



**Ernane Rosa Martins  
(Organizador)**

# **Princípios e Aplicações da Computação no Brasil 3**

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

Ernane Rosa Martins  
(Organizador)

# Princípios e Aplicações da Computação no Brasil 3

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Lorena Prestes  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
P957	<p>Princípios e aplicações da computação no Brasil 3 [recurso eletrônico] / Organizador Ernane Rosa Martins. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Princípios e aplicações da computação no Brasil; v. 3)</p> <p>Formato: PDF Requisito de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-702-4 DOI 10.22533/at.ed.024191510</p> <p>1. Computação. 2. Informática. 3. Programação de computador. I. Martins, Ernane Rosa. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 004</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

O volume 3 da referida obra “Princípios e Aplicações da Computação no Brasil” apresenta 15 novos capítulos, que abordam assuntos importantes sobre o panorama atual da computação no Brasil, tais como: desenvolvimento de aplicativos móveis, VoIP, modelagem computacional, simulação, recurso educacional aberto, projeto de banco de dados, mobile learning, robótica, avaliação automática de código-fonte e agrupamento difuso multivariado.

Deste modo, esta obra reúne debates e análises acerca de questões relevantes, tais como: desenvolvimento de uma aplicação móvel para realização de recargas, consultas e simulação de saldo na carteira de transporte público, usando o método Design Constructal para melhorar a configuração geométrica de um novo layout para TCSA com quatro dutos; análise dos benefícios da tecnologia VoIP como alternativa de baixo custo a um serviço de telefonia institucional gerenciado por minicomputadores Raspberry e adaptadores ATA; análise do comportamento mecânico de placas finas de materiais compósitos laminados reforçados por fibras submetidas a esforços de flexão, comparando-as com o de uma placa de aço, usando modelagem computacional utilizando o software Abaqus 2017 Student Version®; apresentação de uma arquitetura de sistemas de simulação para área de convergência; desenvolvimento de uma abordagem para auxiliar o docente na criação de atividades com REA's que quando executados pelos alunos gerem o registro de suas experiências; análise da gestão de recursos humanos na administração pública por meio de um projeto de banco de dados; análise dos recursos disponíveis no WhatsApp Messenger, que oferecem possibilidades de uso no ambiente escolar como recurso pedagógico que pode auxiliar o processo de ensino e aprendizagem; simulação de um agente robótico capaz de realizar busca e exploração visual num ambiente virtual; e o desenvolvimento de uma ferramenta de análise e avaliação automática de código-fonte como alternativa para a otimização do processo de ensino-aprendizagem de programação.

Nesse sentido, esta obra apresenta enorme potencial para contribuir com análises e discussões aprofundadas sobre assuntos relevantes da área da computação, podendo servir de referência para novas pesquisas e estudos nesta área. Agradecemos em especial aos autores dos capítulos apresentados, e desejamos aos leitores, inúmeras reflexões proveitosas sobre as temáticas abordadas nesta obra.

Ernane Rosa Martins

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
WALLET BUS - TECNOLOGIA E TRANSPORTE PÚBLICO	
Carlos Adriano Carneiro Pestana Juan Castro Ribeiro Leonardo Carlos Balbino	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0241915101</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
UM PROJETO CONSTRUCTAL DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR COMPOSTOS POR QUATRO DUTOS	
Ruth da Silva Brum Liércio André Isoldi Jairo Valões de Alencar Ramalho Luiz Alberto Oliveira Rocha Michel Kepes Rodrigues Elizaldo Domingues dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0241915102</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>30</b>
TELEFONIA DIGITAL DE BAIXO CUSTO COM VOIP E RASPBERRY: UM ESTUDO DE CASO NO IFPI CAMPUS ANGICAL DO PIAUÍ	
Francisco Alysson da Silva Sousa Matheus Lopes Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0241915103</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA ANÁLISE DE DEFLEXÕES E TENSÕES EM PLACAS FINAS DE AÇO E DE MATERIAI COMPÓSITOS SUBMETIDAS A ESFORÇOS DE FLEXÃO	
João Vítor de Azambuja Carvalho Daniel Helbig	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0241915104</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>49</b>
SIMULAÇÃO DE ÁREA DE CONVERGÊNCIA NUVEM-HPC	
Alessandro Kraemer	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0241915105</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>63</b>
RECREATE: RECOMENDAÇÃO DE REA'S POR MEIO DA DESCOBERTA DO ESTILO DE APRENDIZAGEM PELA EXPERIÊNCIA DO ESTUDANTE E EXPECTATIVA DO PROFESSOR	
Marco Antonio Colombo Da Silva Marilde Terezinha Prado Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0241915106</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>76</b>
PROJETO DE BANCO DE DADOS COM FOCO NA ALOCAÇÃO DEPARTAMENTAL DE SERVIDORES PÚBLICOS E SUAS ATRIBUIÇÕES FUNCIONAIS	
José Nazareno Alves Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0241915107</b>	

<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>87</b>
M-LEARNING ATRAVÉS DO WHATSAPP: UMA ANÁLISE DE RECURSOS	
Nilson Alves dos Santos	
Mayara Kaynne Fragoso Cabral	
Beatriz Francisco Coelho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0241915108</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>98</b>
EXPLORAÇÃO E BUSCA VISUAL ROBÓTICA EM AMBIENTE SIMULADO	
Felipe Duque Belfort de Oliveira	
Hansenclever de França Bassani	
Aluizio Fausto Ribeiro Araujo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0241915109</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>112</b>
ESTUDO SOBRE A ESPECTROSCOPIA NIR PARA DETECÇÃO DONÍVEL ALCOÓLICO NO SANGUE	
Luis Gustavo Longo da Silva	
Cláudio Luis D'Elia Machado	
Fabiano Sandrini Moraes	
Rafael Galli	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02419151010</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>125</b>
ESTUDO COMPUTACIONAL DO COEFICIENTE DE IMPACTO VERTICAL EM LONGARINAS DE PONTES RODOVIÁRIAS BRASILEIRAS	
Vinícius Heidtmann Avila	
Mauro de Vasconcellos Real	
Márcio Wrague Moura	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02419151011</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>140</b>
DESENVOLVIMENTO DE UMA ABORDAGEM DE CLASSIFICAÇÃO DE TRAÇOS DE PERSONALIDADE DO BIG-FIVE VIA ANÁLISE DE TEXTOS EM PORTUGUÊS DO BRASIL	
Angelo Travizan Neto	
Taís Borges Ferreira	
Márcia Aparecida Fernandes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02419151012</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>148</b>
CODETEACHER: UMA FERRAMENTA PARA CORREÇÃO AUTOMÁTICA DE TRABALHOS ACADÊMICOS DE PROGRAMAÇÃO EM JAVA	
Francisco Alan de Oliveira Santos	
Plácido Soares das Chagas Segundo	
Mardoqueu Sousa Telvina	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02419151013</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>158</b>
CLASSIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS POLÍTICAS EM NOTÍCIAS VIA MINERAÇÃO DE TEXTO E REDES NEURAIS SEM PESO	
Rafael Dutra Cavalcanti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.02419151014</b>	

