



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
ENGENHARIA CIVIL

JOÃO AUGUSTO RODRIGUES BESERRA FILHO

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA SUPERESTRUTURA DA
PONTE DO PEIXE GORDO**

RUSSAS

2019

JOÃO AUGUSTO RODRIGUES BESERRA FILHO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA SUPERESTRUTURA DA
PONTE DO PEIXE GORDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Esequiel Fernandes
Teixeira Mesquita

RUSSAS

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B465a Beserra Filho, João Augusto Rodrigues.
Análise do comportamento estrutural da superestrutura da ponte do Peixe Gordo / João Augusto Rodrigues Beserra Filho. – 2019.
76 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita.
1. Ponte. 2. Envolvórias. 3. Comportamento estrutural. 4. Superestrutura. I. Título.

CDD 620

JOÃO AUGUSTO RODRIGUES BESERRA FILHO

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA SUPERESTRUTURA DA
PONTE DO PEIXE GORDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovada em: 11 / 11 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcelo Silva Medeiros Junior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Alênio Cesar Leitão Costa
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

A Deus.

Aos meus pais, João e Jacqueline.

Aos meus tios, Masé e Chico Luiz

Aos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sabedoria e paciência concedidas.

A Mãe Rainha e a Nossa Senhora Aparecida pela proteção divina.

Aos meus pais João e Jacqueline, que me deram apoio e incentivo em todos os momentos.

Aos meus tios Masé Bezerra e Chico Luiz, pelo carinho e por sempre me darem as condições para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Ao meu irmão, sobrinha, tios e avós, que de alguma forma também contribuíram para que o sonho da faculdade se tornasse realidade.

A minha namorada, que me estimulou e compreendeu minha ausência pelo tempo dedicado aos estudos.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo durante o curso, Alane Beserra, Domingos Sávio, Gilson Lima, Jayane Nara, Kaenna Ingrid, Mateus Campos e Rômulo Lima, que não me deixaram ser vencido pelo cansaço.

Aos meus amigos de trabalho do Departamento de Engenharia e Arquitetura de Morada Nova que me ajudaram no decorrer do curso.

Ao Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita, pela orientação no trabalho.

Aos membros da banca examinadora Professor Dr. Marcelo Silva Medeiros Junior e Engenheiro Civil Alênio Cesar Leitão Costa pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos amigos Luis Carlos do Nascimento Filho e Marcelo Freires Pinto pelo auxílio com o software Ansys®.

RESUMO

Este trabalho se dedica em fornecer um aparato esmiuçado que facilite a compreensão sobre de que maneira uma ponte se comporta, dada as possíveis variáveis que podem influenciar na sua estrutura. Para um melhor recorte empírico, foi tomada com base para estudo a superestrutura da ponte sobre o rio Jaguaribe, mais conhecida como Ponte do Peixe Gordo que está localizada na cidade de Tabuleiro do Norte-CE. Vale ressaltar que a ponte foi alvo de ataques criminosos em dois momentos, onde será apontado o desfecho desses ataques baseado nas análises do Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções (LAREB). Não obstante, tomando como base os pontos fundamentais sobre a ponte, desde sua historicidade, elementos, classificação e os respectivos cálculos para as envoltórias de serviços, obtidas com o auxílio da ferramenta computacional Two-dimensional Frame Analysis Tool (FTOOL), que contribuem para um melhor entendimento estrutural sobre a ponte. Além disso, é apresentado as análises estáticas e dinâmicas fornecidas pelo software *ANSYS*®, que forneceu dados que mostram a caracterização do comportamento da ponte como, por exemplo, os deslocamentos, as tensões e os picos dos deslocamentos totais para cada modo de vibração. Conclui-se no final que os objetivos propostos no trabalho foram alcançados sendo que os resultados obtidos foram significativos, contribuindo para a avaliação da segurança estrutural da ponte.

Palavras-chave: Ponte; Envoltórias; Comportamento estrutural; Superestrutura.

ABSTRACT

The present work is dedicated to providing a tidy apparatus that makes it easy to understand how a bridge behaves, given the possible variables that may influence its structure. For a better empirical approach, the superstructure of the bridge over the Jaguaribe River, better known as Fatty Fish Bridge which is located in the city of Tabuleiro do Norte-CE. It is noteworthy that the bridge was the target of criminal attacks in two moments, where the outcome of these attacks will be pointed out based on the analysis of the Building Rehabilitation and Durability Laboratory (LAREB). Nevertheless, based on the fundamental points about the bridge, since its historicity, elements, classification and the respective calculations for the service envelopes, obtained with the aid of the Two-dimensional Frame Analysis Tool (FTOOL), which contribute to the a better structural understanding of the bridge. In addition, static and dynamic analyzes provided by ANSYS® software are provided, which provided data showing the characterization of bridge behavior such as displacements, stresses and total displacement peaks for each vibration mode. It is concluded that the proposed objectives were achieved and the results were significant, contributing to the assessment of the structural safety of the bridge.

