



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



RAFAEL AZEVEDO CANÇADO LOPES

**ESTIMATIVA DE CUSTO PARA O PRÉ-PROJETO DE
PONTES RODOVIÁRIAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO**

OURO PRETO

2017

RAFAEL AZEVEDO CANÇADO LOPES

**ESTIMATIVA DE CUSTO PARA O PRÉ-PROJETO DE
PONTES RODOVIÁRIAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em engenharia Civil. Área de concentração: Construções Metálicas.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis das Neves

OURO PRETO

2017

RESUMO

A definição do sistema estrutural de uma ponte mista de aço e concreto para uso rodoviário depende de vários fatores que devem ser levados em consideração durante a elaboração do projeto, tais como: função, topografia local, natureza do solo, extensão e vão livre necessários, gabaritos a serem obedecidos, estética, acessos, localização, tempo de execução previsto e custos disponíveis para a obra. Neste trabalho serão abordadas todas as etapas do projeto das superestruturas de pontes mistas de aço e concreto em vigas múltiplas de perfis de aço do tipo I e lajes em concreto: cálculo, dimensionamento, detalhamento, fabricação, transporte e montagem. Assim, pode-se analisar e parametrizar as características e particularidades deste tipo de projeto, desenvolvendo um software específico para pré-dimensionamento destas estruturas, seguindo as diretrizes e recomendações da norma AASTHO, permitindo ao usuário obter resultados rápidos e consistentes.

Palavras-chave: pré-dimensionamento, ponte mista de aço e concreto, estimativa de custo.

ABSTRACT

The definition of the structural system of steel and concrete composite bridges for road use depends on several factors that must be taken into account during project design, such as: function, local topography, nature of the ground, templates to be obeyed, aesthetics, accesses, location, expected execution time and costs available for the work. In this work, all the steps of the superstructure design of steel and concrete composite bridges in multiple beams of steel I sections and concrete slabs will be addressed: calculation, sizing, detailing, fabrication, transportation and assembly. Thus, we will be able to analyze and parameterize the characteristics and particularities of this type of project, developing a specific software for pre-dimensioning these structures, following the guidelines and recommendations of the AASTHO standard, allowing the user to obtain fast and consistent results.

Keywords: pre-dimensioning, steel bridge, cost estimate.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
1.1 Considerações iniciais	6
1.2 Justificativa.....	7
1.3 Objetivo	8
1.4 Objetivos específicos.....	8
1.5 Metodologia.....	9
1.5.1 EP 1 - Informações gerais do projeto	10
1.5.2 EP 2 - Cálculo da laje de concreto do tabuleiro	12
1.5.3 EP 3 - Cálculo das vigas principais em aço.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Estruturas mistas de aço e concreto.....	29
2.2 Normas técnicas	31
2.2.1 Normas brasileiras para pontes metálicas.....	31
2.2.2 Norma internacional para pontes metálicas - AASHTO (2012).....	31
2.3 Cargas nas pontes	32
2.3.1 Cargas permanentes	32
2.3.2 Cargas móveis	32
2.3.3 Carga móvel rodoviária padrão TB-450.....	33
2.3.4 Carga móvel rodoviária TB-240.....	33
2.3.5 Efeitos dinâmicos dos veículos	34
2.3.6 Coeficientes de ponderação das cargas verticais.....	35
2.3.6.1 Coeficiente de impacto vertical (CIV)	35
2.3.6.2 Coeficiente do número de faixas (CNF)	35
2.3.6.3 Coeficiente de impacto adicional (CIA).....	35
2.3.7 Forças horizontais.....	36
2.3.7.1 Efeitos de frenagem e aceleração	36
2.3.7.2 Força centrífuga.....	36
2.3.7.3 Ações excepcionais	37
2.3.7.4 Ação dos ventos	37
2.3.8 Combinações de cargas	38
2.4 Distribuição transversal das cargas	38
2.4.1 Para as longarinas internas projetadas para uma faixa de tráfego	39
2.4.2 Para as longarinas internas projetadas para duas ou mais faixas de tráfego.....	39
2.4.3 Para as longarinas externas.....	39
2.5 Análise estrutural do tabuleiro de concreto	40
2.5.1 Modelo linear.....	40
2.5.2 Modelo bidimensional	40
2.5.3 Modelo tridimensional.....	41
2.6 Analogia de grelhas	42
2.7 Fabricação, Transporte E Montagem De Estruturas Metálicas	42
2.7.1 Fabricação das Estruturas Metálicas	42
2.7.2 Matéria Prima	42
2.7.3 Garantia	43
2.7.4 Data Book.....	43
2.7.5 CNC – Controle Numérico Computadorizado	44
2.7.6 Pré-montagem.....	44
2.7.7 Transporte das Estruturas Metálicas.....	45

2.7.8	Montagem das Estruturas Metálicas.....	47
2.7.9	Planejamento de Rigging.....	48
2.7.10	Meio Ambiente e Segurança do Trabalho	48
2.8	Engenharia de Custos	49
2.8.1	Estimativa de Custos	52
2.8.2	Orçamento	55
2.8.3	Estimativa de Custos x Orçamento.....	56
2.8.4	Composição de Custos Unitários.....	57
2.8.5	Banco de Dados.....	57
2.8.6	Softwares de orçamento.....	57
3.	DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL.....	58
3.1	Programação orientada a objetos.....	58
3.1.1.1	Análise orientada a objetos	58
3.1.1.2	Objeto.....	59
3.2	Desenvolvimento de sistema em camadas	59
3.3	Arquitetura Cliente/Servidor	60
3.4	Sistema de gerenciamento de banco de dados SGBD	60
3.5	Microsoft Visual Studio	61
3.6	Linguagem C#	61
4.	APLICAÇÃO PRÁTICA.....	63
4.1	Tela 1: Acesso ao sistema.....	64
4.2	Tela 2: Seleção do tipo de estrutura	65
4.3	Tela 3: Informações gerais do projeto	65
4.4	Tela 4: Cálculo da laje de concreto do tabuleiro	68
4.5	Telas 5, 6 e 7: Cálculo das vigas principais em aço	69
5.	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS.....	81

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

As mais antigas pontes foram construídas em Roma e o principal material utilizado para construção era pedra, empregando-se a técnica dos arcos. Posteriormente os romanos passaram a utilizar madeira para vencer travessias de rios largos, empregando-se a técnica das treliças. A primeira ponte a utilizar ferro fundido foi construída sobre o rio Oder na Prússia em 1734 pelo exército alemão, e em 1779 foi construída sobre o Rio Severn na Inglaterra, a primeira ponte utilizando-se exclusivamente ferro fundido. Acredita-se que a primeira ponte em ferro fundido no Brasil foi construída em 1857 sobre o Rio Paraíba do Sul na cidade de mesmo nome. A partir de 1930 e incrementado após a segunda guerra mundial, iniciaram a utilização das pontes mistas de aço e concreto, onde o tabuleiro é de concreto e as vigas de aço. (PINHO e BELLEI, 2007)

Apesar das pontes e viadutos em aço serem muitas vezes tratadas como uma alternativa construtiva nova, temos um histórico de mais de cem anos de uso e são bastante difundidas, principalmente nos Estados Unidos, na Europa e na Ásia. Algumas vantagens técnicas e econômicas deste sistema estrutural são: elevada resistência para vencer grandes vãos, o peso próprio reduzido e o menor custo com fundações, a rapidez da construção e montagem, que implica também em menores transtornos em obras urbanas, estética esbelta e contemporânea.

A definição do sistema estrutural da superestrutura de uma ponte metálica para uso rodoviário depende de vários fatores que devem ser levados em consideração durante a elaboração do projeto, tais como: função, topografia local, natureza do solo, extensão e vão livre necessário, gabaritos a serem obedecidos, estética, acessos, localização, tempo de execução previsto e custos disponíveis para a obra. O quadro abaixo apresenta as recomendações para utilização dos principais tipos de sistema estrutural de pontes metálicas, em função de seus vãos.

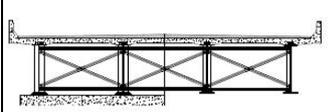
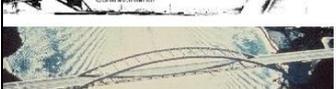
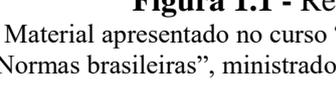
	Tipo	Simples	Contínuo
	Vigas Múltiplas	10 a 60m	40 a 100
	Vigas Caixa	40 a 100m	80 a 300
	Pontes em Pórtico	30 a 100m	
	Pontes em Treliça	40 a 150m	100 a 300
	Pontes em Arco	100 a 400m	
	Pontes Estaiadas	200 a 800m	
	Pontes Penseis	> 800m	

Figura 1.1 - Resumo dos vãos recomendados.

Fonte: Material apresentado no curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL. Pravia, 2014.

Os projetos de pontes no Brasil são concebidos e executados seguindo as orientações das normas internacionais, isso porque ainda não há uma norma técnica brasileira publicada para tratar de modo específico dessas obras de arte. Em maio de 2014 foi instalada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) uma Comissão de Estudo para elaboração da norma brasileira denominada “Projeto de pontes e viadutos rodoviários de aço e mistas de aço e concreto”. A proposta de uma norma brasileira para o projeto de pontes rodoviárias de aço e mistas permite que as características deste tipo de estrutura possam colaborar com a recuperação ou criação de novos projetos de pontes dentro de um modelo de segurança compatível com a realidade nacional e em consonância com as normas brasileiras.

1.2 Justificativa

Atualmente contamos com o uso de programas computacionais capazes de desenvolver análises estruturais precisas, proporcionando soluções que antigamente demandariam meses ou anos, assim muitos tipos de pontes estão sendo investigadas a fim de se obter o dimensionamento ótimo em menor prazo. No entanto, durante a elaboração do projeto conceitual deste tipo de estrutura, dentre todas as alternativas disponíveis, o engenheiro responsável deve decidir qual sistema estrutural utilizar, e conseqüentemente definir também

os materiais a serem utilizados. Assim, para que os engenheiros possam conceber soluções estruturais de pontes em aço rapidamente e com maior assertividade, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas computacionais capazes de apresentar, em curto prazo, grande quantidade de informações específicas de um determinado projeto: cálculo, dimensionamento, fabricação, transporte e montagem. Este tipo de ferramenta pode aumentar a confiança de investidores ao utilizar sistemas estruturais em aço desde a concepção do projeto, modificando paradigmas e viabilizando técnica e economicamente mais empreendimentos, propiciando o aumento do consumo de aço no Brasil.

1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver um programa computacional capaz de realizar o dimensionamento das vigas de aço de pontes rodoviárias mistas com o sistema estrutural em vigas múltiplas em perfis de aços do tipo I e lajes em concreto, e também estimar custos na fase de pré-projeto. O programa computacional foi concebido para que sejam abordadas e implementadas todas as etapas do projeto: cálculo, dimensionamento, detalhamento, fabricação, transporte e montagem.

1.4 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- a) Analisar todos os conceitos necessários à implementação das recomendações das normas para concepção de projetos de superestruturas de pontes rodoviárias mistas com o sistema estrutural em vigas múltiplas bi-apoiadas em perfis de aço do tipo I e lajes em concreto.
- b) Permitir ao usuário obter resultados rápidos e consistentes para utilização das informações obtidas na implantação de um determinado projeto.

1.5 Metodologia

Para analisar as superestruturas de pontes rodoviárias mistas com o sistema estrutural em vigas múltiplas em perfis metálicos do tipo I e lajes em concreto, neste trabalho serão utilizados os fluxogramas mostrados por Baker (2003), baseados na norma AASHTO e que apresenta o processo de cálculo de pontes mistas aço-concreto dividido em Etapas de Projeto (EP), que serão brevemente descritas a seguir. Um fluxograma mostrando as etapas de projeto percorridas durante o desenvolvimento do cálculo estrutural de uma ponte mista aço-concreto é apresentado na Figura 1.2.

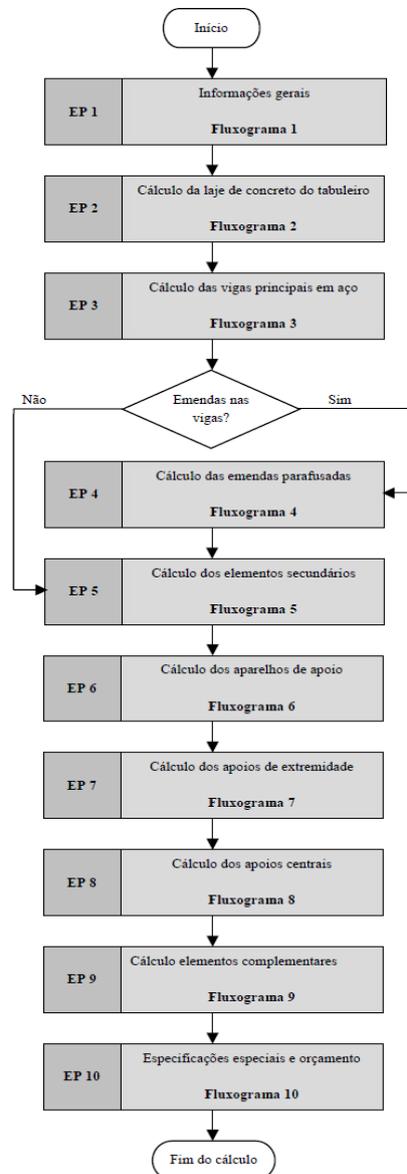


Figura 1.2 - Fluxograma do processo de cálculo de pontes mistas aço-concreto.
Fonte: Material apresentado no curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL. Pravia, 2014.

Os fluxogramas das etapas de projeto 1, 2 e 3, serão apresentados a seguir (Figuras 1.3 a 1.15), que correspondem à coleta das informações e ao cálculo dos elementos principais das pontes mistas aço-concreto. Nesses fluxogramas são indicados também os itens bases da norma AASHTO (2012) que conduzem às referidas verificações. A figura 1.6 apresenta a forma como as etapas de projeto foram apresentadas no programa computacional desenvolvido neste trabalho.

1.5.1 EP 1 - Informações gerais do projeto

Nesta primeira etapa de projeto deveremos obter todas as informações do projeto, e podemos dividi-las da seguinte forma:

- **EP 1.1 - Critérios de projeto:** especificações técnicas, códigos e normas, metodologia de projeto, requisitos de carga móvel, largura necessária, gabaritos verticais e horizontais, vão a ser vencido, propriedades dos materiais, futura superfície de desgaste (pavimentação), modificadores de carga.
- **EP 1.2 – Características geométricas:** dados de curvatura horizontal e alinhamentos, dados de curvatura vertical e inclinação.
- **EP 1.3 – Arranjo dos vãos:** seleção do tipo de ponte, determinação do arranjo do vão, determinação da locação da subestrutura, determinação dos comprimentos dos vãos, verificar gabaritos horizontais.
- **EP 1.4 – Recomendações geotécnicas:** ensaio de sondagem, recomendações do tipo de fundação para todas as subestruturas, pressão admissível nos apoios, recalque admissível, tombamento, deslizamento, resistência admissível nas estacas (axial e lateral).
- **EP 1.5 – Tipo, tamanho e locação da ponte:** seleção dos tipos de vigas em aço que poderão ser usados, definição do espaçamento transversal entre vigas em aço, estimativa da altura das vigas em aço, verificação do gabarito vertical.
- **EP 1.6 – Considerações Estéticas:** função, proporções, harmonia, ordem e ritmo, contraste e textura, iluminações.

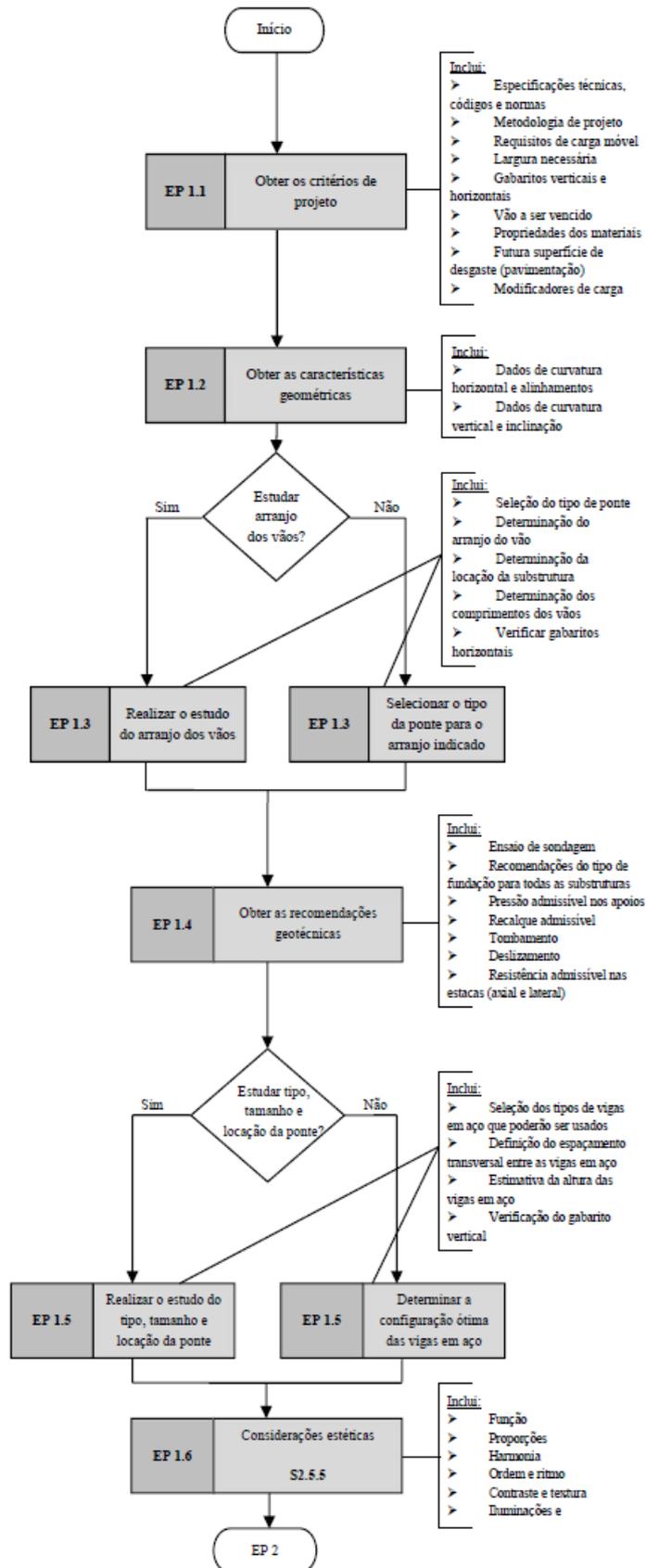


Figura 1.3 - Fluxograma da etapa de projeto 1 – Informações Gerais (Fluxograma 1)

Fonte: Material apresentado no curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL. Pravia, 2014.

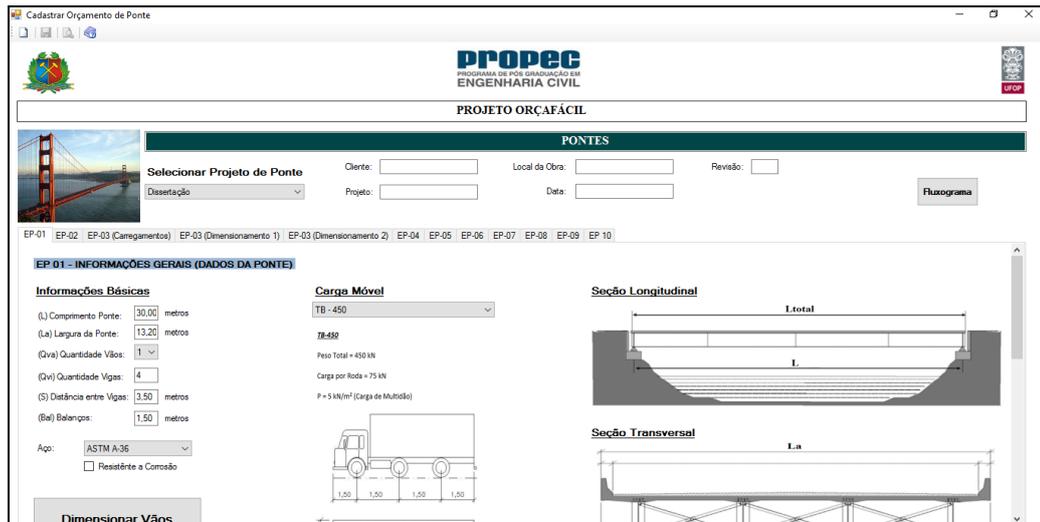


Figura 1.4 - Etapas de Projeto do programa computacional.
Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

1.5.2 EP 2 - Cálculo da laje de concreto do tabuleiro

Nesta etapa de projeto deveremos obter todas as informações para o cálculo da laje de concreto do tabuleiro, e podemos dividi-las da seguinte forma:

- **EP 2.1 – Critérios de projeto:** espaçamento transversal entre as vigas de aço, número de vigas, cobertura superior e inferior, resistência do concreto, resistência das armaduras, densidade do concreto, futura superfície de desgaste (pavimentação), propriedades dos parapeitos em concreto, combinações de cargas, fatores de resistência.
- **EP 2.2 – Determinar a espessura mínima da laje:** para determinar o comprimento efetivo do vão da laje (s), considerar a largura menor do que o estimado para a mesa superior da viga em aço.
- **EP 2.3 – Determinar a espessura mínima do balanço da laje:** a região dos balanços da laje deve ser dimensionada para ter a resistência superior à resistência real dos parapeitos em concreto.
- **EP 2.4 – Selecionar a espessura da laje e dos balanços:** altura mínima de laje 20cm e $f_{ck} > 30\text{MPa}$ (durabilidade).
- **EP 2.5 – Determinar os efeitos das cargas permanentes (Método das Faixas Equivalentes):** inclui momentos oriundos da carga permanente de componentes e carga permanente da superfície de desgaste (pavimentação).

