatro alas, guarda-rodas dos dois lados do tabuleiro e pavimento. Estes elementos podem ser observados nas figuras 24 a 27 que mostram as seções da viga caixão no apoio, vão, vista superior e perfil longitudinal.

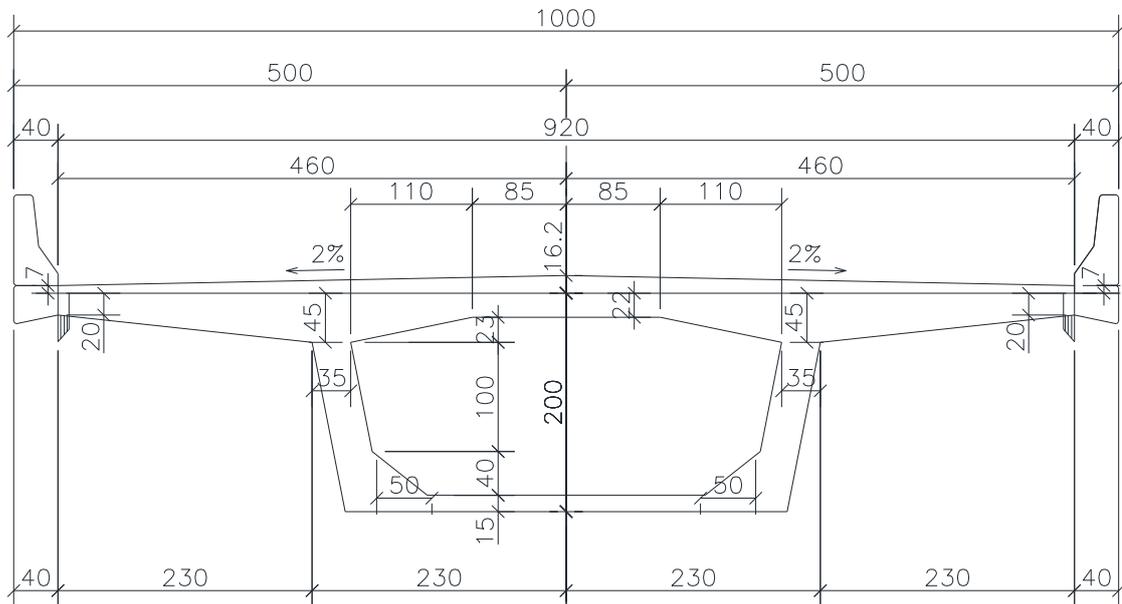
Na ponte estudada neste trabalho, uma peça presente na seção caixão que não é apresentada na viga T é a transversina de meio de vão. Ela está localizada nas seções nas quais a viga começa o seu alargamento e foi adicionada para aumentar a rigidez da superestrutura. Geometricamente é delimitada pelo furo do caixão e não preenche toda a sua altura, de forma a não transmitir as cargas da laje.

Figura 24 – Seção transversal no apoio – viga caixa



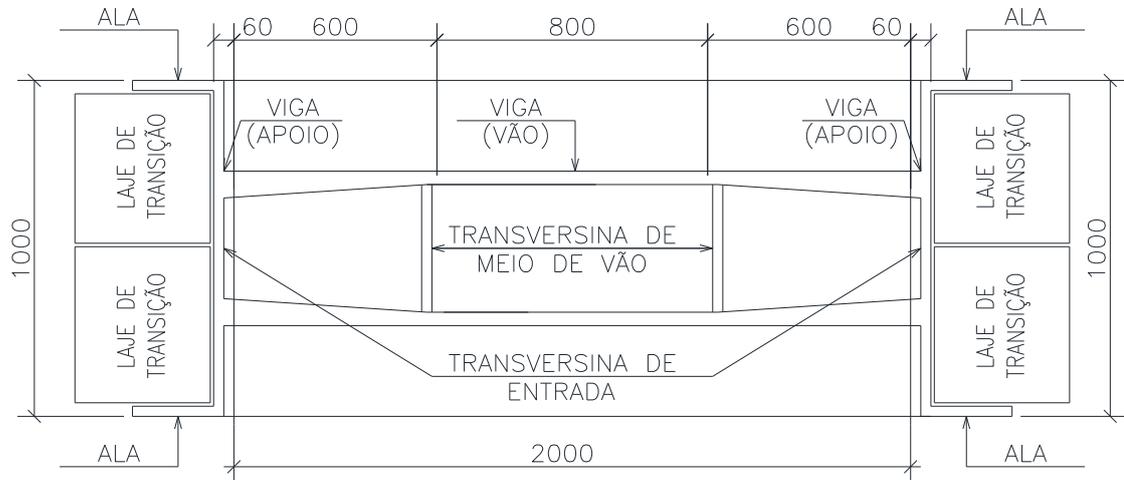
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 25 – Seção transversal no vão – viga caixa