<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>169</b>
ANÁLISE DE DADOS DE EXPRESSÃO GÊNICA POR MEIO DE MÉTODOS DE AGRUPAMENTO DIFUSO MULTIVARIADO	
Bruno Almeida Pimentel	
Marcilio Carlos Pereira de Souto	
DOI 10.22533/at.ed.02419151015	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>182</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>183</b>

## ESTUDO COMPUTACIONAL DO COEFICIENTE DE IMPACTO VERTICAL EM LONGARINAS DE PONTES RODOVIÁRIAS BRASILEIRAS

### Vinícius Heidtmann Avila

Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional  
Rio Grande – Rio Grande do Sul

### Mauro de Vasconcellos Real

Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Engenharia Rio Grande – Rio Grande do Sul

### Márcio Wrague Moura

Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Engenharia Rio Grande – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** Pontes rodoviárias no Brasil são projetadas de acordo com as normas de projeto NBR 7188 (2013) e NBR 7187 (2003), em que o modelo de carga móvel é composto por um veículo de três eixos. A configuração do modelo de carga móvel segue o padrão de uma versão mais antiga da norma, a NB-6 (1960). Apesar da atualização dos valores de carregamentos, o presente modelo de carga móvel não é apropriado para representar os efeitos atuais de trânsito nas pontes brasileiras. Os efeitos dinâmicos induzidos pela carga móvel são levados em conta através do coeficiente de impacto, aplicado no modelo de carga. Os valores estáticos do modelo de carga são obtidos pela multiplicação de seu carregamento por este coeficiente. O objetivo do trabalho é realizar uma análise dinâmica de vigas de pontes, determinar os efeitos dinâmicos, comparar

com os efeitos estáticos e medir a precisão do coeficiente de impacto. Os resultados obtidos para as vigas, demonstraram que para alguns casos, os coeficientes de impacto tiveram uma boa aproximação para transformar os esforços estáticos em dinâmicos. Porém em outros casos, tais coeficientes não apresentaram mesmo resultado. Por meio do estudo realizado foi possível identificar que os coeficientes de impacto previstos na norma podem ser aprimorados a partir de novos estudos levando em consideração as análises dinâmicas dos carregamentos das rodovias brasileiras.

**PALAVRAS-CHAVE:** pontes rodoviárias, modelos de cargas móveis, efeitos dinâmicos, coeficiente de impacto.

### COMPUTATIONAL STUDY OF THE VERTICAL IMPACT COEFFICIENT IN GIRDERS OF BRAZILIAN ROAD BRIDGES

**ABSTRACT:** Bridges in Brazil are designed according to design code NBR 7188:2013 [1] and NBR 7187:2003 [2], in which the moving load model is composed of a three-axle vehicle. The configuration of the moving load model follows the pattern of an older version of the code, the NB-6 (1960). Despite the updating of load values, the present moving load model is not appropriate to represent the current traffic effects in Brazilian bridges. The dynamic effects

induced by the moving load are taken into account by the impact coefficient, applied in the load model. The static values of the load model are obtained by multiplying its load by this coefficient. The objective of this work is to perform a dynamic analysis of bridge girders, to determine the dynamic effects, to compare with the static effects and to measure the accuracy of the impact coefficient. The results obtained for the beams, showed that for some cases, the impact coefficients had a good approximation to transform the static efforts into dynamic ones. However, in other cases, these coefficients did not show the same result. Through the study it was possible to identify that the impact coefficients provided in the code can be enhanced from new studies taking into account the dynamic analysis of loadings of Brazilian bridges.

**KEYWORDS:** *Bridges, Moving load models, Dynamic effects, Impact coefficient.*

## 1 | INTRODUÇÃO

De acordo com Marchetti (2008), denomina-se ponte a obra com a finalidade de transpor obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, tais como rios, braços de mar, vales profundos, outras vias e entre outros casos. É chamada de viaduto a ponte que tem por objetivo a transposição de vales, outras vias ou obstáculos em geral não constituídos por água.

Pontes rodoviárias no Brasil são projetadas de acordo com as normas de projeto NBR 7188 de 2013 e NBR 7187 de 2003, denominadas “Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas” e “Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimentos”, respectivamente. O modelo de carga móvel é composto de um veículo de 3 eixos mais uma carga distribuída, a ser aplicada na região fora das fronteiras do veículo e multiplicada por um fator de amplificação dinâmico, denominado coeficiente de ponderação das cargas verticais, que é função do comprimento do vão, número de faixas e material utilizado na estrutura.

No estudo do desempenho estrutural de pontes rodoviárias não são respeitados os efeitos dinâmicos, tais como: mobilidade da carga, oscilação dos veículos ao atingir a ponte, impacto destes sobre o tabuleiro devido às irregularidades da pista, variação de velocidade das viaturas dentre outros (LEITÃO, 2009).

Para Ahi (2009), em estudos da capacidade de carga e análise dinâmica, tem-se tornado essencial a modelagem matemática computacional, representando a estrutura o mais fielmente possível, de forma a se conhecer precisamente as tensões e deformações presentes nos elementos estruturais.

