



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Análise Comparativa Entre as Normas Brasileiras e Norte-Americanas para o Dimensionamento das Longarinas de uma Ponte de Concreto Armado da Cidade de Dois Riachos – AL

Gustavo Henrique Laranjeira e Silva¹, Thiago Delfino Lima Vasconcelos²

¹ IFAL – Campus Palmeira dos Índios / gustavo_laranjeira@hotmail.com

² IFAL – Campus Palmeira dos Índios / thiago.vasconcelos@ifalpalmeira.edu.br

Resumo

No Brasil, as normas vigentes não especificam nenhum método de cálculo que efetue a distribuição transversal de cargas na superestrutura de pontes, o que deve ser realizado através de métodos consagrados na literatura; elas apenas especificam o trem tipo que deve ser empregado em cada situação. Por outro lado, o procedimento adotado pela AASHTO, além de definir as cargas atuantes na superestrutura, define equações para encontrar os esforços solicitantes nas longarinas. Devido à grande diferença de procedimentos entre as normas, o presente trabalho visa comparar os momentos solicitantes de cálculo utilizando as normas brasileiras e as normas norte-americanas das longarinas de uma ponte em concreto armado na cidade de Dois Riachos – AL, considerando apenas as cargas móveis. Dentre os métodos analíticos clássicos, serão apresentados o das Longarinas Independentes e o de Engesser-Courbon. Em um primeiro instante, teve-se como base a ponte de Dois Riachos – AL, com duas longarinas, no qual se utilizou o procedimento da AASHTO através da regra da alavanca. Num segundo instante, utilizou-se uma ponte paradigma adaptada da ponte real, tornando-se uma ponte com cinco longarinas, de modo que satisfizesse as condições necessárias para calcular o momento fletor através das equações LLDF do procedimento adotado pela AASHTO. No tocante à comparação com o procedimento americano, observou-se um resultado com grande semelhança no caso do método das Longarinas Independentes, já o método de Engesser-Courbon trouxe resultados mais discrepantes, principalmente quando se trata das longarinas mais internas. Na comparação dos momentos fletores de cálculo da ponte real, a diferença entre as normas foi de apenas 0,33%, já com a ponte paradigma, a diferença percentual máxima entre os momentos fletores de cálculo na longarina externa foi de 8% e de 39% na longarina central.

Palavras-chave

Pontes; Concreto Armado; Distribuição Transversal de Cargas; AASHTO; Comparação entre normas.

1 Introdução

Diante das normas brasileiras que versam sobre pontes, observa-se que elas não definem procedimentos para a distribuição transversal de cargas no tabuleiro, sendo comum, quando da não utilização de softwares que utilizam o método dos elementos finitos, buscar metodologias consagradas na literatura. No entanto, o trem tipo e os coeficientes de ponderação são relatados pela NBR 7188 (2013).

Conforme indica Jovem (2017), estes procedimentos de cálculo podem ser classificados em três categorias: processo que considera as longarinas independentes, que considera o efeito de grelha e o que pressupõe que o tabuleiro é uma placa ortotrópica. Ainda conforme Jovem (2017), a metodologia que considera as longarinas independentes pode ser utilizada em tabuleiros com duas longarinas, obtendo resultados satisfatórios. Já para pontes com vigamentos múltiplos, os processos que consideram o efeito de grelha são mais utilizados, sendo o método de Engesser-Courbon um deles.

Por outro lado, nos Estados Unidos da América, a abordagem da AASHTO propõe um método que não analisa a distribuição transversal de cargas do trem tipo no tabuleiro propriamente dita, embora leve em consideração a configuração transversal do tabuleiro. Ela determina procedimentos para se encontrar o momento fletor nas longarinas, baseados no cálculo de fatores e na utilização de equações pré-estabelecidas conforme as características da ponte a ser analisada.

Nascimento (2018) comparou os métodos analíticos de Engesser-Courbon, Guyon-Masonnet e a metodologia da AASHTO com adaptações à norma brasileira em uma ponte com sete longarinas e obteve momentos fletores de cálculo maiores, no meio do vão, pelo método de Engesser-Courbon, a exceção se deu na longarina central, no qual o procedimento da AASHTO adaptado teve um valor maior. Concluiu também que a proposta da AASHTO apresenta baixa variabilidade de momentos fletores entre as diversas longarinas.

Santos (2015), ao se debruçar sobre a matéria, também comparou o método de Engesser-Courbon ao método da AASHTO de forma adaptada à norma brasileira e ao seu trem tipo. Concluindo que o método da AASHTO era mais conservador na maior parte dos casos.