- **EP 2.6 – Determinar os efeitos das ações variáveis, incluindo:** coeficiente de amplificação dinâmica, fator de presença múltipla, tabela de momentos da AASHTO para método das faixas equivalentes.
- **EP 2.7 – Determinar os momentos fletores de projeto;**
- **EP 2.8 – Calcular a laje para os momentos positivos:** fatores de resistência para flexão.
- **EP 2.9 – Verificar a fissuração do concreto para momentos positivos no Estado Limite de Serviço (ELS):** geralmente a armadura transversal inferior da laje é verificada para controlar a fissuração.
- **EP 2.10 – Verificar a fissuração do concreto para momentos negativos no Estado Limite de Serviço (ELS):** geralmente a armadura transversal inferior da laje é verificada para controlar a fissuração.
- **EP 2.11 – Calcular a laje para flexão nos balanços:** verificar o fluxograma para cálculo da laje nos balanços.
- **EP 2.12 – Verificar a fissuração do concreto nos balanços para Estado Limite de Serviço (ELS):** não controla o dimensionamento na maioria dos casos
- **EP 2.13 – Calcular o comprimento da armadura de reforço do balanço da laje**
- **EP 2.14 – Avaliar o comprimento de desenvolvimento do balanço:** os fatores de correção apropriados devem ser incluídos.
- **EP 2.15 – Calcular a armadura longitudinal inferior:** avaliar o comprimento efetivo do vão (S) de acordo com S9.7.2.3.
- **EP 2.16 – Calcular a armadura longitudinal superior:** baseado nos requisitos de armaduras para temperatura e retração.
- **EP 2.17 – Calcular a armadura longitudinal sobre apoios internos (Piers):** para vigas pré-moldadas bi apoiadas com continuidade para carga acidental, calcular a armadura longitudinal superior sobre os apoios internos (Piers).
- **EP 2.18 – Desenhos esquemáticos com o resultado do cálculo final da laje.**

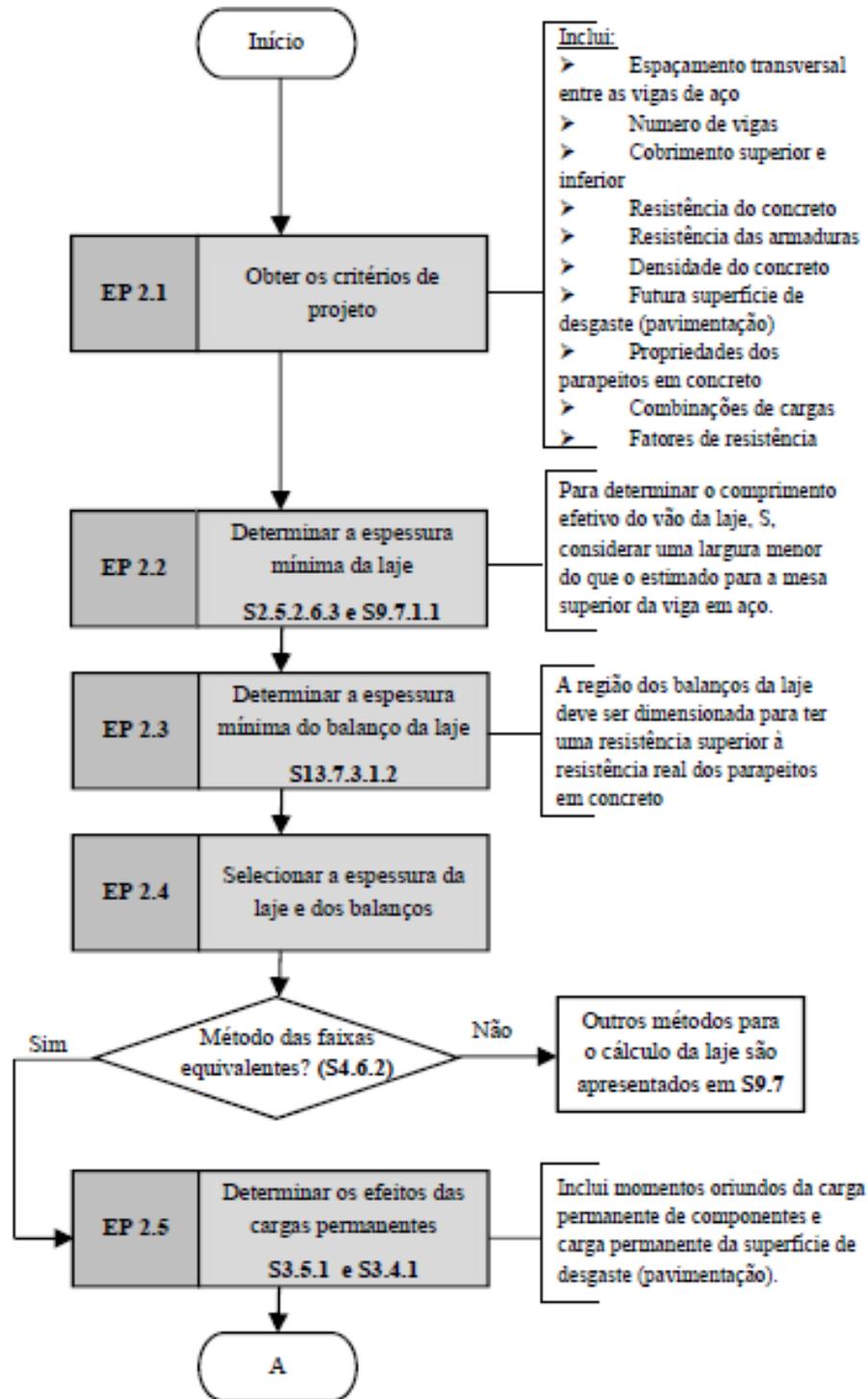


Figura 1.5 - Fluxograma da etapa de 2 – Cálculo da laje de concreto do tabuleiro (Fluxograma 2) – Parte 1

Fonte: Material apresentado no curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL. Pravia, 2014.

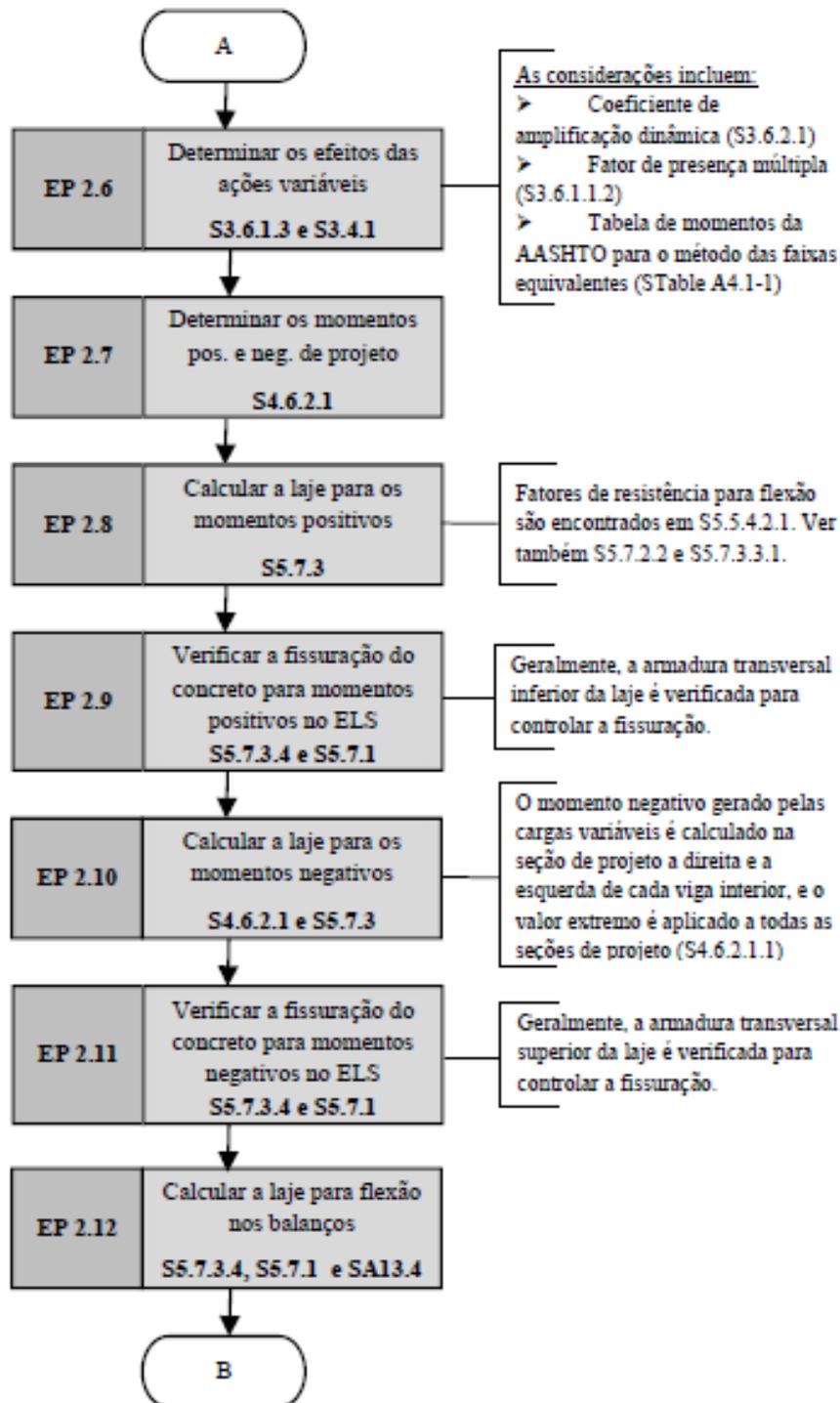


Figura 1.6 - Fluxograma da etapa de 2 – Cálculo da laje de concreto do tabuleiro (Fluxograma 2) – Parte 2

Fonte: Material apresentado no curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL. Pravia, 2014.

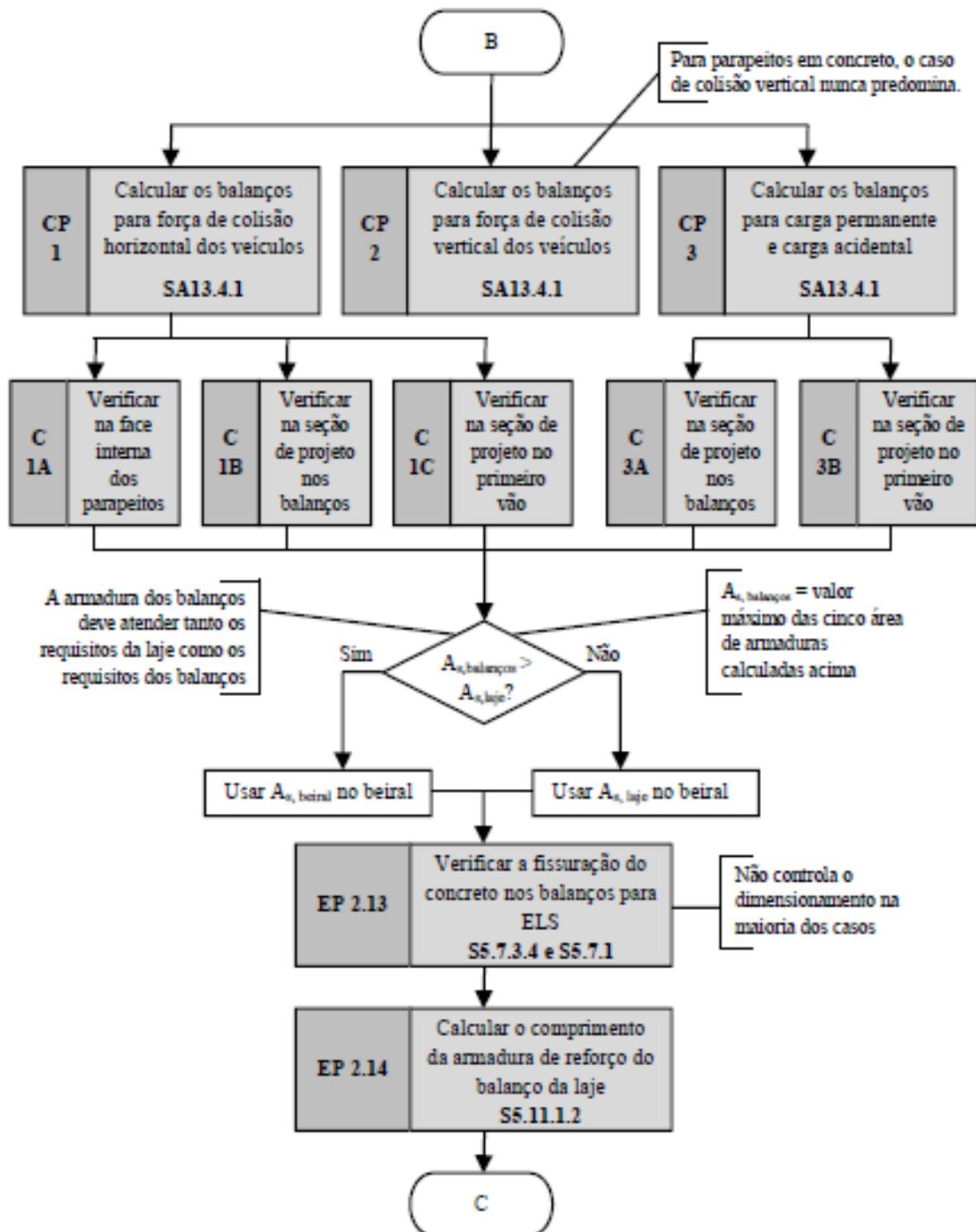


Figura 1.7 - Fluxograma da etapa de 2 – Cálculo da laje de concreto do tabuleiro (Fluxograma 2) – Parte 3

Fonte: Material apresentado no curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL. Pravia, 2014.

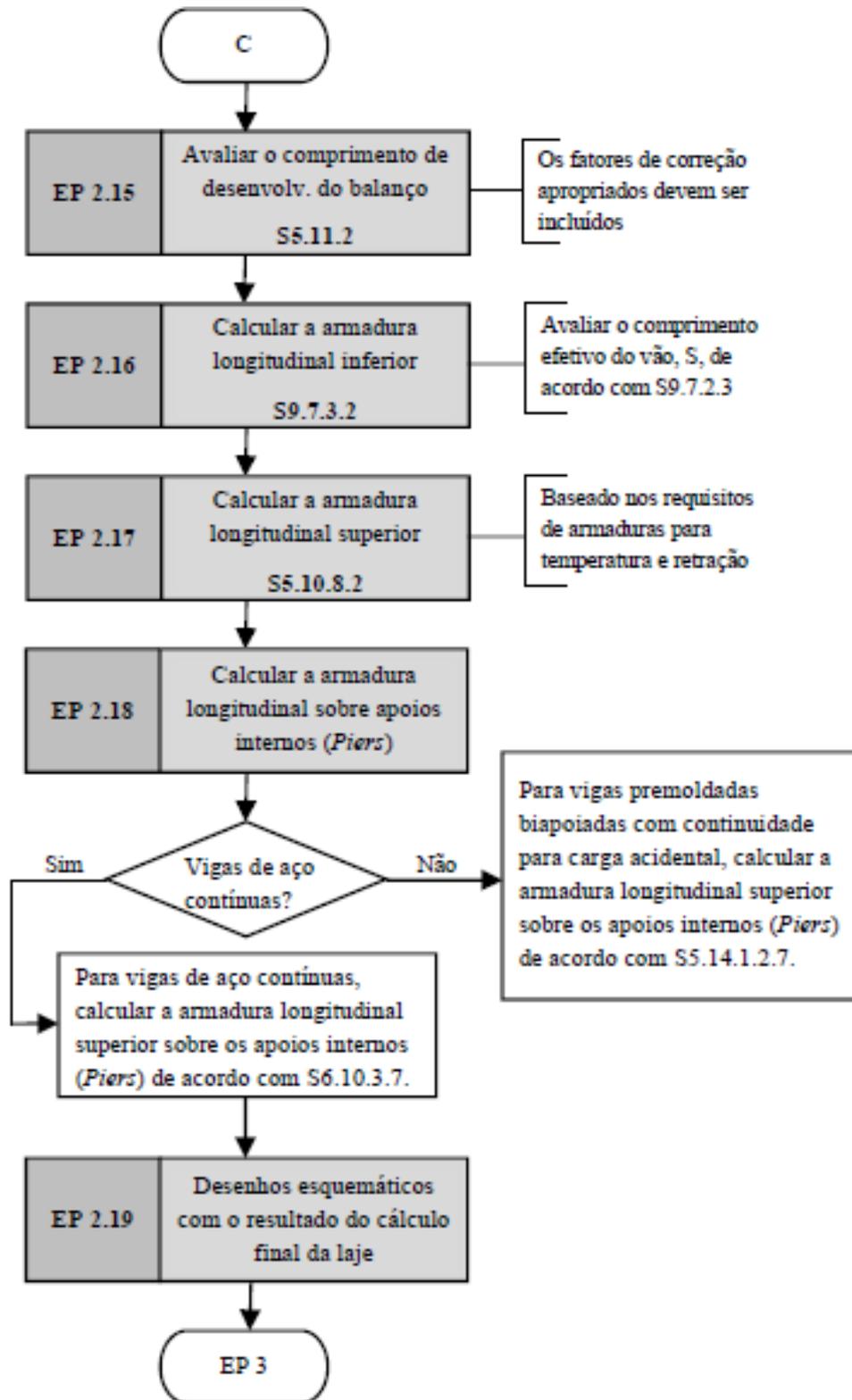


Figura 1.8 - Fluxograma da etapa de 2 – Cálculo da laje de concreto do tabuleiro (Fluxograma 2) – Parte 4

Fonte: Material apresentado no curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL. Pravia, 2014.

1.5.3 EP 3 - Cálculo das vigas principais em aço

Nesta etapa de projeto deveremos realizar o cálculo das vigas principais em aço, e podemos dividi-las da seguinte forma:

- **EP 3.1 – Pré-dimensionamento das vigas metálicas:** uma vez definidas as dimensões e demais características da ponte, devemos realizar o pré-dimensionamento das vigas metálicas. Para isto, seguem algumas recomendações (valores mínimos) da norma AASHTO:
 - **d = altura total do perfil de aço:** 3,3% do vão, ou seja, $d = 0,033 * L$;
 - **D = altura total do perfil de aço + laje:** 4% do vão, ou seja, $D = 0,04 * L$;
 - **tc = espessura da laje:** $tc = D - d$;
 - **tw = espessura da alma do perfil de aço:** a recomendação para a espessura da alma é que $d/tw \leq 150$, cujo valor recomendável deve estar entre 80 e 100, portanto, podemos considerar $tw = d/100$;
 - **tf = espessura das mesas do perfil de aço:** a recomendação é que a espessura das mesas seja 10% maior que a espessura da alma, ou seja, $tf \geq 1,1 * tw$. Durante a elaboração do dimensionamento final das vigas, poderemos adotar espessuras diferentes para as mesas do perfil, determinando uma espessura para mesa superior (tfs) e outra para a mesa inferior (tfi), podendo assim reduzir o peso e consequentemente o custo das vigas;
 - **h = altura da alma do perfil de aço:** $h = d - (2 * tf)$
 - **bf = largura das mesas do perfil de aço:** $bf \geq d/6$. Durante a elaboração do dimensionamento final das vigas, poderemos adotar larguras diferentes para as mesas do perfil, determinando uma largura para mesa superior (bfs) e outra para a mesa inferior (bfi), podendo assim reduzir o peso e consequentemente o custo das vigas;
 - Outra recomendação importante é a verificação da esbelteza da mesa: $bf / (2 * tf) \leq 12$
 - **S = distância entre vigas:** $1100 \leq S \leq 4900$;
 - **Se = distância entre viga externa e pista:** $(0,35 * S) \leq Se \leq (0,5 * S)$;
 - **b = largura efetiva das vigas internas:** $b = S$.

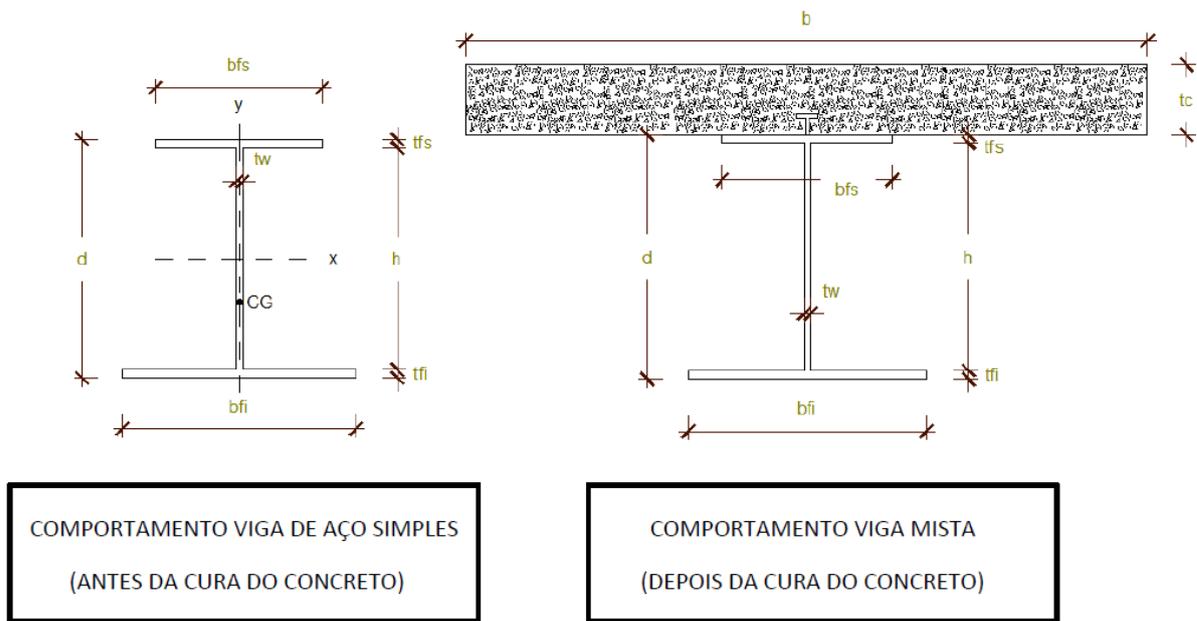


Figura 1.9 – Seção transversal das vigas de aço e mistas.

Fonte: Material apresentado durante o curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL, 2016.

- **EP 3.2 – Carregamento da viga de aço simples (antes da cura do concreto da laje):** após a determinação da seção transversal da ponte, deveremos verificar os carregamentos atuantes na estrutura de aço antes da cura do concreto (C_1), composta basicamente pela soma da carga permanente (F_{GK} = peso próprio das vigas + fôrmas) e da carga acidental (F_{QK} = laje de concreto + operação), multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação, sendo: $C_1 = \gamma_g * F_{GK} + \gamma_q * F_{QK}$
- **EP 3.3 – Carregamento da viga mista (após a cura do concreto da laje):** após a determinação da seção transversal da ponte, deveremos verificar os carregamentos atuantes na estrutura de aço depois da cura do concreto (C_2), composta basicamente pela soma da carga permanente (F_{GK} = peso próprio das vigas + laje de concreto + pavimentação + recapeamento + guarda-rodas) e da carga móvel (F_{MK} = ação móvel do trem-tipo), multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação, sendo: $C_2 = \gamma_g * F_{GK} + \gamma_q * F_{MK}$

Tabela 1.1 – Coeficientes de ponderação das ações.

Combinações	Ações permanentes (γ_g) ^{a)}			
	Diretas			Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis (γ_q) ^{a)}			
	Efeito da temperatura	Ação do vento		Demais ações variáveis.
Normais	1,20	1,40		1,50
Especiais ou de construção	1,00	1,20		1,30
Excepcionais	1,00	1,00		1,00
^{a)} Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não podem ser incluídas nas combinações.				

Fonte: Projeto de Norma CE-02: 125.05 “Projeto de pontes e viadutos rodoviários de aço e mistos de aço e concreto”.

- **EP 3.4 – Ação móvel na estrutura mista:** a ação da carga móvel na estrutura é analisada considerando a atuação do trem-tipo determinado pela norma NBR 7188. Devemos considerar também os fatores de distribuição destas cargas no tabuleiro, conforme as recomendações da norma AASHTO, resumidas na tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Fatores de distribuição das cargas.

Esforço solicitante/posição das vigas	Uma faixa de projeto carregada	Duas ou mais faixas de projeto carregadas	Condições de aplicação
Fator de distribuição para momento fletor nas vigas internas	$0,06 + (S/4300)^{0,4}(S/L)^{0,3}(K_g/Lt_s^3)^{0,1}$	$0,075 + (S/2900)^{0,6}(S/L)^{0,2}(K_g/Lt_s^3)^{0,1}$	$1100 \leq S \leq 4900mm$ $110 \leq t_s \leq 300mm$ $6000 \leq L \leq 73000mm$ $N_b \geq 4$ $4(10)^9 \leq K_g \leq 3(10)^{12} mm^4$
	Usar o menor entre os valores obtidos das equações acima considerando $N_b=3$ e a regra da alavanca		$N_b=3$
Fator de distribuição para momento fletor nas vigas externas	Regra da alavanca	$g = e g_{vigas\ internas}$ $e = 0,77 + (d_e/2800)$	$-300 \leq d_e \leq 1700$
		Usar o menor entre o valor obtido da equação acima considerando $N_b=3$ e a regra da alavanca	$N_b=3$
Fator de distribuição para cisalhamento nas vigas internas	$0,36 + (S/7600)$	$0,2 + (S/3600) - (S/10700)^2$	$1100 \leq S \leq 4900mm$ $110 \leq t_s \leq 300mm$ $6000 \leq L \leq 73000mm$ $N_b \geq 4$
	Regra da alavanca	Regra da alavanca	$N_b=3$
Fator de distribuição para cisalhamento nas vigas externas	Regra da alavanca	$g = e g_{vigas\ internas}$ $e = 0,6 + (d_e/3000)$	$-300 \leq d_e \leq 1700mm$
		Regra da alavanca	$N_b=3$

Fonte: Material apresentado no curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL. Pravia, 2014.

