

COMPARAÇÃO DE PROJETOS PADRONIZADOS PARA PONTES EM CONCRETO ARMADO E MISTAS AÇO-CONCRETO

Simoní Schmögel, Rebeca Jéssica Schmitz

Resumo: A escolha do material a ser utilizado na estrutura da ponte é uma questão fundamental para a concepção do projeto, além de ser um ponto importante para definir o tempo de reparo e manutenção. No presente trabalho foi analisada a superestrutura de pontes padronizadas para diferentes vãos, sendo avaliados os sistemas estruturais de concreto armado pré-fabricado e misto aço-concreto. Este trabalho tem como objetivo comparar o peso total das estruturas e o custo do material. Inicialmente, foram definidas três faixas de vão a partir da aferição dos vãos de pontes existentes no município de Arroio do Meio/RS, pois o trabalho se delimita à análise de pontes de pequenos vãos adequadas a regiões de baixo fluxo. Com estes dados optou-se pelo projeto dos vãos: 8 m, 12 m e 17 m, além disso, a ponte é de faixa única, totalizando 4,20 m de largura. Em seguida, foi feito o pré-dimensionamento, sendo adotada seção retangular para as estruturas em concreto armado, e para estruturas mistas, utilizou-se conectores stud bolt e preferencialmente perfis laminados, entretanto para o vão de 17 m foi necessário perfil soldado. Para obtenção dos esforços, considerou-se as cargas permanentes e as cargas móveis (TB-450), sendo feitas as combinações ELU (construção e uso) e ELS. O dimensionamento da laje e das vigas em concreto armado seguiu a NBR 6118 (ABNT, 2014), e as vigas mistas seguiram a NBR 8800 (ABNT, 2008). Ao final deste trabalho pode-se concluir que a construção mista é mais vantajosa sob o aspecto do peso, apresentando redução de até 45% em relação às de concreto armado. Considerando os vãos adotados, a análise de custo dos materiais apontou que os perfis laminados se mostraram competitivos com as seções em concreto, apesar de ficarem com valores superiores, entretanto a opção por perfil soldado ficou com custo muito elevado.

Palavras-chave: Pontes de Pequeno Vão; Pontes em Viga; Concreto Armado Pré-fabricado; Estrutura Mista Aço-Concreto

Introdução

Ao longo da história, as pontes sempre se mostraram de suma importância para a transposição de obstáculos, desde os primórdios os homens já construía, mesmo que, de forma rudimentar com materiais encontrados na natureza como troncos de árvores e pedras. As pontes são estruturas de

grande relevância para o progresso, através delas podemos encurtar caminhos, assim, reduzir o tempo de deslocamento, bem como fazer ligações em pontos específicos, obtendo-se a continuidade da trajetória (OLIVEIRA, 1999).

PFEIL (1979) indica que as pontes podem ser classificadas em rurais e urbanas conforme a sua localização, sendo que as pontes rurais têm objetivo de escoar o tráfego das rodovias. Muitas das pontes localizadas em zonas rurais, tão importantes para o deslocamento de pessoas e escoamento dos mais variados produtos cultivados por nossos interiores, sofrem pelo abandono e falta de manutenção.

Com a inovação, novas tecnologias surgiram para aprimorar os métodos de construção, com isso muitos problemas enfrentados no passado como a ausência de controle nos materiais e produtividade baixa, foram controladas através da técnica de construção de pontes pré-fabricadas. As pontes pré-fabricadas e padronizadas, se mostram uma boa alternativa para vias rurais, já que as mesmas combinam qualidade, agilidade e tempo de manutenção mais prolongado, devido ao emprego de materiais de alta resistência como concreto armado ou seções mistas de aço e concreto.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é comparar o peso e custo de material entre pontes de concreto armado e mistas aço-concreto considerando projetos padronizados para três vãos. Para a realização deste estudo, foram escolhidos vãos recorrentes em pontes do município de Arroio do Meio/RS, considerando que este trabalho se delimita a estudo de pontes de pequenos vãos.