Perante o exposto, o presente estudo tem por objetivo analisar e comparar a distribuição de esforços transversais que incidem sobre as longarinas de uma ponte sob diferentes métodos usados no Brasil, Longarinas Independentes e Engesser-Courbon, e também pela perspectiva norte-americana, utilizando como referência os momentos de cálculo devido à carga acidental obtidos em cada método.

2 Ponte real

A ponte real, localizada na cidade de Dois Riachos – AL, possui comprimento total de 69,8 m, dividida em três vãos de 20,2 m e dois vãos de 4,6 m nas extremidades. Possui em cada vão duas longarinas biapoiadas e transversinas intermediárias e nas regiões dos apoios. A seção transversal apresenta as longarinas com largura de 0,42 m e altura de 1,96 m, com distância entre eixos de 7,31 m. A largura do tabuleiro é de 11,31 m, com espessura de 0,30 m (laje com 0,25 m mais camada de asfalto com 0,05 m). A transversina possui altura de 1,50 m, largura de 0,25 m e não tem contato com o tabuleiro, apenas com as longarinas pelas extremidades. Estes dados estão representados na Figura 1.

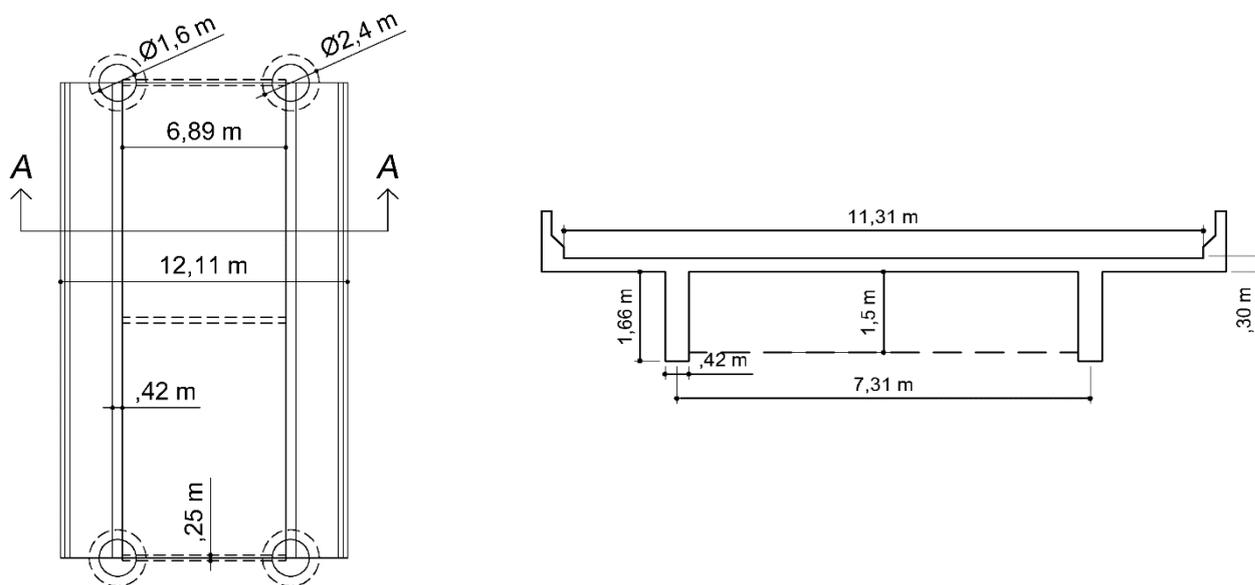


Figura 1 – Croqui da ponte.

2.1 Método das Longarinas Independentes

O método das longarinas independentes é baseado em linhas de influência e para o cálculo do momento devido às cargas móveis, é necessário posicionar o trem tipo na seção transversal de forma que gere os esforços mais desfavoráveis na longarina analisada. Esse posicionamento é obtido encostando o trem tipo no guarda rodas, respeitando as dimensões e cargas do trem tipo conforme a NBR 7188 (2013).

Posicionado o veículo, analisam-se dois cortes transversais, um que corta o veículo e outro que passa por fora deste. Para cada corte, utiliza-se a linha de influência de reação na longarina para gerar os quinhões de carga que incidirão nesta. Analisando os cortes, têm-se:

2.1.1 Corte que passa pelo veículo

Para a análise deste corte, observa-se o posicionamento do trem tipo no tabuleiro, assim como a linha de influência para a ponte em questão, conforme Figura 2.