- **EP 3.6 – Cálculo do coeficiente de impacto:** com a atualização da ABNT NBR 7188 em 11 de novembro de 2013, a majoração dos esforços pelo coeficiente de impacto passou a ser feita através da ponderação das cargas verticais, que basicamente é composto pela multiplicação de três coeficientes que serão apresentados posteriormente neste trabalho:
 - Coeficiente de impacto vertical (CIV);
 - Coeficiente de número de faixas (CNF);
 - Coeficiente de Impacto adicional (CIA).

- **EP 3.5 – Determinação das cargas do trem-tipo:** após a definição do trem-tipo, da determinação dos fatores de distribuição e do coeficiente de impacto, devemos determinar as cargas do trem-tipo atuantes no tabuleiro, nos sentidos transversal e longitudinal.

- **EP 3.6 – Combinação das cargas:** devem ser consideradas tantas combinações quantas forem necessárias para a verificação das condições de segurança em relação a todos os estados-limites últimos aplicáveis. As combinações das cargas podem ser:
 - Combinações últimas normais;
 - Combinações últimas especiais ou de construção;
 - Combinações últimas de construção;

- Combinações últimas excepcionais;
 - Combinações de quase permanentes de serviço;
 - Combinações frequentes de serviço;
 - Combinações raras de serviço.
- **EP 3.7 – Considerações especiais de fadiga:** em estruturas de pontes mistas de aço e concreto, devem ser considerados os efeitos de fadiga. Estes efeitos são ações repetitivas ou cíclicas, com variação de tensões no regime elástico, cuja frequência e magnitude são suficientes para iniciar fissuras e colapso progressivo por fadiga. No caso da laje do tabuleiro de concreto, a fadiga deve ser avaliada conforme a NBR 6118. No caso dos elementos de aço e suas conexões, estes devem ser avaliados com as variações de tensões e os limites expostos na Proposta de Norma de Pontes da ABNT CE-02:125.05, baseada na norma AASHTO.
- **EP 3.8 – Envoltórias de esforços solicitantes:** uma vez determinadas as combinações das cargas e os carregamentos atuantes nas vigas, devemos analisar os valores mínimos e máximos de momento fletor e esforço cortante (cisalhamento).
- **EP 3.9 – Verificação do dimensionamento:** com a determinação dos esforços mínimos e máximos nas longarinas devemos verificar o dimensionamento dos perfis utilizados, e se necessário ou conveniente, alterar a seção transversal do perfil de aço. Basicamente devem ser realizadas todas as verificações previstas na NBR 8800, para o carregamento antes da cura do concreto e após a cura do concreto, sendo:
- Antes da cura do concreto
 - Verificação da resistência à flexão: Flambagem Lateral com Torção (FLT), Flambagem Local da Mesa (FLM) e Flambagem Local da Alma (FLA);
 - Verificação da resistência ao cisalhamento;
 - Verificação das flechas.
 - Após a cura do concreto
 - Verificação da esbeltez da viga;
 - Verificação da posição da linha neutra plástica;
 - Verificação da resistência à flexão;
 - Verificação da resistência ao cisalhamento e dos conectores;
 - Determinação da inércia da viga mista;

- Determinação dos enrijecedores;
- Verificação das flechas.

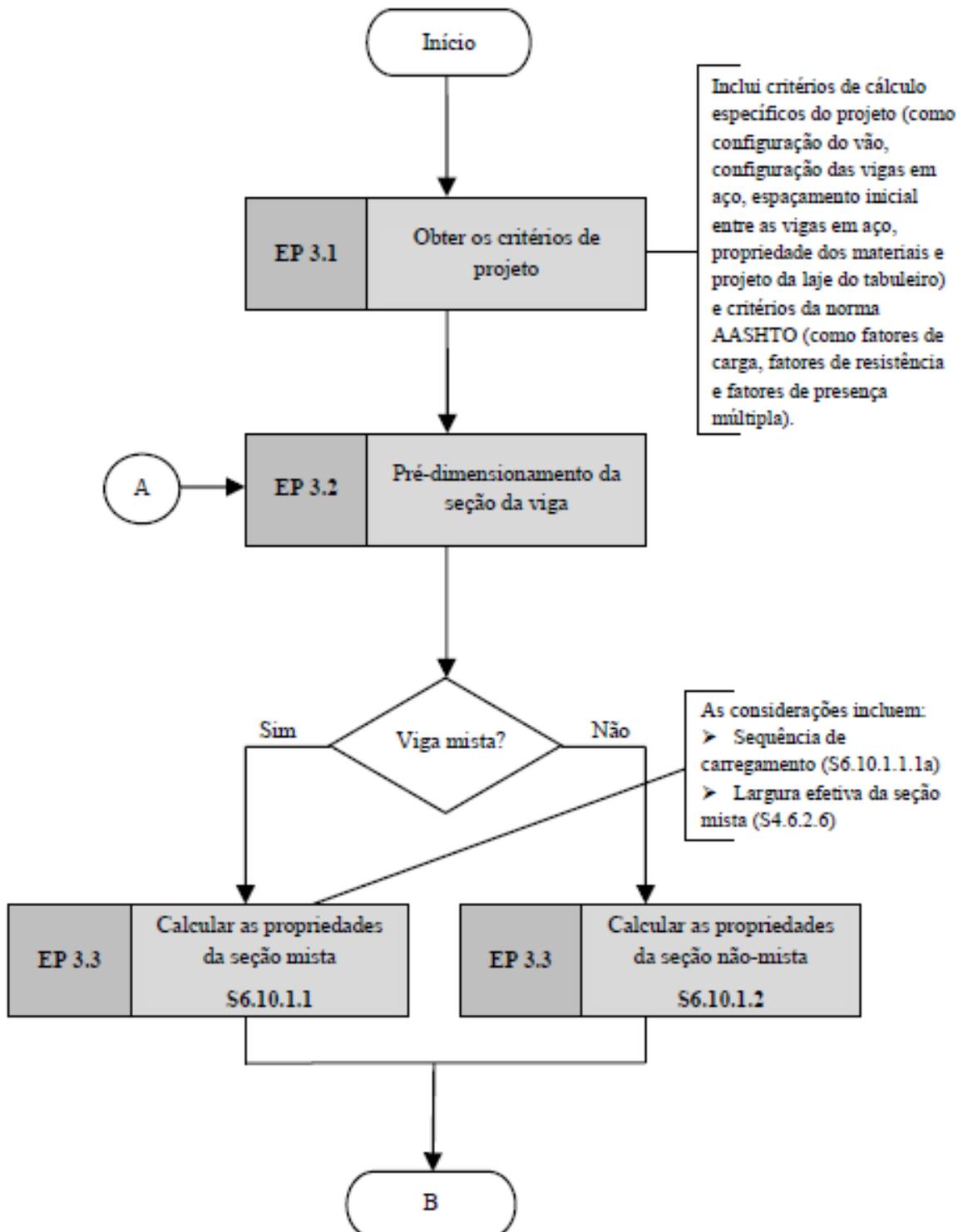


Figura 1.10 - Fluxograma da etapa de projeto 3 – Cálculo das longarinas de aço (Fluxograma 3) – Parte 1

Fonte: Material apresentado durante o curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL, 2016.

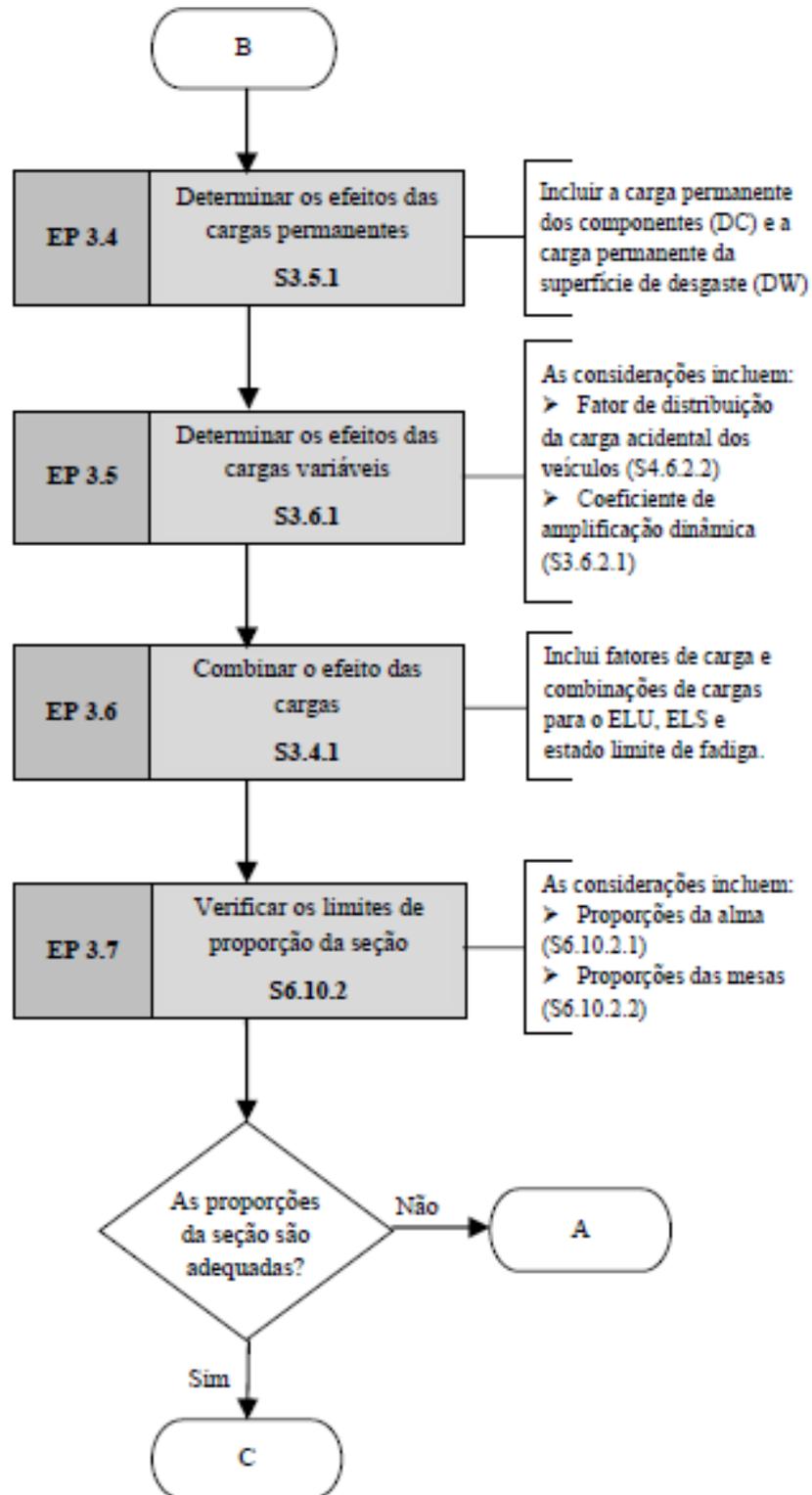


Figura 1.11 - Fluxograma da etapa de projeto 3 – Cálculo das longarinas de aço (Fluxograma 3) – Parte 2

Fonte: Material apresentado durante o curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL, 2016.

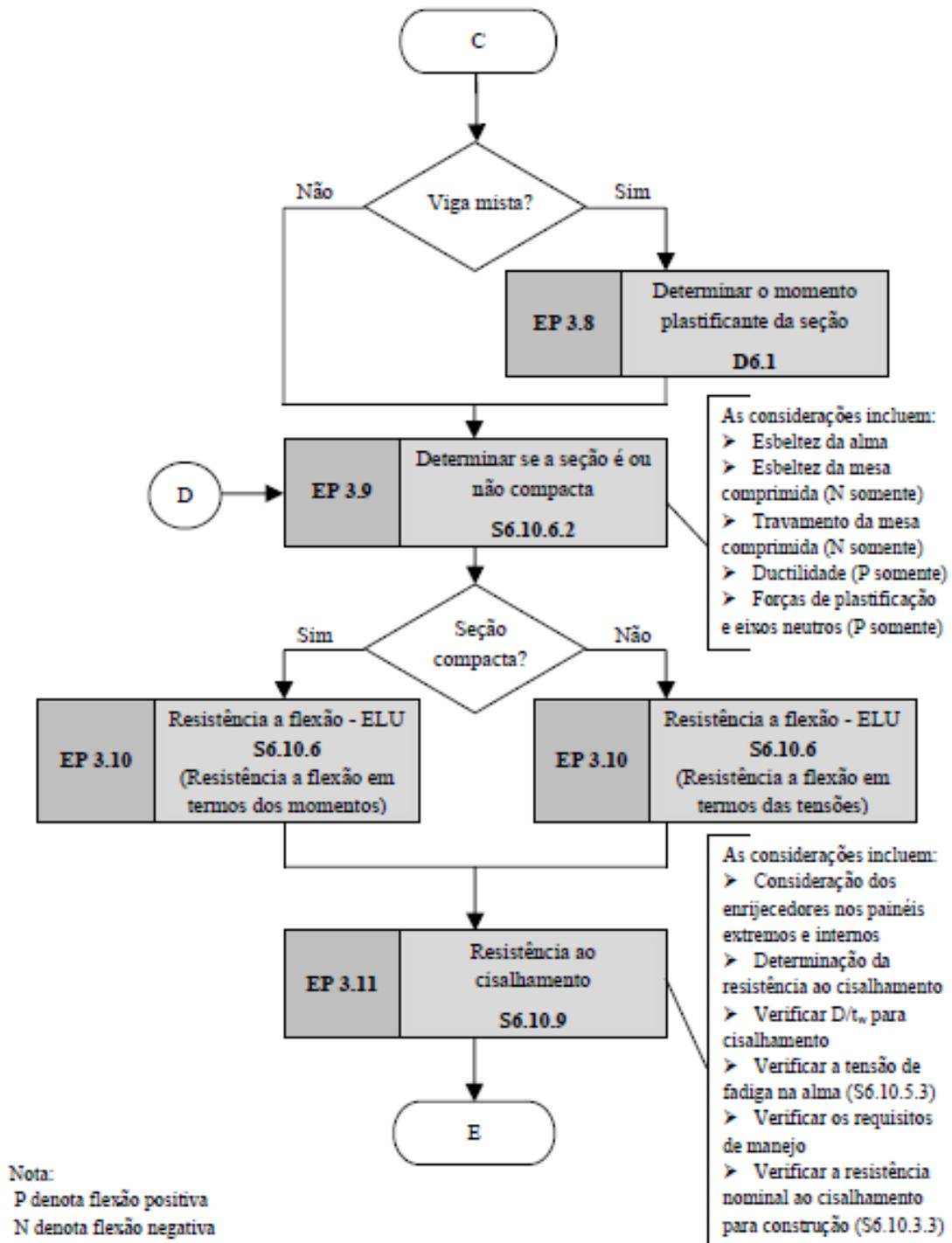


Figura 1.12 - Fluxograma da etapa de projeto 3 – Cálculo das longarinas de aço (Fluxograma 3) – Parte 3

Fonte: Material apresentado durante o curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL, 2016.

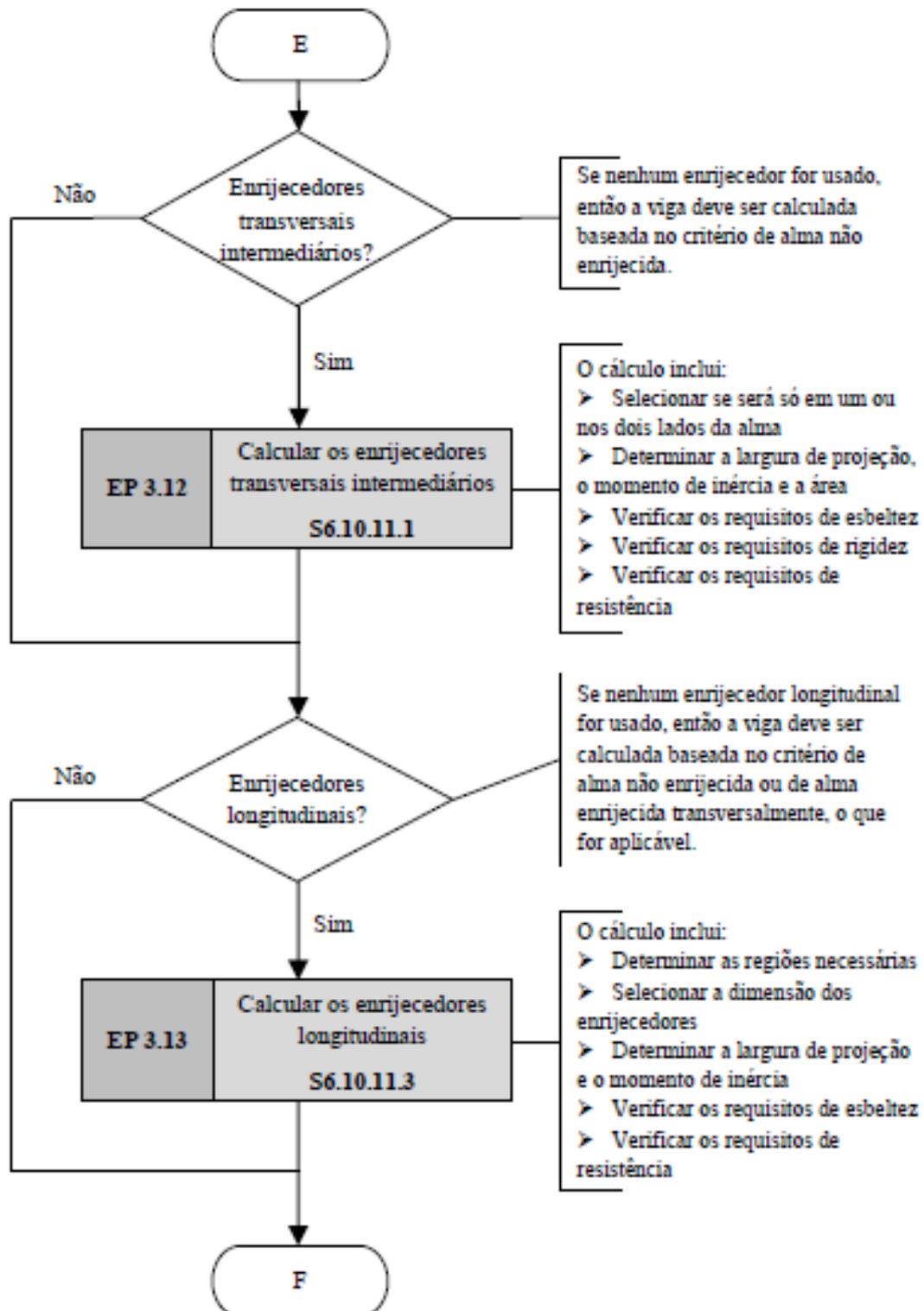


Figura 1.13 - Fluxograma da etapa de projeto 3 – Cálculo das longarinas de aço (Fluxograma 3) – Parte 4

Fonte: Material apresentado durante o curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL, 2016.

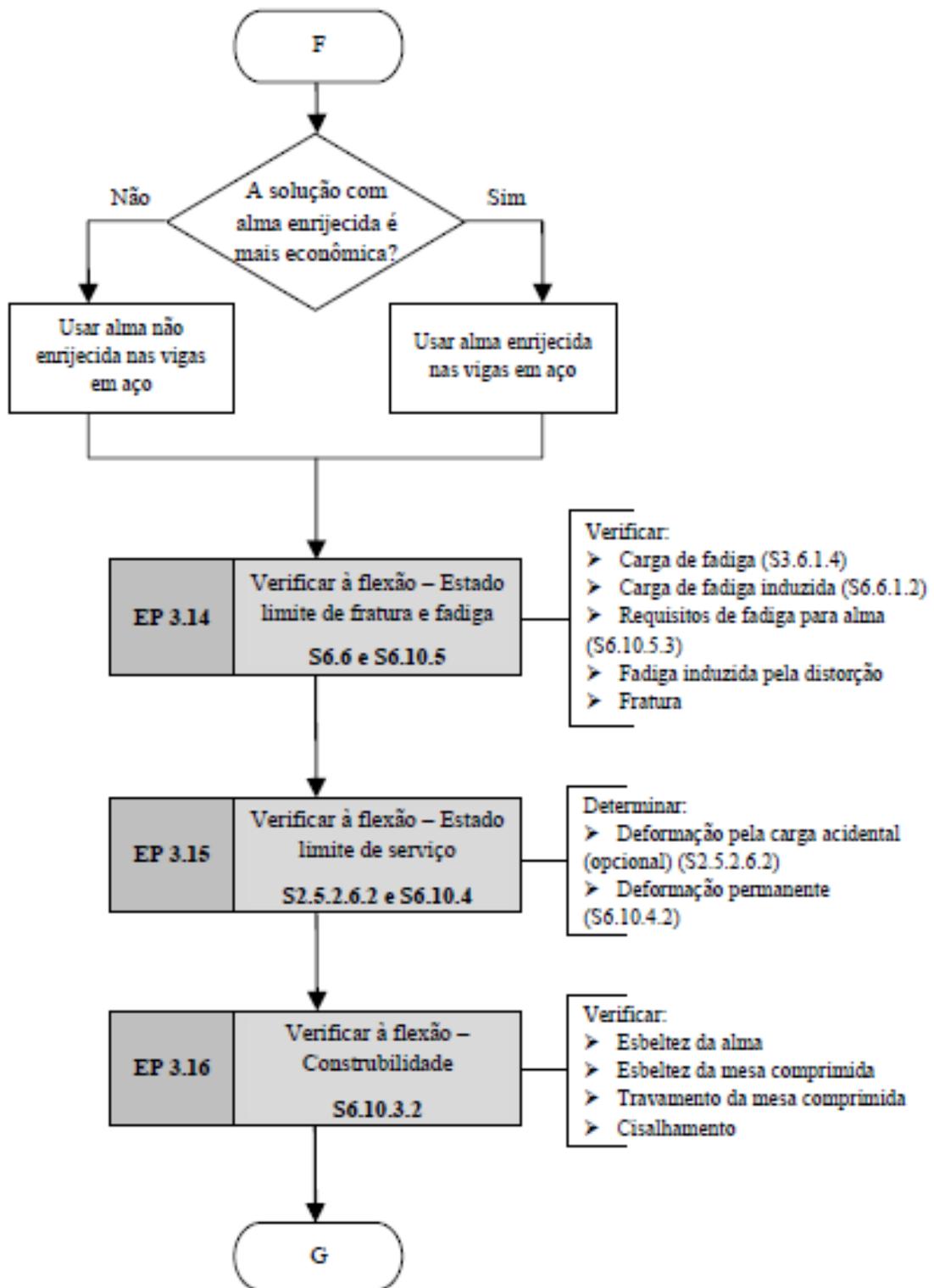


Figura 1.14 - Fluxograma da etapa de projeto 3 – Cálculo das longarinas de aço (Fluxograma 3) – Parte 5

Fonte: Material apresentado durante o curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL, 2016.