Keywords: Bridge; Wraps; Structural behavior; Superstructure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ponte em pedra.....	17
Figura 2 - Principais elementos constituintes.....	18
Figura 3 - Detalhe dos encontros.....	19
Figura 4 - Elementos da Superestrutura.....	19
Figura 5 - Dimensões relativas para ponte.....	20
Figura 6 - Veículos-tipo para Pontes Rodoviárias.....	22
Figura 7 – Representação do veículo-tipo na seção transversal.....	24
Figura 8 – Detalhe das faixas e representação das cargas; a) faixa fora do veículo-tipo; b) faixa do veículo-tipo; c) faixa veículo-tipo (carga veículo)	24
Figura 9 – Detalhe do Trem-tipo.....	25
Figura 10 – a) Localização; b) Ponte do Peixe Gordo.....	29
Figura 11 – Ponte do Peixe Gordo, quando houve o rompimento do Açude do Orós, em 1960.....	29
Figura 12 - Imagens do 1º ataque.....	30
Figura 13 – Representação gráfica de um vão da ponte.....	31
Figura 14 - Superestrutura da ponte.....	31
Figura 15 - Detalhe do alargamento.....	31
Figura 16 – a) Carregamento permanente da ponte; b) DEC; c) DMF.....	33
Figura 17 - Detalhe veículo-tipo T45 na ponte.....	34
Figura 18 – Detalhe das faixas na seção transversal da ponte, veículo-tipo T45.....	34
Figura 19 – Reações para constituir o trem-tipo.....	35
Figura 20 - Trem-tipo.....	35
Figura 21 – Envoltória do esforço cortante.....	38
Figura 22 – Envoltória do momento fletor.....	38
Figura 23 – Modelo 3D em malha de elementos finitos.....	39
Figura 24 – Deslocamentos direcionais no eixo X com unidade em milímetros.....	40
Figura 25 – Deslocamentos direcionais no eixo Z com unidade em milímetros.....	41
Figura 26 – Deslocamentos direcionais no eixo Y com unidade em milímetros.....	41
Figura 27 – Deslocamento total com unidade em milímetros.....	42
Figura 28 – Tensões principais de tração no modelo, unidade em Pascal. (a) Vista em perspectiva, (b) Ponto de maior intensidade.....	42

Figura 29 – Tensões Principais de compressão no modelo, unidade em Pascal.....	43
Figura 30 – Modelo 3D em malha de elementos finitos.....	43
Figura 31 – Representação gráfica da participação de massa no eixo X, e também, das frequências naturais de vibração.....	45
Figura 32 – Representação gráfica da participação de massa no eixo Y, e também, das frequências naturais de vibração.....	45
Figura 33 – Representação gráfica da participação de massa no eixo Z, e também, das frequências naturais de vibração.....	46
Figura 34 – Deslocamentos totais para os 6 modos de vibração, unidade em milímetros.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cargas do trem-tipo	23
Tabela 2 – Detalhamento dos trem-tipo por classe	23
Tabela 3 - Carregamento Permanente	32
Tabela 4 – Esforço cortante e momento fletor da carga permanente na ponte.....	32
Tabela 5 – Máximos e mínimos para a carga móvel.....	36
Tabela 6 – Tabela de Composição para o esforço cortante.....	37
Tabela 7 – Tabela de composição para o momento fletor.....	37
Tabela 8 –Propriedades mecânicas adotadas no modelo numérico para análise estática.....	40
Tabela 9 –Propriedades mecânicas adotadas no modelo numérico para análise dinâmica.....	44
Tabela 10 – Frequência natural e período para cada modo de vibração.....	44
Tabela 11 – Frequência natural e deslocamento máximo.....	48

LISTA DE ABREVIACÕES

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FTOOL	Two-Dimensional Frame Analysis Tool
LAREB	Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções
NBR	Normas Técnicas Regulamentadoras
OAE	Obras de Arte Especiais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivo Específico.....	15
1.2	Estrutura do trabalho.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	Pontes.....	17
2.1.1	Histórico das pontes.....	17
2.1.2	Definição de pontes.....	18
2.1.3	Elementos e classificações das pontes.....	18
2.1.4	Ponte de Concreto Armado.....	20
2.2	Procedimentos para o dimensionamento de uma ponte.....	21
2.2.1	Ações nas pontes.....	21
2.2.2	Cargas móveis.....	22
2.2.3	Trem-tipo.....	24
2.2.4	Esforços internos na estrutura.....	25
2.2.5	Linha de Influência.....	25
2.2.6	Envoltórias limites.....	26
2.3	Análise estrutural.....	26
2.3.1	Análise estática.....	27
2.3.2	Análise dinâmica.....	27
2.3.3	Programa Two-dimensional Frame Analysis Tool.....	28
2.3.4	Software ANSYS®.....	28
3	A PONTE DO PEIXE GORDO.....	29
3.1	Localização.....	29
3.2	Breve histórico.....	29
3.3	Elementos e características da ponte do peixe gordo.....	30
3.4	Superestrutura.....	31
3.5	Ações na ponte do peixe gordo.....	31
3.5.1	Ações permanentes.....	31
3.6	Trem-tipo.....	34

3.7	Máximos e mínimos dos esforços internos para carga móvel.....	35
3.8	Envoltórias.....	36
4	CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA PONTE.....	39
4.1	Análise Estática.....	39
4.1.1	Modelagem numérica da estrutura.....	39
4.1.2	Carregamentos e propriedades mecânicas.....	39
4.1.3	Resultados e discussão.....	40
4.1.3.1	Deformação direcional.....	40
4.1.3.2	Deformação total.....	41
4.1.3.3	Tensão principal.....	42
4.2	Análise Dinâmica.....	43
4.2.1	Modelagem numérica da estrutura.....	43
4.2.2	Carregamentos e propriedades mecânicas.....	43
4.2.3	Resultados e discussão.....	44
4.2.3.4	Frequências naturais e modos de vibração.....	44
5	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS.....	51
	APÊNDICE A.....	53
	APÊNDICE B.....	62
	ANEXO.....	67
	RELATÓRIO FOTOGRÁFICO.....	72

1 INTRODUÇÃO

Pontes são obras de arte que tem a finalidade de interligar regiões, fazendo com que ocorra uma troca entre as regiões, nos aspectos econômico, cultural e intelectual, pois facilita o transporte das mais diversificadas mercadorias, pessoas e possibilita a comunicação. Dessa forma, levando o desenvolvimento urbano às partes interligadas. As pontes podem ocorrer para permitir a transposição de obstáculos, que podem ser rios, braços de mar, vales, e outras vias; e para que se tenha a continuidade de uma via, levando ao desenvolvimento da região.