Este estudo pretende realizar a comparação entre os efeitos dinâmicos e os efeitos estáticos provocados pelo modelo de carga móvel, em uma típica estrutura rodoviária. Para isto, o estudo busca elaborar modelos numéricos e analíticos para simular a passagem de veículos em alguns tipos de pontes.

Após a realização dos estudos, os valores representativos que forem obtidos

dos efeitos dinâmicos devidos à carga móvel serão comparados com os efeitos dinâmicos recomendados pela NBR 7188 (ABNT, 2013), quando aplicados aos mesmos sistemas de ponte, para assim avaliar se a norma está considerando adequadamente os efeitos de carga dinâmica.

## 2 | METODOLOGIA

A ponte utilizada foi projetada com vãos de 10 m, 20 m, 30 m e 40 m, com 11,50 m de largura, espessura da laje de 20 cm e com quatro vigas longarinas, espaçadas igualmente a cada 310 cm, como é mostrado o exemplo para ponte de 40 m na Fig. 1.

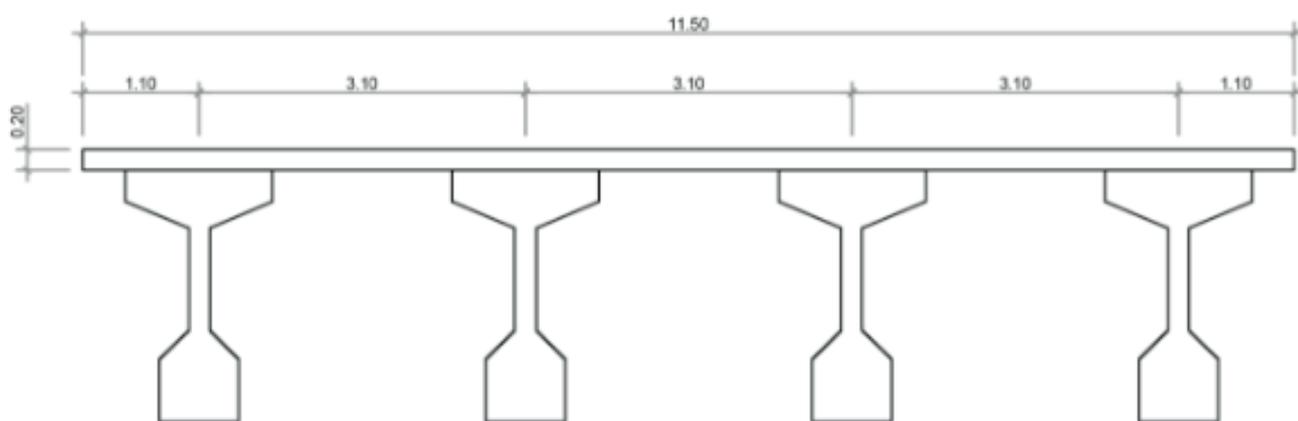


Figura 1 - Seção transversal da ponte com 40 m de vão. Cotas em m.

A ponte foi considerada com a laje simplesmente apoiada nas vigas, elementos não estruturais foram desconsiderados e para cada vão da estrutura, se adotou uma seção diferente da longarina, como ilustra a Fig. 2.

O modelo numérico-computacional foi implementado por meio da ferramenta computacional ANSYS 19.1 Academic (2019), aonde se analisou a passagem do veículo sobre a estrutura. Por meio do software, se utilizou técnicas usuais de discretização via método dos elementos finitos. A ponte de concreto foi confeccionada por meio da analogia de grelhas, na qual tanto para laje como longarinas se empregou elementos de viga, do tipo BEAM188, que possuem dois nós e três graus de liberdade por nó. Cada elemento finito que constitui a malha da estrutura possui um comprimento de 0,25 m, como é demonstrado para a ponte de 40 m na Fig. 3.

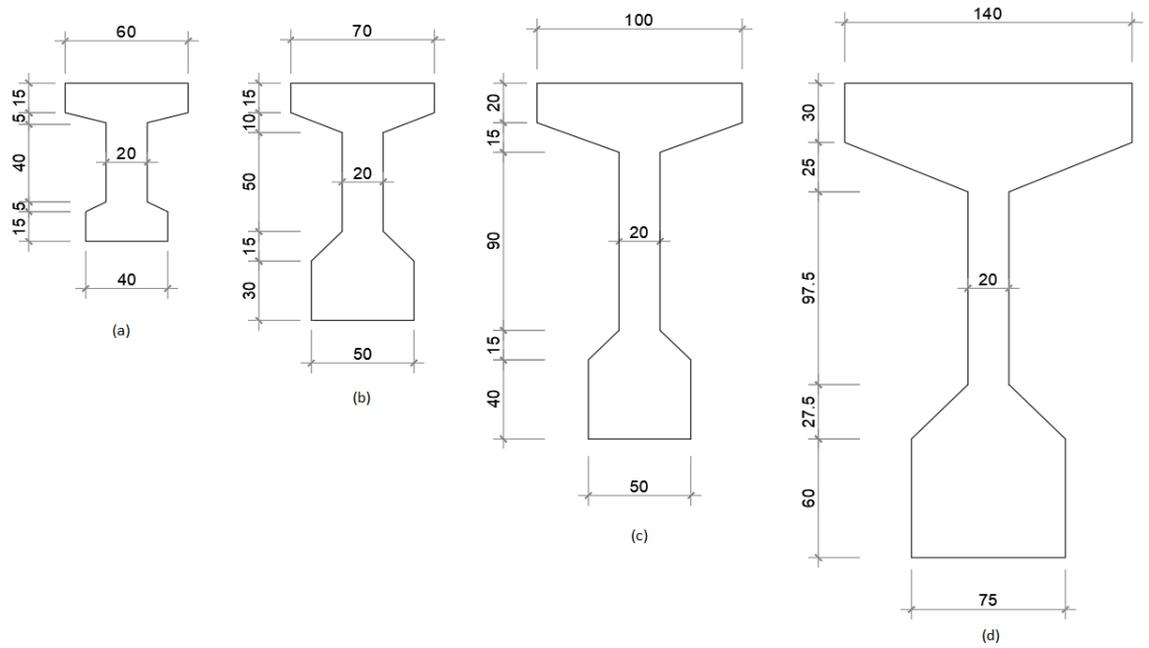


Figura 2 - Seção transversal das vigas longarinas das pontes. Cotas em cm.