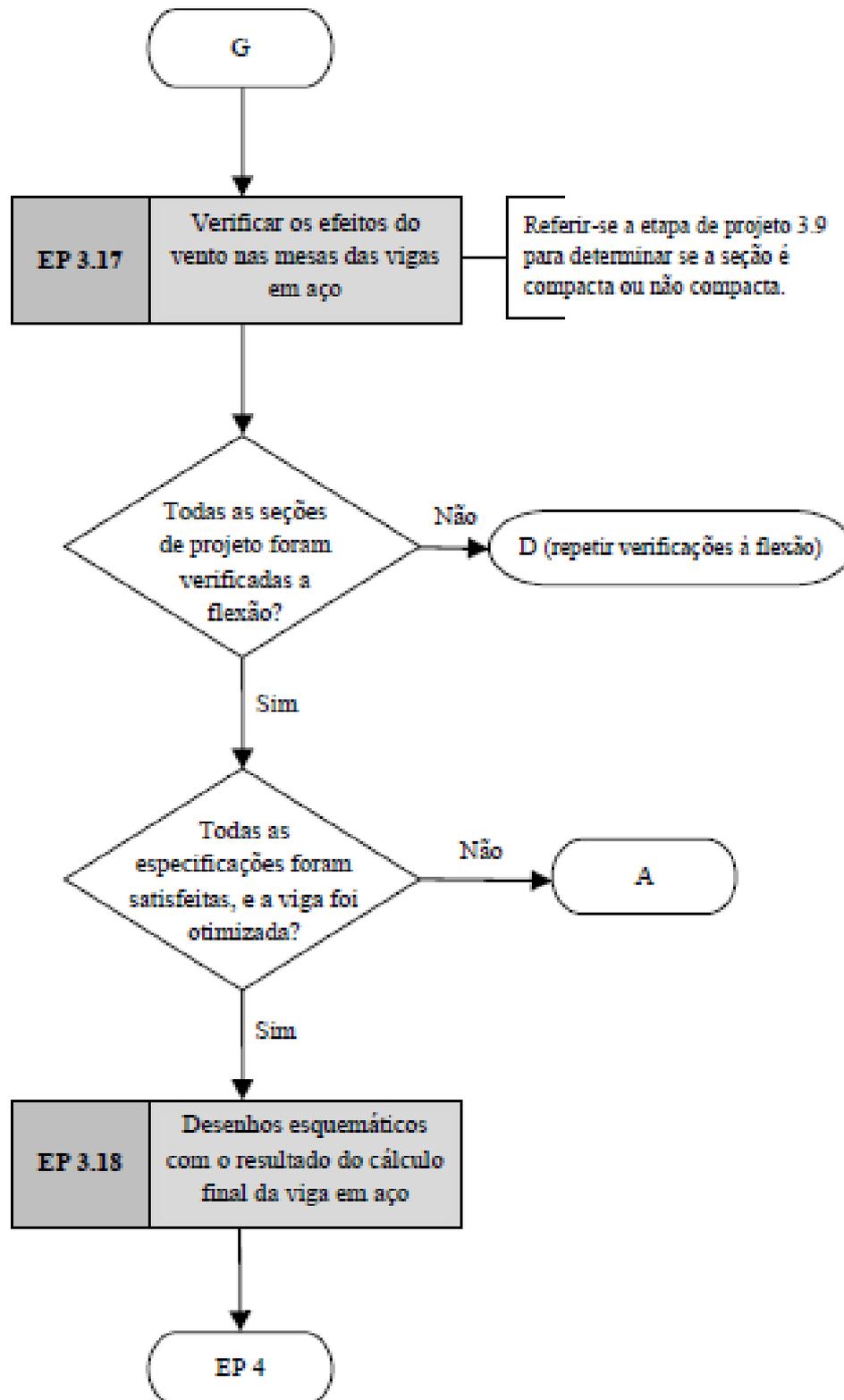


Figura 1.15 - Fluxograma da etapa de projeto 3 – Cálculo das longarinas de aço (Fluxograma 3) – Parte 6

Fonte: Material apresentado durante o curso “Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com Normas brasileiras”, ministrado no congresso CONSTRUMETAL, 2016.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estruturas mistas de aço e concreto

Para a concepção da construção de pontes e viadutos são utilizados vários tipos de materiais, e a escolha do melhor material para cada item da construção deve ser realizada baseando-se na maior quantidade de informações possível, sendo esta a maior responsabilidade do engenheiro de pontes. (PINHO e BELLEI, 2007)

As estruturas mistas são constituídas por materiais que possuem diferentes características mecânicas, para objeto deste trabalho entende-se por estrutura mista a viga de aço solidarizada à laje de concreto junto à mesa superior do perfil. O princípio de funcionamento de uma ponte em vigas mistas consiste na associação da laje de concreto armado, ou protendido, às vigas metálicas que lhe servem de suporte. A associação entre vigas e laje é conseguida se os deslocamentos relativos na interface aço-concreto são impedidos ou reduzidos consideravelmente, de maneira que exista transferência do fluxo de cisalhamento entre laje e vigas. Esta transferência de esforços se traduz em um comportamento misto do conjunto no qual, tanto as vigas de aço como a laje de concreto, atuam solidariamente para resistir às ações aumentando assim a resistência e a rigidez da ponte, conforme apresentado na figura 2.1 (KLINSKY, 1999):

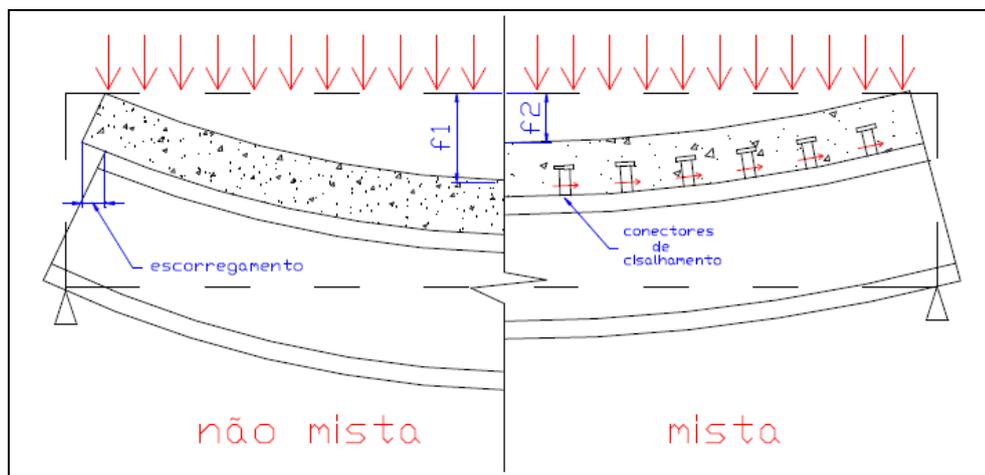


Figura 2.1 - Comparativo entre laje não mista e mista.

Fonte: Klinsky, 1999.

A limitação dos deslocamentos na interface aço-concreto é conseguida através da incorporação, mediante solda, de pequenas peças de aço no topo da mesa superior das vigas conhecidas como conectores de cisalhamento, que ficam imersas na massa de concreto após a concretagem. A função dos conectores de cisalhamento consiste na transferência de tensões tangenciais que surgem na interface aço-concreto, fazendo com que os dois materiais trabalhem como um conjunto único. Basicamente, o tabuleiro de uma ponte em viga mista é constituído pelos seguintes elementos estruturais:

- Vigas de aço: realizam a transferência de cargas na direção paralela ao eixo longitudinal da ponte.
- Laje de concreto: responsável pela distribuição transversal de carga, sob condições normais de utilização recebe as ações das cargas móveis.
- Conectores de cisalhamento: responsáveis pela ligação viga-laje e pela transferência do fluxo de cisalhamento.

A associação de dois materiais de comportamento estrutural diferente, o aço apresentando excelente resistência à tração enquanto o concreto é altamente resistente à compressão, leva a uma série de vantagens sobre estruturas que não apresentam comportamento misto, entre as mais importantes pode-se citar:

- Economia no consumo de aço, de 30 a 50% segundo Owens & Knowles (1992), pois a maior rigidez da estrutura permite a utilização de vigas de menor altura;
- Rapidez de construção em relação ao tempo de execução de tabuleiros sobre vigas de concreto moldadas no local.

A principal desvantagem que este sistema apresenta é a necessidade de incorporar conectores de cisalhamento na interface dos materiais.

A repartição das tensões nos sistemas mistos pode influenciar decisivamente pela sequência de construção e concretagem. Existem muitas possibilidades de se influenciar a distribuição das tensões no aço e no concreto, portanto, é importante observar com cuidado a sequência construtiva, em suas várias etapas, levando-se em conta as seções efetivas, realmente operantes nas fases construtivas. (Mason, 1976)

2.2 Normas técnicas

As autoridades dos países estabelecem códigos de construção para controlar e garantir a segurança estrutural e de seus usuários, prescrevendo fatores importantes, como por exemplo, as cargas mínimas, tensões máximas dos materiais, procedimentos de fabricação e de qualidade destes materiais. Estes códigos de construção, conhecidos como normas, são desenvolvidos com auxílio de técnicos experientes e muitos resultados de ensaios para auxiliar os projetistas a desenvolverem soluções com um guia de trabalho, sendo este uma ajuda valiosa. (Pinho e Bellei, 2007)

2.2.1 Normas brasileiras para pontes metálicas

- ABNT NBR 7188 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas, 2013;
- ABNT NBR 7187 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento, 2003;
- ABNT NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, 1980;
- ABNT NBR 6123 - Forças devidas aos ventos em edificações, 1988;
- ABNT NBR 8681 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, 2003;
- ABNT NBR 8800 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, 2008;
- DNER - Manual de projeto de obras de arte especiais, 1996.

2.2.2 Norma internacional para pontes metálicas - AASHTO (2012)

A norma AASHTO (2012) caracteriza-se por ser um poderoso guia de projeto para pontes rodoviárias, fornecendo os requisitos mínimos a serem seguidos pelos engenheiros responsáveis pelo cálculo estrutural na garantia da segurança funcional adequada para este tipo de obra.

Como as normas brasileiras para estruturas metálicas sempre foram desenvolvidas tendo como base normas americanas, para manter a correlação, usaremos como base para projetos de pontes rodoviárias metálicas, as especificações americanas da AASHTO. (Pinho e Bellei, 2007)

- o AASHTO LRFD Bridge: design specifications. Washington, DC, 2012.

2.3 Cargas nas pontes

Para a concepção de um projeto de ponte devemos identificar e considerar todas as cargas atuantes na estrutura, de maneira criteriosa, a fim de se obter os resultados mais assertivos. Estas cargas podem ser classificadas da seguinte forma (PINHO e BELLEI, 2007):

2.3.1 Cargas permanentes

Constituída pelo peso próprio das estruturas e de outros materiais colocados sobre a ponte, tais como, laje de concreto, estrutura de aço, pavimentação, guarda-corpo, postes, sinalizações, canalizações, etc.

2.3.2 Cargas móveis

São normalmente fixadas nas normas e denominadas Trens-Tipo. No Brasil a norma ABNT NBR 7188:2013 determina duas classes de trem-tipo, classificadas de acordo com o pesos dos veículos, em quilonewtons (kN). São definidas as cargas estáticas, sua disposição e intensidade, para verificações e dimensionamento dos diversos elementos estruturais, assim como para verificações globais.

A carga móvel deve ser aplicada na posição mais desfavorável, inclusive no acostamento e faixas de segurança. Admite-se a distribuição espacial da carga concentrada no elemento estrutural a partir da sua superfície de contato em ângulo de 45°. Para obras em anel

rodoviário e obras com distância inferior a 100 km em rodovias de acesso a terminais portuários, as cargas móveis características devem ser majoradas em 10%, a critério da autoridade competente. (ABNT NBR 7188:2013)

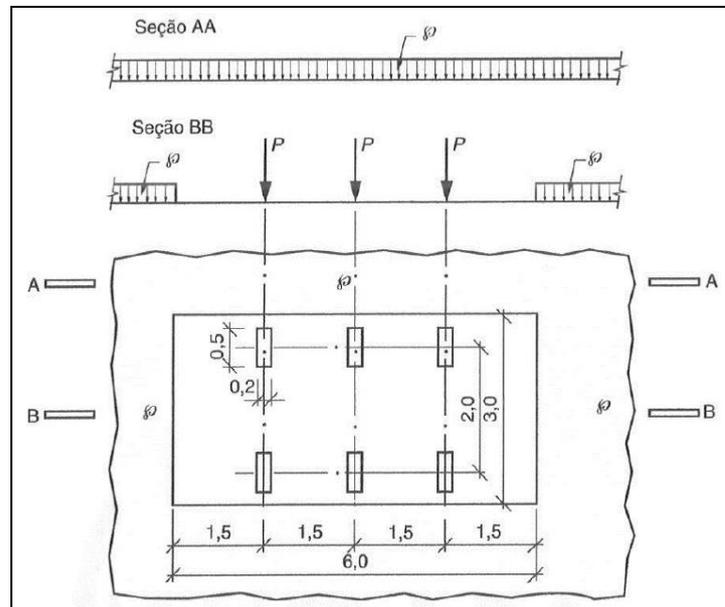


Figura 2.2 – Disposição das cargas móveis.
Fonte: ABNT NBR 7188:2013.

2.3.3 Carga móvel rodoviária padrão TB-450

A carga móvel rodoviária padrão TB-450 é definida por um veículo tipo de 450 kN, com seis rodas, $P=75$ kN, três eixos de carga afastados entre si em 1,5 metros, com área de ocupação de 18,0 m², circundada por uma carga uniformemente distribuída constante $p=5$ kN/m², conforme apresentado na figura 2.2 (ABNT NBR 7188:2013).

2.3.4 Carga móvel rodoviária TB-240

Para obras em estradas vicinais municipais de uma faixa e obras particulares, a critério da autoridade competente, a carga móvel rodoviária é no mínimo igual ao tipo TB-240, que é definido por um veículo tipo de 240 kN, com seis rodas, $P=40$ kN, com três eixos de carga

afastados entre si em 1,5 metros, com área de ocupação de 18,0 m², circundada por uma carga uniformemente distribuída constante $p=4,0$ kN/m², conforme apresentado na figura 2.2 (ABNT NBR 7188:2013).

2.3.5 *Efeitos dinâmicos dos veículos*

O comportamento das cargas concentradas e distribuídas sobre a estrutura da ponte, que geram as chamadas linhas de influência, expressa o resultado numérico desse carregamento, possibilitando as verificações necessárias para o dimensionamento dos diversos elementos estruturais, como também as verificações globais da estrutura. Devido à complexidade dos efeitos dinâmicos causadores do impacto, é permitido assimilar as cargas móveis a cargas estáticas através da multiplicação pelo coeficiente de impacto. (MARCHETTI, 2008)

Com a atualização da ABNT NBR 7188 em 11 de novembro de 2013, a majoração dos esforços pelo coeficiente de impacto passou a ser feita através da ponderação das cargas verticais, sendo:

- **Carga P** = é a carga estática concentrada aplicada no nível do pavimento, em quilonewtons (kN), com valor característico e sem qualquer majoração.
- **Carga p** = é a carga uniformemente distribuída, em quilonewtons por metro quadrado (kN/m²), aplicada no nível do pavimento, com valor característico e sem qualquer majoração.
- **Carga Q** = é a carga concentrada referente à carga móvel, em quilonewtons (kN), aplicada no nível do pavimento, igual ao valor característico ponderado pelo coeficiente de impacto vertical (CIV), do número de faixas (CNF) e do impacto adicional (CIA), sendo: $Q = P \times CIV \times CNF \times CIA$.
- **Carga q** = é a carga uniformemente distribuída referente à carga móvel, em quilonewtons por metro quadrado (kN/m²), aplicada no nível do pavimento, igual ao valor característico ponderado pelo coeficiente de impacto vertical (CIV), do número de faixas (CNF) e do impacto adicional (CIA), sendo: $q = p \times CIV \times CNF \times CIA$

2.3.6 Coeficientes de ponderação das cargas verticais

2.3.6.1 Coeficiente de impacto vertical (CIV)

O coeficiente de impacto vertical (CIV) tem a função de amplificar a ação da carga estática, simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores, conforme a ABNT NBR 7187:2003. Porém não simula e/ou elimina a necessidade de análise dinâmica nas estruturas sensíveis e/ou de baixa rigidez, em especial estruturas de aço e estruturas estaiadas.

$CIV = 1,35$, para estruturas com vão menor do que 10,0 metros;

$CIV = 1 + 1,06 \cdot (20 / (Liv + 50))$ para estruturas com vão entre 10 e 200 metros.

Liv é o vão, em metros, de cada vão teórico do elemento carregado.

2.3.6.2 Coeficiente do número de faixas (CNF)

O coeficiente do número de faixas (CNF) relaciona a probabilidade da carga móvel ocorrer em função do número de faixas (exceto acostamento e faixas de segurança), sendo (ABNT NBR 7188:2013): $CNF = 1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9$

Onde n é o número (inteiro) de faixas de tráfego consideradas na rodovia carregada sobre um tabuleiro transversalmente contínuo. Este coeficiente não se aplica ao dimensionamento de elementos estruturais transversais ao sentido do tráfego, tais como: lajes, transversinas, etc. Acostamentos e faixas de segurança não são faixas de tráfego da rodovia.

2.3.6.3 Coeficiente de impacto adicional (CIA)

O coeficiente de impacto adicional consiste em majorar a carga móvel devido à imperfeição e/ou descontinuidade da pista de rolamento, no caso de juntas de dilatação e nas extremidades da obra, estruturas de transição e acessos (ABNT NBR 7188:2013).

CIA = 1,25 para obras com estruturas em concreto ou mistas.

CIA = 1,15 para obras com estruturas em aço.

2.3.7 Forças horizontais

2.3.7.1 Efeitos de frenagem e aceleração

As forças horizontais devido à frenagem e/ou aceleração aplicadas no nível do pavimento são um percentual da carga característica dos veículos aplicados sobre o tabuleiro, na posição mais desfavorável, concomitantemente com a respectiva carga (ABNT NBR 7188:2013):

$$H_f = 0,25 \cdot B \cdot L \cdot CNF$$

Onde:

$$H_f \geq 135 \text{ kN};$$

B é a largura efetiva, expressa em metros, da carga distribuída de 5 kg/m²;

L é o comprimento concomitante, expresso em metros, da carga distribuída.

2.3.7.2 Força centrífuga

As forças horizontais provenientes da força centrífuga nas obras em curva horizontal, aplicadas no nível da pista de rolamento, são um percentual da carga do veículo tipo aplicado sobre o tabuleiro, na posição mais desfavorável, concomitante com a respectiva carga (ABNT NBR 7188:2013):

$$H_{fc} = 2,4 \cdot P \quad \text{em kN, para curva com raio } R < 200 \text{ metros};$$

$$H_{fc} = 480/R \cdot P \quad \text{em kN, para curva com raio } 200 < R < 1.500 \text{ metros};$$

$$H_{fc} = \text{zero} \quad \text{para raios superiores a 1.500 metros.}$$

Onde:

R é o raio da curva horizontal no eixo da obra, expresso em metros.

2.3.7.3 Ações excepcionais

As ações excepcionais (colisões) sobre os diversos elementos estruturais e sobre a obra, de um forma global, exigem verificações somente no estado-limite último e de estabilidade global de forma isolada, concomitante apenas com as cargas definidas pelos coeficientes de ponderação das cargas horizontais.

2.3.7.4 Ação dos ventos

No Brasil a norma NBR 6123 determina as cargas devido às ações dos ventos. Trata-se de cargas horizontais, normais ao eixo da ponte e que podem ser, na falta de uma análise mais detalhada, representadas por uma pressão média, sendo:

Ponte descarregada..... 1,5 kN/m²

Ponte carregada..... 1,0 kN/m²

Passarela de pedestre..... 0,7 kN/m²

Para o caso das vigas de alma cheia, as superfícies de incidência da pressão lateral do vento são representadas na figura 2.3.

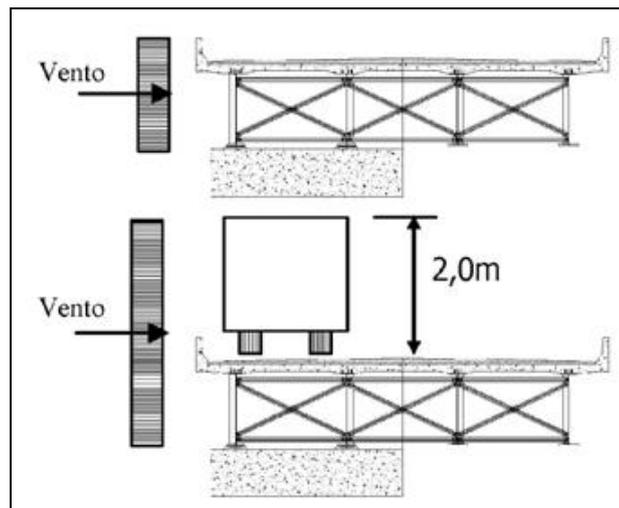


Figura 2.3 – Pressão lateral do vento em pontes de viga de alma cheia.

Fonte: (PINHO e BELLEI, 2007)

2.3.8 Combinações de cargas

Para análise dos carregamentos nas pontes, devemos considerar a combinação das cargas, utilizando coeficientes de segurança menores para as combinações menos prováveis, do que para as combinações mais prováveis. Estas cargas são separadas em dois grupos:

- **Cargas Principais** - cargas permanentes, cargas móveis e efeitos de recalques prováveis nas fundações.
- **Cargas Suplementares** - ações de ventos, variações de temperatura, frenagem e aceleração, atritos nos apoios, etc.

O estudo do comportamento dinâmico de tabuleiros de pontes mistas tem sido abordado por SMITH (1988), WANG et al (1993), HUANG et al (1992), CHANG et al (1994). A maioria destes estudos consiste na determinação da influência que a rugosidade da pista, massa do veículo, sistema de suspensão, etc, exercem na resposta da estrutura e na determinação de coeficientes de impacto que permitam simplificar a análise estrutural. Apesar da natureza do problema ser puramente dinâmica, os regulamentos consideram as cargas móveis através de um incremento da carga estática. De maneira geral, a ponte é analisada localizando o veículo em diferentes partes do tabuleiro e multiplicando as solicitações calculadas por um coeficiente de impacto; este coeficiente é determinado a partir de valores obtidos experimentalmente e de modelagens de veículos e pontes utilizadas em estudos analíticos (KLINSKY, 1999).

2.4 Distribuição transversal das cargas

As pontes de seção aberta (vigas de alma cheia) são compostas por duas ou mais vigas principais, denominadas longarinas, pelas vigas transversais, denominadas transversinas, cujo espaçamento não deve superar 7,6 metros, segundo a norma AASTHO, e pela laje do tabuleiro em concreto. Esta composição caracteriza o sistema estrutural em grelha, cuja análise pode ser feita com o emprego de computadores, calculando rapidamente e com exatidão qualquer estrutura em grelha, ou através do método empírico apresentado na norma AASTHO para cálculo dos momentos devido à carga móvel, baseados em testes reais. O trem-tipo da norma AASTHO é composto de faixas de tráfego que ocupam uma largura de “10 feet”, equivalente a 3,048 metros. Portanto, para utilização do método empírico de

distribuição transversal das cargas utilizando o trem-tipo da norma brasileira NBR 7188, devemos aplicar os coeficientes de distribuição a uma faixa de tráfego com 3,0 metros de largura e cargas distribuídas de 3,0 metros de largura à frente e atrás do veículo, considerando o seguinte (PINHO e BELLEI, 2007):

2.4.1 Para as longarinas internas projetadas para uma faixa de tráfego

Podem ser calculadas pela fração da carga por roda ($S/2,134$), sendo “S” a distância, em metros, entre longarinas adjacentes. Se $S > 3,0$ metros, a reação sobre a longarina é obtida pela suposição de que a laje está simplesmente apoiada entre as longarinas.