Para Marchetti (2008), a estrutura capaz de transpor um obstáculo, sendo ele um rio, é denominado ponte, já quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via, é denominado de viaduto. A estrutura de uma ponte é, na maioria das vezes, subdividida em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. Estas estruturas são solicitadas por ações permanentes e ações variáveis. Neste aspecto, o tráfego de veículos e pessoas são os geradores das cargas móveis, pois circulam sobre as pontes, e estas cargas móveis são necessárias para a obtenção das envoltórias dos esforços internos da estrutura. O peso próprio da estrutura principal e seus elementos secundários compõem, portanto, as cargas permanentes.

A ponte estudada neste trabalho é a Ponte do Peixe Gordo, localizada na rodovia BR-116, mais precisamente no Km 204, no distrito de Peixe Gordo, no município de Tabuleiro do Norte, Ceará. A ponte tem como obstáculo transposto, o rio Jaguaribe, sua extensão total é de 412 metros, sua superestrutura tem extensão de 390 metros, subdivididos em 11 vãos, nove destes com o comprimento de 37 metros e suas extremidades com 28,50 metros. A construção da ponte do Peixe Gordo é datada de 1948, passando no decorrer dos anos por algumas intervenções para a melhoria da sua utilização, visto o crescimento do tráfego, que por exemplo, motivou a intervenção de alargamento da ponte, no ano de 2001. No início de 2019, a ponte foi alvo de ataques criminosos, os quais não ocasionaram danos relevantes a estrutura, gerando apenas danos superficiais na estrutura, onde a camada de recobrimento de concreto foi destacada e fissurada. Com o intuito de se verificar a segurança estrutural da ponte, alguns estudos técnicos foram realizados, dentre os quais, análises computacionais, das quais deriva este trabalho, e ensaios não destrutivos.

Ao se analisar uma estrutura é necessário levar em conta todas as ações e solicitações que possam interferir na segurança estrutural. Assim a análise estrutural tem por propósito associar os sistemas físicos com ações externas atuantes, utilizando para tal modelos calibrados com os materiais e suas propriedades, de modo que se possa caracterizar o comportamento global da estrutura analisada.

Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento estrutural da superestrutura da ponte do Peixe Gordo, através das análises das envoltórias dos esforços internos, como também as análises estática e dinâmica. Para a análise estática, buscou-se a obtenção dos deslocamentos direcionais e total, e as tensões de tração e compressão ocorrentes nos elementos da estrutura, e para a análise dinâmica, procurou-se obter a frequência natural dos seis primeiros modos de vibração e seus respectivos modos de vibração e deslocamentos.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo Geral*

Analisar o comportamento estrutural da superestrutura da Ponte do Peixe Gordo, através das linhas de influência e das envoltórias, e das análises estática e dinâmica, utilizando simulações computacionais.

1.1.2 *Objetivos Específicos*

- Modelar e calibrar o modelo da estrutura da Ponte do Peixe Gordo;
- Identificar as envoltórias dos esforços internos da superestrutura;
- Caracterizar o comportamento estático da estrutura através do Método dos Elementos Finitos;
- Caracterizar o comportamento dinâmico da Ponte do Peixe Gordo com recorrência ao Método dos Elementos Finitos.

1.2 Estrutura do trabalho

O Capítulo 1 faz a introdução do trabalho, no qual a ponte é apresentada, bem como os objetivos principais deste trabalho são descritos.

O Capítulo 2 mostra pontos fundamentais sobre ponte, pontuando a história sobre as pontes, sua definição, seus elementos, sua classificação, e os procedimentos para o dimensionamento de uma ponte. Este capítulo também discorre sobre análise estrutural e são apresentados alguns dos programas computacionais utilizados.

O Capítulo 3 faz uma explanação sobre a Ponte do Peixe Gordo, contendo sua localização, um breve histórico, os elementos e suas características, e faz a apresentação das dimensões da superestrutura, e também apresenta o detalhamento do cálculo dos das ações permanentes findando com as envoltórias da ponte.

O Capítulo 4 mostra a caracterização do comportamento da ponte, apresentando a modelagem da estrutura, onde traz as propriedades mecânicas inseridas para a análise, e também mostra e discute todos os resultados, no que se refere aos deslocamentos direcionais e totais, às tensões de tração e compressão e os picos dos deslocamentos totais para cada modo de vibração.

E por fim, o Capítulo 5 traz as conclusões dos resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pontes

2.1.1 *Histórico das pontes*

Com o passar dos anos, as pontes, obras de artes especiais, tiveram seus métodos construtivos melhorados, bem como houve evolução técnica nos materiais utilizados. De acordo com Leonhardt (1979), os materiais empregados seguiram a sequência cronológica desde a madeira, pedra, metal e concreto nas construções das pontes.

Construídas pelos povos primitivos, as primeiras pontes foram em madeira. Com este tipo de material foi possível vencer grandes vãos para facilitar o tráfego dos povos. A madeira era empregada na forma de vigas, e poderiam ser escoradas, e armadas simples. Um exemplo de ponte em madeira é a ponte sobre o Rio Reno, construída em 1758, com o vão principal de 118 metros (LEONHARDT, 1979).

A pedra, como um dos primeiros materiais construtivos, também foi empregado nas pontes. Para esta solução estrutural, as pontes assumiam a forma de abóbadas de pedra. As abóbadas foram utilizadas pelos chineses e romanos, que entre os romanos eram construídas na forma de arcos semicirculares. As pontes de pedra eram utilizadas para conduzir as canalizações de água, vencendo grandes vãos, vales inteiros (LEONHARDT, 1979).



Figura 1 - Ponte em pedra. Fonte: Pixabay - Günter Rohe

No final do século XVIII, novos materiais foram sendo empregados e assim surgiram às pontes de ferro fundido. A necessidade se deu pelo surgimento do sistema de transporte ferroviário, por conta das grandes cargas a serem suportadas. Logo após, treliças metálicas

foram empregadas vencendo grandes vãos, como os vão de 124 metros da ponte sobre o Rio Vístula (LEONHARDT, 1979).