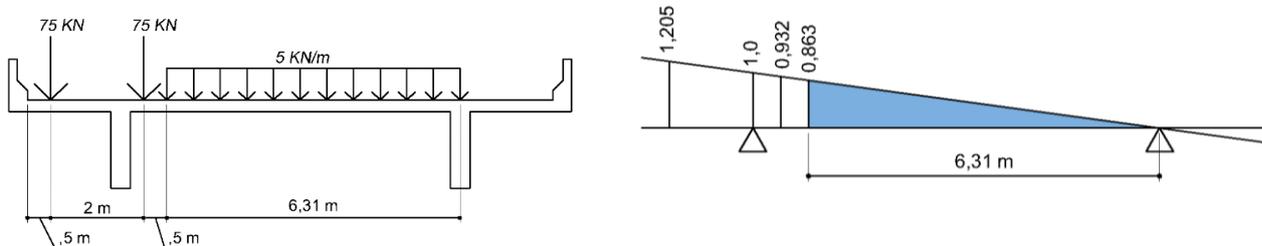


Figura 2 – Esquema transversal do corte que passa pelo veículo e sua linha de influência.

Para encontrar o valor da carga concentrada que incidirá na longarina, multiplica-se a carga da roda pelas cotas da linha de influência, conforme Equação (1).

$$P = 75 \cdot (\text{cota 1} + \text{cota 2}) \quad (1)$$

$$P = 75 \cdot (1,205 + 0,932)$$

$$P = 160,27 \text{ KN}$$

E para a carga distribuída, multiplica-se a carga de multidão pela área abaixo da linha de influência referente à carga distribuída, observada na região pintada da Figura 2 e conforme Equação (2).

$$p_i = 5 \cdot (\text{área abaixo da linha de influência}) \quad (2)$$

$$p_1 = 5 \cdot \frac{(0,863 \cdot 6,31)}{2}$$

$$p_1 = 13,61 \text{ KN/m}$$

2.1.2 Corte que passa fora do veículo

Nesta seção, é necessário apenas obter a carga de multidão à frente e atrás do veículo. Para isso, basta multiplicar a carga de multidão pela área da linha de influência, conforme Figura 3.

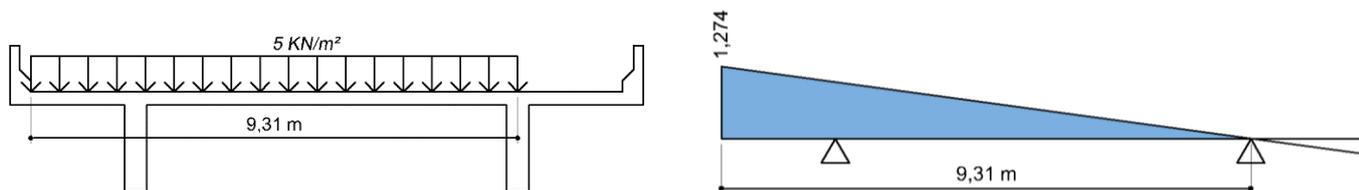


Figura 3 – Esquema transversal do corte fora do veículo e sua linha de influência.

Com isso, o valor também é obtido através da Equação (2):

$$p_2 = 29,652 \text{ KN/m.}$$

2.1.3 Análise na longarina

Para a obtenção do trem tipo da longarina, multiplicam-se as cargas pelos coeficientes CIV (Coeficiente de impacto vertical), CNF (Coeficiente do número de faixas) e CIA (Coeficiente de impacto adicional), cujos valores, conforme preconiza a NBR 7188 (2013), foram 1,3, 1 e 1, respectivamente. Para encontrar os valores

finais que incidirão na longarina, utilizam-se as Equações (3) e (4), obtendo-se o trem tipo da longarina mostrado na Figura 4.

$$Q = P \cdot CIV \cdot CNF \cdot CIA \quad (3)$$

$$Q = 160,27 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1$$

$$Q = 208,36 \text{ KN}$$

$$q = p \cdot CIV \cdot CNF \cdot CIA \quad (4)$$

$$q_1 = 13,613 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 = 17,70 \text{ KN/m}$$

$$q_2 = 29,652 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 = 38,55 \text{ KN/m}$$

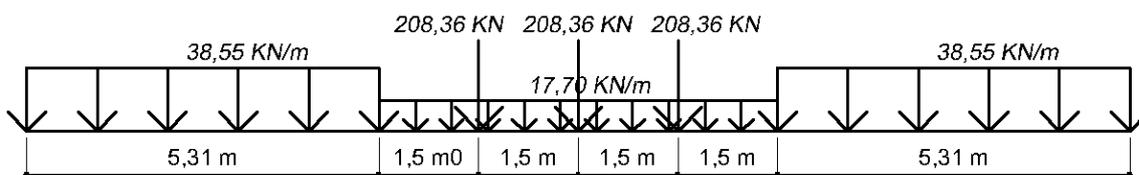


Figura 4 – Trem tipo da longarina.