2.4.2 Para as longarinas internas projetadas para duas ou mais faixas de tráfego

Podem ser calculadas pela fração da carga por roda ($S/1,676$), sendo “S” a distância, em metros, entre longarinas adjacentes. Se $S > 4,3$ metros, a reação sobre a longarina é obtida pela suposição de que a laje está simplesmente apoiada entre as longarinas.

2.4.3 Para as longarinas externas

A reação sobre a longarina é obtida pela suposição de que a laje está simplesmente apoiada entre as longarinas. As longarinas externas não devem ter capacidade de carga menor que as longarinas internas.

2.5 Análise estrutural do tabuleiro de concreto

A análise estrutural do tabuleiro de concreto de uma ponte mista de aço e concreto pode ser realizada matematicamente, cujo modelo que representa o problema é denominado modelo matemático, e experimentalmente, cujo modelo é denominado modelo físico (JAEGER e BAKHT, 1989).

Atualmente existem várias técnicas de análise estrutural aplicáveis ao estudo das pontes, cujos parâmetros característicos que determinam a eleição do método de cálculo mais adequado podem ser agrupados em três categorias:

- a) forma da seção transversal;
- b) geometria em planta;
- c) condições de apoio.

Um mesmo tabuleiro de ponte pode ser representado mediante diferentes modelos matemáticos, estes podem ser lineares, bidimensionais e espaciais (KLINSKY, 1999):

2.5.1 *Modelo linear*

O modelo linear é constituído por elementos unidimensionais definidos por dois nós e podem modelar barras e vigas. O elemento unidimensional constitui uma idealização de volumes que possuem duas dimensões muito inferiores a uma terceira denominada comprimento.

2.5.2 *Modelo bidimensional*

O modelo bidimensional é composto por elementos planos e lineares, este surge da idealização de um volume que possui duas dimensões muito superiores a uma terceira, denominada espessura. A representação de tabuleiros mistos (modelos bidimensionais) pode ser representada conforme figura 2.4, considerando duas formas:

- a) associação no plano de elementos de viga, de maneira a formar uma grelha;
- b) elementos de placa enrijecidos por elementos de vigas.

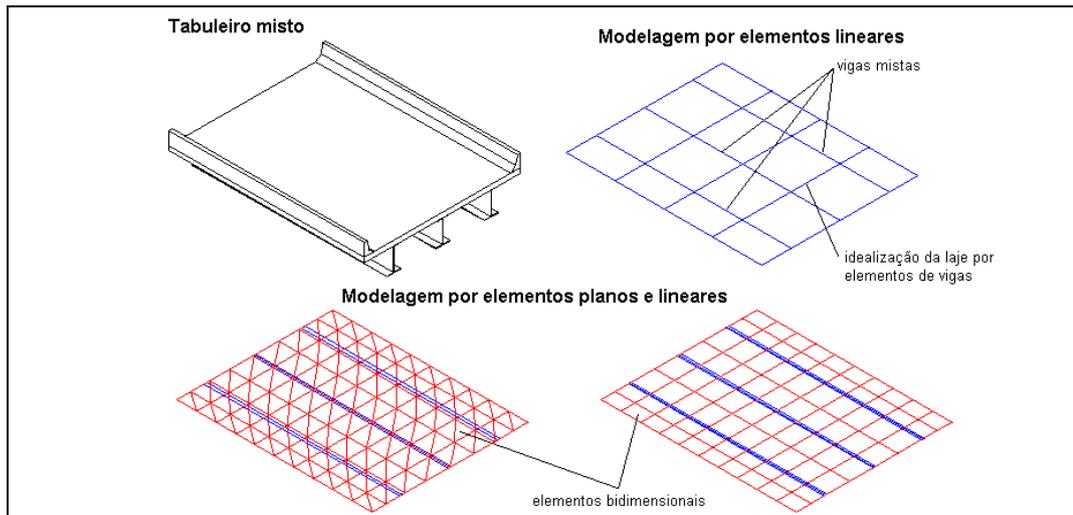


Figura 2.4 – Representação de tabuleiros mistos através de modelos bidimensionais.
Fonte: Klinsky, 1999.

2.5.3 Modelo tridimensional

O modelo tridimensional é o mais completo e, em geral, é utilizado para estudar efeitos localizados na estrutura. Este modelo é constituído por elementos lineares, planos e tridimensionais, conforme apresentado na figura 2.5. O elemento tridimensional surge da idealização de volumes nos quais nenhuma dimensão predomina sobre as outras. Algumas modelagens tridimensionais de um tabuleiro podem ser montadas a partir de um tipo de elemento ou da combinação de dois ou três.

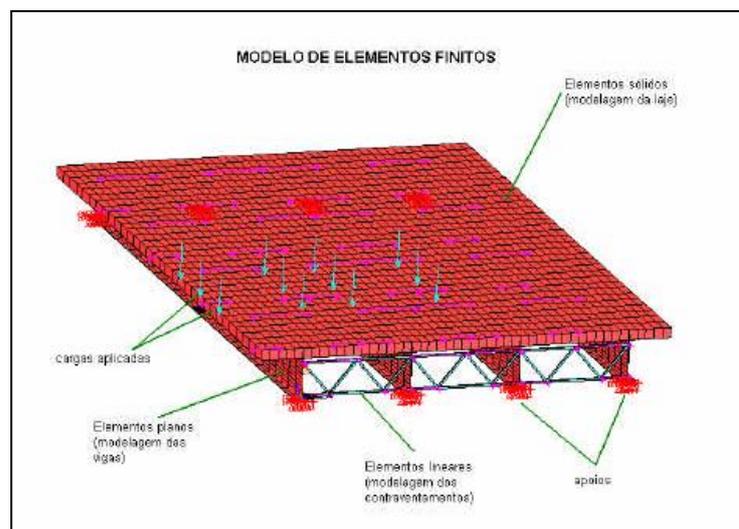


Figura 2.5 – Representação de tabuleiros mistos através de modelos tridimensionais formados por elementos lineares, planos e sólidos.
Fonte: Klinsky, 1999.

2.6 Analogia de grelhas

Entende-se por analogia de grelha a associação de vigas longitudinais e transversais submetidas a cargas atuantes no plano perpendicular ao da associação. A aplicação desta técnica é realizada supondo que as vigas mistas equivalentes do tabuleiro representam as vigas longitudinais da grelha, a laje de concreto e os contraventamentos das vigas representam as vigas transversais. (Klinsky, 1999)

2.7 Fabricação, Transporte E Montagem De Estruturas Metálicas

2.7.1 Fabricação das Estruturas Metálicas

2.7.2 Matéria Prima

Para garantir que os serviços e produtos adquiridos estejam em conformidade com as especificações técnicas previstas no projeto, a empresa fabricante das estruturas metálicas deve manter procedimentos de controle de qualidade, buscando produtos e fornecedores eficientes e capazes de atender aos requisitos do projeto, bem como atender às respectivas normas.

A rastreabilidade dos produtos adquiridos deve ser realizada para que sejam identificados ao longo do processo de fabricação, para que se possa registrar a sua situação quanto aos controles, medições e monitoramentos de processos e produtos, principalmente para os materiais críticos, aqueles que afetam a qualidade do produto final. Como exemplo destes materiais críticos, especificamente para o processo de fabricação de estruturas metálicas para pontes, podemos citar as chapas de aço, que são adquiridos diretamente das companhias siderúrgicas e sempre acompanhados dos respectivos certificados de qualidade. Por meio dos registros mantidos, é possível identificar e localizar a matéria prima em qualquer área da

fábrica. A figura 2.6 apresenta o exemplo de fabricação de um perfil soldado que será utilizado como longarina de uma ponte.



Figura 2.6 – Fabricação do perfil soldado da longarina de uma ponte em aço.
Fonte: acervo técnico do autor.

2.7.3 *Garantia*

A garantia dos materiais e serviços deve obedecer ao que dispõe a Lei 8078 – Código do Consumidor, responsabilizando integralmente o fabricante pelos defeitos e vícios eventualmente constatados, no que diz respeito ao desempenho mecânico, resistência estrutural e qualidade do acabamento superficial das estruturas metálicas e dos acessórios empregados.

2.7.4 *Data Book*

Ao final do processo de fabricação deve ser enviado ao responsável técnico da obra um *Data Book* contendo os certificados das matéria-prima e insumos, especificações de procedimento de soldagem, relatórios de ensaios não destrutivos e listas técnicas de despacho.

2.7.5 CNC – Controle Numérico Computadorizado

O Controle Numérico Computadorizado – CNC (do inglês Computer Numeric Control) é um sistema criado pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), que controla a operação das máquinas da fábrica e que permite a confecção de peças complexas, seriadas e de grande precisão, principalmente quando trabalham em conjunto com os atuais programas de desenho e manufatura assistidos pelo computador (Computer-Aided Design - CAD e Computer-Aided Manufacturing – CAM). A utilização deste sistema proporciona muitos benefícios para a fabricação das estruturas metálicas, nos quais poderemos destacar:

- Qualidade dimensional das peças, reduzindo consideravelmente os problemas de montagem das estruturas metálicas;
- Perfis e estruturas de alta complexidade são facilmente fabricados;
- O número de passos no processo com intervenção de operadores é drasticamente reduzido;
- Reduz o número de erros humanos, aumentando a qualidade dos produtos, diminuindo retrabalho e desperdício;
- Agilizou as linhas de montagens e tornou-as mais flexíveis, pois a mesma linha de montagens pode ser adaptada para produzir outro produto num tempo muito mais curto se comparados com os processos tradicionais de produção;
- Com o desenvolvimento tecnológico dos softwares, apresenta uma tendência cada vez maior de interatividade com os usuários.

2.7.6 Pré-montagem

Apesar de atualmente a grande maioria dos fabricantes utilizarem equipamentos CNC para a fabricação das estruturas metálicas, faz-se necessária a realização da pré-montagem em fábrica, para que quaisquer eventuais correções dimensionais necessárias às peças sejam feitas antes do envio à obra, principalmente para as estruturas complexas, que demandam grandes

operações de logística e mobilização de equipamentos de grande porte e de alto custo. A figura 2.7 apresenta a pré-montagem de uma ponte treliçada em estruturas de aço.



Figura 2.7 – Pré-montagem de uma ponte treliçada em estruturas aço.

Fonte: acervo técnico do autor.

2.7.7 Transporte das Estruturas Metálicas

O transporte e descarregamento de materiais devem ser realizados conforme a lei nº 11.442 de 7 de janeiro de 2007, que dispõe sobre o transporte rodoviário de cargas.

As estruturas metálicas devem ser acondicionadas e apoiadas em madeiras para garantir o nivelamento e a segurança durante o transporte, devidamente travadas com cabos e cintas.

Todos os carregamentos de estruturas metálicas devem ser acompanhados de uma Lista Técnica de Despacho (Romaneio), onde são descritas as marcas, quantidades e principais informações das peças contidas na carga.

Normalmente as estruturas metálicas são projetadas para que sejam transportadas em carretas convencionais, com dimensões de 12 metros de comprimento, 2,40 metros de largura e 2,80 metros de altura, sendo a altura total de 3,90 metros e 1,10 metros do piso até o fundo da carroceria. A figura 2.8 apresenta um exemplo de estruturas de aço sendo transportadas em carretas convencionais.



Figura 2.8 – Estruturas metálicas sendo transportadas em carretas convencionais.

Fonte: acervo técnico do autor

No caso das estruturas metálicas para pontes, principalmente para as longarinas, se faz necessária a utilização de carretas extensivas, permitindo em muitos casos que a longarina seja entregue inteira, sem emendas de campo (parafusadas ou soldadas), conforme apresentado nas figuras 2.9 e 2.10.



Figura 2.9 – Longarinas de uma ponte metálica sendo transportadas em carretas extensivas.

Fonte: acervo técnico do autor.



Figura 2.10 – Longarinas de uma ponte metálica sendo transportadas em carretas extensivas.
Fonte: acervo técnico do autor.

2.7.8 Montagem das Estruturas Metálicas

Um projeto bem elaborado envolve a escolha do sistema estrutural apropriado, a compreensão do seu funcionamento e a adequação às condições peculiares de cada caso, que podemos comparar com as condições de contorno de um problema matemático, que molda e caracteriza a solução e os resultados. Portanto, o melhor projeto deverá caracterizar a solução construtiva mais simples, proporcionar uma melhor uniformização de detalhes e atender os requisitos da economia, cabendo ao projetista se atentar às regras construtivas recomendadas e aos princípios de cálculo, resistências e estabilidade. É de suma importância a correta concepção e a atenção aos detalhes construtivos, pois uma omissão por parte do projetista ou do construtor, pode acarretar em consequências funestas ou mesmo a ruína da obra. (Mason, 1976)

O método de montagem a ser empregado tem função decisiva na elaboração do projeto, pois leva em consideração as condições locais e dos equipamentos a serem utilizados, bem como os esforços aos quais a estrutura estará submetida durante a montagem, e que podem ser desfavoráveis se comparados com os que a ponte estará submetida durante seu funcionamento normal. Portanto, é imprescindível o estudo simultâneo do projeto de construção e de montagem da ponte. (Mason, 1976)

2.7.9 Planejamento de Rigging

O Planejamento de Rigging é o nome dado ao processo de planejamento para atividades de içamentos de cargas, que deve ser elaborado por profissionais especializados, garantindo assim maior segurança na movimentação e içamento de qualquer tipo de carga. Através de cálculos, desenhos, análises e pesquisas de campo, devem ser definidos quais guindastes e equipamentos deverão ser utilizados para cada operação, evitando retrabalhos e principalmente acidentes. Tal plano indica, por meio do estudo da carga a ser içada, das máquinas disponíveis, dos acessórios, condições do solo e da ação do vento, quais as melhores soluções para se executar um içamento seguro e eficiente.

No planejamento de rigging destaca-se, dentre outros, os seguintes parâmetros operacionais: comprimento e ângulo de lança, quadrante de trabalho, configuração de contrapesos, tipo de moitão, número de pernas de cabo de aço, descritivo, peso e dimensional da carga, tensão nos cabos de aço (se necessário), amarração, acessórios, capacidade de carga, fator de utilização, premissas operacionais, entre outros. Seguem abaixo as principais normas utilizadas para elaboração do planejamento de Rigging:

- NR-11 - Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais;
- NR-18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria e Comércio;
- NBR ISO 4309 – Guindastes - Cabo de Aço - Critério de Inspeção e Descarte;
- NBR 8400 – Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de carga.

2.7.10 Meio Ambiente e Segurança do Trabalho

As instalações do canteiro de obras deverão obedecer aos requisitos das normas regulamentadoras NR-18 (Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção) e NR-24 (Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho), dispondo de áreas de vivência que devem ser mantidas em perfeito estado de conservação, higiene e limpeza, sendo:

- a) instalações sanitárias;
- b) vestiário;
- c) alojamento (obrigatório nos casos onde houver trabalhadores alojados);
- d) local de refeições;
- e) cozinha, quando houver preparo de refeições;
- f) lavanderia (obrigatório nos casos onde houver trabalhadores alojados);
- g) área de lazer (obrigatório nos casos onde houver trabalhadores alojados);
- h) ambulatório, quando se tratar de frentes de trabalho com 50 (cinquenta) ou mais trabalhadores.

2.8 Engenharia de Custos

A engenharia de custos é o ramo das engenharias voltado à previsão e controle financeiro do empreendimento, desde a elaboração da estimativa de custos (indispensável para o EVTE - Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica), até a cuidadosa e minuciosa elaboração de orçamentos.

"Dentro da área de Engenharia de Custos de uma empresa, cabe ao setor de Estimativas e Controle de Custos:

- Preparar a estrutura para registros de centros de custos do projeto;
- Elaborar e manter atualizado o Plano de Contas do Projeto;
- Elaborar as Estimativas de Custo do empreendimento;
- Equalizar ou homogeneizar as propostas comerciais recebidas;
- Registrar modificações de escopo (alterações e inclusões);
- Compilar e manipular dados;
- Controlar os custos de implantação do empreendimento;
- Programar os desembolsos do empreendimento no curto prazo e no longo prazo."

(CONFORTO e SPRANGER, 2008)

O quadro 2.1 apresenta as principais atividades executadas pela Engenharia de Custos durante a implantação de um empreendimento:

Quadro 2.1 – Atividades executadas pela Engenharia de Custos.

Estimativa de Custos	A elaboração de Estimativas de Custos consiste no emprego de metodologias de avaliação que permitem prever o valor e a composição de custo total a ser incorrido na realização de determinado empreendimento, ainda que a partir de dados de Engenharia apenas preliminares ou pouco detalhados sobre o projeto.
Orçamento	O preparo de um Orçamento, diferentemente da elaboração de uma Estimativa, toma por base projetos detalhados de Engenharia, com desenhos, plantas e especificações técnicas bem definidas, das quais são extraídos os respectivos levantamentos quantitativos. A partir destes, e utilizando-se os preços vigentes no mercado, os quais são supridos por fornecedores tradicionais, ou são extraídos de publicações técnicas especializadas, é feita a avaliação do custo total do empreendimento.
Contabilidade de Custos	A contabilidade de custos é o registro sistemático das despesas, na medida em que elas vão sendo efetivadas, ao longo do prazo em que o empreendimento vai sendo implantado.
Controle Financeiro de Compromissos	O Controle Financeiro de Compromissos consiste na monitoração do estrito cumprimento dos compromissos financeiros de um contrato ou ordem de compra, na forma estabelecida em suas disposições contratuais. Envolve, portanto, a verificação, a liberação do pagamento ou a glosa de faturas ou notas fiscais, assim como o registro dos desembolsos efetuados e a programação de pagamentos futuros.
Controle Orçamentário	O Controle Orçamentário é processado através da comparação sistemática entre os custos efetivamente incorridos e os previstos, indicando as eventuais variações observadas, as quais são apresentadas e comentadas em relatórios periódicos de custos.
Programação Financeira	O objetivo da Programação Financeira, tanto a de curto prazo, como a de longo prazo, é informar os montantes a serem desembolsados e as datas em que serão realizados esses pagamentos, no período previsto de implantação do empreendimento.
Formulação de Normas e Procedimentos de Custos	A Formulação de Normas e Procedimentos para os trabalhos relacionados com a execução de estimativas e com o controle de custos também é atribuição da Engenharia de Custos. Tais normas e procedimentos podem ser de aplicação específica em determinados projetos, como as que regulam a circulação de informações entre a equipe de controle de custos e os demais órgãos envolvidos na implantação do empreendimento, ou podem ter aplicação mais abrangente, como as que definem diretrizes para serem aplicadas em estimativas, por exemplo: <ul style="list-style-type: none"> - estabelecer critérios para cálculos de contingências; - compor preços de venda de mão de obra para prestadores de serviços de engenharia, construção civil e montagem eletromecânica; - estabelecer metodologias para atualização de custos ou para conversão de valores constantes em valores correntes.

Fonte: adaptado de Conforto e Spranger, 2008.

Como suporte para execução desses serviços, este setor dispõe de toda uma sistemática de consulta rápida a fornecedores, visando à obtenção de cotação, assim como de um arquivo de custos (Banco de Dados), onde são armazenadas informações úteis ao estimador.

Os trabalhos de estimativas de investimentos consistem, basicamente, na manipulação de dados e informações provenientes de diferentes fontes, que podem ser classificadas segundo a origem, em:

- Fontes internas: os projetos já realizados são importantes fontes de informação e subsídios para elaboração de estimativas.
- Fontes externas: fornecedores e literatura técnica.

A compilação de dados tem como finalidade armazenar o maior número possível de informações a serem manipuladas para que delas possam ser extraídos índices e correlações em maior número e com maior precisão. Através da manipulação traçam-se as curvas , montam-se tabelas, determinam-se coeficientes e expoentes que constituirão as ferramentas de trabalho do estimador.

"No desempenho de suas atividades, o estimador, profissional responsável pela elaboração das estimativas de custos, normalmente alocado no Setor de Engenharia de Custos de uma determinada empresa, conta com o apoio de outros setores do gerenciamento de projetos que, direta ou indiretamente, envolvem-se com a Engenharia de Custos, na cadeia de informações "Cliente"/"Fornecedor", entre eles destacando-se:

- Gerência de Projeto/ Coordenação de Projetos;
- Engenharia Básica, de Equipamentos e de Detalhamento;
- Suprimentos e Contratos;
- Planejamento Físico-Financeiro;
- Gerência de Obras."(CONFORTO e SPRANGER, 2008 pág.43)

O fluxograma da engenharia de custos pode ser apresentado conforme figura 2.11.

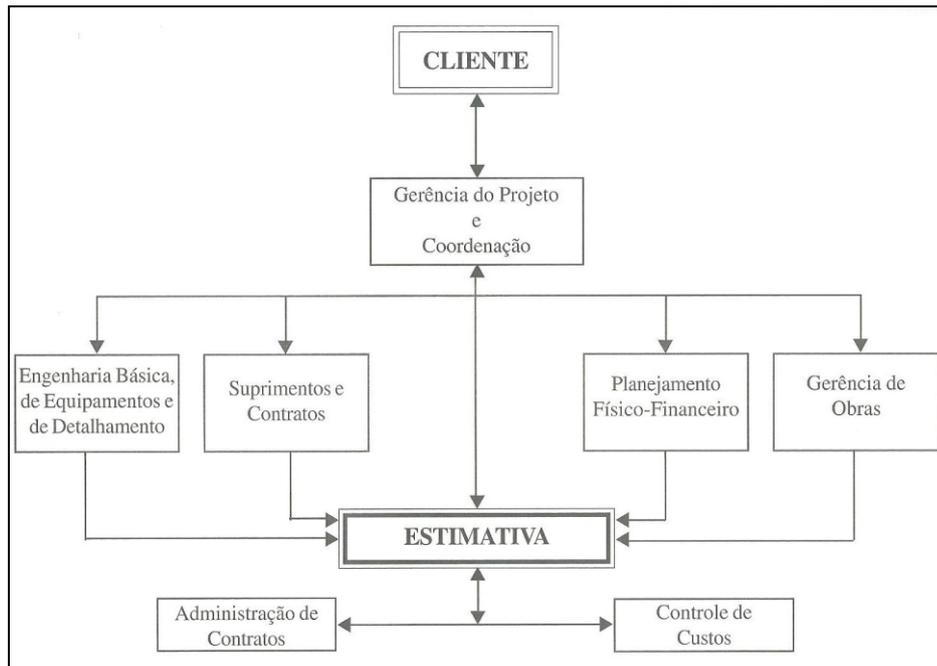


Figura 2.11 – Fluxograma da Engenharia de Custos.

Fonte: Conforto e Spranger, 2008.

2.8.1 Estimativa de Custos

“A elaboração de Estimativas de Custos consiste no emprego de metodologias de avaliação que permitem prever o valor e a composição de custo total a ser incorrido na realização de determinado empreendimento, ainda que a partir de dados de Engenharia apenas preliminares ou pouco detalhados sobre o projeto.” (CONFORTO e SPRANGER, 2008 pág.21)

"As Estimativas de Custos costumam ser classificadas, tanto por instituições, como The Association for the Advancement of Cost Engineering, anteriormente denominada A.A.C.E. - American Association of Cost Engineers, como também, por empresas internacionais de projeto ou, ainda, por diferentes trabalhos da literatura técnica, em função dos seguintes elementos básicos:

- Propósito ou finalidade da estimativa;
- Tempo requerido para sua elaboração;
- Tipo e qualidade das informações disponíveis;
- Métodos de preparação/avaliação;
- Grau de precisão." (CONFORTO e SPRANGER, 2008 pág.28)

O quadro 2.12 apresenta outras denominações para a estimativa de custos em cada fase do projeto.