Pontes em concreto armado e mistas

A construção de pequenas pontes de concreto pré-fabricadas, geralmente ocorre pelo lançamento das vigas previamente fabricadas, com a ajuda de equipamentos adequados. Segundo MARCHETTI (2008), em geral, a superestrutura não é totalmente pré-moldada, podendo na sequência ser aplicada uma camada de concreto moldado in loco nas formas dispostas sobre a viga, para a finalização da mesma.

O sistema de construção de pontes com vigas se mostra favorável para vãos de até 40m, pela limitação nos sistemas de transporte e montagem. A utilização deste tipo de sistema também se torna vantajosa, principalmente, quando não se tem possibilidade de escoramento convencional.

As pontes construídas em vigas caracterizam-se por serem constituídas de vínculos, que não transmitem momentos fletores da superestrutura para infraestrutura, este tipo de estrutura é na atualidade uma das mais utilizadas no Brasil. Para pontes rodoviárias de concreto armado em viga de seção T, o pré-dimensionamento, ocorre de acordo com o índice de esbeltez, que é obtido através da razão entre o vão (l) e altura (h), esta razão deve estar entre 10 a 15, para vãos de até 25m (MARTINELLI, 1971).

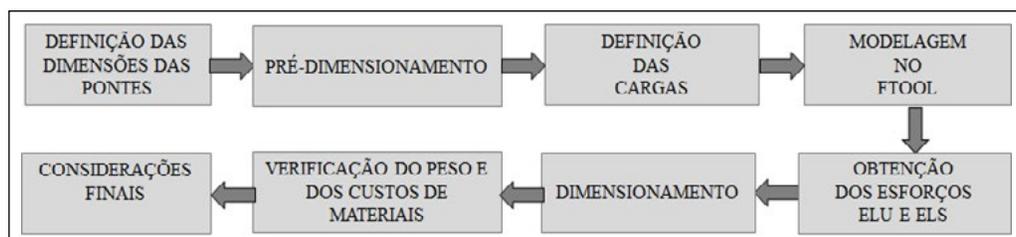
Já as estruturas mistas aço-concreto em pontes, no Brasil, começaram a ter maior relevância a partir de grandes construções como dos elevados da Linha Vermelha e Perimetral, localizados no Rio de Janeiro, na década de 70 (PINHO; BELLEI, 2007). A partir destas construções começou-se a observar as vantagens do uso deste tipo de sistema estrutural. Entretanto, ainda é muito pequeno o uso de estruturas mistas em pontes se comparado ao concreto armado, apesar da sua utilização estar aumentando nos últimos anos.

Conforme PINHO e BELLEI (2007), a altura adequada das vigas geralmente fica entre 1/18 e 1/25 do vão, utilizando-se de perfis laminados que vencem vãos de até 16m ou perfis soldados que não apresentam limitação na altura, permitindo, assim, vencer vãos maiores. Na grande maioria das pontes construídas em vigas é preciso determinar se serão utilizadas duas vigas principais, com um sistema auxiliar para suporte ao tabuleiro, ou então a previsão de várias vigas principais com espaçamento reduzido. A opção da utilização de duas vigas, acaba por conduzir a uma altura maior destas e por consequência uma diminuição da área da mesa o que gera uma redução de custos.

Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos estão apresentados de forma resumida na Figura 1 e serão descritos a seguir.