Por volta de 1900 surge outro tipo de material a ser empregado nas pontes, o concreto, que foi utilizado para a substituição da pedra nos arcos das pontes. O concreto armado foi utilizado, inicialmente, para construção de lajes de tabuleiro. Apenas em 1912 utilizaram na construção de pontes em vigas e pórticos. Com o advento do concreto protendido, a partir de 1948, após a Segunda Guerra Mundial, este material foi utilizado pela necessidade de reconstruir várias pontes em pouco tempo, assim possibilitou vencer grandes vãos, com comprimentos de até 230 metros (LEONHARDT, 1979).

2.1.2 Definição de ponte

A ponte é definida como uma estrutura, incluindo apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros. Ficam incluídos nesta definição viadutos, passagens superiores e passagens inferiores. (DNIT, 2016)

2.1.3 Elementos e classificações das pontes

As pontes são compostas, em sua maioria, por três partes principais, que juntas exercem o papel de garantir a segurança, são elas: a infraestrutura, a mesoestrutura e a superestrutura. Pode-se visualizar os elementos constituintes na Figura 02.

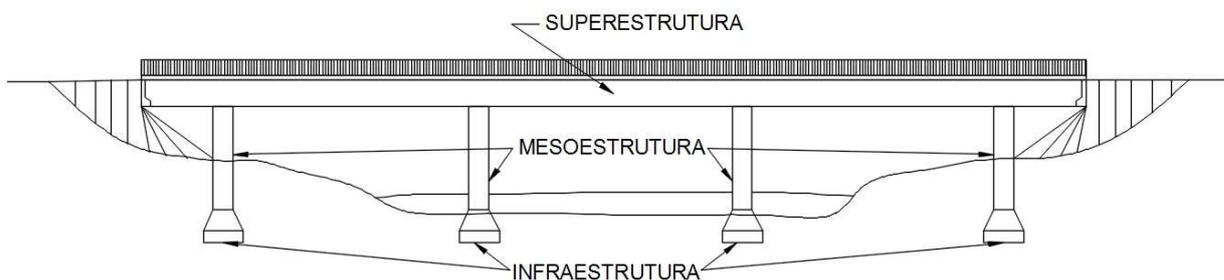


Figura 2 - Principais elementos constituintes. Fonte: Próprio Autor

A infraestrutura ou fundação, é a parte da ponte por meio da qual são transmitidos ao terreno de implantação da obra, rocha ou solo, os esforços recebidos da mesoestrutura, as fundações geralmente são blocos, sapatas, estacas ou tubulões.

A mesoestrutura, constituída pelos pilares, aparelhos de apoio e encontros, são elementos que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura, em conjunto com os esforços recebidos diretamente de outras forças solicitantes da ponte.

Já superestrutura, composta geralmente de lajes e vigas principais e secundárias, é o elemento de suporte imediato do estrado, que constitui a parte útil da obra, sob ponto de vista de sua finalidade (PFEIL, 1979).

As pontes podem apresentar outro elemento que constitui a sua estrutura, são os encontros (Figura 03). Eles são considerados como parte da mesoestrutura ou da infraestrutura depende da disposição a qual ele ficará, sua principal finalidade é receber o empuxo dos aterros de acesso e evitar sua transmissão aos demais elementos da ponte.

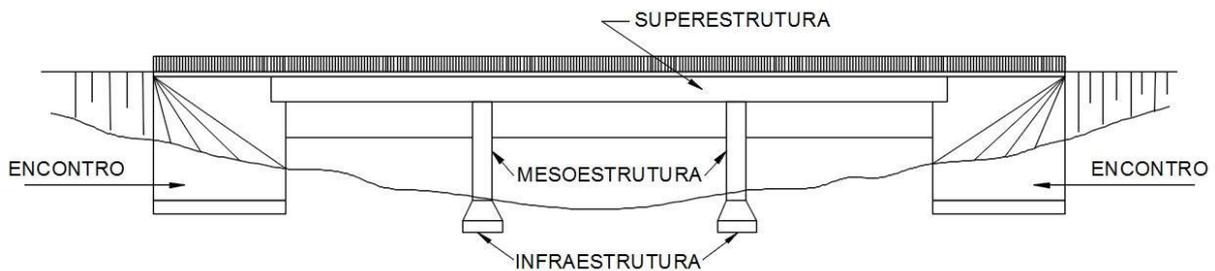


Figura 3 - Detalhe dos encontros. Fonte: Próprio Autor

A superestrutura, uma das três partes principais do sistema estrutural, tem a sua seção transversal subdividida em: pista de rolamento, acostamento, defesa, passeio, guarda-rodas, guarda-corpo.