Instituições	Outras Denominações			
	Ordem de Grandeza	Estimativa de Estudo	Estimativa Preliminar	Estimativa Definitiva
A.A.C.E.	Classe 5	Classe 4	Classe 3	Classe 2
A.I.S.I Standard Z94.0	Order of Magnitude Estimate		Budget Estimate	Definitive Estimate
UK Association of Cost Engineers	Order of Magnitude Estimate Class IV	Study Estimate Class III	Budget Estimate Class II	Definitive Estimate Class I
A.S.P.E.	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
I.P.A.	-	Fel 1	Fel 2	Fel 3

Esses tipos de estimativas são elaborados ao longo do desenvolvimento do empreendimento, conforme é mostrado esquematicamente a seguir.

ESTUDO PRELIMINAR DEFINITIVA OPERAÇÃO

0 = início do desenvolvimento do projeto

Figura 2.12 – Outras nomenclaturas para Estimativa de Custo.

Fonte: Conforto e Spranger, 2008.

Na definição da forma de apresentação de uma estimativa deve-se considerar que ela será o único elemento de referência para execução do controle de custos e esses custos serão apropriados segundo a Estrutura Analítica do Projeto (EAP), que é a conjugação da Lista de Centro de Custos, isto é, a lista de unidades que compõem a planta industrial, com o Plano de Contas do Empreendimento, ou seja, uma lista de despesas, classificadas segundo a sua natureza, definidas previamente. Tanto a Estimativa preliminar quanto a Definitiva são elaboradas e emitidas na forma de volumes completos, com adequado grau de detalhamento dos valores que a compõem, além da explanação sobre a metodologia e as bases de cálculo adotadas. A apresentação da estimativa de custos segue geralmente um modelo usual, composto das seguintes partes:

- Introdução: descrição do objetivo do trabalho, fazendo uma referência ao projeto, citando a designação (nome do projeto), sua localização física, tipo de planta, capacidade de produção, as unidades de processo, de utilidades e de apoio.
- Critérios Adotados: descrever os critérios que nortearam o trabalho, tais como data de referência dos preços, moeda, taxas cambiais adotadas, prazo previsto de execução do projeto, técnicas aplicadas e fontes de informação.

- Abrangência da Estimativa: discriminar as contas incluídas e os principais itens excluídos.
- Metodologia de Cálculo: definição dos procedimentos e estratégias que nortearam o cálculo do valor estimativo de cada conta: serviços de engenharia, equipamentos, materiais, benfeitorias no terreno, construção civil, montagem eletromecânica, canteiro de obras, despesas de pré-operação e partida e contingências.
- Documentação de Apoio: deverão ser citados todos os documentos (desenhos, folhas de especificações, etc) que tenham sido utilizados na elaboração da estimativa.
- Tabelas de Custos: deverão ser apresentados o sumário geral de custos com a distribuição de custos do investimento e o detalhamento dos custos para cada uma das principais contas, incluindo o cálculo das contingências.
- Anexos: podem ser apresentadas as memórias de cálculo, contendo o levantamento de quantidades, desenhos, lista de materiais e cotações, que serviram de base para elaboração da estimativa. (CONFORTO e SPRANGER, 2008 pág.48)

Ao elaborar uma estimativa, o estimador deverá observar as seguintes recomendações:

- A estimativa será objeto de estudo e análise de viabilidade do empreendimento pelo cliente;
- O estimador deverá estar capacitado para responder por qualquer valor que tenha sido usado. Portanto, deverá utilizar o melhor critério possível na definição de cada valor, organizando sistematicamente as memórias de cálculo;
- Realizar cuidadosa leitura dos requisitos, as especificações, instruções para análise da concorrência e para propostas, enviadas pelo cliente;
- Procurar antever as tendências econômicas futuras, principalmente com relação a novos produtos, serviços, métodos construtivos e outras formas de estar competitivo;
- Estar a par das alíquotas dos impostos e tributos vigentes, assim como das datas de dissídio coletivo por categoria profissional;
- Usar cotações mais vantajosas e que atendam inteiramente às especificações;
- Analisar os preços unitários das propostas recebidas e sua formação para o preço final e não somente o valor global proposto;
- Não estimar por meio de verbas. Todo e qualquer tipo de serviço pode ser mensurado, ter uma unidade de referência e, conseqüentemente, ter seu custo avaliado;
- Os desvios entre os valores reais e os valores estimados sempre serão inconvenientes inevitáveis. O estimador deverá acompanhar estes desvios, a fim de se aperfeiçoar;

- É importante verificar se os valores obtidos no final do trabalho estão próximos aos índices típicos constantes no banco de dados, ou dos valores estimados por meio de métodos rápidos, e procurar explicações ou justificativas para eventuais divergências, se estas forem muito relevantes;
- Guardar toda a documentação utilizada como memória de cálculo do trabalho, pois ela será utilizada quando da contratação dos serviços e da aquisição dos equipamentos e materiais para efeito de comparação;
- Escrever em detalhes todas as premissas e estratégias utilizadas para a formação do valor total estimado;
- Não se deixar influenciar pelas opiniões que pessoas fora do ramo das estimativas de custos gostam de dar, pensando que também são capazes de atender às exigências e necessidades que a elaboração do trabalho requer. Colher opinião, sempre. Se deixar influenciar, jamais.

(CONFORTO e SPRANGER, 2008 pág.287)

2.8.2 Orçamento

“O preparo de um Orçamento, diferentemente da elaboração de uma Estimativa, toma por base projetos detalhados de Engenharia, com desenhos, plantas e especificações técnicas bem definidas, das quais são extraídos os respectivos levantamentos quantitativos. A partir desses levantamentos e utilizando-se os preços vigentes no mercado, os quais são supridos por fornecedores tradicionais, ou são extraídos de publicações técnicas especializadas, é feita a avaliação do custo total do empreendimento.” (CONFORTO e SPRANGER, 2008 pág.21)

“Um Orçamento é uma etapa mais avançada de uma Estimativa. Sua elaboração se dá quando o projeto já se encontra praticamente definido, e boa parte da prestação de serviços ou do fornecimento de equipamentos e materiais já está contratada, ou já se dispõe de cotação para tais fornecimentos.” (CONFORTO e SPRANGER, 2008 pág.21)

“O Orçamento é baseado em dados mais fidedignos, obtidos a partir de levantamentos mais firmes de quantidades e de preços.” (CONFORTO e SPRANGER, 2008 pág.21)

"Os pedidos de cotação de preços de equipamentos, materiais ou serviços, quando solicitados a mais de um fornecedor, precisam ser equalizados ou homogeneizados, pois as propostas recebidas geralmente são diferentes umas das outras, ou seja, umas incluem os

impostos, outras só indicam a alíquota; umas incluem o frete ou embalagem, outras não, e assim por diante." (CONFORTO e SPRANGER, 2008 pág.41)

2.8.3 Estimativa de Custos x Orçamento

É importante que os profissionais envolvidos com engenharia de projetos tenham conhecimento das principais diferenças entre as Estimativas de Custos e Orçamento. Portanto, apresentamos no quadro 2.2 as principais diferenças a serem consideradas entre as duas modalidades de elaboração de estudos de custos:

Quadro 2.2 – Principais diferenças entre Estimativas e Orçamentos.

ESTIMATIVAS DE CUSTO	ORÇAMENTOS
OBJETIVO	
<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar estudos de viabilidade; - Auxiliar o investidor na tomada de decisão de um novo empreendimento; - Analisar alternativas de projetos; - Analisar alternativas de métodos construtivos; - Examinar oportunidades de novos negócios; - Programar a captação de recursos financeiros; - Preparar programas de expansão da empresa; - Analisar propostas comerciais; - Auditar contas de projetos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Participar de licitações; - Controlar custos de projetos; - Elaborar cronogramas de desembolso; - Elaborar programação financeira.
ESTÁGIO DO PROJETO	
<ul style="list-style-type: none"> - Fase preliminar; - Projeto básico em definição; - Dados gerais sobre o projeto; - Lay-out e plantas gerais do projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fase mais avançada; - Projeto básico definido; - Dados definidos do projeto; - Fluxogramas, unifilares e especificações.
MÉTODOS	
<ul style="list-style-type: none"> - Emprego de índices e correlações; - Consultas a arquivos de custos; - Consultas a literatura especializada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Consultas a fornecedores; - Consultas eventuais a arquivos de custos; - Consultas a publicações especializadas.

Fonte: adaptado de Conforto e Spranger, 2008.

2.8.4 *Composição de Custos Unitários*

A composição dos custos unitários é imprescindível para a elaboração do orçamento, pois através deles podemos quantificar nossos recursos para execução de cada atividade. O custo unitário basicamente irá determinar um valor para execução de uma unidade do serviço desejado, contemplando todos os recursos necessários (Materiais, pessoas, equipamentos e ferramentas), permitindo que o responsável pelo orçamento apenas multiplique este valor pela quantidade medida no projeto.

2.8.5 *Banco de Dados*

A elaboração do banco de dados é fundamental para que se obtenha parâmetros de consulta consistentes, baseados em experiências anteriores. Esta consulta pode ser realizada não só no momento do orçamento, mas também na elaboração de estimativas. A utilização do banco de dados facilita o serviço do responsável do orçamento e garante maior confiabilidade ao estudo de custo, e com maior agilidade.

2.8.6 *Softwares de orçamento*

Atualmente no mercado existem vários softwares destinados à elaboração de orçamentos e estimativas de custo, porém, cada tipo de empreendimento possui suas particularidades e cada empresa possui uma metodologia. Além disso, o custo para implantação destes *softwares* e aquisição das licenças é muito alto. Portanto, uma boa alternativa é desenvolvê-los dentro da própria empresa, a fim de se obter melhores resultados em seus estudos de custos, e conseqüentemente, em seus empreendimentos. Outro motivo para que estes softwares sejam desenvolvidos internamente é a confidencialidade das informações, evitando-se que estas sejam divulgadas e utilizadas pelas empresas concorrentes.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL

O programa computacional foi desenvolvido utilizando a linguagem C# e o programa Microsoft Visual Studio, que oferece ferramentas para a construção rápida de aplicativos e ao mesmo tempo um excelente designer de telas e debugger integrado. Basicamente, foram utilizadas conceitos básicos destas ferramentas que serão discriminados a seguir.

As telas foram desenvolvidas considerando as etapas de projeto apresentadas no fluxograma do processo de cálculo de pontes mistas de aço-concreto do capítulo 1, de forma que todas as informações necessárias fossem apresentadas em cada etapa de projeto, permitindo ao usuário escolher as opções e inserir os dados de entrada de uma determinada ponte. À medida que as informações mínimas necessárias são preenchidas em uma determinada tela, o usuário avança para a etapa de projeto seguinte. Após o término do preenchimento das etapas de projeto, o usuário é direcionado à parte do programa computacional que desenvolve o orçamento, que é dividida em quatro telas: engenharia e fabricação, transporte, pré-montagem e montagem. Por fim, temos uma tela com o resumo das quantidades e custos.

3.1 Programação orientada a objetos

A programação orientada a objetos vem sendo utilizada para o desenvolvimento de softwares principalmente porque facilita consideravelmente a manutenção. Seguem abaixo os principais conceitos sobre a orientação a objetos.

3.1.1.1 Análise orientada a objetos

O desenvolvimento de softwares para atendimento das necessidades de mercado vem crescendo consideravelmente, principalmente devido à evolução das empresas, à grande competitividade do mercado e a necessidade de se manter o padrão de qualidade em prazos mínimos, sendo assim exigida a transformação das regras de negócio em variáveis e a adoção

de métodos de desenvolvimento que atendam essa demanda. A orientação a objetos é um dos métodos mais utilizados e oferece recurso para desenvolver software com qualidade e com a utilização de seus conceitos pode-se interagir com o mundo real e transformar suas características para o mundo computacional.

“Análise orientada a objetos concentra-se no desenvolvimento de um modelo orientado a objetos do domínio da aplicação. Os objetos nesse modelo refletem as entidades e as operações associadas ao problema a ser resolvido”. (Sommerville, 2007)

3.1.1.2 Objeto

Um objeto é qualquer indivíduo, lugar, evento, coisa, tela, relatório ou conceito que seja aplicável ao sistema. (Ambler, 1998)

Todo objeto pertence a uma determinada classe e possui atributos próprios, mutáveis e podem receber diferentes valores de acordo com as características do objeto. A criação de um objeto consiste em sua instanciação.

“Cada instância tem seus próprios valores de atributos, mas compartilha o nome e os comportamentos dos atributos com outras instâncias da classe”. (Pfleeger, 2004)

3.2 Desenvolvimento de sistema em camadas

Desde o surgimento da arquitetura cliente/servidor, o desenvolvimento de software em camadas passou a ser adotado como base de arquitetura de sistemas, e com o surgimento da Internet, os cuidados com a arquitetura adotada passaram a ganhar importância na medida em que é responsável por fatores como escalabilidade e estabilidade de sistemas que atendem a centenas ou milhares de usuários simultaneamente. (www.microsoft.com)

3.3 Arquitetura Cliente/Servidor

É uma arquitetura onde o processamento da informação é dividido em módulos ou processos distintos. Um processo é responsável pela manutenção da informação (Servidor), enquanto que o outro é responsável pela obtenção dos dados (Cliente). Sistema inovador surgido nos anos 90 e muito utilizado no meio corporativo, baseado em três componentes principais: gerenciamento de banco de dados, que funcionam como servidores; redes, que funcionam como meio de transporte de dados e, finalmente, softwares para acesso aos dados: Clientes. (Battisti, 2001)

3.4 Sistema de gerenciamento de banco de dados SGBD

Um sistema de gerenciamento de banco de dados é um conjunto de programas computacionais que permite aos usuários criar, editar, atualizar, armazenar e recuperar dados em tabelas de banco de dados. Dados em um banco de dados podem ser acrescentados, apagados, alterados, classificados usando um SGBD. Se você fosse um empregado em uma grande organização, a informação sobre você provavelmente seria armazenadas em diferentes tabelas que estão ligados entre si. Por referência cruzada dessas tabelas, alguém poderia mudar o endereço de uma pessoa em uma tabela e ela seria automaticamente refletida para todas as outras tabelas. (www.ehgomes.com.br)

Segue abaixo as principais vantagens de um SGBD:

- **Maior disponibilidade para compartilhamento de dados:** a mesma informação pode ser disponibilizada a usuários diferentes, ou seja, compartilhamento de dados.
- **Redundância de dados minimizada:** os dados de um SGBD são mais concisos, reduzindo a redundância de dados, ou seja, reduzir significativamente o custo de armazenamento de informações em discos rígidos e outros dispositivos.
- **Precisão dos dados:** as atualizações e alterações dos dados só tem que ser feitas em um só lugar. As chances de se cometer um erro são maiores se você é obrigado a alterar os mesmos dados em vários lugares diferentes.

- **Programa e arquivo de consistência:** usando um SGBD os formatos de tabelas e programas do sistema são padronizados, assim as tabelas de dados se tornam mais fáceis de manter, porque as mesmas regras e diretrizes se aplicam a todos os tipos de dados, além disso, o nível de consistência entre as tabelas e programas também torna mais fácil de gerenciar dados quando vários programadores estão envolvidos.
- **User-friendly:** os dados são mais fáceis de acessar e manipular, reduzem a dependência de usuários individuais à especialistas em computação para atender às necessidades de seus dados.
- **Segurança:** através do uso de senhas, o acesso aos dados pode ser restringido.

3.5 Microsoft Visual Studio

Microsoft Visual Studio é um sistema de desenvolvimento integrado da Microsoft, que pode ser usado para desenvolver aplicativos. O modelo de linguagem para programação é orientada por objetos, ao invés vez de ações criadas pela lógica de um banco de dados. Historicamente, este é um programa visto como um processo lógico que recebe os dados de entrada processa e produz dados de saída. (Halvorson, 2012)

3.6 Linguagem C#

A linguagem C# fornece os recursos mais importantes para os programadores, como a programação orientada a objetos, cordas, gráficos, componentes de interface gráfica de usuário, tratamento de exceções, multimídia (áudio, imagens, animação e vídeo), processamento de arquivos, estruturas de dados pré-definidos, processamento de banco de dados, internet e redes entre cliente e servidor. A plataforma .NET oferece recursos poderosos para o desenvolvimento e implementação de softwares, incluindo a independência de uma linguagem ou plataforma específica. Além disso,.NET estende a portabilidade do programa, permitindo que os aplicativos sejam distribuídos para dispositivos eletrônicos particulares, tais como telefones celulares e computadores particulares. Os recursos que a Microsoft

incorporou na plataforma .NET cria um novo paradigma de desenvolvimento de software que irá aumentar a produtividade do programador e diminuir o tempo de desenvolvimento. (DEITEL, 2008)

4. APLICAÇÃO PRÁTICA

Este estudo de caso visa analisar as longarinas de uma ponte rodoviária de um único vão de 30 metros de comprimento, com 4 vigas soldadas de alma cheia, dimensionada de acordo com as recomendações do DNER:1996, utilizando o programa computacional desenvolvido ao longo deste trabalho, considerando os conceitos apresentados acima, sendo:

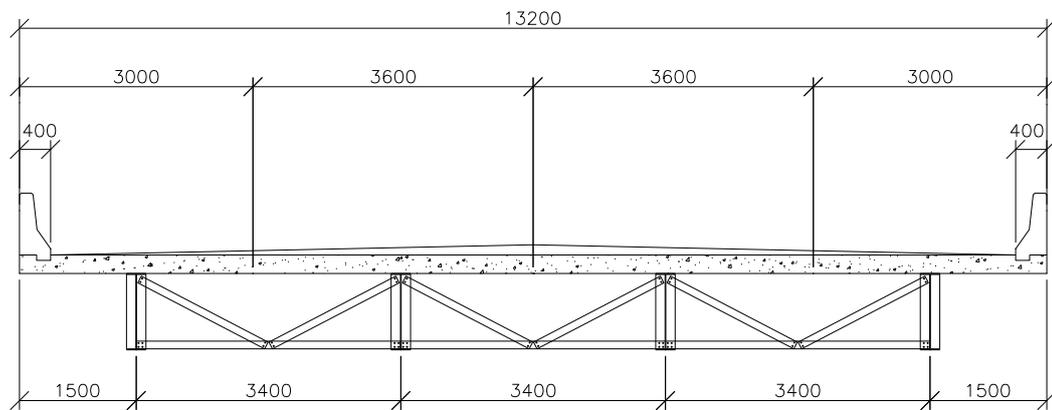


Figura 4.1 – Seções transversais da rodovia.

Fonte: Pravia, 2016.

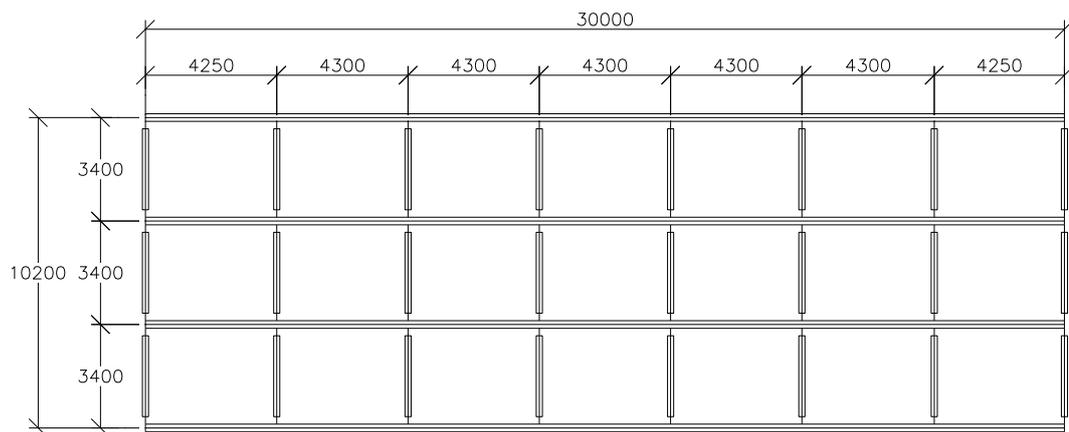


Figura 4.2 – Tabuleiro da ponte.

Fonte: Pravia, 2016.

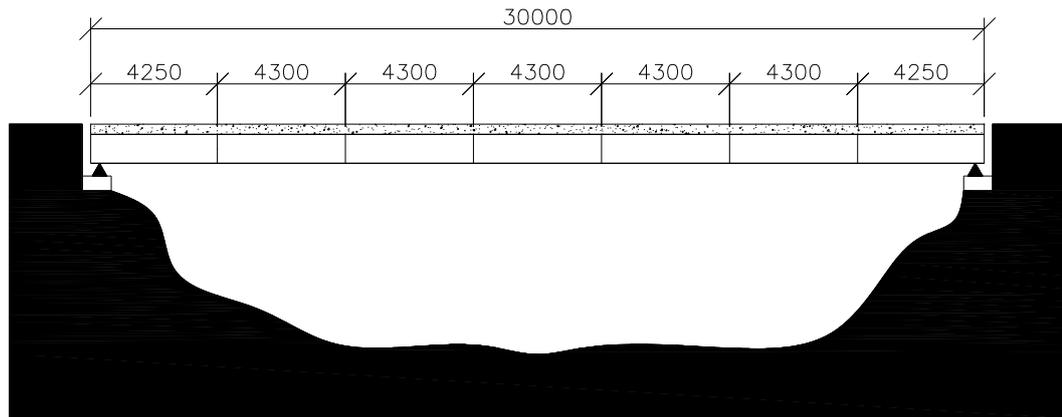


Figura 4.3 – Vão da ponte.
Fonte: Pravia, 2016.

4.1 Tela 1: Acesso ao sistema

Para acesso ao sistema, o usuário deverá possuir um login, com o nome e senha devidamente cadastrado no banco de dados.

Captura de tela da interface de login do sistema. O título da janela é "frmSelLogin". No topo, há o logo da UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto) e o logo do PROPEC (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil). Abaixo, há um campo de login com o ícone de uma chave e dois campos de entrada: "Usuário:" e "Senha:". No canto inferior direito, há dois botões: "Ok" e "Sair".

Figura 4.4 – Tela 1: Acesso ao sistema.
Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Tela 2: Seleção do tipo de estrutura

Nesta etapa o usuário poderá optar pelo tipo de estrutura: Edifícios de Andares Múltiplos, Pontes, Galpões, Mezaninos e Escadas. Neste estudo de caso deverá ser escolhida a opção Pontes.

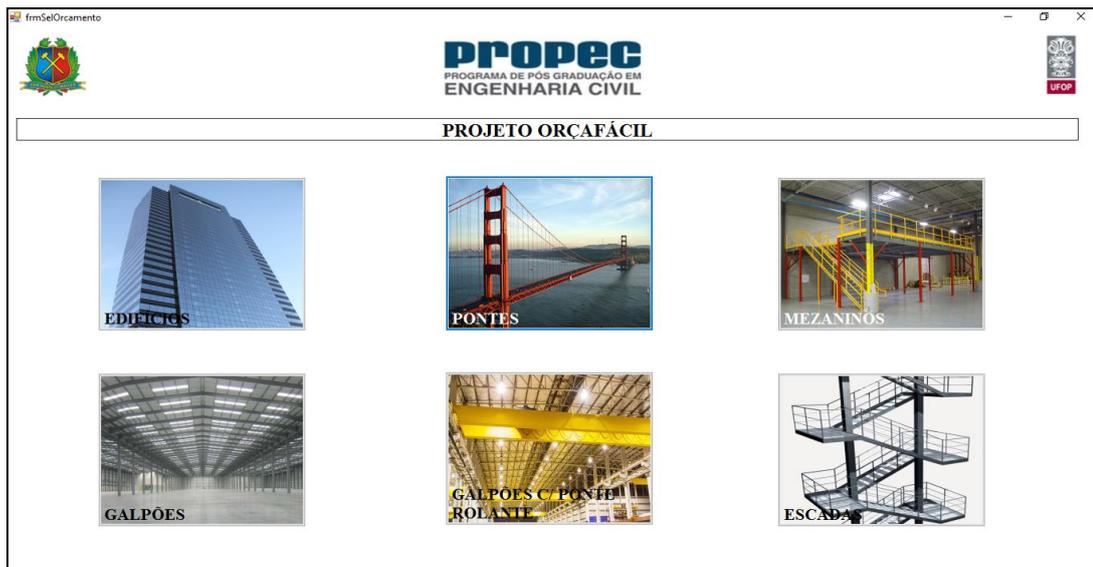


Figura 4.5 – Tela 2: Seleção do tipo de estrutura.