Figura 1 – Etapas do trabalho



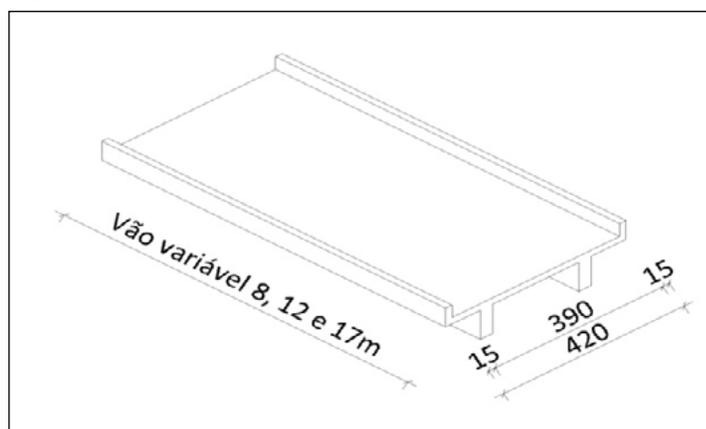
Para a definição de dimensões buscou-se através de pesquisa em campo obter os vãos de pontes situadas em estradas secundárias do município de Arroio do Meio/RS, conforme mostra a Tabela 1, tendo-se assim uma visão melhor das necessidades destes locais.

Tabela 1 – Amostragem de vãos de pontes no município de Arroio do Meio/RS

Ponte	Vão (m)	Ponte	Vão (m)
n° 1	11	n° 12	13
n° 2	14,8	n° 13	9,5
n° 3	12	n° 14	8
n° 4	8	n° 15	5
n° 5	13	n° 16	9,5
n° 6	13,5	n° 17	10
n° 7	16,5	n° 18	12
n° 8	9	n° 19	8,5
n° 9	6,5	n° 20	5
n° 10	13	n° 21	7
n° 11	6,5	n° 22	16,5

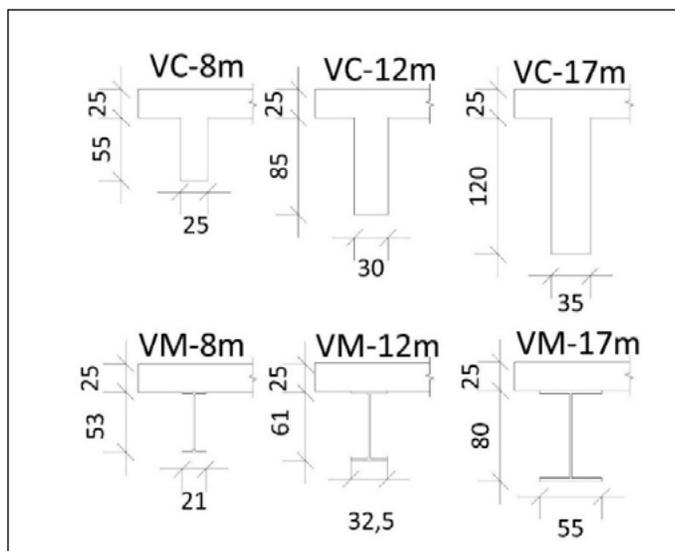
Definindo-se assim três vãos de pontes a serem atendidos: 8, 12 e 17 metros. Sendo assim, todas as pontes requeridas com vãos até 8 metros seriam produzidas pelo projeto padrão de pontes de 8 metros, para vãos entre 8 e 12 metros, as pontes de 12 m iriam atender, por fim, vãos entre 12 e 17 metros seriam atendidos pelos projetos de pontes de 17 metros. Ainda se observou que, por se tratar de estradas secundárias com baixo fluxo de veículos, as pontes contam com apenas uma faixa. Sendo assim as pontes padrões aqui estudadas terão uma única faixa de 4,20m de largura como estabelece o DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (PINHO; BELLEI, 2007). Na Figura 2 podem ser observadas as dimensões das pontes do estudo.

Figura 2 – Dimensões das pontes (dimensões em centímetros)



Com os parâmetros iniciais estabelecidos foi feito um pré-dimensionamento para as longarinas das pontes de ambos os materiais, chegando assim a dimensões prévias que posteriormente foram verificadas e alteradas com o dimensionamento. A Figura 3 apresenta as seções finais.