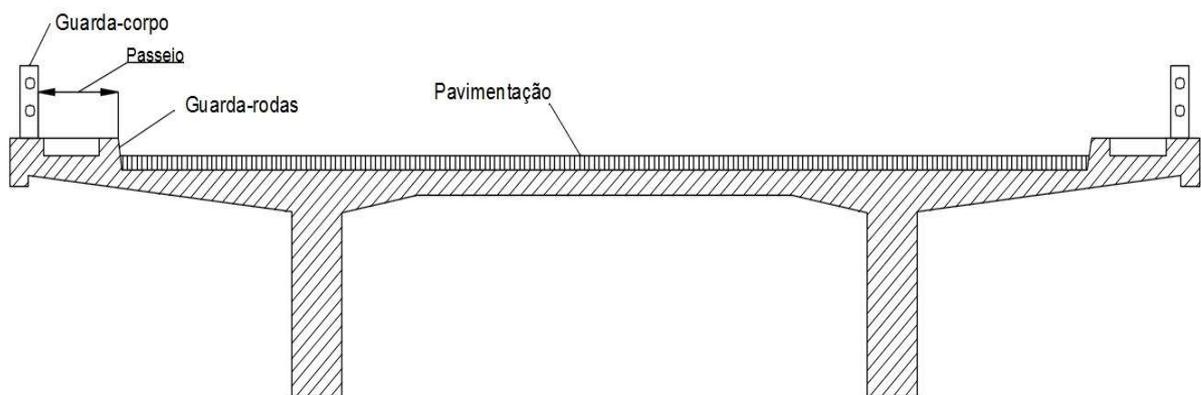


Figura 4 - Elementos da Superestrutura. Fonte: Próprio Autor

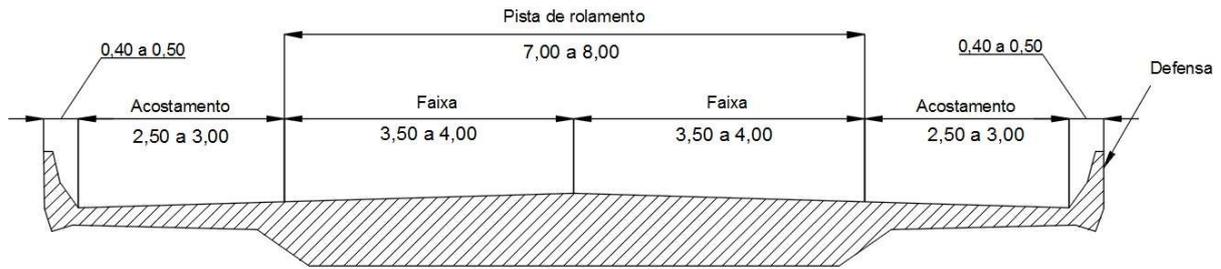


Figura 5 - Dimensões relativas para ponte. Fonte: Próprio Autor

A classificação das pontes é feita levando em consideração diversas maneiras, que leva aos seguintes critérios de classificação, podem classificar as pontes quanto à finalidade, quanto ao material empregado, quanto ao tipo estrutural, quanto a sua durabilidade, quanto ao desenvolvimento planimétrico, e quanto ao desenvolvimento altimétrico.

Classificando quanto à finalidade, podem ser destinadas ao tráfego rodoviário, classifica-se como ponte rodoviária, ao tráfego ferroviário, ponte ferroviária, ao tráfego misto de veículos e trens, ponte rodoferroviária; quando é exclusiva para o tráfego de pedestres, é classificada de passarela.

Quanto ao material utilizado nas superestruturas, as pontes podem ser: de madeira, de pedra, metálicas, em concreto armado, em concreto protendido, pré-moldadas. Para a infraestrutura das pontes, geralmente emprega-se concreto armado.

Quanto ao tipo estrutural as pontes podem ser classificadas em pontes em laje, pontes em viga, pontes em pórtico, pontes em arco, ponte pênsil e pontes estaiada. As pontes em lajes podem ser maciças ou vazadas, e as pontes em viga podem ser em seção T ou seção celular.

Quanto à durabilidade, as pontes podem ser classificadas como permanentes, provisórias e desmontáveis.

Quanto ao desenvolvimento planimétrico, as pontes são retas, quando apresentam o eixo reto e formam um ângulo de 90° com a linha de apoio da superestrutura. São esconsas, quando apresentam o eixo reto e formam um ângulo diferente de 90° com a linha de apoio. E, são curvas, quando apresentam eixo curvo.

Quanto ao desenvolvimento altimétrico, as pontes podem ser horizontais, em rampa, com o tabuleiro convexo e com o tabuleiro côncavo.

2.1.4 Ponte de Concreto Armado

As pontes de concreto armado são estruturas projetadas e executadas de acordo com as seguintes normas:

- NBR 6118:2014 – Projeto de estrutura de concreto – procedimento;

- NBR 7187:2003 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido;
- NBR 14931:2003 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento.

Quando as condições estabelecidas nas normas propostas forem garantidas nos projetos e na execução das pontes, as estruturas de concreto da ponte apresentarão um bom estado, e uma aceitável segurança para a sua utilização.

2.2 Procedimentos para o dimensionamento de uma ponte

Para realizar o dimensionamento de pontes é necessário aferir alguns pontos importantes, o tipo de estrutura, os materiais a serem utilizados e o processo construtivo. A definição desses pontos depende de fatores econômicos e técnicos que poderão interferir na execução da ponte (Fernandes e Correia, 2017).

Concluído o estudo estrutural, o modelo escolhido deve ser o que melhor represente o real, para que possa ser feita uma verificação de todos os elementos. Para a verificação deve-se realizar os seguintes passos:

- a) Calcular as cargas permanente;
- b) Calcular as cargas móveis;
- c) Calcular as linhas de influência das forças cortantes;
- d) Calcular as linhas de influência dos momentos fletores;
- e) Encontrar as envoltórias das solicitações de serviço.

2.2.1 Ações nas pontes

As pontes são sujeitas as mais diferentes ações ocasionadas pela rotineira utilização da estrutura. Com relação a essas ações, de acordo com a NBR 8681:2003 - Ações de segurança de estrutura – Procedimento, as ações possibilitam esforços ou deformações nas estruturas em que atuam, sendo que essas ações podem ser classificadas segundo sua variabilidade no tempo em três categorias: permanentes, variáveis e excepcionais.

As ações permanentes são as cargas constantes ou com pouca variabilidade nas proximidades da sua média, no decorrer da vida útil da estrutura. As ações permanentes são denominadas em diretas e indiretas. As diretas são peso próprio da estrutura e dos elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis. As indiretas são a protensão, os recalques de apoio e a retração dos materiais.

As ações variáveis são as cargas que apresentam variabilidade nas proximidades da sua média, ao longo da vida útil. Essas ações são as cargas móveis ou acidentais que atuam em função do seu uso, pessoas, veículos, entre outros. Quando a probabilidade de ocorrência é suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas, são denominadas de ações variáveis normais, quando ocorre ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, são denominadas de ações variáveis especiais.