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Tela 3: Informações gerais do projeto

Nesta tela o usuário poderá cadastrar um novo projeto, permitindo que o sistema armazene todas as informações para posterior recuperação. Após o cadastro do projeto, as informações básicas (dimensões, número de vigas, tipo de aço, trem-tipo, etc.) deverão ser preenchidas na aba EP-01, e em seguida, o usuário deverá clicar no botão Dimensionar Vãos, para que seja feito o pré-dimensionamento das longarinas da ponte, de acordo com as recomendações apresentadas neste trabalho.

Cadastrar Orçamento de Ponte

PROPEEC
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PROJETO ORÇAFÁCIL

PONTES

Selecionar Projeto de Ponte
Dissertação

Cliente: _____ Local da Obra: _____ Revisão: _____
Projeto: _____ Data: _____

Fluxograma

EP-01 EP-02 EP-03 (Carregamentos) EP-03 (Dimensionamento 1) EP-03 (Dimensionamento 2) EP-04 EP-05 EP-06 EP-07 EP-08 EP-09 EP-10

EP-01 - INFORMAÇÕES GERAIS (DADOS DA PONTE)

Informações Básicas

(L) Comprimento Ponte: 30,00 metros
(La) Largura da Ponte: 13,20 metros
(Qva) Quantidade Vãos: 1
(Qvi) Quantidade Vigas: 4
(S) Distância entre Vigas: 3,50 metros
(Bal) Balanços: 1,50 metros

App: ASTM A-36
 Resistente a Corrosão

Carga Móvel

TB - 450
TB-450
Peso Total = 450 kN
Carga por Roda = 75 kN
P = 5 kN/m² (Carga de Multilôo)

Seção Longitudinal

Ltotal
L

Seção Transversal

La

Dimensionar Vãos

Figura 4.6 – Tela 3: Informações gerais do projeto.
Fonte: elaborado pelo autor.

Feito isso, o sistema exibirá os valores obtidos e permitirá que o usuário avance para a próxima etapa, armazenando as informações do projeto no banco de dados. Uma mensagem será exibida com a confirmação do armazenamento dos dados. Além das dimensões das vigas, esta etapa apresentará para o usuário o peso das longarinas metálicas da ponte e o volume de concreto estimado do tabuleiro.

Cadastrar Orçamento de Ponte

PROPEEC
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PROJETO ORÇAFÁCIL

PONTES

Selecionar Projeto de Ponte
Dissertação

Cliente: _____ Local da Obra: _____ Revisão: _____
Projeto: _____ Data: _____

Fluxograma

EP-01 EP-02 EP-03 (Carregamentos) EP-03 (Dimensionamento 1) EP-03 (Dimensionamento 2) EP-04 EP-05 EP-06 EP-07 EP-08 EP-09 EP-10

Dimensionar Vãos

Peso Total: 16406,00 kg
Volume de Concreto: 95,04 m³

Vão 1

Comp V1: 30,00
d: 990
bf: 165
tw: 12,7
h: 15,9
h: 958,2
D: 1200

Legenda:

d - altura do perfil (mm)
bf - largura da mesa (mm)
tw - espessura da alma (mm)
f - espessura da mesa (mm)
h - altura da alma (mm)
D - altura total (perfil de aço + laje) (mm)
tc - espessura da laje (mm)
Cl - Comprimento das Vigas (m)
Pm - peso por metro (kg/m)
Pv - Peso de uma viga (kg)
Pt - Peso total das vigas do vão (kg)

Seção Longitudinal

Bal S S S Bal

Seção Transversal

b
tc
h
tw

Figura 4.7 – Tela 3: Resultados do pré-dimensionamento do vão.
Fonte: elaborado pelo autor.

Para este estudo de caso, considerando as recomendações (valores mínimos) da norma AASHTO apresentados ao longo de trabalho, os valores obtidos no pré-dimensionamento são os seguintes:

- **d = altura total do perfil de aço:** $d = 0,033 * L = 0,033 * 30 = 0,99 \text{ m} = \mathbf{990 \text{ mm}}$
- **D = altura total do perfil de aço + laje:** $D = 0,04 * L = 0,04 * 30 = 1,2 \text{ m} = \mathbf{1.200 \text{ mm}}$
- **tc = espessura da laje:** $tc = D - d = 1,2 - 0,99 = 0,21 \text{ m} = 21 \text{ cm} = \mathbf{24 \text{ cm}}$ (Como o valor mínimo recomendado por norma é 24 cm, o sistema automaticamente altera o valor para 24 cm)
- **tw = espessura da alma do perfil de aço:** $tw = d/100 = 990/100 = 9,9 \text{ mm} = \mathbf{12,7 \text{ mm}}$ (Como não existem chapas disponíveis no mercado com espessura igual ao valor obtido, o sistema automaticamente altera o valor para a espessura disponível imediatamente superior, neste caso de $\frac{1}{2}'' = 12,7 \text{ mm}$)
- **tf = espessura das mesas do perfil de aço:** $tf \geq 1,1 * tw = 1,1 * 12,7 = 13,97 \text{ mm} = \mathbf{15,88 \text{ mm}}$ (Como não existem chapas disponíveis no mercado com espessura igual ao valor obtido, o sistema automaticamente altera o valor para a espessura disponível imediatamente superior, neste caso de $\frac{5}{8}'' = 15,88 \text{ mm}$)
- **h = altura da alma do perfil de aço:** $h = d - (2 * tf) = 990 - (2 * 15,88) = \mathbf{958,24 \text{ mm}}$
- **bf = largura das mesas do perfil de aço:** $bf \geq d/6 = 990/6 = \mathbf{165 \text{ mm}}$
- Outra recomendação importante é a verificação da esbeltez da mesa: $bf / (2 * tf) \leq 12 = 165 / (2 * 15,88) = \mathbf{5,2 \leq 12 \Rightarrow OK}$
- **S = distância entre vigas:** $1100 \leq S \leq 4900; \mathbf{S = 3.400 \text{ mm} \Rightarrow OK}$
- **Se = distância entre viga externa e pista:** $(0,35 * S) \leq Se \leq (0,5 * S) = (0,35 * 3.400) \leq Se \leq (0,5 * 3.400) = 1.190 \leq Se \leq 1.700; \mathbf{Se = 1.500 \text{ mm} \Rightarrow OK}$
- **b = largura efetiva das vigas internas:** $b = S = \mathbf{3.400 \text{ mm}}$

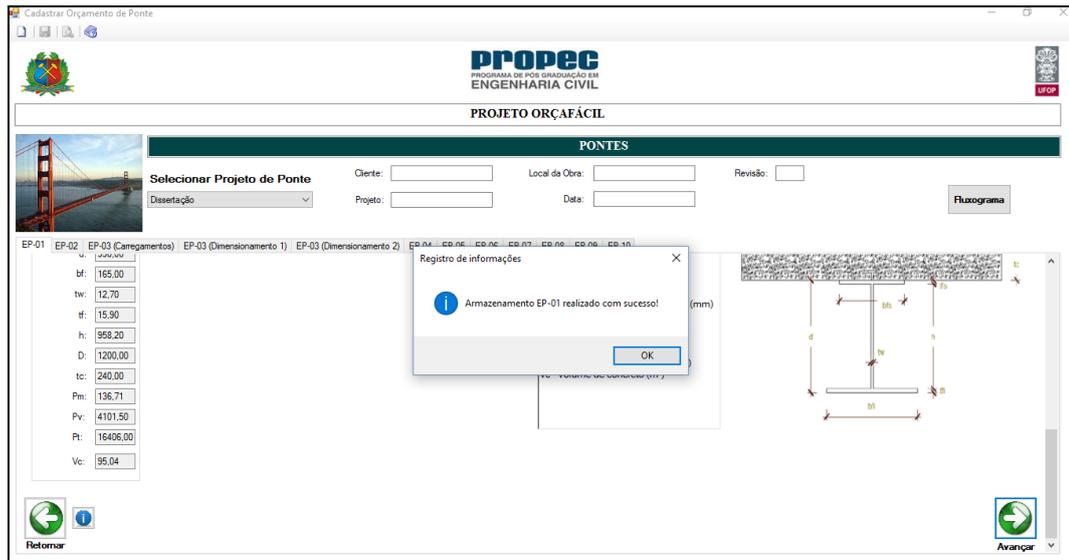


Figura 4.8 – Tela 3: Mensagem com a confirmação do armazenamento dos dados.
Fonte: elaborado pelo autor.

4.4 Tela 4: Cálculo da laje de concreto do tabuleiro

Na tela 4 o usuário deverá preencher as informações sobre a laje de concreto (EP-02) e obter os resultados do pré-dimensionamento. Da mesma forma da tela 3, haverá um botão de Avançar, que armazenará as informações obtidas no banco de dados. O cálculo do tabuleiro deverá ser implementado posteriormente no sistema.

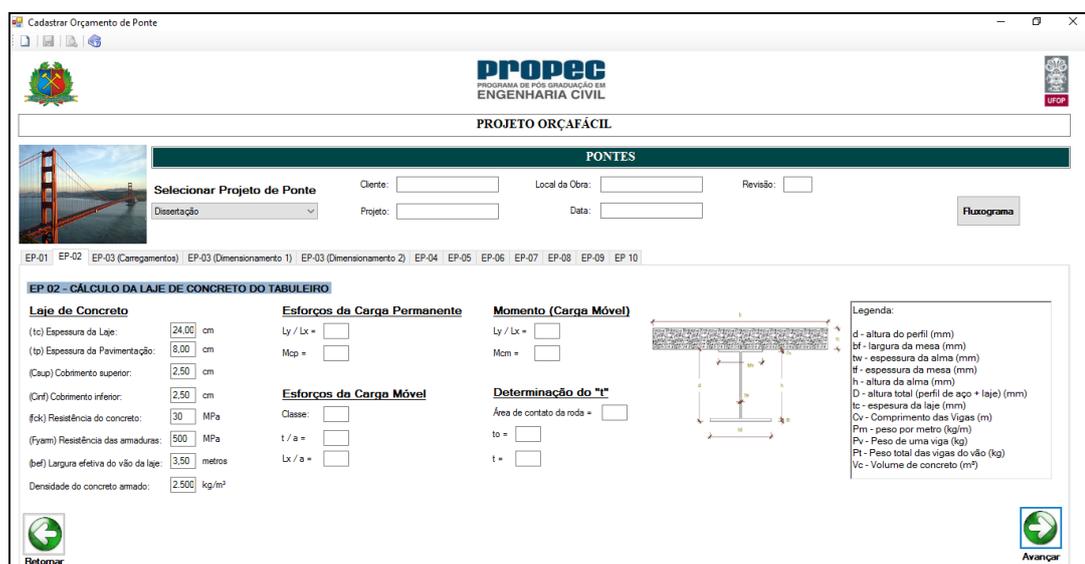


Figura 4.9 – Tela 4: Cálculo da laje de concreto do tabuleiro
Fonte: elaborado pelo autor.

4.5 Telas 5, 6 e 7: Cálculo das vigas principais em aço

Após o pré-dimensionamento das longarinas metálicas e da laje de concreto da ponte, o sistema inicia o dimensionamento das vigas principais em aço (EP-03). Esta etapa é dividida em três telas, sendo que na primeira (tela 5) são verificados os carregamentos nas longarinas, antes e depois da cura do concreto, os fatores de distribuição das cargas para momento fletor e cisalhamento e o coeficiente de impacto. Além disso, nesta mesma tela podemos acessar através de um botão o *software* Ftool, para análise das envoltórias dos esforços solicitantes atuantes na ponte.

Para este estudo de caso, os valores obtidos para as ações permanentes na estrutura são os seguintes:

- **Carregamento Antes da Cura (C1):** Carga Permanente (Peso Próprio das Vigas + Fôrmas)
+ Carga Acidental (Laje Concreto + Operação)

- F_{GK} (Peso próprio da viga de aço) = $((tw*h)+(2*tf*bf))*78,5 = ((0,0127*0,95824)+(2*0,01588*0,165))*78,5 = 1,3671 \text{ kN/m}$
- F_{GK} (Fôrmas) = **0,25 kN/m (assumido)**
- F_{QK} (Operação – ação para construção) = **1,5 kN/m (assumido)**
- F_{QK} (Laje de Concreto) = $25 \text{ kN/m}^3 \times 0,24 \text{ m} = 6 \text{ kN/m}^2 \times 13,2 \text{ m} = 79,2 \text{ kN/m}/4 = 19,8 \text{ kN/m}$

$$- \text{C1} = 1,35 * F_{GK} + 1,5 * F_{QK} = 1,35 * (1,3671 + 0,25) + 1,5 * (1,5 + 19,8) = 34,133 \text{ kN/m}$$

- **Carregamento após a cura do concreto (C2):** Carga Permanente (Peso Próprio das Vigas + Laje de Concreto + Pavimentação + Recapeamento + Guarda-Rodas) + Carga Móvel

- F_{GK} (Peso próprio da viga de aço) = **1,3671 kN/m**
- F_{GK} (Laje de Concreto) = **19,8 kN/m**
- F_{GK} (Pavimentação) = $24 \text{ kN/m}^3 \times 0,08 \text{ m} = 1,92 \text{ kN/m}^2 \times 13,2 \text{ m} = 25,34 \text{ kN/m}/4 = 6,34 \text{ kN/m}$
- F_{GK} (Recapeamento) = $2 \text{ kN/m}^2 \times 13,2 \text{ m} = 26,4 \text{ kN/m}/4 = 6,6 \text{ kN/m}$
- F_{GK} (Guarda-Rodas) = $0,216 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^2 = 5,4 \text{ kN/m}$

$$\text{Ação Permanente} = 1,35 * F_{GK} = 1,35 * (1,3671 + 19,8 + 6,34 + 6,6 + 5,4) = 53,33 \text{ kN/m}$$

- Momento Ação Permanente = $(q * L^2) / 8 = 53,33 * 30^2 / 8 = 5.999,6 \text{ kN.m}$

PROPEC
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL

PROJETO ORÇAFÁCIL

PONTES

Selecionar Projeto de Ponte

Cliente: Local da Obra: Revisão:

Dissertação: Projeto: Data:

Fluxograma

EP-01 EP-02 EP-03 (Carregamentos) EP-03 (Dimensionamento 1) EP-03 (Dimensionamento 2) EP-04 EP-05 EP-06 EP-07 EP-08 EP-09 EP-10

EP-03 - CÁLCULO DAS VIGAS PRINCIPAIS EM AÇO

Carregamento Antes da Cura do Concreto
Carga Permanente (Peso Próprio das Vigas + Fôrmas) + Carga Acidental (Laje de Concreto + Operação)

Vão 1

FGK (viga de aço) = kN/m

FGK (fôrmas) = kN/m

FGK (operação) = kN/m

FGK (laje de concreto) = kN/m

C1 = kN/m

Carregamento Após a Cura do Concreto
Carga Permanente (Peso Próprio das Vigas + Laje de Concreto + Pavimentação + Recapeamento + Guarda-rodas) + Carga Móvel

Vão 1

FGK (viga de aço) = kN/m

FGK (laje de concreto) = kN/m

FGK (pavimentação) = kN/m

Figura 4.10 – Tela 5: Carregamentos antes e após a cura do concreto.

Fonte: elaborado pelo autor.

Para a ação móvel na seção mista de aço e concreto devemos considerar o valor de $1,5 \cdot F_{MK}$, onde o valor F_{MK} deverá ser obtido considerando as ações do trem-tipo determinados pela NBR 7188 (TB-450 para este estudo de caso), ponderados pelos fatores de distribuição recomendados pela norma AASHTO e pelo coeficiente de impacto estabelecido pela NBR 7187, sendo:

- **Fatores de distribuição recomendados pela AASHTO:**

Variáveis:		
Área Perfil (mm²):	70400	
I Seção (mm⁴):	4041216	
<u>n</u>	8	
<u>eg</u> (mm)	1275	
<u>kg</u> (mm⁴)	1,23	
<u>de</u> (mm)	1100	

Figura 4.11 – Variáveis para o cálculo dos fatores de distribuição.

Fonte: Pravia, 2016.

→ **Momento Fletor (Vigas internas)**

- 01 faixa carregada = $0,06+(S/4300)^{0,4}*(S/L)^{0,3}*(Kg/Lt_s^3)^{0,1} = \mathbf{0,472}$
- 02 faixas carregadas = $0,075+(S/2900)^{0,6}*(S/L)^{0,2}*(Kg/Lt_s^3)^{0,1} = \mathbf{0,694}$

→ **Momento Fletor (Vigas externas)**

- 01 faixa carregada

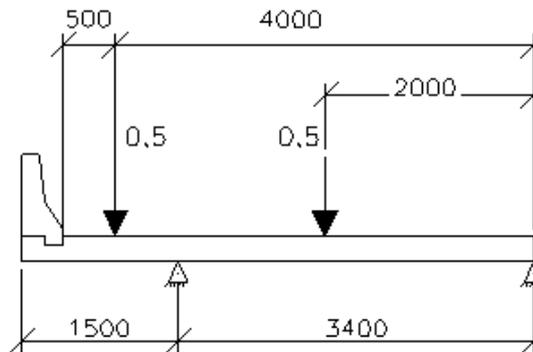


Figura 4.12 – Regra da alavanca.

Fonte: Pravia, 2016.

$$CD = (0,5*2.000+0,5*4.000)/3.400 = 0,882$$

$$\text{Regra da alavanca} = 0,882*1,2 = \mathbf{1,058}$$

- 02 faixas carregadas = $g = e * g_{\text{vigas internas}} = 1,162*0,694 = \mathbf{0,806}$
- $e = 0,77+(d_e/2.800) = 0,77+(1.100/2.800) = 1,162$

→ **Cisalhamento (Vigas internas)**

- 01 faixa carregada = $0,36+(S/7.600) = \mathbf{0,807}$
- 02 faixas carregadas = $0,2+(S/3.600) - (S/10.700)^2 = \mathbf{1,043}$

→ **Cisalhamento (Vigas externas)**

- 01 faixa carregada = Regra da alavanca = $\mathbf{1,058}$
- 02 faixas carregadas = $g = e * g_{\text{vigas internas}} = 0,966*1,043 = \mathbf{1,007}$
- $e = 0,6+(d_e/3.000) = 0,966$

→ **Valores adotados para os fatores de distribuição:**

- Momento fletor = $\mathbf{1,058}$
- Cisalhamento = $\mathbf{1,058}$

Fatores de Distribuição AASHTO

Vão 1

Momento Fletor

	Vigas Internas	Vigas Externas	Valor Adotado
01 Faixa Carregada =	0,472	1,058	1,058
02 Faixas Carregadas =	0,694	0,806	

Cisalhamento

	Vigas Internas	Vigas Externas	Valor Adotado
01 Faixa Carregada =	0,807	1,058	1,058
02 Faixas Carregadas =	1,043	1,007	

Coeficiente de Impacto (NBR 7187)

Figura 4.13 – Tela 5: Fatores de distribuição da AASHTO.

Fonte: elaborado pelo autor.

- **Coeficiente de impacto (NBR 7187)** = $CIV \cdot CNF \cdot CIA = 1,27 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,27$
 - Coeficiente de Impacto Vertical (CIV) = $1 + 1,06 \cdot (20 / (Liv + 50)) = 1,27$
 - Coeficiente de Número de Faixas (CNF) = $1 - 0,05 \cdot (n - 2) = 0,9$
 - Coeficiente de Impacto Adicional (CIA) = 1,25 para obras com estruturas em concreto ou mistas

Coeficiente de Impacto (NBR 7187)

Vão 1

CIV - Coeficiente de Impacto Vertical = 1,27

CNF - Coeficiente de Número de Faixas = 1,0

CIA - Coeficiente de Impacto Adicional = 1,0

Coeficiente de Impacto = 1,27

Retornar Avançar

Figura 4.14 – Tela 5: Coeficiente de impacto da NBR 7187.

Fonte: elaborado pelo autor.

Segue abaixo a imagem que apresenta a vista superior do tabuleiro com o posicionamento da carga móvel:

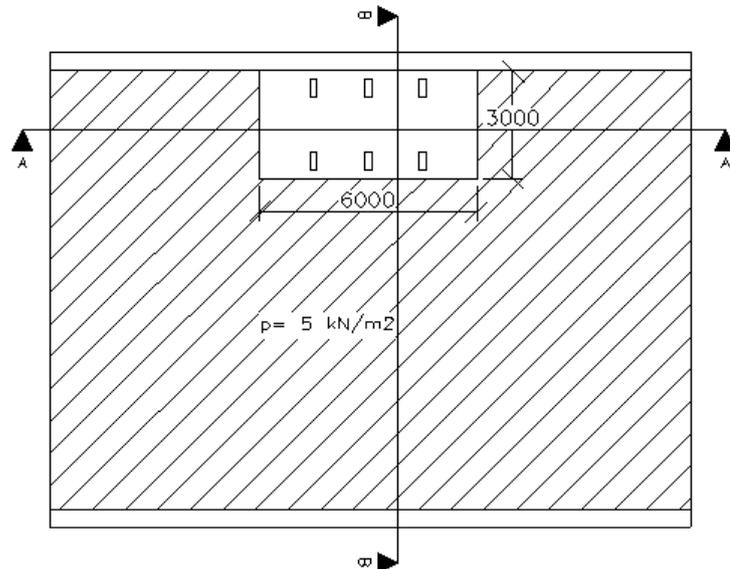


Figura 4.15 – Vista superior do tabuleiro da ponte.

Fonte: Pravia, 2016.

CORTE B-B

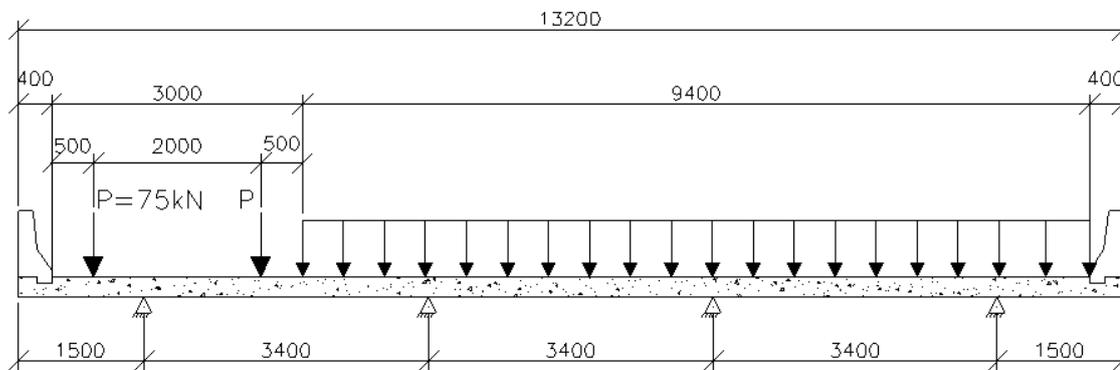


Figura 4.16 – Carregamento na seção transversal do tabuleiro da ponte.

Fonte: Pravia, 2016.