Figura 3 – Seções das vigas (dimensões em centímetros)



A partir disso, foi possível a determinação das cargas geradas pelo peso da estrutura (longarinas e laje) e demais cargas permanentes, que aqui se limita ao guarda-rodas, além das cargas variáveis, que são as cargas móveis devido ao tráfego. A Tabela 2 apresenta as cargas permanentes.

Tabela 2 – Cargas permanentes

Material / Vão	Longarina (kN/m)	Laje (kN/m)	Guarda Rodas (kN/m)
Viga Concreto 8m	3,4375	6,25	1,625
Viga Concreto 12m	6,375	6,25	1,625
Viga Concreto 17m	10,5	6,25	1,625
Viga de Aço 8m	0,82	6,25	1,625
Viga de Aço 12m	1,55	6,25	1,625
Viga de Aço 17m	3,65	6,25	1,625

Para as cargas variáveis, durante a fase de construção, arbitrou-se uma carga distribuída de 3 kN/m². Em relação às cargas móveis, optou-se pela utilização do veículo TB-450 conforme a NBR 7188 (ABNT, 2013), pois apesar de a estrutura apresentar baixo fluxo de veículos foi considerada a passagem

de veículos agrícolas pesados como trator, ceifadeira, caminhões que fazem o escoamento da produção. As cargas móveis foram majoradas e ajustadas de acordo com o coeficiente de impacto vertical (CIV), coeficiente de número de faixas (CNF) e coeficiente de impacto adicional (CIA), apresentados na Tabela 03. Os coeficientes CNF e CIV, foram utilizados para correção das cargas aplicadas nas longarinas, já para laje, foram utilizados os coeficientes CIA e CIV.

Tabela 3 – Coeficientes adimensionais considerados na carga móvel

Vão	CIA	CIV	CNF
8 m	1,25	1,35	1,05
12 m	1,25	1,34	1,05
17 m	1,25	1,32	1,05

A fase seguinte foi de modelagem no Ftool, optou-se pela utilização deste software por sua simplicidade e também por dispor da análise de linhas de influência e cálculo de envoltórias de esforços para cargas móveis. Para análise das cargas estáticas (cargas permanentes e carga variável de construção), o valor da carga foi aplicado na seção transversal da ponte obtida a reação na viga. Essa reação foi colocada como carga distribuída na seção longitudinal correspondente de cada estrutura, obtendo assim os esforços de momento e cortante.

Para a carga móvel foi feito um único perfil transversal, pois todas as estruturas apresentam mesmas dimensões transversais e mesma carga móvel. A linha de influência para a reação na longarina foi exportada para AutoCAD, onde foi possível obter o valor da área do diagrama na região correspondente a carga de multidão, e o valor das ordenadas do diagrama nas posições correspondentes às rodas do veículo. A multiplicação da carga da roda pela ordenada e da carga de multidão pela área gerou o trem-tipo, sendo o valor obtido para as rodas de 102,75kN e carga de multidão 8 kN/m², estes valores foram majorados pelos coeficientes relativos à carga móvel para cada vão e aplicados na seção longitudinal de cada ponte. Para a seção longitudinal foram feitos 3 modelos, um correspondente a cada vão, no caso da carga móvel indiferentemente do material empregado, as estruturas com mesmo vão e mesma solução estrutural possuem esforços iguais. Os esforços de cortante e momento fletor foram obtidos pela ferramenta de envoltória de esforços a partir da carga móvel.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os esforços combinados segundo ELU na fase de construção ($\gamma_g = 1,25$ e $\gamma_q = 1,30$) e na fase de uso ($\gamma_g = 1,35$ e $\gamma_q = 1,50$). Os dados da fase de construção estão apresentados diretamente pois foi feita a combinação diretamente nas cargas, já na fase de uso, devido ao caráter diferente das cargas, a combinação foi feita a partir dos esforços.

