

14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

ESTUDO DE CASOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE FUNDAÇÕES DE PONTES

OMITIDO

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.05.04-8 Rodovias; Projeto e Construção

RESUMO: As pontes, como toda obra de engenharia, requerem um orçamento estimativo para fornecer subsídios para as tomadas de decisão no âmbito da escolha dos materiais, processos construtivos e modelo estrutural adotado. No Brasil, existe atualmente pelo menos um balizador público que fornece um simulador de custos médios gerenciais para uma obra de ponte, disponível em *website*, de autoria da FGV, IBRE e DNIT. O simulador necessita que o usuário escolha, entre outros, a região da obra, seu porte, seu tipo e sua área construída, exibindo como resultado o custo estimativo total da obra. Os tipos disponíveis são: ponte ou viaduto em longarinas de concreto armado; em balanços sucessivos; e passagem inferior em concreto armado. Não há estimativas para outros tipos de pontes, como estaiada, pênsil, em estrutura metálica. Não há divisão dos custos estimativos da estrutura entre suas partes, como encontros, pilares, fundações e superestrutura. Neste trabalho, foi feito um estudo sobre as fundações de cinco pontes, na forma de seu pré-dimensionamento e custo estimativo, buscando, no futuro, criar um simulador mais abrangente.

PALAVRAS-CHAVE: fundações de pontes; pontes e viadutos; pré-dimensionamento; e estimativas de custos.

CASES STUDY FOR PRE-DIMENSIONING AND COST ESTIMATION OF BRIDGE FOUNDATIONS

ABSTRACT: Bridges, like all engineering works, require an estimated budget to provide subsidies for decision-making in the context of the choice of materials, construction processes and structural model adopted. In Brazil, there is currently at least one public beacon that provides a simulator of average managerial costs for a bridge work, available on a website, authored by FGV, IBRE and DNIT. The simulator requires the user to choose, among others, the region of the work, its size, its type and its built area displaying, as a result the total estimated cost of the work. The available types are: bridge or viaduct in reinforced concrete stringers; in successive balance sheets; and underpass with reinforced concrete. There are no estimates for other types of bridges, such as cable-stay, pensile, in metal structure. There is no division of the estimated costs of the structure among its parts, such as endings, pillars, foundations and superstructure. In this paper, a study was made on the foundations of five bridges, in the form of their pre-dimensioning and estimated cost, seeking, in the future, to create a more comprehensive simulator.

KEYWORDS: bridge foundations; bridges and viaducts; pre-sizing; and cost estimation.

INTRODUÇÃO

A concepção de uma ponte é uma tarefa complexa que demanda análise minuciosa de diversas variáveis. De acordo com Marchetti (2008), os tipos de superestrutura de pontes podem ser classificados segundo diferentes critérios, como sistema estrutural, material, estaticidade e método construtivo. O processo de escolha do tipo estrutural, conforme DNER (1996), requer uma avaliação técnica e econômica criteriosa das variáveis envolvidas no projeto, visando a encontrar a solução mais adequada em termos de interação solo-estrutura e vantagens técnicas e econômicas. Quanto a avaliação econômica, segundo DNIT (2020), o CUSTO MÉDIO GERENCIAL (custo estimativo total da obra) estabelece referências de custos para tomadas de decisão, na fase de planejamento, e que normalmente precedem os projetos e os orçamentos dos empreendimentos de infraestrutura de transportes.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo o estudo em projetos e obras realizados, buscando valores práticos de estimativa de custos e pré-dimensionamento de fundações de pontes, correlacionados a tipos de superestrutura de pontes para que tais referências sejam utilizadas em um futuro *software*.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho constitui-se do estudo de cinco casos de pontes, em termos da superestrutura e fundação, onde buscou-se relações para seu pré-dimensionamento, tais como largura, altura e comprimento. Também foi feita a busca por estimativas de custo total para cada tipo de fundação descrito, em bibliografias e/ou em projetos e obras realizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se a seguir os dados das cinco pontes estudadas.