Para composição do carregamento da viga na seção longitudinal deveremos considerar as cargas estabelecidas em norma e posteriormente multiplica-las pelo coeficiente de impacto e pelo fator de distribuição, sendo:

- **Carregamento distribuído (Multidão)**

Carregamento distribuído (multidão) = $5 \text{ kN/m}^2 * 3,4 \text{ m} = 17 \text{ kN/m}$

Aplicando o fator de distribuição e Coeficiente de Impacto = $17 * 1,058 * 1,27 = 22,86 \text{ kN/m}$

- **Carga P (Trem-tipo TB-450)**

Carga P (trem-tipo NBR 7188) * fator de distribuição = $150 \text{ kN} * 1,058 = 158,7 \text{ kN}$

Carga P equivalente da carga distribuída (Multidão) na área de projeção do veículo = $17 \text{ kN/m} * 6,0 \text{ m} = 102 \text{ kN}$

Carga P equivalente para cada uma das 3 rodas = $102 \text{ kN} / 3 = 34 \text{ kN}$

Diminuindo a carga P equivalente da Carga P (trem-tipo NBR 7188) * fator de distribuição = $158,7 - 34 = 124,7 \text{ kN}$

Aplicando o Coeficiente de Impacto = $124,7 * 1,27 = 158,37 \text{ kN}$

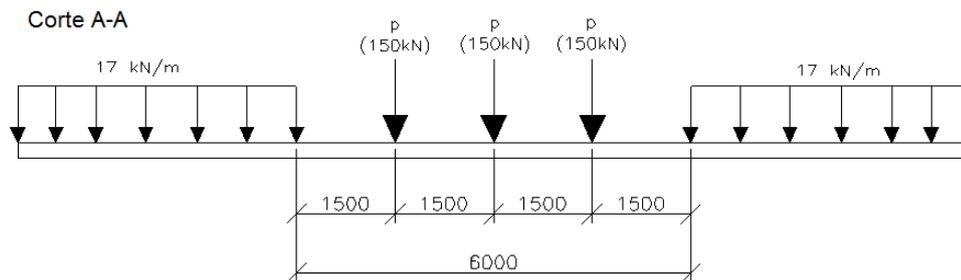


Figura 4.17 – Carregamento na viga longitudinal da ponte sem considerar o coeficiente de impacto e o fator de distribuição (Momento fletor).

Fonte: Pravia, 2016.

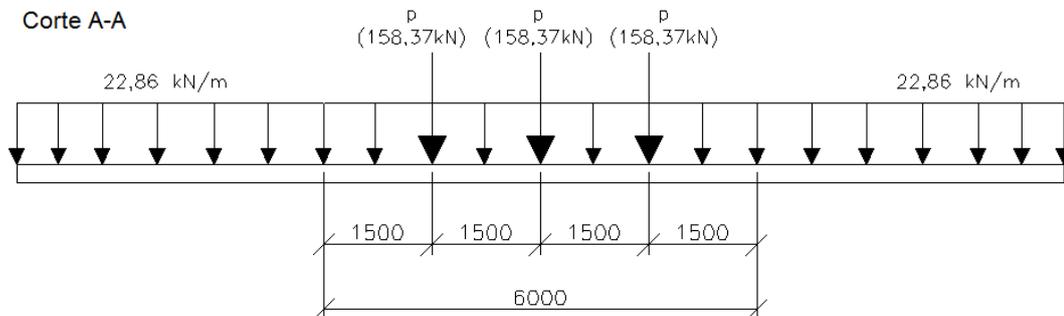


Figura 4.18 – Carregamento na viga longitudinal da ponte considerando o coeficiente de impacto e o fator de distribuição (Momento fletor).

Fonte: Pravia, 2016.

Feito isso, podemos aplicar o carregamento na viga longitudinal da ponte e analisar as envoltórias de momento fletor e de cisalhamento. Neste estudo de caso utilizaremos o link disponível no sistema para acesso ao *software* FTool, que nos permitirá obter os resultados graficamente de maneira rápida e precisa.

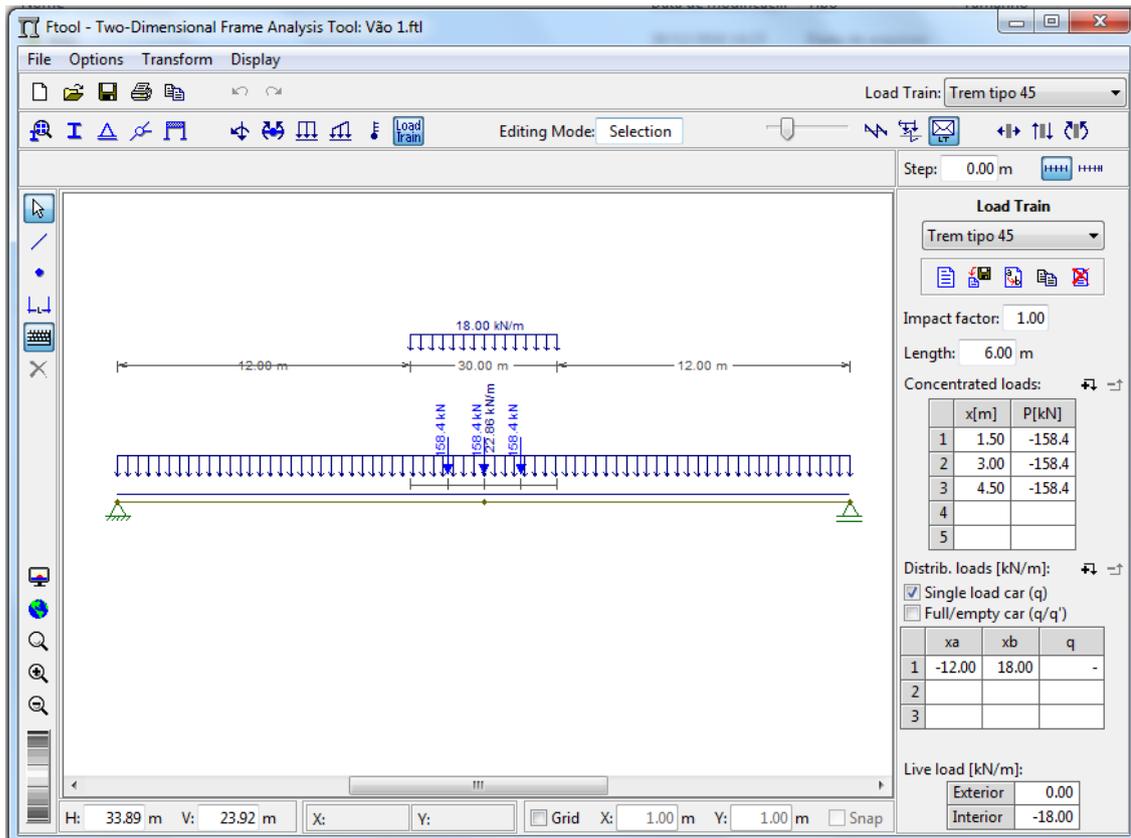


Figura 4.19 – Carregamento aplicado na viga longitudinal da ponte utilizando o Ftool.
Fonte: elaborado pelo autor no programa computacional FTOOL.

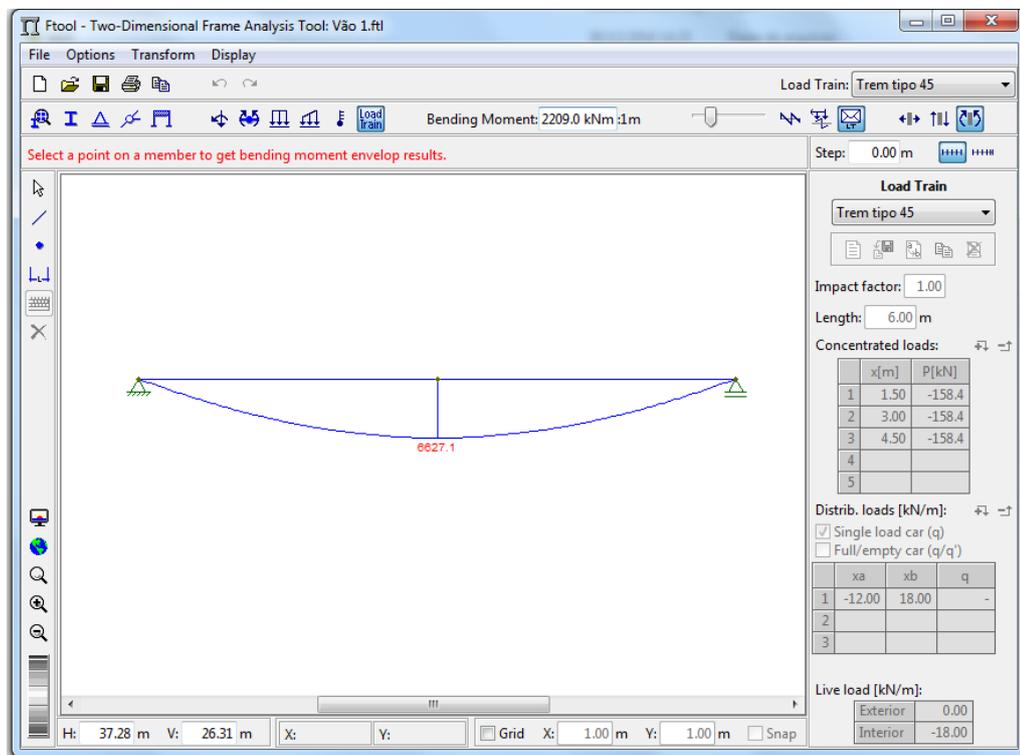


Figura 4.20 – Envoltórias dos esforços de momento fletor na viga longitudinal da ponte.
Fonte: elaborado pelo autor no programa computacional FTOOL.

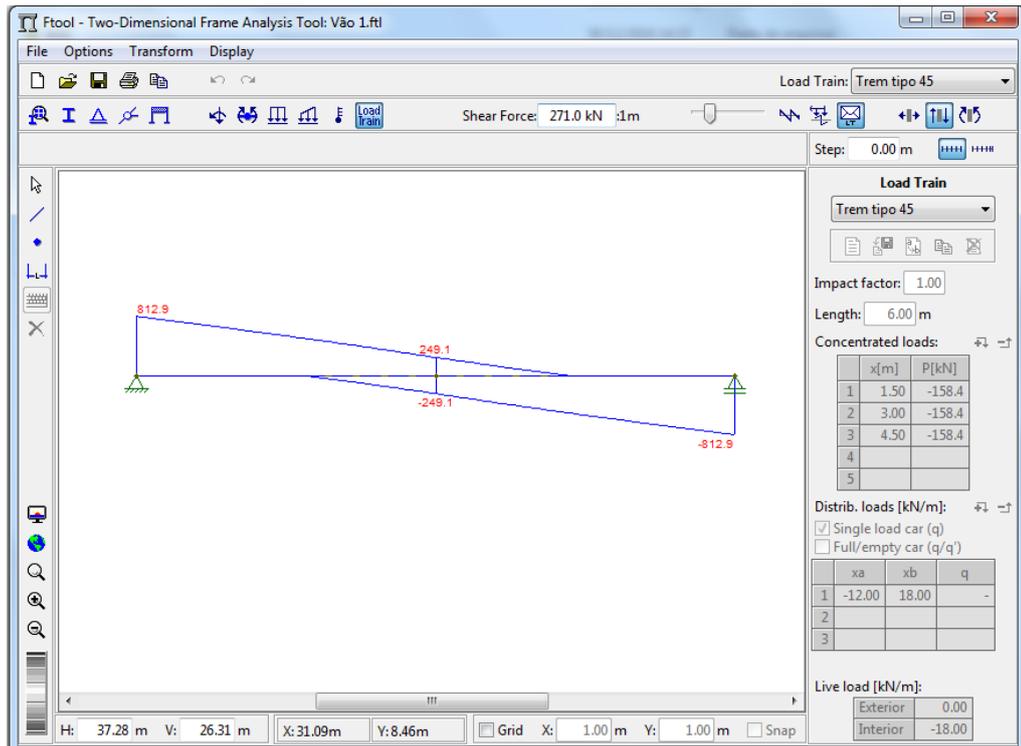


Figura 4.21 – Envolvórias dos esforços de cisalhamento na ponte.

Fonte: elaborado pelo autor no programa computacional FTOOL.

Com os resultados obtidos temos o seguinte:

Ação Móvel = $1,5 \cdot F_{MK} = 1,5 \cdot 6.627,1 = 9.940,65 \text{ kN.m}$ (F_{MK} obtido através do software FTool)

- **C2** = $1,35 \cdot F_{GK} + 1,5 \cdot F_{MK} = 5.999,6 + 9.940,65 = 15.940,25 \text{ kN.m}$ (Ação total na viga mista aço-concreto)

Na segunda tela desta etapa (tela 6), faremos as verificações da viga longitudinal da ponte para os carregamentos antes da cura do concreto, sendo:

- Resistência à flexão (Eixos Y e Z);
 - Flambagem Lateral com Torção (FLT);
 - Flambagem Local da Mesa (FLM);
 - Flambagem Local da Alma (FLA).
- Resistência ao esforço cortante (Eixos Y e Z);
- Verificação das flechas.

Figura 4.22 – Verificações da viga longitudinal da ponte para os carregamentos antes da cura do concreto.

Fonte: elaborado pelo autor.

Na terceira tela desta etapa (tela 7), faremos as verificações da viga longitudinal da ponte para os carregamentos após a cura do concreto, sendo:

- Verificação da posição da linha neutra elástica;
- Determinação do momento resistente de cálculo;
- Verificação do esforço cortante e dos conectores de cisalhamento;
- Determinação da inércia da viga mista;
- Verificação das flechas.

Figura 4.23 – Verificações da viga longitudinal da ponte para os carregamentos após a cura do concreto.

Fonte: elaborado pelo autor.

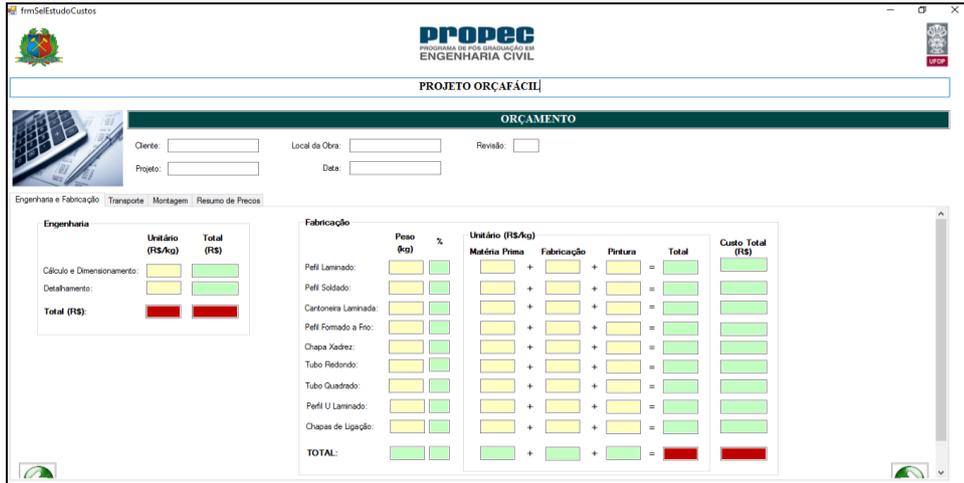


Figura 4.24 – Orçamento: engenharia e fabricação.
Fonte: elaborado pelo autor.

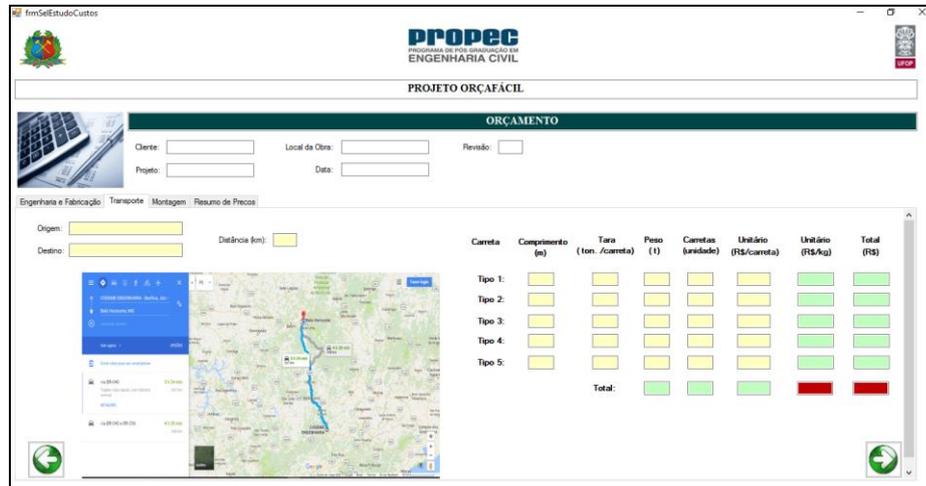


Figura 4.25 – Orçamento: transporte.
Fonte: elaborado pelo autor.

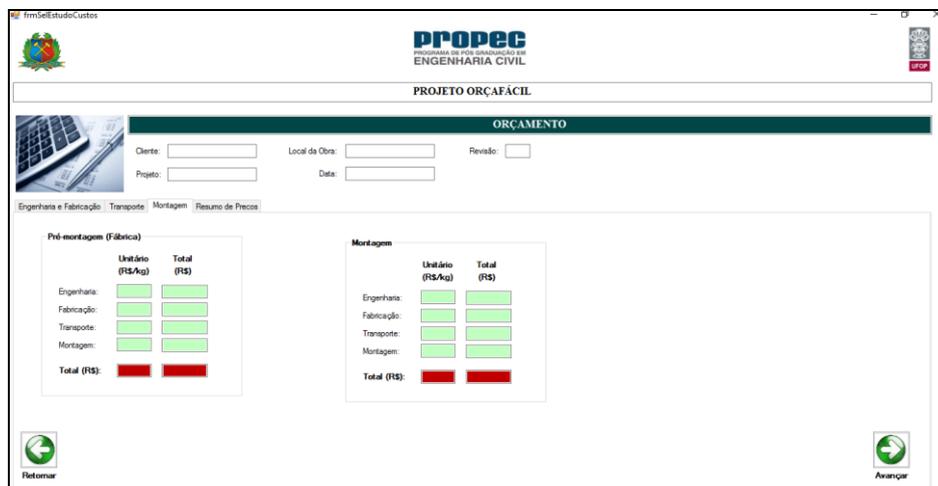


Figura 4.26 – Orçamento: pré-montagem e montagem.
Fonte: elaborado pelo autor.

frmSelEstudoCustos

PROPEC
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL

PROJETO ORÇAFÁCIL

ORÇAMENTO

Cliente: Local da Obra: Revisão:

Projeto: Data:

Engenharia e Fabricação | Transporte | Montagem | **Resumo de Preços**

Resumo de Custo		Variáveis de Venda		Preço de Venda	
	Unitário (R\$/kg)	Total (R\$)		Total (R\$)	
Engenharia:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Impostos:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fabricação:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Comissão:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Transporte:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Rentabilidade:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Montagem:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Negociação:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Total (R\$):	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Total:	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Retornar Emitir Proposta

Figura 4.27 – Orçamento: resumo de custos.
Fonte: elaborado pelo autor.

5. CONCLUSÃO

Explicados os fundamentos teóricos necessários para a compreensão da necessidade do desenvolvimento deste sistema, podemos concluir que a utilização de *softwares* para otimização dos estudos de viabilidade dos empreendimentos é de extrema importância e deve ser conciliada a uma metodologia que promova maior confiabilidade, eficiência, minimização de riscos, aumento da confiança e assertividade na implementação do projeto.

Pretende-se prosseguir com o desenvolvimento deste sistema, otimizando as implementações já realizadas e desenvolvendo as demais etapas de projeto, sendo:

- **EP 4 - Cálculo das emendas parafusadas**
- **EP 5 - Cálculo dos elementos secundários**
- **EP 6 - Cálculo dos aparelhos de apoio**
- **EP 7 - Cálculo dos apoios de extremidade**
- **EP 8 - Cálculo dos apoios centrais**
- **EP 9 - Cálculo dos elementos complementares**
- **EP 10 - Especificações especiais e orçamento**

Além disso, pretende-se ampliar os estudos para outros tipos de estruturas de aço (galpões, mezaninos, etc.) a fim de obtermos uma ferramenta simples, rápida e precisa, que facilite a análise preliminar da viabilidade de empreendimentos.

Por fim, acredita-se que esta ferramenta poderá contribuir para o aumento da utilização das estruturas de aço em empreendimentos no Brasil.

REFERÊNCIAS

AASHTO LRFD Bridge: design specifications. Washington, DC, 2014.

BARBOSA, Poliana; PINHEIRO; Natália; JUNIOR; Wilson. **Metodologia FEL: Sua importância na Avaliação de Riscos e Redução de Impactos em Escopo, Tempo e Custo de Projetos Complexos de Engenharia**. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador/BA, 2013.

BARSHOP, Paul. **Best Practice Pays Off**, 2004.

BATTISTI, Júlio. SQL Server 2000: Administração e Desenvolvimento – Curso Completo. 2ª edição. Rio de Janeiro: Axcell Books, 2001.

“Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas”: ABNT NBR-7188 (2013), Rio de Janeiro – RJ

CONFORTO, Sérgio; SPRANGER, Mônica. **Estimativas de Custos de Investimentos para Empreendimentos Industriais**, 2ª ed., Rio de Janeiro: Taba Cultural, 2008.

DEITEL, H. **Visual C# 2008 How to Program**. Prentice Hall Press, 2008. ISBN 013605322X.

GEORGE, R., BELL, L. E BACK, W.E. **Critical Activities in the Front-End Planning Process**, 2008.

HALVORSON, M. **Start Here! Learn Microsoft Visual Basic 2012**. Pearson Education, 2012. ISBN 0735673454.

IPA, Independent Project Analysis. **Front-End Loading**. <http://www.ipaglobal.com>

JAEGER, L. G.; BAKHT, B. **Bridge analysis by microcomputer**. 1989. ISBN 007032333X.

KLINSKY, G. E. R. G. **Uma contribuição ao estudo das pontes em vigas mistas**. 1999. Universidade de São Paulo

Lei nº 11.442 de 7 de janeiro de 2007.

MARCHETTI, O. **Pontes de Concreto Armado**. São Paulo, 2008.

PINHO, F. O.; BELLEI, I. H. **Pontes e viadutos em vigas mistas**. Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2007. ISBN 8589819124.

PRADO, Darci. **Gerenciamento de Programas e Projetos nas Organizações**, 2011.

PRAVIA, Zacarias Martin Chamberlain. **Exemplo de Procedimento de Cálculo para Ponte Mista**. Passo Fundo: UPF, 2016.

PRAVIA, Zacarias Martin Chamberlain. **Pontes rodoviárias mistas Aço-concreto de acordo com normas brasileiras**. Curso ministrado no congresso CONSTRUMETAL, 2014. Projeto de Norma da ABNT CE-02: 125.05 “Projeto de pontes e viadutos rodoviários de aço e mistos de aço e concreto”.

RABECHINI JR, Roque. **A importância das habilidades do gerente de projetos**. Revista Administração de Empresas, São Paulo, v.36, n.1, p.92-100, jan/mar, 2001.

TAMIETTI, Ricardo Prado. **Empreendimentos Industriais: Fundamentos, Coleção Empreendimentos Industriais**, Parte 1, Seção 1.1. Belo Horizonte: Engeweb, 2011.

TAMIETTI, Ricardo Prado; COUTINHO, Ítalo de Azevedo. **PMO (Project Management Office) para Projetos Industriais**, 1ª ed. Belo Horizonte: Pós-graduação lato sensu em “Engenharia de Projetos Industriais” – Faculdade Newton Paiva, 2009.

<https://social.technet.microsoft.com/wiki/pt-br/contents/articles/9644.conceitos-de-orientacao-a-objetos.aspx>

https://www.microsoft.com/brasil/msdn/tecnologias/arquitetura/Layers_Developing.msp

<http://ehgomes.com.br/disciplinas/bdd/sbdb.php>