Tabela 4 – Esforços ELU construção

Longarina / Vão	Msd (kN/m)	Vsd (kN)
Viga Concreto 8m	249,28	124,64
Viga Aço 8m	197,04	98,52
Viga Concreto 12m	671,76	223,92
Viga Aço 12m	459,54	153,18
Viga Concreto 17m	1661,14	390,915
Viga Aço 17m	1141,91	268,685

Tabela 5 – Esforços ELU uso

Longarina / Vão	Mg (kN/m)	Mq (kN/m)	Msd (kN/m)	Vg (kN)	Vq (kN)	Vsd (kN)
Viga Concreto 8m	145,6	665,3	1194,51	72,8	365,53	646,58
Viga Aço 8m	120,72	665,3	1160,92	60,36	365,53	629,786
Viga Concreto 12m	361,26	1144,14	2203,91	126,78	408,52	783,938
Viga Aço 12m	380,34	1144,14	2229,67	92,52	408,52	737,687
Viga Concreto 17m	804,143	1776,63	3750,54	189,21	441,46	917,625
Viga Aço 17m	665,06	1776,63	3562,78	156	441,46	872,792

Por final, a combinação ELS quase permanente, foi feita pela combinação dos deslocamentos ao invés da combinação das ações, pois, como a análise é linear, é válido a aplicação do princípio da superposição. A análise do ELS será apresentada ao final da etapa de dimensionamento.

As longarinas de concreto armado foram dimensionadas segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), com concreto de fck de 35 MPa. Na fase de construção a longarina foi considerada como seção retangular, já para a fase de uso, a longarina foi calculada como uma seção T. Foram feitas todas as verificações sendo o ELS atendida pelo dimensionamento de ELU. O dimensionamento foi feito através de planilha eletrônica elaborada ao longo deste estudo. As dimensões e armaduras encontradas para estas estruturas estão apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Armadura para as longarinas de concreto

Longarina (m)	Positiva		Negativa		Estribos	
	Quant. (barras)	Ø (mm)	Quant. (barras)	Ø (mm)	Espaçamento (cm)	Ø (mm)
8	8	25	2	25	6	8
12	7	32	2	32	8	8
17	8	32	2	32	12	8

A Tabela 7 apresenta os resultados parciais obtidos para os deslocamentos, para o caso das longarinas mistas serão apresentados somente os valores finais. Na fase 0 tem-se vigas suportando apenas seu peso próprio, acrescido peso das lajes de concreto sendo executadas sobre as vigas, na fase 1 tem-se a solidarizarão da seção T, e o peso dos guarda rodas e na fase 2, a estrutura é liberada para o uso (carga móvel). Os deslocamentos foram calculados considerando as formulações conhecidas pela resistência dos materiais, sendo adotado coeficiente de fluência igual a 2 e aplicado somente nas cargas permanentes.

Tabela 7 – Verificação dos deslocamentos das longarinas de concreto

Longarina	Fase 0 - peso da estrutura		Fase 1 - carga permanente		Fase 2 - carga móvel	Desloc. total com fluência (cm)	Desloc. limite (cm)
	q0 (kN/cm)	deslocamento (cm)	q1 (kN/cm)	deslocamento (cm)	deslocamento (cm)		
8 m	0,17	0,88	0,18	0,15	0,38	1,30	3,20
12 m	0,20	1,18	0,21	0,28	0,45	1,89	4,80
17 m	0,24	1,76	0,25	0,50	0,50	2,90	6,80

O dimensionamento para as longarinas de aço foi feito segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), para a fase de construção as vigas foram dimensionadas somente como perfis I, a partir de planilha eletrônica elaborada e disponibilizada pela Universidade de Passo Fundo (UPF). Já o dimensionamento para a fase de uso também foi feito com auxílio de planilha eletrônica, mas para seções mistas de aço-concreto, elaborada pelo Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA). A saber, a verificação ao esforço cortante foi feita apenas para fase de uso pois leva aos maiores esforços e mesmo a seção sendo mista, considera-se apenas a alma de aço como resistente. Nesse estudo foram feitas verificações de ELU e ELS, chegando ao dimensionamento dos perfis metálicos apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Perfis metálicos adotados para as longarinas de aço