(a) vão de 10m, (b) vão de 20m, (c) vão de 30m e (d) vão de 40 m.

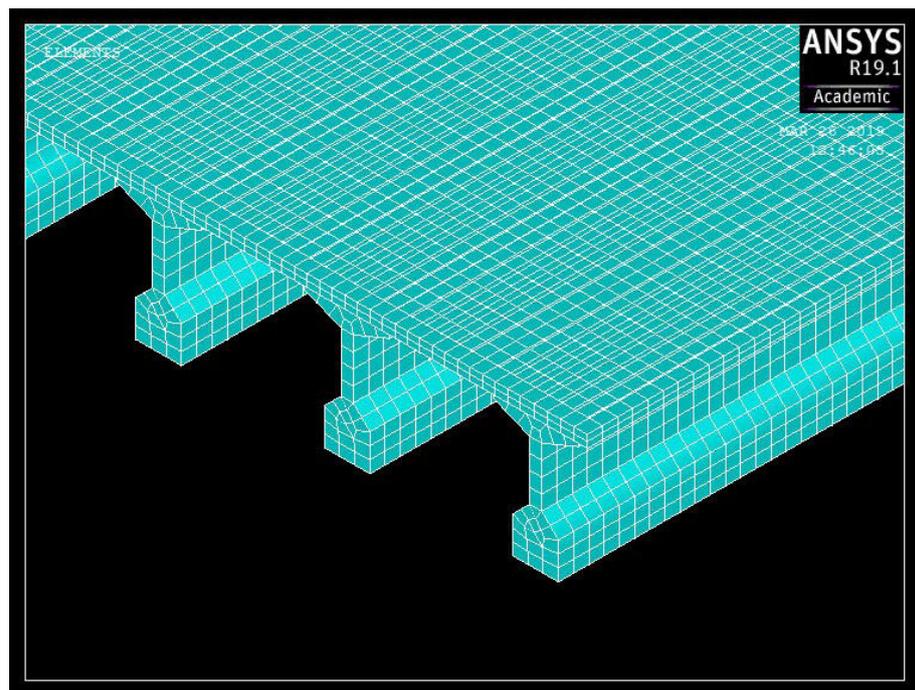


Figura 3 - Modelo em elementos finitos, perspectiva completa.

A Tab. 1 apresenta os valores das principais propriedades do modelo numérico da ponte.

Propriedades	Valor Adotado	Unidade
Massa Específica do Concreto	2500	kg/m <sup>3</sup>
Resistência a Compressão do Concreto	30	MPa
Módulo de Elasticidade do Concreto	26838	MPa
Coefficiente de Poisson do Concreto	0,2	

Tabela 1 - Propriedades do material das pontes.

Para a carga móvel, foi considerado o modelo de trem-tipo TB-450 (Fig. 4) utilizado pela NBR 7188 (2013), que é definido por um veículo de três eixos, com uma carga total de 450 kN, distribuída por igual em cada roda. Foi considerado também que o veículo transita na posição mais desfavorável para estrutura, para assim gerar os maiores esforços, e com uma velocidade de 80 km/h.

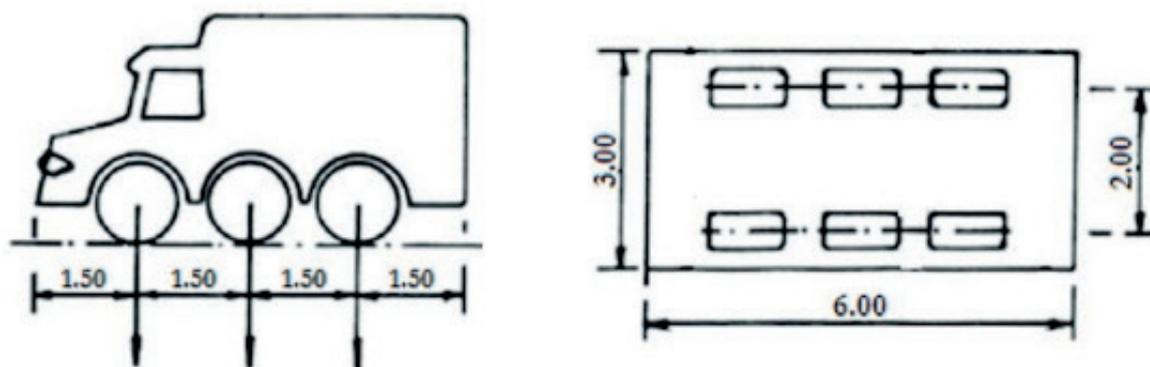


Figura 4 - Caminhão utilizado no trem-tipo TB-450, de acordo com a ABNT NBR 7188:2013. Cotas em m.

Para a aplicação do carregamento proveniente do trem-tipo na estrutura, foi realizada a identificação de cada nó do modelo numérico-computacional pertencente ao trecho de passagem do veículo, e a cada 0,5 m foram aplicadas as cargas em função do tempo.

Para representar a interação dinâmica existente entre o veículo e a estrutura, foi adotada a Eq. (1), fornecida por Fryba (1972), na qual representa a carga harmônica transitando pela ponte.

$$P(t) = P + Q \text{ sen}(\Omega t) \quad (1)$$

Onde P é o valor da carga móvel em kN, Q é a amplitude em kN,  $\Omega$  é a frequência circular da força harmônica em rad/s e t é o tempo em segundos. De acordo com Melo (2007), o valor da frequência de oscilação do veículo pode ser entre 2,0 Hz e 4,0 Hz, sendo o último valor adotado para o estudo. Foi escolhido também um valor de 0,10P para a amplitude.