As ações excepcionais são explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais, ou seja, são cargas que não são recorrentes durante a vida útil da estrutura, contudo existe a necessidade de serem consideradas nos projetos das estruturas.

O cálculo do carregamento permanente das estruturas pode ser realizado em meio vão em caso de simetria das estruturas, com isso tem-se o carregamento para uma das vigas principais, ao longo de toda sua extensão. O cálculo se dá da seguinte forma, área da estrutura vezes o peso específico da estrutura, e recebe o nome de Carregamento Permanente.

2.2.2 Cargas móveis

O tráfego de veículos e pessoas são os geradores das cargas móveis, pelo fato de circularem na ponte. De acordo com Walter Pfeil (1979), não existe coincidência entre as cargas móveis de cálculo com as cargas reais que circulam nas estradas. Para o cálculo dessas cargas, é utilizado a NBR 7188:2003 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas.

Conforme a NBR 7188:2003, as cargas móveis são fixadas de acordo com o tipo de ponte e a classe da rodovia, com isso é utilizado um veículo padrão, também chamado de veículo-tipo, que é classificado em três tipos, conforme mostra a Figura 6.

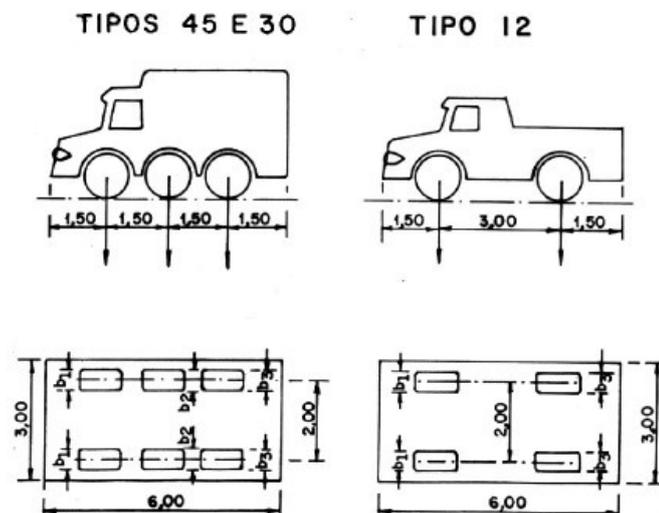


Figura 6 - Veículos-tipo para Pontes Rodoviárias. Fonte: NBR 7188:2003

De acordo com a NBR 7188:2003, as pontes são divididas em classe, onde a classe 45, é um veículo-tipo de 450 kN de peso total; classe 30, é um veículo-tipo de 300 kN de peso total; e classe 12, é um veículo-tipo de 120 kN de peso total. As passarelas possuem uma classe única, na qual a carga móvel é uma carga uniformemente distribuída de intensidade de 5 kN/m².

Tabela 1 – Cargas do trem-tipo.

Classe da Ponte	Veículo Peso Total (kN)	Carga Uniformemente Distribuída (kN/m ²)	
		q (toda pista)	q' (passeio)
45	450	5	3
30	300	5	3
12	120	4	3

Fonte: Adaptado NBR 7188:1982

Para efeito de cálculo, a carga móvel pode ser assimilada a cargas estáticas, para isso devem ser multiplicadas a um coeficiente de impacto, para que seja feita equivalência com efeito dinâmico. De acordo com a NBR 7187:2003, nos elementos estruturais de obras rodoviárias, o coeficiente de impacto é calculado da seguinte forma, $\phi = 1,4 - 0,007 \times L \geq 1$, onde L é o comprimento de cada vão do elemento carregado, em metros.

Para simular o tráfego da via, as cargas distribuídas se fazem necessárias na associação com os veículos-tipo, colocando-as no entorno destes, esse sistema recebe o nome de Trem-tipo. O trem-tipo é posicionado no sentido longitudinal da ponte. Conforme a NBR 7188, o veículo tem as características que estão detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Detalhamento dos trem-tipo por classe.

Item	Unidade	Classes		
		T45	T30	T12
Quant. de eixos	Eixo	3	3	2
Peso Total	kN	450	300	120
Peso Roda Dianteira (RD)	kN	75	50	20
Peso Roda Intermediária (RI)	kN	75	50	-
Peso Roda Traseira (RT)	kN	75	50	40
Largura bi – RD	M	0,50	0,40	0,20
Largura bi – RI	M	0,50	0,40	-
Largura bi – RT	M	0,50	0,40	0,30
Comprimento roda	M	0,20	0,20	0,20
Área de Contato	m ²	0,20bi	0,20bi	0,20bi
Distância entre eixos	M	1,50	1,50	3,00
Distância entre rodas	M	2,00	2,00	2,00

Fonte: Adaptado NBR 7188:2003

2.2.3 Trem-tipo

O trem-tipo é calculado da seguinte forma: primeiramente determina-se o veículo-tipo, classificando a ponte a ser estudada (classes T45, T30 ou T15).

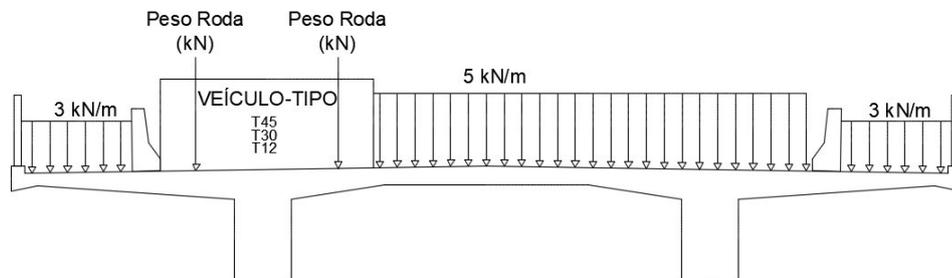


Figura 7 – Representação do veículo-tipo na seção transversal. Fonte: Próprio Autor

Determinado o veículo-tipo, representam-se as cargas do veículo-tipo em três seções diferentes, são elas, na faixa fora do veículo-tipo, na faixa do veículo-tipo, na faixa do veículo-tipo (carga veículo).