Longarina	Perfil	ELU Construção		ELU Uso				ELS	
		Msd (kN/m)	Mrd (kN/m)	Msd (kN/m)	Mrd (kN/m)	Vsd (kN)	Vrd (kN)	Desloc. Limite (cm)	Desloc. (cm)
8 m	W 530x82	197	204,3	1160,9	1449,2	629,8	959,4	3,2	1,27
12 m	W 610x155	459,5	588,9	2229,7	2600,4	737,7	1481	4,8	2,68
17 m	CVS 800x365	1142	3016	3562,8	6487,2	872,8	2444	6,8	6,14

As lajes de concreto armado foram dimensionadas segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), sendo apresentados os principais resultados na Tabela 9. A saber, o momento fletor solicitante foi obtido da combinação ELU da fase de uso considerando que estes são os maiores esforços obtidos, originados das cargas permanentes e da carga móvel. Os esforços foram obtidos através do modelo da seção transversal feito no Ftool, sendo que para a carga móvel foi considerada a envoltória gerada pelo software. Estes momentos fletores foram combinados aos gerados pela carga permanente ($\gamma_g = 1,35$ e $\gamma_q = 1,50$). O dimensionamento foi feito através das planilhas eletrônicas desenvolvidas ao longo do estudo. A laje projetada atende a todas longarinas, já que todos projetos apresentam mesmo vão entre longarinas, a armadura principal foi distribuída transversalmente, e a armadura de distribuição está ao longo do vão.

Tabela 9 – Armadura principal e de distribuição da laje por metro

Arm.	Msd (kNm)	Armadura principal					Armadura de distribuição			
		As (cm ² /m)	As min (cm ² /m)	Espaçamento máx. (cm)	Quant.	Ø (mm)	As (cm ² /m)	Espaçamento min. (cm)	Quant.	Ø (mm)
Positiva	164,23	21,182	3,75	20	7	20	4,2364	33	3	16
Negativa	96,9	11,864	3,75	20	6	16	2,3728	33	3	10

Para a comparação entre os pesos das estruturas, foi utilizado o levantamento de cargas permanentes, feito ao final deste estudo que representam de fato qual é o peso total de cada ponte.

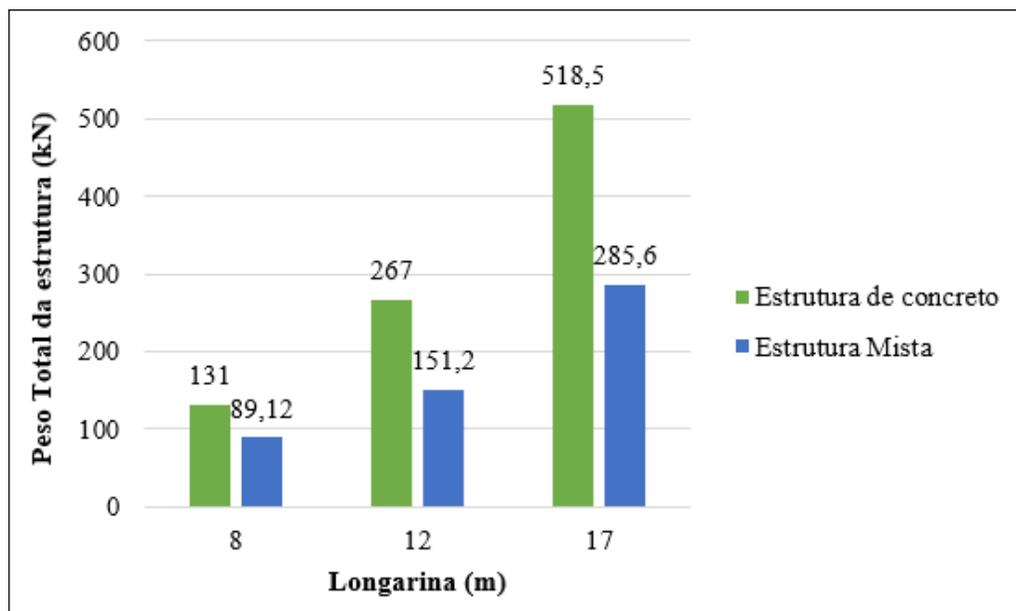
Os custos referentes ao concreto e vergalhões foram obtidos através da tabela do SINAPI desonerada, do mês de setembro de 2019, para o Rio Grande do Sul, disponibilizada mensalmente pelo site da CAIXA e de grande credibilidade e precisão para a obtenção destes dados. Para os perfis metálicos como não foram encontrados na tabela do SINAPI, optou-se pelo orçamento em três empresas do ramo. Ao final, só houve o retorno por parte de uma, sendo assim, este foi o valor adotado. Em função da quantidade de aço orçada