Para a modelagem do amortecimento na estrutura, se utilizou a matriz de amortecimento de Rayleigh, fornecida por Soriano (2014), que considera duas principais parcelas, sendo  $\alpha$  a taxa de contribuição da matriz de massa, Eq. (2), e  $\beta$  taxa de contribuição da matriz de rigidez, Eq. (3). A partir das frequências naturais mais importantes,  $\omega_1$  e  $\omega_2$ , é possível descobrir tais valores.

$$\alpha = 2\xi \frac{\omega_1 \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (2)$$

$$\beta = 2\xi \frac{1}{\omega_1 + \omega_2} \quad (3)$$

Onde  $\xi$  é razão de amortecimento, na qual se adotou 2%, e  $\omega_1$  e  $\omega_2$  são a primeira e segunda frequência natural da estrutura em rad/s, respectivamente.

Para comparar os efeitos dinâmicos devido a carga móvel com os efeitos dinâmicos recomendados pela NBR 7188:2013, foi calculado o fator de amplificação dinâmica (FAD), de acordo com a Eq. (4), para assim conferir com o fator de correção da norma.

$$FAD = \frac{\text{Esforço Dinâmico}}{\text{Esforço Estático}} \quad (4)$$

O fator de correção da NBR 7188:2013, devido a cargas móveis verticais, é dado pelo coeficiente de impacto vertical (CIV), como mostra a Eq. (5).

$$CIV = \begin{cases} 1,35; L < 10m \\ 1 + \left(\frac{21,2}{L + 50}\right); 10m \leq L \leq 200m \end{cases} \quad (5)$$

Onde  $L$  é o comprimento do vão para vãos isostáticos e o vão médio para pontes contínuas.

Para verificação da análise transiente por meio do modelo computacional, é utilizada a expressão que determina o coeficiente dinâmico para uma viga amortecida simplesmente apoiada, Eq. (6), sendo atravessada por uma carga harmônica, descrita por Fryba (1972), e o resultado obtido pelo software algébrico wxMaxima (2018) é comparado ao valor do modelo no software ANSYS (2018).

$$\delta = 1 + \frac{Q}{P} \frac{\omega_{(1)}^2}{\Omega^2} \frac{1}{\left(\frac{\omega_{(1)}^2}{\Omega^2} - 1\right)^2 + 4\left(\frac{\omega^2}{\Omega^2} + \frac{\omega_b^2}{\Omega^2}\right)} \left\{ \left[ \left(\frac{\omega_{(1)}^2}{\Omega^2} - 1\right)^2 + 4\frac{\omega_b^2}{\Omega^2} \right]^{1/2} + 2\frac{\omega}{\Omega} e^{-\frac{\omega_b l}{(2c)}} \right\} \quad (6)$$

Onde  $\omega_{(1)}$ , Eq. (7), é a frequência circular para o primeiro modo de vibração da viga simplesmente apoiada em rad/s;  $\omega$ , Eq. (8), é frequência circular em rad/s;  $\omega_b$ , Eq. (9), é a frequência circular amortecida da viga simplesmente apoiada em rad/s;  $l$  é o comprimento do vão da viga em m e  $c$  é a velocidade da carga móvel em m/s.

$$\omega_{(1)} = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{\mu}} \quad (7)$$

Onde  $E$  é o módulo de elasticidade do material adotado em Pa,  $J$  é o momento de inércia da geometria utilizada e  $\mu$  em kg/m é a massa da viga por unidade de comprimento em kg/m.

$$\omega = \frac{\pi C}{l} \quad (8)$$

$$\omega_b = \frac{\omega_{(1)}\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \quad (9)$$

### 3 | RESULTADOS

#### 3.1 Verificação do Modelo

Realizou-se a verificação da análise transiente para uma viga simplesmente apoiada, com 1 m de altura, 40 cm de base e comprimento de 10 m, com um módulo de elasticidade igual a 25 GPa e peso específico 2500 kg/m<sup>3</sup>, sujeita a uma carga móvel de 100 kN, com amplitude de 10 kN, frequência circular de 30 rad/s e com velocidade de 60 km/h. Para tal caso é considerado uma razão de amortecimento de 5%.

A Tab. 2 demonstra uma boa aproximação entre o modelo numérico-computacional para análise transiente realizado no software ANSYS (2018) e a expressão que determina o coeficiente dinâmico para uma viga amortecida simplesmente apoiada sendo atravessada por uma carga harmônica, descrita por Fryba (1972).

Coeficiente Dinâmico $\delta$		Erro (%)
ANSYS	Fryba	
1,121	1,113	0,68

Tabela 2 - Coeficiente Dinâmico para uma de uma viga amortecida sujeita a uma carga móvel harmônica.

O modelo trata das pontes analisadas resolvidas por grelhas. Foram resolvidas as mesmas pontes, considerando-as como vigas, por meio do software FTOOL, com o intuito de fazer uma comparação entre os métodos de resolução através dos resultados encontrados. Foi calculado o valor do momento fletor máximo para todas

as longarinas, para o carregamento aplicado na viga 1, juntamente com o momento fletor total.

O carregamento é aplicado no meio do vão da longarina e é uma carga concentrada de valor igual à 100 kN. A Fig. 5 mostra um exemplo de carregamento e as vinculações que foram aplicadas nas extremidades inferiores das longarinas dos modelos.

Após a definição do carregamento e das vinculações, o modelo foi resolvido por meio software ANSYS, resultando nos valores de esforço máximo normal ( $N_i$ ) e momento fletor máximo ( $M_i$ ) para cada longarina, conforme é demonstrado na Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5 e Tab. 6. As tabelas também mostram o cálculo utilizado para encontrar o momento total, levando em consideração a distância do centroide da laje até o centroide de cada longarina ( $e$ ). Em seguida, foram comparados com os resultados adquiridos pelo software FTOOL, como mostra a Tab. 7.