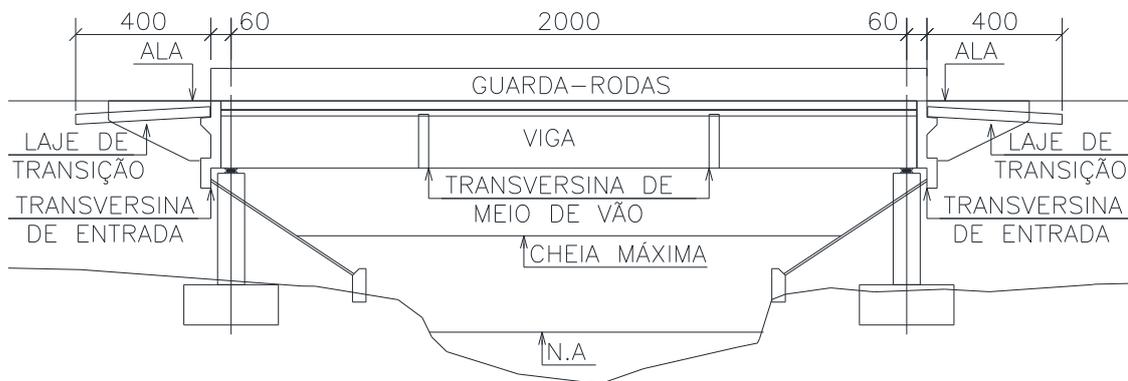
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 26 – Vista superior – viga caixão



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 27 – Perfil longitudinal – viga caixão



(fonte: elaborado pela autora)

6.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CARGAS ATUANTES

Na estrutura estudada as cargas atuantes são o peso próprio, carga móvel, carga devida ao vento, empuxos de terra e água e a frenagem e aceleração provocadas pelos veículos. Como este trabalho está limitado a análise da superestrutura os esforços considerados foram o peso próprio e a carga móvel, os são aplicados na meso e infraestrutura.

6.2.1 Cálculo das cargas permanentes

A ponte com viga em seção caixão possui uma grande rigidez a torção o que faz com que uma carga aplicada em qualquer ponto do tabuleiro se distribua igualmente por toda a viga. Devido a esta consideração, para o procedimento de cálculo, a viga foi simplificada por um elemento de barra solicitado por toda a carga permanente.

Nas cargas permanentes, como mencionou-se anteriormente, a viga, os guarda-rodas e o pavimento são cargas distribuídas e as transversinas, as alas e a laje de transição são cargas concentradas. A viga possui um alargamento no apoio, o qual foi considerado como uma carga concentrada aplicada no seu centro de gravidade. O peso específico considerado no trabalho para o concreto foi $2,5 \text{ t/m}^3$ e para o pavimento $2,4 \text{ t/m}^3$. Após o cálculo das cargas (tabela 10) realizou-se a divisão da ponte em vinte seções distanciadas de 2,00 m e utilizou-se o programa Ftool para obtenção dos valores de esforço cortante e momento de flexão em cada uma delas (tabela 11).