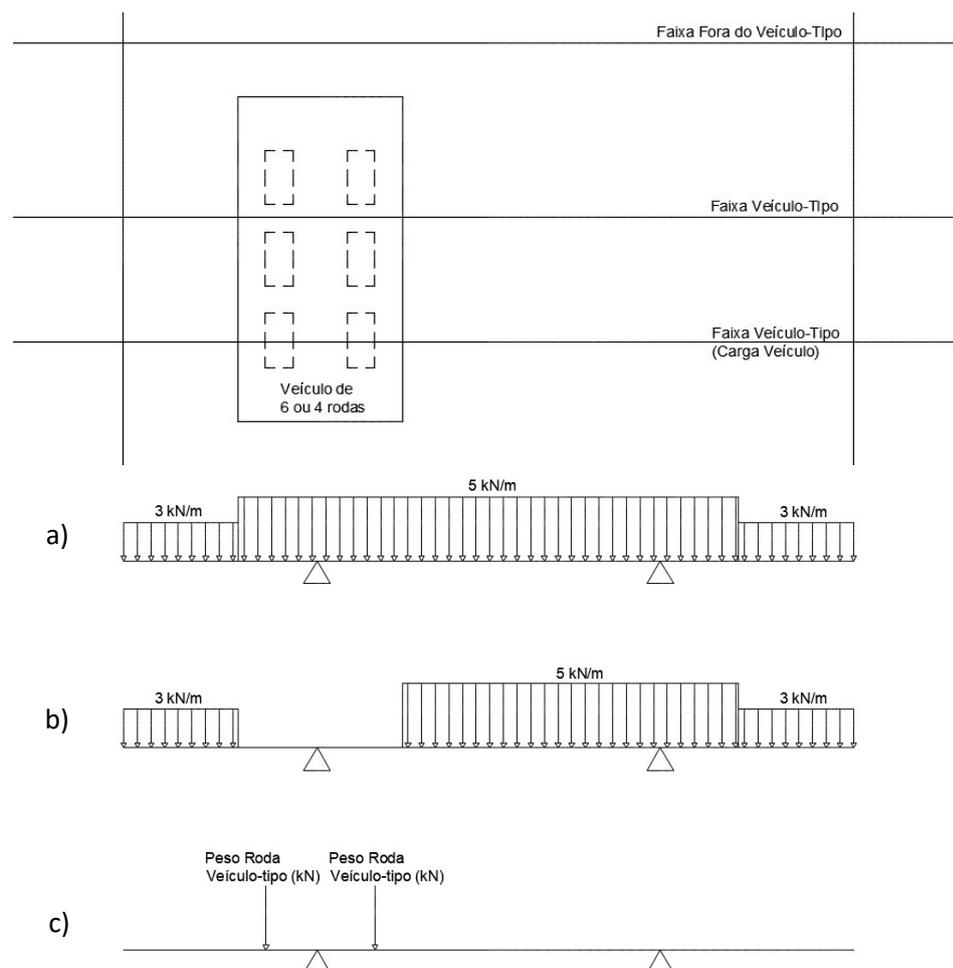


Figura 8 – Detalhe das faixas e representação das cargas; a) faixa fora do veículo-tipo; b) faixa do veículo-tipo; c) faixa veículo-tipo (carga veículo). Fonte: Próprio Autor

Com a representação das cargas determinado, o próximo passo para o cálculo do trem-tipo, são as resultantes das seções em uma das vigas da estrutura. O trem-tipo é constituído pelas reações, conforme detalhe (Figura 9). Observamos, que a reação “c” para veículo-tipo T12, ocorrerá apenas duas reações (Figura 6). Vale ressaltar que, de acordo com a NBR 7188, deve-se considerar a roda do veículo encostada do guarda-rodas, assim resultando na situação mais desfavorável.

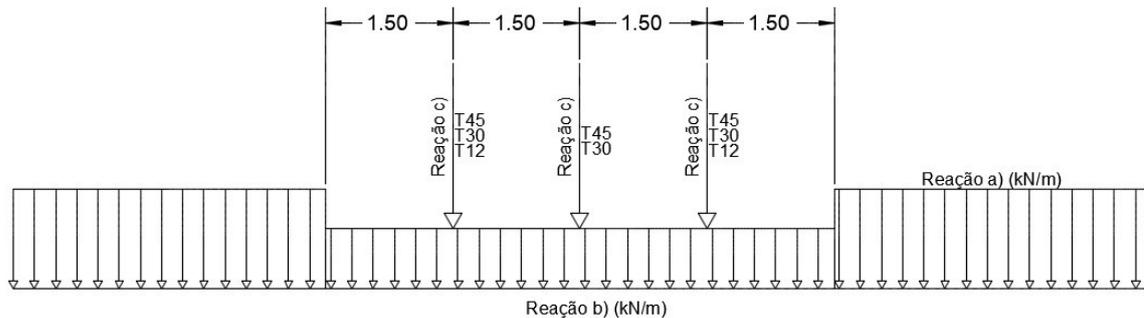


Figura 9 – Detalhe do Trem-tipo Fonte: Próprio Autor

O trem-tipo final utilizado para o cálculo das envoltórias, é calculado pela utilização do coeficiente de impacto (ϕ) calculado, multiplicando pelas reações encontradas (a, b, c).

2.2.4 Esforços internos na estrutura

Os esforços internos representam o efeito das forças atuantes na estrutura, por isso, para o dimensionamento os esforços internos são utilizados. São esforços internos o esforço cortante e o momento fletor, o esforço cortante é a resultante de forças de uma porção isolada sobre a outra porção na direção transversal ao eixo da barra na seção transversal de corte, o momento fletor é a resultante momento de todas as forças e momentos de uma porção isolada sobre a outra porção na direção transversal ao eixo da barra na seção transversal de corte.