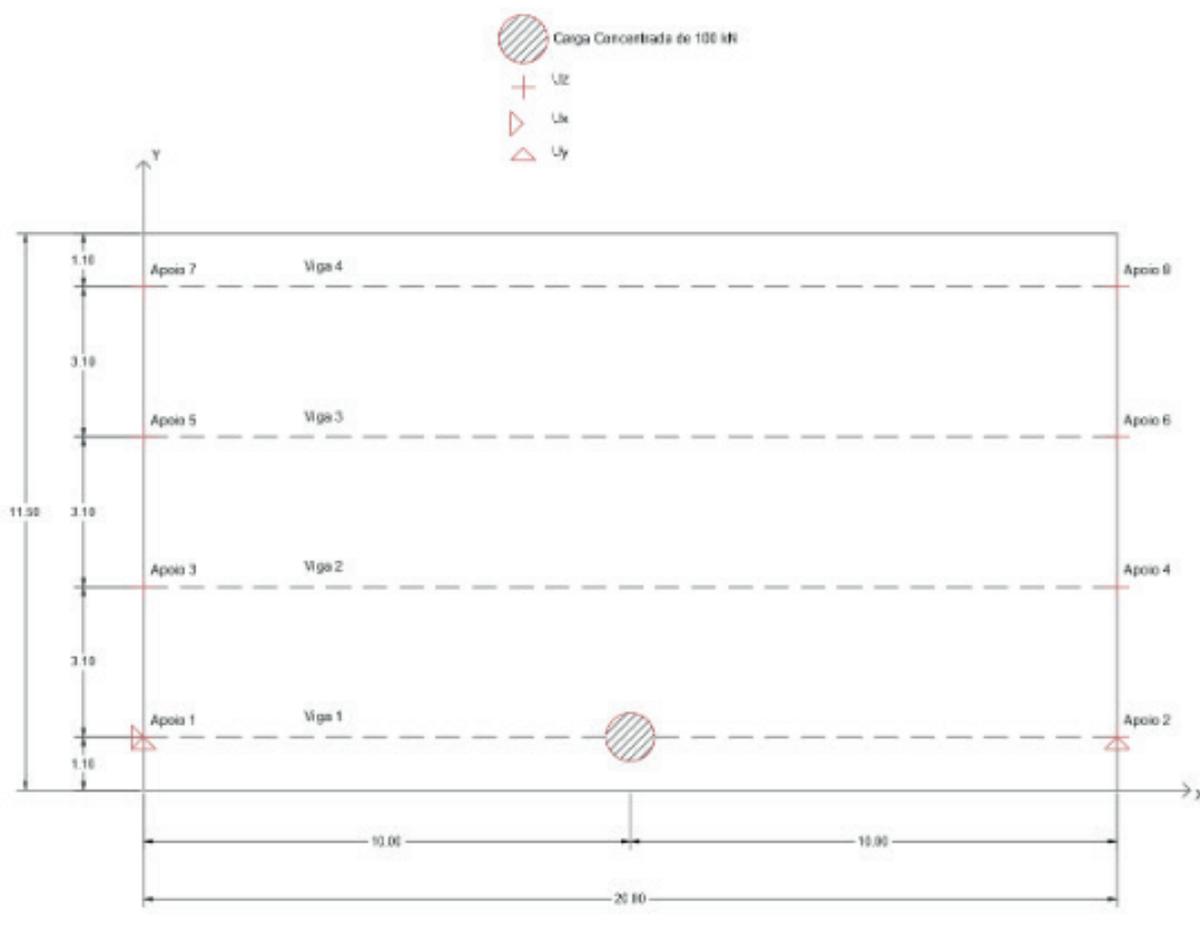


Figura 5 – Exemplo de modelo do carregamento e vinculações para a situação de 20 m de vão, sendo as medidas em metros

Viga	Ni (kN)	Mi (kN.m)	e (m)	Mtotal (kN.m)= Mi + Ni.e
1	3,64	216,37	0,15	216,93
2	-3,91	30,43	0,14	29,89
3	-0,67	-2,41	0,14	-2,50
4	0,94	-0,71	0,15	-0,56
Momento Total				243,75

Tabela 3 - Tabela contendo os resultados obtidos com o carregamento na viga 1 para o vão de 10 m

Viga	Ni (kN)	Mi (kN.m)	e (m)	Mtotal (kN.m)= Mi + Ni.e
1	11,66	393,12	0,32	396,83
2	-11,96	103,17	0,29	99,68
3	-4,88	6,82	0,29	5,39
4	5,19	-9,81	0,32	-8,15
Momento Total				493,75

Tabela 4 - Tabela contendo os resultados obtidos com o carregamento na viga 1 para o vão de 20 m

Viga	Ni (kN)	Mi (kN.m)	e (m)	Mtotal (kN.m)= Mi + Ni.e
1	15,86	558,52	0,52	566,75
2	-16,11	177,84	0,48	170,05
3	-7,74	26,30	0,48	22,56
4	7,98	-19,39	0,52	-15,25
Momento Total				744,11

Tabela 5 - Tabela contendo os resultados obtidos com o carregamento na viga 1 para o vão de 30 m

Viga	Ni (kN)	Mi (kN.m)	e (m)	Mtotal (kN.m)= Mi + Ni.e
1	17,88	712,98	0,86	728,30
2	-17,76	243,81	0,82	229,28
3	-9,14	51,20	0,82	43,72
4	9,01	-15,27	0,86	-7,55
Momento Total				993,75

Tabela 6 - Tabela contendo os resultados obtidos com o carregamento na viga 1 para o vão de 40 m

Modelo	Momento Fletor Total (kN.m)		Erro (%)
	ANSYS	FTOOL	
10 m	243,75	250,00	2,50
20 m	493,75	500,00	1,25
30 m	744,11	750,00	0,78
40 m	993,75	1000,00	0,62

Tabela 7 - Tabela contendo os resultados obtidos com o carregamento na viga 1

De acordo com Botelho (2016), o cálculo para obter o momento total para cada viga é constituído pelo momento da viga pré-moldada na seção central mais a o esforço multiplicado pela distância do centro da laje ao centro da viga, conforme mostrado na Fig. 6, onde o ponto  $e$  e o ponto  $o$  são, respectivamente, os centroides da laje e da longarina.