O momento máximo encontrado é dado pela Equação (5), considerando a linha de influência de momento da longarina biapoada.

$$M_{m\acute{a}x} = Q(5,05 + 4,3 + 4,3) + q_1 \left[3,55 \cdot 6 + \frac{6(5,05 - 3,55)}{2} \right] + 2 \cdot q_2 \left(\frac{7,1 \cdot 3,55}{2} \right) \quad (5)$$

$$M_{m\acute{a}x} = 208,357(5,05 + 4,3 + 4,3) + 17,7 \left[3,55 \cdot 6 + \frac{6(5,05 - 3,55)}{2} \right] + 2 \cdot 38,55 \left(\frac{7,1 \cdot 3,55}{2} \right)$$

$$M_{m\acute{a}x} = 4272,38 \text{ KNm}$$

2.2 Procedimento da AASHTO

Conforme a AASHTO LRFD *Bridge design specifications* (2012), em situações em que o espaçamento entre longarinas exceda 3,05 m e assim não seja possível aplicar as equações LLDF, a carga móvel em cada viga deve ser determinada como a reação das pistas carregadas com base na *lever rule* (regra da alavanca), salvo indicação em contrário, sendo considerado por Mensah (2014) um método de fator de distribuição aproximado. Consiste na soma estática dos momentos em torno de um suporte para determinar a reação em outro, assumindo que o apoio transversal da laje seja articulado nos suportes internos.

Inicialmente calcula-se o número de faixas de projeto, que segundo a AASHTO LRFD, é obtido dividindo-se a largura da pista da ponte por 3,65 m, sendo arredondada para baixo até o número inteiro mais próximo. A ponte estudada tem uma largura de pista de 11,31 m, desta forma, têm-se 3 faixas de projeto.

As cargas veiculares utilizadas pela AASHTO atualmente usada são designadas como HL-93, o que consiste em três diferentes tipos de carga: caminhão de projeto, tandem de projeto e carga distribuída de projeto. Neste trabalho, foi utilizado o caminhão de projeto e a carga distribuída de projeto por gerar o maior momento fletor na ponte em discussão.

Na direção longitudinal, o caminhão de projeto tem três eixos. O primeiro eixo tem um carregamento de 35,59 KN e o segundo e terceiro eixos têm carregamentos de 142,34 KN cada. O espaçamento entre o primeiro e o segundo eixo é de 4,27 m e o espaçamento entre o segundo e o terceiro eixo varia entre 4,27 e 9,14 m, sendo utilizado aquele que gere a maior solicitação analisada. A carga distribuída de projeto é uma carga uniforme de 9,34 KN/m. É interessante destacar que este trem tipo é posicionado diretamente nas longarinas e modificado pelos fatores de impacto e LLDF para a análise estrutural.

Na direção transversal, o caminhão de projeto deve estar localizado de tal forma que o efeito seja maximizado. No entanto, o centro de qualquer carga de roda não deve estar a menos de 61 cm da borda da pista de projeto e a distância entre as rodas é de 1,83 m, como ilustrado na Figura 5.

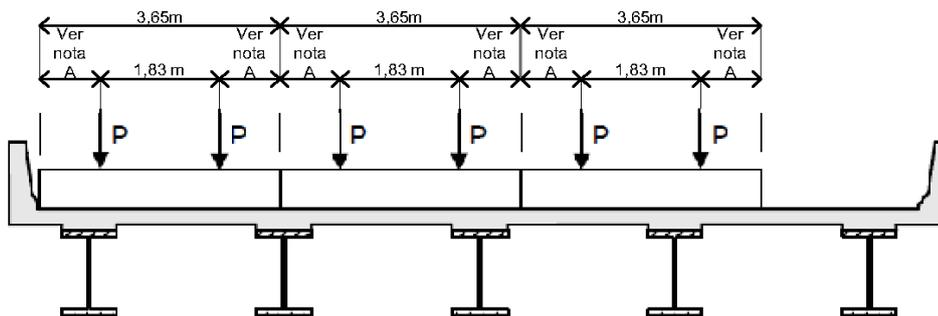


Figura 5 – Configuração transversal para caminhão de projeto ou tandem de projeto.