Tabela 10 – Resumo cargas permanentes – viga caixão

Cargas Concentradas	Carga (t)	Abcissa (m)
Transversina de entrada, laje de transição e ala	38,10	0,00
Alargamento da viga nos apoios	11,59	2,00
Transversina intermediária	4,16	6,00
Transversina intermediária	4,16	14,00
Alargamento da viga nos apoios	11,59	18,00
Transversina de entrada, laje de transição e ala	38,10	20,00
Carga Distribuída	Carga (t/m)	
Pavimento, guarda-rodas e vigas	16,47	0-20

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 11 – Valores por seção de esforços da carga permanente – viga caixão

Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)
0,00	180,52	0,00	7,00	49,41	797,94	14,00	-70,11	740,30
1,00	165,05	172,28	8,00	32,94	839,12	15,00	-86,58	661,95
2,00	147,58	328,10	9,00	16,47	863,82	16,00	-103,05	567,14
3,00	119,52	455,85	10,00	0,00	872,06	17,00	-119,52	455,85
4,00	103,05	567,14	11,00	-16,47	863,82	18,00	-147,58	328,10
5,00	86,58	661,95	12,00	-32,94	839,12	19,00	-165,05	172,28
6,00	70,11	740,30	13,00	-49,41	797,94	20,00	-180,52	0,00

(fonte: elaborado pela autora)

6.2.2 Cálculo das cargas móveis

Para o cálculo das cargas móveis, como já citado anteriormente no item 5.2.2, o veículo utilizado foi o TB-45 da NBR 7188 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, p. 3). O coeficiente de impacto (fórmula 1) foi calculado considerando um vão teórico de 20,00 m. Após o cálculo do coeficiente de impacto pode-se calcular as cargas do veículo (P) e a carga uniformemente distribuída (p). Essas cargas foram calculadas pelas fórmulas 14 e 15:

$$P = \text{Coeficiente de impacto} \cdot 2 \cdot P' \quad (\text{fórmula 14})$$

Onde:

P' = carga de uma roda do TB-45 (t);

P = carga a ser aplicada no cálculo (t);

Coeficiente de impacto = valor calculado pela fórmula 1 (-);

$$p = p' \cdot L_{\text{pista}} \cdot \text{Coeficiente de impacto} \quad (\text{fórmula 15})$$

Onde:

p' = carga móvel distribuída na pista (t/m²);

p = carga móvel a ser aplicada no cálculo (t/m);

L_{pista} = largura da pista (m);

Coeficiente de impacto = valor calculado pela fórmula 1 (-);

Assim como no item 5.2.2 após a obtenção dos valores de P e p foi utilizado o programa Ftool para a obtenção dos diagramas de esforço cortante e momento de flexão (tabela 12). A carga P foi aplicada em três posições separadas 1,50 m, e a p distribuída ao longo de toda a estrutura.

Tabela 12 – Valores por seção de esforços da carga móvel – viga caixaão

Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)
0,00	103,87	0,00	7,00	51,26	429,94	14,00	-57,74	396,66
1,00	95,32	95,32	8,00	45,13	453,71	15,00	-64,57	354,55
2,00	87,11	175,00	9,00	39,34	467,97	16,00	-71,74	304,21
3,00	79,25	244,36	10,00	33,90	472,73	17,00	-79,25	244,36
4,00	71,74	304,21	11,00	-39,34	467,97	18,00	-87,11	175,00
5,00	64,57	354,55	12,00	-45,13	453,71	19,00	-95,32	95,32
6,00	57,74	396,66	13,00	-51,26	429,94	20,00	-103,87	0,00

(fonte: elaborado pela autora)

Outro esforço que deve ser considerado no cálculo da viga caixaão é o momento de torção. Esse cálculo realizou-se através de uma análise transversal considerando o veículo posicionado na extremidade do balanço da pista (figura 28). Através da aplicação da fórmula 16, realizou-se o cálculo do momento de torção o qual foi de 63,32 t.m:

$$M_t = (2P \cdot e) \cdot \text{Coeficiente de impacto} \quad (\text{fórmula 16})$$

Onde:

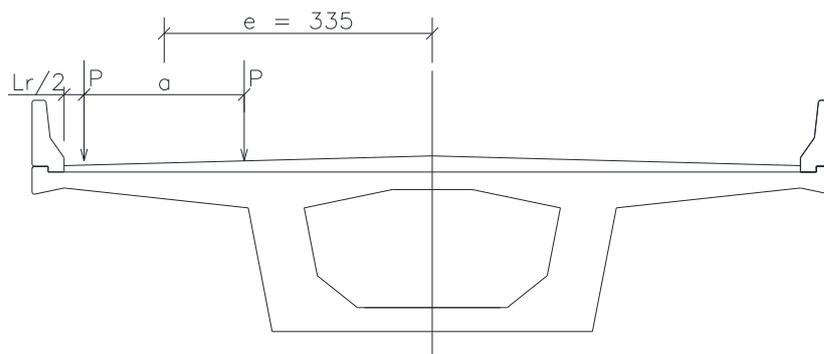
M_t = momento de torção (t.m);

P = carga a ser aplicada no cálculo (t);

e = distância do eixo da seção ao centro do veículo (m);

Coeficiente de impacto = valor calculado pela fórmula 1 (-);

Figura 28 – Representação cálculo do momento de torção



(fonte: elaborado pela autora)

6.3 OBTENÇÃO DA COMBINAÇÃO DE CARGAS

A combinação de cargas foi obtida da mesma forma que no capítulo 5.3, através da aplicação das fórmulas 10 e 11. Os coeficientes de majoração utilizados foram 1,35 para cargas permanentes (γ_g) e 1,5 para cargas móveis (γ_p) conforme as tabelas 2 e 5 da NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b). O resultado da combinação de cargas pode ser observado na tabela 13.

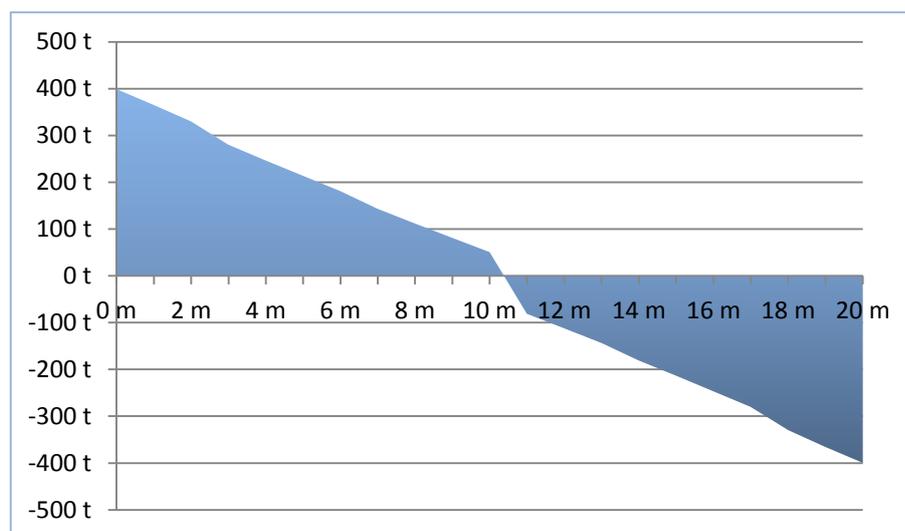
Tabela 13 – Valores por seção da combinação de cargas – viga caixão

Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)	Seção	V (t)	Mf (t.m)
0,00	399,51	0,00	7,00	143,59	1722,13	14,00	-181,26	1594,40
1,00	365,80	375,56	8,00	112,16	1813,38	15,00	-213,74	1425,46
2,00	329,90	705,44	9,00	81,24	1868,11	16,00	-246,73	1221,95
3,00	280,23	981,94	10,00	50,85	1886,38	17,00	-280,23	981,94
4,00	246,73	1221,95	11,00	-81,24	1868,11	18,00	-329,90	705,44
5,00	213,74	1425,46	12,00	-112,16	1813,38	19,00	-365,80	375,56
6,00	181,26	1594,40	13,00	-143,59	1722,13	20,00	-399,51	0,00

(fonte: elaborado pela autora)