ser relativamente pequena e da falta de maiores dados para a comparação não se pode ter um custo mais preciso como ocorreu com o concreto.

Resultados e discussão

O peso total encontrado para cada estrutura está representado na Figura 4, e, como esperado, as pontes mistas de aço-concreto, apresentam um peso total da estrutura inferior as de concreto armado. As pontes mistas apresentaram uma redução de peso de até 45% se comparadas as de concreto armado para o vão de 17m, já para os vãos de 12 m e 8 m apresentou uma redução de 43% e 32%, respectivamente.

Figura 4 – Peso total da estrutura conforme material e vão



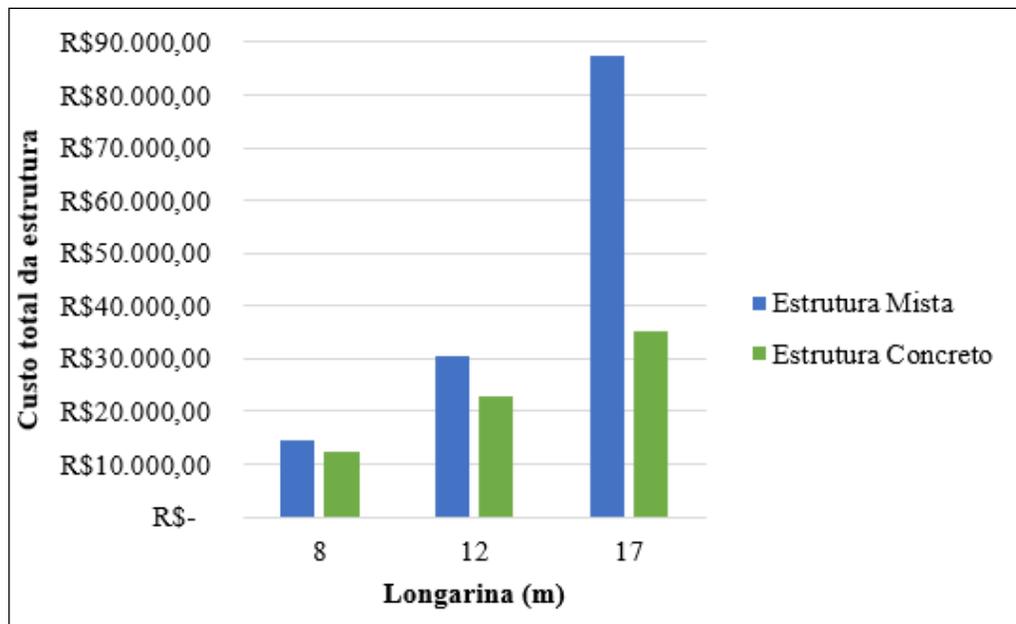
A Tabela 10 apresenta o custo para cada elemento da estrutura e o valor total, sendo este ilustrado no gráfico da Figura 5.