Para a utilização da regra da alavanca é necessário a utilização de coeficientes. O primeiro é o fator de presença múltipla, fator m , mostrado na Tabela 1, o segundo é o fator devido ao efeito dinâmico, fator IM , apresentado na Tabela 2, os quais não devem ser aplicados a faixas de cargas distribuídas.

Tabela 1 - Fator de presença múltipla.

(Baseado em AASHTOO LFRD tabela 3.6.1.1.2-1)

Número de faixas carregadas	fatores de presença múltiplas, m
1	1,20
2	1,00
3	0,85
>3	0,65

Tabela 2 - Fator de carga dinâmica.

Estado limite	IM
Juntas de laje: todos os estados	75%
Todos os outros componentes: estado limite de fadiga e fratura	15%
Todos os outros componentes: todos os outros estados limites	33%

2.2.1 Cálculo do fator LLDF (regra da alavanca)

Posicionam-se as rodas na seção transversal de forma a gerar a máxima reação e calcula-se a reação da longarina que se tem interesse em encontrar o momento, através da condição de equilíbrio da Equação (6). Como são duas longarinas apenas e devido à simetria da seção transversal, os momentos encontrados serão iguais para as duas longarinas.

Para uma faixa de tráfego, utilizam-se a Figura 6 e Equação (6) para encontrar a reação no apoio A. Vale ressaltar que, como o valor encontrado será um coeficiente, não foi atribuído dimensão ao valor da reação.

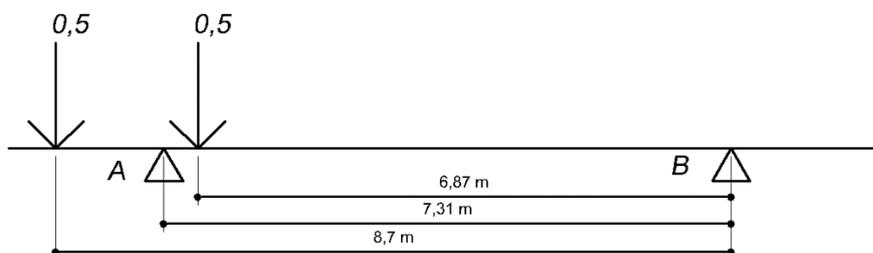


Figura 6 – Regra da alavanca com uma faixa de tráfego.

$$\sum Mb = 0$$

$$7,31 \cdot R_A = 0,5 \cdot 8,7 + 0,5 \cdot 6,87$$

$$R_A = 1,065$$
(6)

O valor de LLDF será o valor de R_A multiplicado pelo fator de presença múltipla, apresentado na Tabela 1, segundo a Equação (7). Para uma faixa de tráfego, o valor de LLDF será:

$$LLDF = R_A \cdot \text{fator de presença múltipla}$$

$$LLDF = 1,065 \cdot 1,2 = 1,28$$
(7)

O procedimento foi repetido para duas e três faixas e os valores estão representados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de LLDF para duas e três faixas.

	Reação em A	Fator de presença múltipla	Valor de LLDF
2 faixas	1,63	1,00	1,63
3 faixas	1,70	0,85	1,44

Após se calcular o LLDF para as três faixas, o maior valor entre os três casos é considerado o coeficiente LLDF, portanto, vale 1,63, calculado para duas faixas de tráfego.

Utilizando o caminhão de projeto do carregamento HL-93 e a carga distribuída de projeto, calcula-se o momento fletor através da Equação (8).

$$M = (LLDF) \cdot (IM) \cdot \left[\sum (Carga pontual) \cdot (Ordenada) \right] + (LLDF) \cdot [(Carga distribuída) \cdot (Área)]$$
(8)

Com o auxílio do software FTOOL®, obteve-se o posicionamento do trem tipo na longarina de forma que gerasse o momento máximo, assim como fora calculado o seu valor, conforme Figura 7.

As cargas inseridas foram previamente multiplicadas pelos fatores LLDF e IM, conforme Equação (8), desta forma têm-se:

- P do primeiro eixo: $P = 1,63 \cdot 1,33 \cdot 35,59 = 77,15 \text{ KN}$;
- P do segundo e terceiro eixo: $P = 1,63 \cdot 1,33 \cdot 142,5 = 308,92 \text{ KN}$;
- Q da carga distribuída: $Q = 1,63 \cdot 9,34 = 15,22 \text{ KN/m}$.

Obteve-se o momento máximo de 3475,99 KNm, a 10,66 m do apoio.