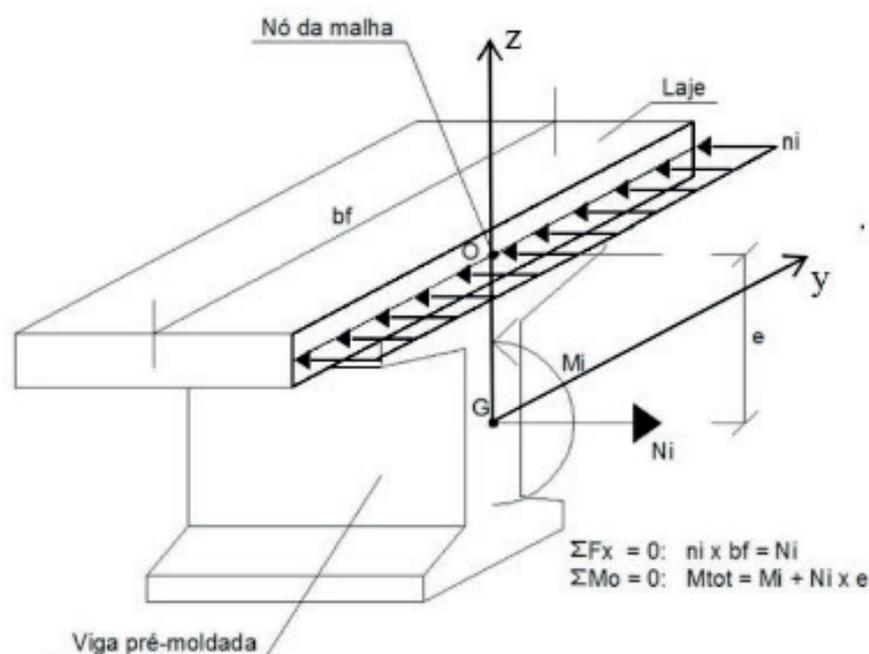


Figura 6 - Carregamento aplicado na seção (BOTELHO, 2016)

### 3.2 Aplicação do Modelo

Após as verificações, se efetuou as análises estática estrutural, modal e transiente estrutural a fim de serem obtidos os valores de deslocamentos, esforços cortantes e momentos fletores na ponte.

Com a análise modal, os valores das frequências naturais para os seis primeiros modos de vibração foram obtidos, como mostra a Tab. 8.

Ponte de 10 m de vão		Ponte de 20 m de vão		Ponte de 30 m de vão		Ponte de 40 m de vão	
Modo	Frequência (Hz)						
1	9,178	1	5,455	1	3,602	1	2,516
2	12,842	2	5,720	2	3,678	2	2,800

Tabela 8 - Frequências naturais das estruturas.

A Tab. 9 apresenta os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  utilizados nas análises transientes da estrutura, para uma taxa de 2% de amortecimento, para a modelagem das pontes de concreto estudadas.

Vão (m)	Frequência natural circular do modo 1 (Hz)	Frequência natural circular do modo 2 (Hz)	Frequência natural circular do modo 1 (rad/s)	Frequência natural circular do modo 2 (rad/s)	$\alpha$	$\beta$
10	9,178	12,842	57,667	80,689	1,34525082	0,00028911
20	5,455	5,720	34,274	35,941	0,70174992	0,00056968
30	3,602	3,678	22,634	23,108	0,45737298	0,00087447
40	2,516	2,800	15,807	17,595	0,33306377	0,00119753

Tabela 9 - Parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  usados na análise transiente da estrutura.

Após foi determinado, por meio da análise estática e análise transiente, os esforços máximos para cada situação, como mostra as Tab. 10 a Tab. 13.

Esforços	Carregamento Estático	Carregamento Dinâmico	FAD	Fator de Correção NBR - 7188:2013
Deslocamento (mm)	3,99	4,39	1,10	1,35
Esforço Cortante (kN)	268,92	295,43	1,10	
Momento Fleitor (kN.m)	595,08	643,97	1,08	

Tabela 10 - Comparação entre os efeitos dinâmicos devido a carga móvel com os efeitos dinâmicos recomendados pela NBR 7188:2013, para 10m.

Esforços	Carregamento		FAD	Fator de Correção NBR - 7188:2013
	Estático	Carregamento Dinâmico		
Deslocamento (mm)	9,20	11,35	1,23	1,30
Esforço Cortante (kN)	292,47	307,32	1,05	
Momento Fletor (kN.m)	1273,51	1541,98	1,21	

Tabela 11 - Comparação entre os efeitos dinâmicos devido a carga móvel com os efeitos dinâmicos recomendados pela NBR 7188:2013, para 20m.

Esforços	Carregamento		FAD	Fator de Correção NBR - 7188:2013
	Estático	Dinâmico		
Deslocamento (mm)	10,83	14,44	1,33	1,27
Esforço Cortante (kN)	300,48	303,50	1,01	
Momento Fletor (kN.m)	1920,13	2209,85	1,15	

Tabela 12 - Comparação entre os efeitos dinâmicos devido a carga móvel com os efeitos dinâmicos recomendados pela NBR 7188:2013, para 30m.

Esforços	Carregamento		FAD	Fator de Correção NBR - 7188:2013
	Estático	Dinâmico		
Deslocamento (mm)	8,55	9,76	1,14	1,24
Esforço Cortante (kN)	304,76	304,54	1,00	
Momento Fletor (kN.m)	2523,14	2822,48	1,12	

Tabela 13 - Comparação entre os efeitos dinâmicos devido a carga móvel com os efeitos dinâmicos recomendados pela NBR 7188:2013, para 40m.

Nas Tabelas 10 a 13, é possível observar que somente a passagem de uma carga transiente sobre a estrutura não provoca aumento do FAD no meio do vão da estrutura, mas sim a passagem de uma carga transiente harmônica, onde se é capaz de melhor representar a interação veículo-pavimento-estrutura.

O deslocamento máximo no meio do vão calculados com base na norma brasileira apresentaram resultados próximos com os valores obtidos pelas cargas transientes, demonstrando uma boa conversão dos esforços estáticos aos dinâmicos, com exceção do vão de 30 m, sendo assim necessário uma maior atenção para este caso.

Os esforços cortantes máximos nos apoios gerados pelas cargas transientes se demonstraram ser inferiores ao calculados com base na norma brasileira,

apresentando um dimensionamento exagerado para esta região.

Os momentos fletores máximos no meio do vão calculados com base na norma brasileira apresentaram resultados próximos com os valores obtidos pelas cargas transientes, demonstrando uma boa conversão dos esforços estáticos aos dinâmicos.