Tabela 10 – Custo das estruturas separado por elemento e total

Vão	Laje	Viga	Guarda roda	Total
Viga Concreto 8m	R\$ 7,144.64	R\$ 4,818.43	R\$ 573.87	R\$ 12,536.95
Viga Aço 8m	R\$ 7,144.64	R\$ 6,672.14	R\$ 573.87	R\$ 14,390.66
Viga Concreto 12m	R\$ 10,716.96	R\$ 11,197.69	R\$ 860.81	R\$ 22,775.46
Viga Aço 12m	R\$ 10,716.96	R\$ 18,917.98	R\$ 860.81	R\$ 30,495.75
Viga Concreto 17m	R\$ 15,182.36	R\$ 18,804.70	R\$ 1,219.48	R\$ 35,206.54
Viga Aço 17m	R\$ 15,182.36	R\$ 71,142.44	R\$ 1,219.48	R\$ 87,544.29

O custo total das estruturas, considerando apenas os materiais demonstrou que o concreto armado seria o mais acessível economicamente, principalmente para o vão de 17m, em que a estrutura de concreto armado apresentou um custo 60% menor. Já para os vãos de 12m e 8m, a diferença não foi tão significativa gerando uma diferença de 25% e 13%, respectivamente.

Figura 5 – Custo total da estrutura conforme material e vão



No gráfico fica evidente a vantagem da construção de pontes de 17m em concreto armado. Contudo para os vãos de 8m e 12m, em que os perfis utilizados foram do tipo laminados, o gráfico evidencia que há uma certa aproximação dos valores, indicando que seriam necessários mais estudos para elencar de fato qual sistema estrutural é mais viável economicamente, levando em conta outros fatores, como, mão de obra e custo com fundações, por exemplo.

Conclusão

Tendo como objetivo comparar o custo de materiais e peso de pontes de pequeno vão em aço-concreto e concreto armado, foi feito um levantamento de possíveis vãos para cidade de Arroio do Meio/RS, chegando assim aos vãos de 8, 12 e 17m de forma a criar projetos padrões que atendessem a necessidades dessa população.

O presente estudo apresentou, em relação ao peso total das estruturas, que as pontes mistas de aço-concreto apresentam um peso total menor significativo se comparado ao concreto armado, tal parâmetro se mostra interessante pois é fundamental para o dimensionamento das fundações.

Já o custo dos materiais para as estruturas apontou que as estruturas em concreto armado são economicamente mais viáveis. Contudo, levando em conta que nesse estudo não foram considerados custos referentes a mão de obra, fundações e, ainda, que o levantamento de custos para vigas metálicas foi para uma pequena quantidade, não se pode afirmar que realmente a estrutura de concreto armado apresenta o menor custo final da obra, para os vãos de 8m e 12m, onde os perfis utilizados são do tipo laminados. Para tal afirmação seriam necessários estudos mais específicos levando em conta mais fatores. Já para o vão de 17m compreendido neste estudo, a construção em concreto armado se demonstra mais acessível financeiramente.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

MARCHETTI, O. Pontes de Concreto Armado. São Paulo: Blucher, 2008.

MARTINELLI, D. A. O. Solicitações nas pontes de concreto. São Carlos, EESC-USP, 1971.

OLIVEIRA, G.G. Importância da manutenção preventiva nas pontes e viadutos do Rio Grande do Sul: caracterização da tipologia das estruturas e levantamento de manifestação patológicas. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

PFEIL, W. Pontes em concreto armado: elementos de projetos, solicitações, dimensionamento. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

PINHO, F. O.; BELLEI, I. H. Pontes e viadutos em vigas mistas. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.