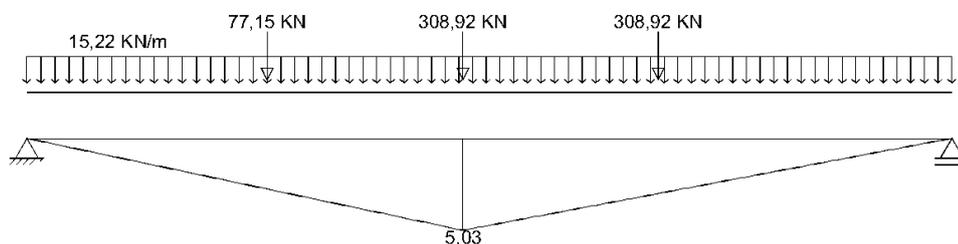


Figura 7 – Trem tipo com caminhão de projeto e carga distribuída posicionado na longarina.

3 Ponte paradigma

A ponte paradigma adaptada possui 5 longarinas com as mesmas dimensões das longarinas da ponte de Dois Riachos/AL, para que o espaçamento entre vigas fique no intervalo entre 1,22 m e 3,05 m, conforme a AASHTO preconiza para a utilização de suas equações. A distância horizontal do centro das longarinas externas para a borda interna da barreira de proteção é de 0,85 m, também respeitando a indicação da

AASHTO; e a distância entre eixos das longarinas é de 2,40 m. Também foram nomeadas as longarinas, da esquerda para a direita, de V1 a V5, sendo as longarinas V1 e V5 as longarinas externas e V2, V3 e V4 as longarinas internas, sendo V2 e V4 as longarinas intermediárias e V3 a longarina central. A seção transversal pode ser observada na Figura 8.

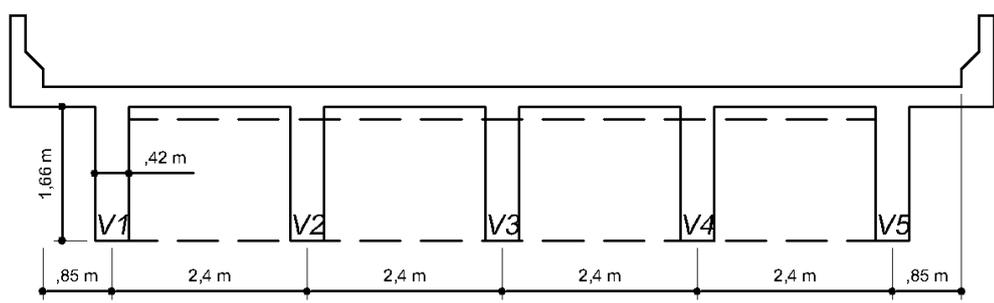


Figura 8 – Seção transversal da ponte paradigmática.

3.1 Engesser-Courbon

Conforme indica Medino (2016), o método de Engesser-Courbon parte da premissa de uma seção transversal com rigidez infinita e do atendimento das seguintes hipóteses básicas da teoria das estruturas: comportamento elástico linear, pequenas deformações, hipóteses de Euler-Bernoulli e princípio de Saint-Venant.

Para situações em que as longarinas apresentam a mesma inércia à flexão, utiliza-se a Equação (9).

$$q_i = F \left(\frac{1}{n} + e \frac{x_i}{\sum(x_j^2)} \right) \quad (9)$$

Onde:

- q_i : parcela de carga na longarina i ;
- F : carga total aplicada;
- e : excentricidade da carga total;
- x_i : distância da longarina i ao eixo de simetria da seção transversal.

De acordo com a Figura 8 e utilizando a Equação (9), obtém-se os valores referentes à linha de influência das longarinas, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficientes de repartição transversal.

Coeficientes de repartição transversal					
V1 e V5		V2 e V4		V3	
R_{11}	0,6	R_{21}	0,4	R_{31}	0,2
R_{12}	0,4	R_{22}	0,3	R_{32}	0,2
R_{13}	0,2	R_{23}	0,2	R_{33}	0,2
R_{14}	0	R_{24}	0,1	R_{34}	0,2
R_{15}	-0,2	R_{25}	0	R_{35}	0,2

Os coeficientes de repartição são utilizados como as ordenadas da linha de influência e repete-se o procedimento adotado na ponte real, analisando dois cortes, um que corta o veículo e outro que passa fora do veículo, com a finalidade de encontrar as cargas que formarão o trem tipo da longarina estudada. As cargas incidentes nas longarinas e o momento fletor característico encontrados estão representados na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de cargas e momentos fletores das longarinas.