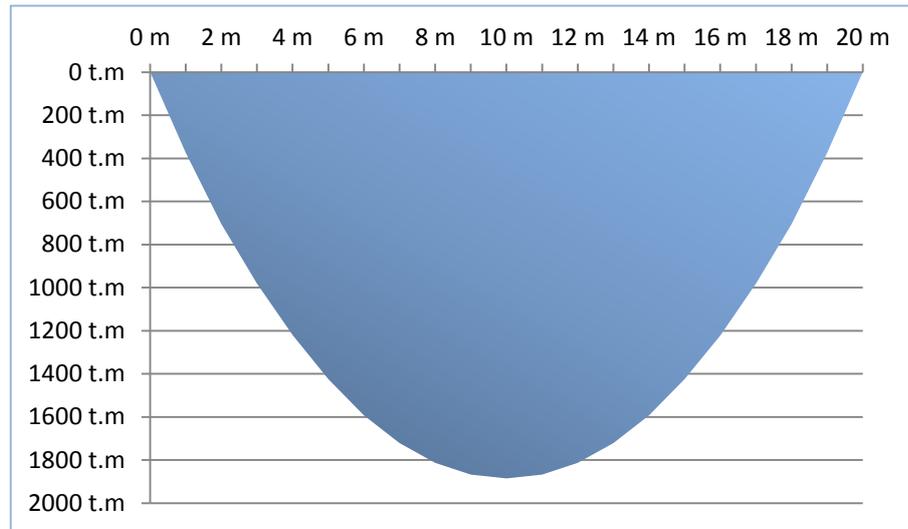
As figuras 29 e 30 apresentam as envoltórias de esforços cortantes e momentos de flexão obtidos para a viga caixão. Esses resultados foram utilizados para o dimensionamento da viga.

Figura 29 – Esforço cortante – viga caixão



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 30 – Momentos de flexão – viga caixão



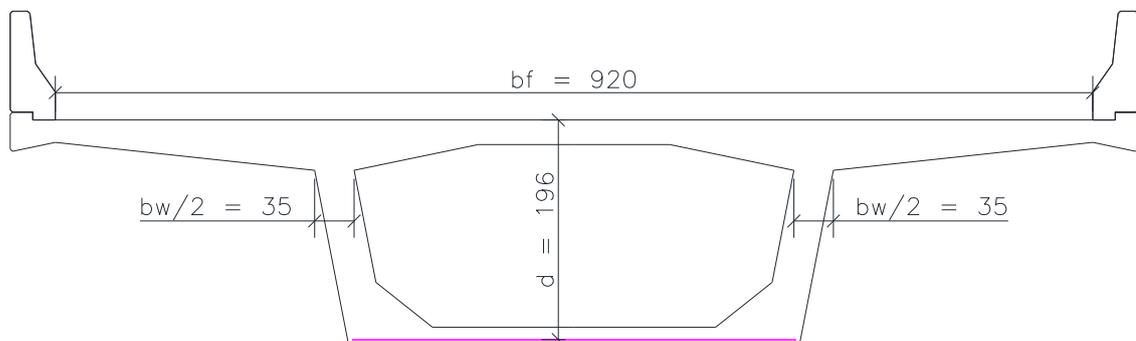
(fonte: elaborado pela autora)

6.4 DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento foi conduzido conforme o disposto no item 5.4. As medidas adotadas para dimensionamento foram (figura 31):

- a) b_w : 0,70 m – soma das espessuras das almas da viga;
- b) d : 1,96 m – altura da viga 2,00 m menos o cobrimento 3,00 cm e a espessura de uma barra de 10 mm;
- c) b_f : 9,20 m – largura da pista;
- b) h_f : 0,325 m – média da espessura da laje superior.

Figura 31 – Seção utilizada no programa Viga S – viga caixão



(fonte: elaborado pela autora)

O programa Viga S (figura 32) foi utilizado para o dimensionamento da seção para o momento de flexão e esforço cortante, o valor desses esforços foi preenchido para cada uma das vinte seções. Os resultados de área de aço obtidos estão apresentados na tabela 14. A localização esquemática das armaduras está apresentada na figura 33.