De acordo com Celere (2021), a ponte Rio-Niterói, que liga a cidade do Rio de Janeiro à Niterói, é a maior ponte sobre águas da América Latina e tem cerca de 13 km de comprimento. É reconhecida como a maior ponte com viga reta contínua no mundo, com seu vão principal de 300 m de comprimento feito de viga metálica soldada e vãos laterais de 200 m. Destaca-se como o principal desafio de construção da ponte a concretagem submersa dos tubulões, possuindo 1,8 m de diâmetro. De acordo com Silva (2021), dos 1138 tubulões, 462 foram do tipo a ar comprimido, 199 do tipo misto tubulão-estaca e 477 do tipo Bade-Wirth.

O segundo projeto disponibilizado em *website* pela Prefeitura Municipal de Cumarú do Norte (2020), refere-se à obra de uma ponte em vigas de concreto armado sobre o rio Trairão, localizada na vicinal do Trairão, trecho PA-287/BR-235 no município de Cumarú do Norte, PA. A estrutura possui 120 m de comprimento e 8,60 m de largura, além de contar com 10 vãos de aproximadamente 12 m. No contexto da infraestrutura relativa ao tabuleiro, constata-se a utilização de 110 estacas do tipo raiz. As estacas, que são caracterizadas por um diâmetro de 0,40 m e um comprimento médio de 25 m, encontram-se distribuídas em grupos de 10 estacas por bloco nos encontros (2 blocos) e 10 estacas por bloco intermediário (9 blocos).

A terceira obra corresponde a uma ponte elaborada em concreto armado e vigas metálicas, e encontra-se situada no município de Abadia dos Dourados, no estado de Minas Gerais. As informações pertinentes a esse projeto são acessíveis por meio de documentos divulgados pela Prefeitura Municipal de Abadia dos Dourados (2020). A extensão da ponte abrange 18 m, com uma largura de 4,20 m. A fundação utilizada na margem esquerda desta obra resume-se em estacas cravadas de concreto armado, pré-moldadas de seção quadrada (0,17 x 0,17 m). O relatório de sondagem feito no local determinou as estacas com comprimento de 9,45 m. Já para a margem direita, foram executados furos em rocha sã para que fosse possível realizar a ancoragem do bloco de fundação.

O quarto projeto, em anexo pela Prefeitura de Sobral (2020) trás dados referentes a uma obra de uma ponte estaiada no município de Sobral, CE, reponsável pela ligação entre as margens esquerda e direita do rio Acaraú. O projeto consta de uma estrutura com 112 m de extensão e 3,60 m de largura

com tabuleiro em concreto armado apoiado em longarinas metálicas. Por meio da planta de locação das fundações, é possível identificar 3 blocos, sendo denominados como B1, B2 e B3, cada um respectivamente com 22, 14 e 8 estacas. Em relação ao comprimento dos vãos, o primeiro se estende desde a margem esquerda até o mastro central, abrangendo uma extensão aproximada de 82 m. O segundo vão, por sua vez, estende-se do mastro central até a margem direita, com uma dimensão aproximada de 30 m.

Por último, a SINFRA (2023) do estado do Mato Grosso, apresenta um projeto para a implantação de uma ponte sobre o córrego Jaguaribe, na rodovia MT-020, município de Paranatinga. A estrutura feita em concreto protendido possui comprimento total de 40 m e largura de 8,80 m e, no que diz respeito à sua fundação, a ponte demanda a implantação de estacas raiz com um diâmetro de 0,40 m cravadas em solo e 0,31 m cravadas em rocha. Dessa maneira, cada pilar será ancorado por um bloco contendo quatro estacas nos encontros ou seis estacas no ponto de apoio central. Outras informações como comprimento da fundação e vão entre pilares foram retiradas por meio da análise de plantas e cortes também fornecidos por SINFRA (2023).

Os dados das 5 obras apresentadas estão resumidos e ampliados na tabela 1.

TABELA 1. Dimensões de fundações de pontes.