Viga	Cargas sem coeficientes de impacto			Cargas com coeficientes de impacto			Momento máximo (KN.m)
	P (KN)	p1 (KN/m)	p2 (KN/m)	Q (KN)	q1 (KN/m)	q2 (KN/m)	
V1 e V5	81,82	5,32	13,54	106,37	6,92	17,60	2074,13
V2 e V4	55,94	5,79	11,39	72,73	7,53	14,80	1559,99
V3	30,00	8,32	11,31	39,00	10,82	14,70	1181,99

3.2 AASHTO

A *AASHTO LRFD Bridge design specifications* (2012) define doze tipos de pontes, baseado no tipo de viga e laje das pontes mais comuns, para determinar as equações para a obtenção de LLDF, a ponte paradigma se enquadra no tipo “e”, que são as pontes de concreto com viga T moldadas no local. Há também diferenciação entre longarinas internas e externas; as equações a serem utilizadas estão mostradas na Tabela 6 e Tabela 7 para longarina interna e externa, respectivamente.

Tabela 6 - Equações de LLDF para longarinas internas.

Tipo de viga	Expressão para LLDF em vigas internas	Intervalo de aplicabilidade
<i>a, e, k</i> e também <i>i, j</i> se suficientemente conectada para agir como uma unidade	<p>Uma faixa carregada:</p> $0,06 + \left(\frac{S}{14}\right)^{0,4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0,3} \left(\frac{K_g}{12L t_s^3}\right)^{0,1}$ <p>Duas ou mais faixas carregadas:</p> $0,075 + \left(\frac{S}{9,5}\right)^{0,6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0,2} \left(\frac{K_g}{12L \cdot t_s^3}\right)^{0,1}$	$3.5 \leq S \leq 16.0$ $4.5 \leq t_s \leq 12.0$ $20 \leq L \leq 240$ $N_b \geq 4$ $10.000 \leq K_g \leq 7.000.000$

Onde:

- S: espaçamento entre as longarinas, em pés;
- t_s : espessura da laje do tabuleiro, em polegadas;
- L: comprimento do vão, em pés;
- N_b : número de vigas;
- K_g : parâmetro de rigidez longitudinal, em in^4 , dado pela Equação (10).

$$K_g = n(I + Aeg^2) \quad (10)$$

Sendo:

- n: relação entre o módulo de elasticidade do material da longarina e do tabuleiro;
- I: momento de inércia da viga isolada, em in^4 ;
- A: área da seção transversal da viga, em in^2 ;
- *eg*: distância entre o centro de gravidade da viga e da laje, em polegadas.

Tabela 7 - Equações de LLDF para longarinas externas.

Tipo de viga	Expressão para LLDF em vigas externas		Intervalo de aplicabilidade
	Uma faixa carregada	Duas ou mais faixas carregadas	
<i>a, e, k</i> e também <i>i e j</i> se suficientemente conectada para agir como uma unidade	regra da alavanca	$e \cdot LLDF_{int}$ Onde: $e = 0,77 + \frac{de}{9,1}$	$-1,0 \leq de \leq 5,5$

Onde:

- $LLDF_{int}$ é o valor de LLDF calculado para as longarinas internas;
- *de*: distância horizontal entre o CG da viga externa e a face interna do guarda corpo, em pés.

Além disto, nas pontes em viga com transversinas, o fator de distribuição para a viga externa não deve ser considerado inferior ao que seria obtido assumindo que a seção transversal deflete e rotaciona como um corpo rígido. Esta presunção requer uma verificação adicional, utilizando a Equação (11).

$$R = \frac{N_l}{N_b} + \frac{X_{ext} \cdot \sum_{i=1}^{N_l} e}{\sum_{i=1}^{N_b} x^2} \quad (11)$$

Onde:

- R : reação na viga externa em termos do número de faixas carregadas;
- e : excentricidade do caminhão de projeto ou a carga distribuída de projeto ao centro de gravidade do conjunto de vigas, em pés;
- x : distância horizontal do centro de gravidade do conjunto de vigas para cada viga, em pés;
- X_{ext} : distância horizontal do centro de gravidade do conjunto de vigas para a viga externa, em pés;
- N_l : número de faixas carregadas;
- N_b : número de vigas.

Encontrados os valores de LLDF, procede-se da mesma maneira da ponte real, utilizando a Equação (8) para determinar o trem tipo e realizando a análise estrutural. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de LLDF e momento fletor característico.