Figura 32 – Programa Viga S – viga caixão

Dimensionamento de vigas com seção T

Dados dos materiais	Dados de projeto	Dados da seção	Botões
fyk = <input type="text" value="500"/> MPa	Mf = <input type="text"/> kN.m	bw = <input type="text" value="70"/> cm	<input type="button" value="CALCULAR"/> <input type="button" value="Seção Retangular"/> <input type="button" value="INFORMAÇÕES"/> <input type="button" value="SAIR"/>
fck = <input type="text" value="35"/> MPa	V = <input type="text"/> kN	d = <input type="text" value="196"/> cm	
	Mt = <input type="text"/> kN.m	hf = <input type="text" value="32,5"/> cm	
Flexão			
<input type="checkbox"/> Momento de apoio interno			
Armadura longitudinal de flexão:			
As = <input type="text"/> cm ²			
As' = <input type="text"/> cm ²			
Asmin = <input type="text"/> cm ²			
OBS: <input style="width: 100%;" type="text"/>			
Corte			
Inclinação das bielas comprimidas:			
<input type="text" value="45"/> graus <small>(valor entre 30 e 45 graus)</small>			
VRd2 = <input type="text"/> kN			
<input style="width: 100%;" type="text"/>			
Estribos:			
Inclinação dos estribos:			
<input type="radio"/> 90 graus <input type="radio"/> 45 graus			
Asw/S = <input type="text"/> cm ² /m			
(Asw/S)mín = <input type="text"/> cm ² /m			
Vmín = <input type="text"/> kN			
Torção			
C = <input type="text" value="4"/>			
TRd2 = <input type="text"/> kN.m			
<input style="width: 100%;" type="text"/>			
Estribos:			
A90/S = <input type="text"/> cm ² /m			
(A90/S)mín = <input type="text"/> cm ² /m			
Armadura longitudinal de torção:			
Asl = <input type="text"/> cm ²			
(Asl)mín = <input type="text"/> cm ²			

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 14 – Área de aço – viga caixão

Seção	Asw/s (cm ² /m)	As (cm ²)	Seção	Asw/s (cm ² /m)	As (cm ²)	Seção	Asw/s (cm ² /m)	As (cm ²)
0,00	53,24	0,00	7,00	10,27	287,61	14,00	13,40	265,95
1,00	47,08	64,47	8,00	10,27	303,12	15,00	19,33	237,38
2,00	40,53	116,67	9,00	10,27	312,44	16,00	25,35	203,09
3,00	31,46	162,82	10,00	10,27	315,55	17,00	31,46	162,82
4,00	25,35	203,09	11,00	10,27	312,44	18,00	40,53	116,67
5,00	19,33	237,38	12,00	10,27	303,12	19,00	47,08	64,47
6,00	13,40	265,95	13,00	10,27	287,61	20,00	53,24	0,00

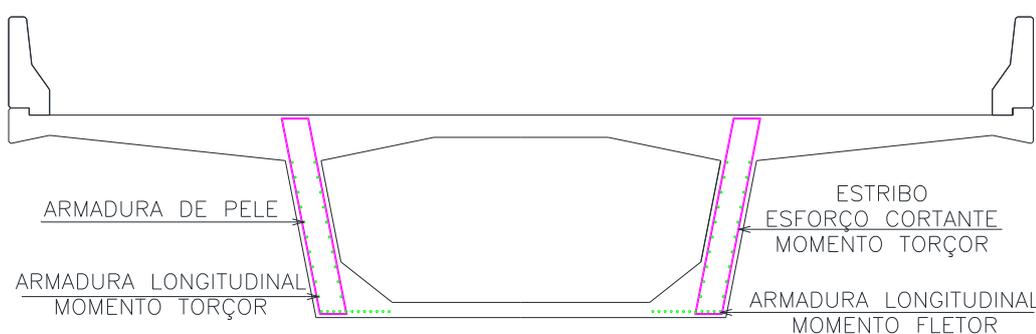
(fonte: elaborado pela autora)

A área de aço resistente ao momento de torção foi calculada de acordo com o item 17.5.1.4 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). Primeiro foi calculada a espessura da parede equivalente (h_e) para o momento de torção, após o cálculo se adotou a menor medida entre a espessura da parede equivalente e sua espessura real. Obteve-se a resistência das diagonais comprimidas conforme o item 17.5.1.5, e procedeu-se o cálculo das armaduras longitudinais e estribos de torção, conforme o item 17.5.1.6.

A armadura de pele foi calculada da mesma forma que a viga T, de acordo com o item 17.3.5.2.3 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). A única diferença é que o caixão possui quatro faces onde as armaduras devem se distribuídas.