Obra	Tipo de Superestrutura	Vão entre Pilares (m)	Largura da ponte (m)	Tipo de Fundação	Comprimento da Fundação (m)	Seção da Fundação (m)
1	Em vigas metálicas	300 e 200	26,60	Tubulão	25 a 30	1,8 (circular)
2	Em vigas de concreto armado	12	8,60	Estaca raiz	25	0,40 (circular)
3 (margem esquerda)	Em vigas metálicas	18	4,20	Estaca cravada em concreto armado	9,45	0,17 x 0,17 (quadrada)
3 (margem direita)	Em vigas metálicas	18	4,20	Ancoragem de bloco em rocha sã	--	--
4	Estaiada	82 e 30	3,60	Estaca raiz	10 e 15	0,41 (circular)
5	Em vigas de concreto protendido	19	8,80	Estaca raiz	5 a 12	0,40 e 0,31 (circular)

Fonte: Indicadas anteriormente para cada obra.

Os dados que concernem ao custo das fundações de quatro das cinco pontes estudadas foram obtidos por meio de planilhas orçamentárias disponibilizadas pelas respectivas prefeituras do município de cada obra e também pela SINFRA, e estão expostas nas Figuras 1, 2, 3 e 4. Por meio destas informações, foi possível calcular os índices de estimativa de custo por metro quadrado de construção, sendo esses índices expostos na Tabela 2.

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QTD	PREÇO UNIT	PREÇO TOTAL
2.3	INFRAESTRUTURA DO TABULEIRO				1.708.425,53
2.3.1	Estaca raiz perfurada no solo com D = 40 cm - confecção	m	2.750,00	441,01	1.212.777,50
2.3.2	Formas para concreto em chapa de madeira compensada resinada e=15mm (REAP 1x) - Blocos do tabuleiro	M2	340,78	85,66	29.191,21
2.3.3	Concreto c/ seixo FCK=35 MPA (incl. preparo e lançamento)	m3	122,98	839,76	103.273,68
2.3.4	Armação p/ concreto - Blocos do tabuleiro	KG	22.136,40	13,46	297.955,94
2.3.5	Aparelho apoio neoprene fretado	dm3	480,00	135,89	65.227,20

FIGURA 1. Custos referentes à infraestrutura do tabuleiro da ponte rio Trairão. Fonte: Prefeitura Municipal de Cumarú do Norte (2020).

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DE CUSTOS						
PREFEITURA: ABADIA DOS DOURADOS · ISS=3%						
OBRA: CONSTRUÇÃO DE PONTE EM CONCRETO ARMADO E VIGAS METÁLICAS - VÃO 18,00 m - LARGURA 4,20m.						
LOCAL: RIO PRETO - ACESSO A COMUNIDADE RURAL RIO PRETO E PALMITO					FORMA DE EXECUÇÃO:	
PRAZO DE EXECUÇÃO: 03 MESES					() DIRETA	(X) INDIRETA
ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO S/ LDI	PREÇO TOTAL	
5	FUNDAÇÃO (INFRAESTRUTURA)					
5.1	MOBILIZ./DESMOB. DE EQUIPAMENTO PARA ESTACA CRAVADA ATÉ 100km	unid.	1,00	9.000,00	11.613,60	
5.2	ESTACA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO ARMADO CRAVADA 17X17CM/35T	m	66,15	93,92	8.016,72	
5.3	COMPRESSOR DE AR REBOCAVEL, DESCARGA LIVRE EFETIVA 180PCM	CHP	100,00	35,58	4.591,00	
5.4	MARTELETE OU ROMPEDOR PNEUMÁTICO MANUAL 28KG	CHP	100,00	17,71	2.285,00	
5.5	ADESIVO ESTRUTURAL A BASE DE RESINA EPÓXI	kg	8,78	37,80	428,29	
5.6	CORTE, DOBRA E ARMAÇÃO DE AÇO CA-50 D>12,50mm (20mm - peso 2,466kg/m)	kg	328,47	6,86	2.906,96	
5.7	ENSECADEIRA DE ESTACAS PRANCHA COM ESGOTAMENTO	m ²	52,00	229,66	15.410,20	
5.8	FORMA E DESFORMA DE TÁBUA E SARRAFO, REAPROVEITAMENTO(3X) (FUNDAÇÃO)	m ²	41,60	39,02	2.094,56	
5.9	CORTE, DOBRA E ARMAÇÃO DE AÇO CA-50 D<=12,50mm	kg	2.598,90	7,44	24.949,44	
5.10	FORNECIMENTO DE CONCRETO ESTRUTURAL, PREPARADO EM OBRA COM BETONEIRA, COM FCK 25 MPA, INCLUSIVE LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO (FUNDAÇÃO)	m ³	32,25	392,84	16.348,17	
TOTAL DO ITEM 05					88.643,94	

FIGURA 2. Custos referentes à infraestrutura da ponte rio Preto. Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Abadia dos Dourados (2020).

DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UND	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO S/ BDI	TOTAL (R\$)
FUNDAÇÕES				911.284,92
ESCAVAÇÃO MECÂNICA CAMPO ABERTO EM SOLO EXCETO ROCHA ATÉ 2,00M DE PROFUNDIDADE	M ³	25,47	2,02	62,15
LASTRO DE CONCRETO MAGRO, APLICADO EM BLOCOS DE COROAMENTO OU SAPATAS, ESPESSURA DE 5CM.	M ²	83,12	22,12	2.219,30
ESTACA RAIZ DIÂMETRO 410mm ATÉ 125 Tf	M	460,00	409,81	227.534,40
LANÇAMENTO COM USO DE BOMBA, ADENSAMENTO E ACABAMENTO DE CONCRETO EM ESTRUTURAS.	M ³	421,89	26,64	13.563,76
CONCRETO PRÉ-MISTURADO FCK 30 Mpa	M ³	421,89	283,56	144.396,07
SISTEMA DE PROTENSÃO COM BARRA DE 36MMX8,00M EM BLOCO DE CONCRETO (FORNECIMENTO E MONTAGEM), CONFORME PROJETO	UNID	12,00	1.973,66	28.586,52
FORMA PARA CONCRETO "IN LOCO", INCLUSIVE DESFORMA	M ²	370,43	116,41	52.049,12
ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10MM - MONTAGEM	KG	649,00	8,72	6.833,97
ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5MM - MONTAGEM	KG	2184,24	7,26	19.133,90
ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16MM - MONTAGEM	KG	1022,00	6,69	8.247,50
ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20MM - MONTAGEM	KG	7845,64	7,27	68.806,20
ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 25MM - MONTAGEM	KG	14080,02	6,98	118.553,70
TRANSPORTE COMERCIAL COM CAMINHÃO CARROCERIA 9 T, RODOVIA PAVIMENTADA	T X KM	795,76	0,54	517,20
REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO EM ÁREAS	PT X DIA	10500,00	15,90	201.495,00
CONTROLE TECNOLÓGICO DE CONCRETO C/ ROMPIMENTO DE CORPO-DE-PROVA À COMPRESSÃO	UNID	157,00	101,77	19.285,80

FIGURA 3. Custos referentes à infraestrutura da ponte rio Acaraú. Fonte: Adaptado de Prefeitura de Sobral (2020).

DEMONSTRATIVOS DE CUSTOS DE SERVIÇOS				
ITEM	DISCRIMINAÇÃO		R\$	%
ORÇAMENTO				
1	ADMINISTRAÇÃO LOCAL		R\$ 438.291,98	9,93%
2	CANTEIRO DE OBRAS		R\$ 491.341,26	11,13%
3	MOBILIZAÇÃO		R\$ 88.973,51	2,02%
4	DESMOBILIZAÇÃO		R\$ 88.973,51	2,02%
5	INFRAESTRUTURA		R\$ 1.745.421,46	39,54%
6	MESOESTRUTURA		R\$ 257.076,90	5,82%
7	SUPERESTRUTURA		R\$ 1.269.286,74	28,75%
8	SERVIÇOS DIVERSOS		R\$ 35.435,73	0,80%
TOTAL ORÇAMENTO			R\$ 4.414.801,09	100,00%

FIGURA 4. Custos referentes à obra da ponte do córrego Jaguaribe. Fonte: SINFRA (2023).

De maneira complementar, na tabela 2 também foi mostrado o valor total de quatro das cinco obras.

TABELA 2. Investigação de índices de custo estimativo de infraestrutura de pontes.