## 4 | CONCLUSÕES

A interação veículo-pavimento-estrutura é diretamente relacionada ao valor da Amplitude (Q), na qual está leva em consideração o peso do veículo, o efeito da irregularidade da pista ou mesmo a superposição de ambas as ações. Para estudos futuros, há a necessidade de uma melhor compreensão do valor da Amplitude, para assim se desenvolver modelos computacionais com maiores precisões para as situações estudadas.

Os resultados obtidos para as vigas, demonstraram que para alguns casos, os coeficientes de impacto tiveram uma boa aproximação para transformar os esforços estáticos em dinâmicos. Porém em outros casos, tais coeficientes não apresentaram mesmo resultado.

Em seus estudos, Rossigali (2015) obteve resultados semelhantes ao comparar os esforços provocados por um carregamento real de uma estrutura rodoviária brasileira, aos esforços obtidos pela majoração das cargas pelo coeficiente de impacto.

Por meio do estudo realizado foi possível identificar que os coeficientes de impacto previstos na norma podem ser aprimorados a partir de novos estudos levando em consideração carregamentos atuais das rodovias brasileiras.

## REFERÊNCIAS

AHI, Antonio Jorge de Figueiredo. **Análise de Fadiga em Pontes Rodoviárias de Concreto Armado**. 2009. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ANSYS Student. Version 19.1. Canonsburg: ANSYS, Inc., 2019. Disponível em: <<https://www.ansys.com/academic/free-student-products>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 6**: Cargas móveis em pontes rodoviárias. Rio de Janeiro, 1960. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187**: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188**: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013. 14 p.

BOTELHO, Thaís de Oliveira. **MODELAGEM COMPUTACIONAL DE TABULEIROS DE PONTES DE CONCRETO**. 2016. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Computacional, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2016.

FRYBA, Ladislav. **Vibration of Solids and Structures under Moving Loads**. Praga: Thomas Telford, 1972.

LEITÃO, Fernando Nahid. **Verificação à Fadiga de Pontes Rodoviárias Mistas (Aço-Concreto)**. 2009. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

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

MELO, Eduardo Souza de. **Interação Dinâmica Veículo-Estrutura Em Pequenas Pontes Rodoviárias**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ROSSIGALI, C. E. et al. Towards actual brazilian traffic load models for short span highway bridges. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [s.l.], v. 8, n. 2, p.124-139, abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO).

SORIANO, Humberto Lima. **Introdução à dinâmica das estruturas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Abaqus 40, 41, 43, 46, 48  
Agrupamento 81, 140, 169, 170, 175, 176  
Aplicação 5, 6, 28, 31, 33, 34, 37, 49, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 61, 68, 70, 80, 83, 89, 129, 135, 148, 150, 152, 157, 169, 174  
Aplicativo móvel 1, 7, 88  
Aprendizado online 98, 100  
Aprendizagem 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 140, 147, 148, 149, 150, 154, 156  
Aprendizagem colaborativa 89, 95, 140  
Área de convergência 49, 50, 51, 52, 58, 60, 61, 62  
Atenção visual 98, 101, 103, 106, 107, 110  
Avaliação automática 148, 149

### B

Banco de dados 8, 59, 66, 76, 77, 79, 81, 82, 84, 85, 86, 170, 182  
Busca visual 98, 99, 100, 101, 102, 107, 110

### C

Carteira estudantil 1  
Celular 87, 88, 90, 91, 96, 179  
Centrais de dados 49, 50, 54, 62  
Coeficiente de impacto 125, 130, 138  
Condicionamento de Ar 16  
Custos 30, 31, 32, 36, 37

### D

Design constructal 16, 18, 19, 28  
Desvio funcional 76  
Difuso 169

### E

Efeitos dinâmicos 125, 126, 127, 130, 136, 137  
Energias renováveis 16  
Ensino 2, 34, 38, 63, 64, 74, 87, 88, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 148, 149, 156  
Espectroscopia 112, 114, 115, 116, 118, 121, 122  
Etilômetro 112, 113, 114, 116  
Exercícios de programação 148, 156  
Expressão gênica 169, 171, 174

## **G**

Gestão pública 76, 85

## **I**

Infravermelho 112, 114, 115, 116, 117, 118, 121

## **J**

Java 53, 148, 149, 150, 151, 156

## **L**

LIWC 140, 143, 144, 146

## **M**

Materiais compósitos 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47

Mineração de textos 158, 166, 167

Mobile learning 87, 88, 89, 91, 93, 95, 96, 97

Modelagem computacional 16, 40, 42, 125, 138

Modelo de estilo de aprendizagem 63, 65, 69

Modelos de cargas móveis 125

Multivariado 169, 172, 176, 178

## **P**

Pontes rodoviárias 125, 126, 138, 139

Processamento de linguagem natural 140, 159

Processo ensino-aprendizagem 63

## **R**

Recomendação 63, 64, 67, 70, 71, 72, 73

Recurso educacional aberto 63, 64

Recursos humanos 76, 79, 86

Redes 7, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 39, 81, 97, 158, 161, 167

Redes neurais sem peso 158

Robótica 98, 99, 100, 101, 110

## **S**

Simulação 5, 13, 14, 40, 41, 43, 49, 50, 52, 54, 57, 58, 60, 61, 62, 68, 102

Simulação numérica 40, 41, 43

Sistemas de informação 76, 77, 79, 80, 86, 182

## **T**

Tecnologia 1, 30, 32, 33, 34, 38, 39, 63, 90, 97, 112, 176, 182

Telefonia 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39

Transporte público 1, 2, 3, 5, 6, 7, 15

Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA) 16, 17

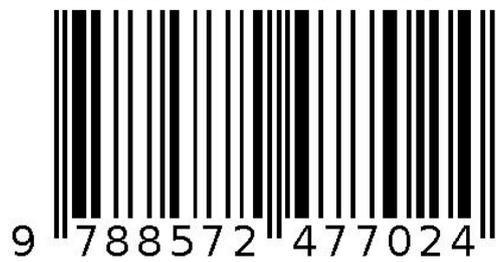
## **V**

VoIP 30, 32, 33, 34, 38, 39

## **W**

Whatsapp 87, 91, 96, 97

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-702-4



9 788572 477024