O espaçamento entre armaduras foi calculado da mesma forma que a viga T de acordo com o item 18.3.2.2 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). As barras longitudinais foram dispostas todas em uma camada, portanto o único espaçamento que teve que ser calculado foi o na direção horizontal (a_h).

Figura 33 – Localização das armaduras – viga caixão



(fonte: elaborado pela autora)

6.5 QUANTITATIVO DE MATERIAIS

Para viga caixão foi quantificado o volume de concreto, a área de forma, o peso de aço, o volume de pavimento, o comprimento de guarda-rodas, o volume de escoramento e o volume de concreto moldado *in loco*. A quantidade geral de materiais da superestrutura é apresentada na tabela 15 e a discretização por elemento na tabela 16.

Tabela 15– Quantidade geral de materiais – viga caixão

Viga Caixão		
Descrição	Unidades	Quantidades
Volume de Concreto	m ³	164,83
Área de Forma	m ²	677,06
Aço CA-50	kg	11751,00
Pavimento	m ³	22,62
Guarda-rodas	m	42,40

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 16 – Quantidade de material por elemento – viga caixão

Viga Caixão			
	Volume de concreto (m ³)	Aço CA-50 (kg)	Área de forma (m ²)
Viga Caixão	114,43	2174,00	479,68
Alas	4,75	374,00	36,38
Transversina de entrada	20,00	1556,00	126,00
laje de transição	22,32	1521,00	12,78
laje	-	5840,00	-
Transversina de meio de vão	3,33	286,00	22,22
Total:	164,83	11751,00	677,06

(fonte: elaborado pela autora)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise das quantidades de materiais obtidas nos capítulos 5 e 6, resumidos na tabela 17, pode-se constatar que para as condições estudadas, as vigas T pré-moldada e caixão moldada *in loco* consomem quantidades muito parecidas de materiais. A viga caixão apresentou o maior volume de concreto, peso de aço CA-50, volume de pavimento e volume de concretagem *in loco*. A maior área de forma foi para a viga T.

Tabela 17 – Quantidade de materiais T x Caixão

Viga T x Viga Caixão			
Descrição	Unidades	Quantidades Viga T	Quantidades Viga Caixão
Volume de Concreto	m ³	155,13	164,83
Área de Forma	m ²	841,51	677,06
Aço CA-50	kg	10309,00	11751,00
Pavimento	m ³	13,65	22,62
Guarda-rodas	m	42,40	42,40

(fonte: elaborado pela autora)

Como a diferença da quantidade de material neste trabalho não é conclusiva a ponto de determinar a escolha por uma ou outra solução, alguns outros fatores devem se levados em conta na hora da escolha. Uma vantagem da viga caixão moldada *in loco* seria que, em uma implantação de obra de arte em rodovia de traçado curvo sua mesoestrutura poderia ser formada somente por pilares no início e fim da curva. Na opção em viga T, muito provavelmente, se teria que utilizar um pilar intermediário, o que poderia levar a uma mudança no traçado ou até mesmo inviabilizar a passagem. A viga T pré-moldada apresenta como vantagem a rapidez na execução.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre – procedimento. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7187**: projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas – procedimento. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

LEONHARDT, F. **Construções de concreto**: princípios básicos da construção de pontes de concreto. Rio de Janeiro: Interciência, 1979. v. 6.

MARTHA, L. F. **FTOOL**: um programa gráfico – interativo para ensino de comportamento de estruturas, versão 3.0. Rio de Janeiro: [s. n.], 2012. Software do comportamento de estruturas. Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftool/>>. Acesso em: 1 jun. 2013.

MASON, J. **Pontes em concreto armado e protendido**: princípios do projeto e cálculo. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977.

O'CONNOR, C. **Pontes**: superestruturas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. v. 1.

PFEIL, W. **Pontes** : curso básico – projeto, construção e manutenção. Rio de Janeiro: Campus, 1983a.

_____. **Pontes em concreto armado**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1983b. v. 1.

PUCHER, A. **Concreto armado**: fundamentos e aplicação em estruturas e pontes. Rio de Janeiro: Globo, 1961.