Obra	Tipo de Superestrutura	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Valor total da obra (R\$)	Valor da infraestrutura (R\$)	Fundação (R\$/m ²)
2	Em vigas de concreto armado	120	8,60	1.032	4.444.536,89	1.708.425,53	1.655,45
3	Em vigas metálicas	18	4,20	75,6	270.192,80	88.643,94	1.172,54
4	Estaiada	112	3,60	403,2	6.308.949,10	911.284,92	2.260,13
5	Em vigas de concreto protendido	40	8,80	352	4.414.801,09	1.745.421,46	4.958,58

Fonte: Indicadas anteriormente para cada obra.

No caso das pontes sobre o rio Trairão e rio Preto, os gastos com infraestrutura alcançaram respectivamente 38,4% e 32,8% do valor total da obra. Em contrapartida, para a ponte sobre o córrego Jaguaribe, os custos da fundação corresponderam a 39,54% do investimento total. Por fim, na ponte sobre o rio Acaraú, essa proporção foi significativamente menor, totalizando 14,4%.

CONCLUSÕES

As dimensões das fundações das pontes analisadas (tabela 1), permitem a identificação preliminar de sua ordem de grandeza, não possibilitando conclusões sobre pré-dimensionamentos. Para isto, novos estudos de caso devem ser feitos. A análise realizada aponta para diferenças consideráveis no que condiz aos custos relativos das fundações entre projetos de pontes distintos, ressaltando a individualidade de cada obra. Desta forma, os dados das tabelas 1 e 2 serão também utilizados para o desenvolvimento de um futuro *software* onde o usuário teria autonomia de escolher o tipo de superestrutura, a área da ponte e o tipo de fundação, e obter como resultado não só o valor total estimado para a obra, mas também o custo estimativo do seu tipo específico de infraestrutura bem como seu pré-dimensionamento. Ressalta-se que outros estudos de casos devem ser feitos para cumprir tal objetivo.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

A.T.L atuou na pesquisa, curadoria e análise dos dados, além de conduzir a redação do trabalho.

G.C.N contribuiu com a supervisão e revisão do trabalho, além de aprovar a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador OMITIDO ao IFSP e também ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

REFERÊNCIAS

CELERE. **Ponte Rio-Niterói: história, desafios e curiosidades da construção.** 2021. Disponível em: <https://celere-ce.com.br/grandes-obras/ponte-rio-niteroi-construcao/amp/>. Acesso em: 25 abr. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT) (BRASIL). **Custo Médio Gerencial.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e?pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/custo-medio-gerencial>. Acesso em: 17 ago. 2022.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Projeto Obras-de-artes Especiais.** Divisão de Capacitação Tecnológica, Rio de Janeiro, 1996.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado.** São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção.** Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2021.

PREFEITURA DE SOBRAL (CE). Edital de licitação nº CP005/20-SEINF. [Contratação de empresa especializada para construção de ponte estaiada sobre o Rio Acaraú, no Município de Sobral/CE]. **Anexos,** Sobral, 2020. Disponível em: <http://transparencia.sobral.ce.gov.br/licitacao/detail/numero:CP005/20-SEINF>. Acesso em: 6 jul. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ABADIA DOS DOURADOS (Minas Gerais). **Editais e Contratos:** Arquivos DIGITAIS TP 001-2020 - Arquivo Único. 2020. Disponível em: <https://abadiadosdourados.mg.gov.br/novo/index.php/licita%C3%A7%C3%A3o/editais-e-contratos.html>. Acesso em: 05 jul. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CUMARÚ DO NORTE (Pará). **CONCORRÊNCIA PÚBLICA Nº 003/2020.** 2020. Disponível em: <https://pmcn.pa.gov.br/concorrenca-publica-n-003-2020/>. Acesso em: 06 jul. 2023.

SILVA, Cristiano Oliveira da. **História e outras curiosidades técnicas sobre a Ponte Rio-Niterói, marco da engenharia na construção.** 2021. Engenharia 360. Disponível em: <https://engenharia360.com/engenharia-da-construcao-ponte-rio-niteroi/>. Acesso em: 07 maio 2023.

SINFRA (Mato Grosso). Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística. **Concorrência Pública Eletrônica nº 16/2023 (Comissão Permanente de Licitação - CPL).** 2023. Disponível em: <https://www.sinfra.mt.gov.br/-/22446975-31>. Acesso em: 18 ago. 2023.