	LLDF		Verificação adicional	Momento fletor característico (KN.m)
	Uma faixa	Duas ou mais faixas		
Longarina interna	0,54	0,74	–	1582,45
Longarina externa	0,86	0,79	0,78 (com 2 faixas carregadas obteve-se o maior valor)	1840,48

4 Momentos de cálculo

De posse dos momentos característicos, obtiveram-se os momentos de cálculo. De acordo com a norma brasileira NBR 8681 (2003), o coeficiente de majoração das ações considerando uma combinação normal é de 1,50. Já em relação ao procedimento adotado pela AASHTO, o coeficiente utilizado foi de 1,84, calculado conforme a AASHTO LRFD (2012). Com isso, os valores dos momentos fletores de cálculo devido às cargas móveis estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Momentos de cálculo.

Ponte	Método	Tipo de longarina	Longarina	Momento característico (KN.m)	γ	Momento de cálculo (KN.m)
Real	Longarinas Independentes	-	-	4272,38	1,50	6408,57
	AASHTO – Regra da alavanca	-	-	3475,99	1,84	6387,13
Paradigma	Engesser-Courbon	externa	V1 e V5	2074,13	1,50	3111,20
		interna	V2 e V4	1559,99	1,50	2339,99
			V3	1181,99	1,50	1772,99
	AASHTO	externa	V1 e V5	1840,48	1,84	3381,88
		interna	V2, V3, V4	1582,45	1,84	2907,75

5 Conclusão

Em relação a ponte real, pode-se observar que o método utilizado no Brasil gerou um maior esforço de momento fletor de cálculo, embora a diferença entre os métodos seja de apenas 0,33%, aproximadamente. Vale ressaltar que o veículo do trem tipo utilizado pela norma brasileira NBR 7188 (2013) tem um peso total de 450 KN, enquanto o caminhão utilizado pela AASHTO possui peso de 213,68 KN.

Na ponte paradigma, os maiores momentos fletores de cálculo encontrados foram os obtidos pelo procedimento da AASHTO, sendo a longarina externa a mais solicitada. A diferença de momento fletor de cálculo da longarina externa calculado pelo procedimento da AASHTO e pelo método de Engesser-Courbon foi de 8%, sendo crescente à medida que se analisa as longarinas mais internas, chegando a 39% na longarina central. Este fato pode ser explicado pelo fato de que a metodologia da AASHTO não diferencia as longarinas internas.

Verifica-se também que a discrepância entre as longarinas analisadas pelo método de Engesser-Courbon é alta, chegando a aproximadamente 43% entre a longarina externa e a longarina central. Já o procedimento adotado pela AASHTO tem resultados mais próximos entre suas longarinas, sendo de aproximadamente 14% entre a longarina externa e as longarinas internas.

Outro fato notável é a importância dada às longarinas externas quando o cálculo é realizado pelo método de Engesser-Courbon, devido as suas premissas e consideração de rigidez transversal infinita, o momento característico da longarina externa é maior quando comparado com o método da AASHTO.

Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 6. ed. Washington: [s.n.], 2012. ISBN 978-1-56051-523-4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: [s.n.], 2003.
- JOVEM, T. P. Estudo Analítico e Numérico de Repartição de Carga em Tabuleiros de Pontes Retas com Longarinas Múltiplas de Concreto Armado. Dissertação (Dissertação em Engenharia Civil) - UFRN. Natal. 2017.
- MEDINO, U. D. A. Análise Comparativa Entre Os Modelos Analíticos De Distribuição De Cargas Em Tabuleiros De Pontes Com Longarinas Retas De Engesser-Courbon E Guyon-Massonnet Com O Modelo Das Reações De Apoio Proposto. Monografia (Monografia em Engenharia Civil) - UFRN. Natal. 2016.
- MENSAH, S. A.; DURHAM, S. A. Live Load Distribution Factors in Two-Girder Bridge Systems Using Precast Trapezoidal U-Girders. JOURNAL OF BRIDGE ENGINEERING, v. 19, n. 2, p. 281 - 288, Fevereiro 2014. ISSN 1084-0702/2014/2-281-288.
- NASCIMENTO, Y. R. F. D. Análise da Distribuição de Cargas e Dimensionamento de Longarinas de Pontes com Tabuleiros em Vigas Múltiplas de Concreto Armado. Monografia (Monografia em Engenharia Civil) - UFRN. Natal. 2018.
- SANTOS, M. S. Estudo da Aplicabilidade do Método Simplificado da AASHTO para Distribuição Transversal de Cargas Móveis para Pontes no Brasil. Dissertação (Dissertação em Engenharia Civil) - PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2015.