Os esforços internos são utilizados para determinar as envoltórias das estruturas. Para isso faz-se necessário os diagramas, nomeadamente: o diagrama de esforços cortantes (DEC) e o diagrama de momentos fletores (DMF), e a linha de influência.

2.2.5 Linha de Influência

Para o dimensionamento da ponte, deve-se calcular as linhas de influência das forças cortantes e dos momentos fletores. Para tal, é importante conhecer o conceito sobre as linhas de influência.

Para Süsserkind (1997), a linha de influência de um efeito elástico em uma dada seção

E, é a representação gráfica ou analítica do valor deste efeito, naquela seção, produzido por uma carga concentrada unitária, de cima para baixo, que percorre a estrutura.

No projeto usual de ponte, a linha de influência é utilizada devido às cargas móveis aplicadas sendo desconsideradas na análise forças de inércia. O efeito dessas forças é considerado majorando os efeitos estáticos através de fatores de amplificação dinâmica ou coeficientes de impacto (Soriano, 2004).

As estruturas devem ser dimensionadas de modo que a força máxima em cada seção, produzida pela sobrecarga e pela carga permanente, seja menor ou igual à capacidade admissível da seção (Leet, 2010).

Para a obtenção das linhas de influência, utiliza-se o princípio de Müller–Breslau para obter de forma genérica as linhas de influência. O princípio de Müller–Breslau declara que a linha de influência de qualquer reação ou força interna representa à forma defletida da estrutura, produzida pela remoção da capacidade da estrutura de transmitir essa força, seguida da introdução na estrutura modificada de uma deformação unitária correspondente à restrição removida (Leet, 2010).

2.2.6 *Envoltórias limites*

As pontes são solicitadas à carregamentos variáveis em sua totalidade. Assim para o dimensionamento correto desse tipo de estrutura, devemos encontrar as envoltórias das solicitações de serviço.

As envoltórias limites de um determinado esforço em uma estrutura descrevem para um conjunto de cargas móveis ou acidentais, os valores máximos e mínimos deste esforço em cada uma das seções da estrutura, de forma análoga a que descreve o diagrama de esforços para um carregamento fixo (Holtz, 2005).

As envoltórias são obtidas por meio da interpolação de valores máximos e mínimos dos esforços ao longo da estrutura, em seções transversais. A determinação de envoltórias de máximos e mínimos de momentos fletores e/ou esforços cortantes é o principal objetivo da análise estrutural para o caso de cargas móveis ou acidentais, assim possibilitando o dimensionamento da estrutura submetida à solicitação (Holtz, 2005).

2.3 Análise estrutural

A análise estrutural tem por objetivo associar os sistemas físicos (estruturas capazes de receber e transmitir esforços), utilizando propriedades de material determinadas experimentalmente, as ações externas atuantes com os deslocamentos, reações de apoio e suas

resultantes, de modo que possa identificar eventual deficiência de comportamento do material constituinte e/ou de comportamento da estrutura como um todo e/ou de suas partes (Soriano, 2004).

De acordo com Süsserkind (1997), as estruturas são compostas de uma ou mais peças, ligadas entre si e ao meio exterior, para assim formar um conjunto estável, conjunto este capaz de receber as solicitações externas, absorvê-las internamente e transmiti-las até seus apoios, onde as solicitações externas encontrarão seu sistema estático e equilibrante.

Uma estrutura ao apresentar um movimento vibratório, desloca-se em torno de sua deformada estática. Se o seu comportamento é linear, a análise pode ser feita separadamente para as componentes estática e dinâmica da carga e seus efeitos somados (Lima e Santos, 2008).

2.3.1 *Análise estática*

A análise estática das estruturas é considerada nas situações onde as ações são aplicadas de um modo razoavelmente lento, configurando as forças de inércia desprezáveis.

A análise estática tem o objetivo de se obterem as tensões e os deslocamentos da estrutura quando esta não está exposta a ação sísmica, mas apenas sob a ação de suas cargas permanentes e da força de gravidade, assim para as análises estáticas o peso próprio é uma das ações principais.

O estudo da análise estática é de extrema importância pois identifica as tensões e os deslocamentos presentes na estrutura. Um exemplo de análise estática é a Análise estática de uma Igreja vernacular de influência luso-brasileira do século XVIII, conforme demonstrada por Mesquita, Pinto, Rubens, Soeiro (2019), onde os autores concluíram que a estrutura apresentou uma boa resistência a solicitações de compressão, e também que alterações realizadas, modificaram a arquitetura e estrutura, podendo ocorrer o surgimento de fissuras.

2.3.2 *Análise dinâmica*

A dinâmica das estruturas tem por objetivo a determinação de deslocamentos, velocidades e acelerações, todos os elementos constituintes de uma estrutura submetida a cargas dinâmicas.

Subjaz a isso, é possível constatar, a grosso modo, a dinamicidade das ações sobre as estruturas e, concomitante a essa afirmativa, deve ser observado as forças de inércia e suas respectivas acelerações a que cada um de seus componentes fica sujeito. Por esse motivo, segundo Azevedo (2008), seria de se esperar que a análise de uma estrutura teria obrigatoriamente de ter em consideração os efeitos dinâmicos.

O estudo da análise dinâmica é considerável, pois, identificar o fluxo de tensões e as possíveis áreas críticas da estrutura, como também a possível tentativa de intervenção para a preservação. Um exemplo de análise dinâmica é a Análise dinâmica da Igreja Nossa Senhora do Rosário dos Homens Pretos, Aracati, CE, conforme apresentado por Mesquita, Pinto, Rubens, Soeiro (2019), onde foi possível identificar as regiões mais vulneráveis da edificação, nesse sentido, as regiões centrais são apontadas com a maior probabilidade de apresentação de danos, posto a constatação de maiores solicitações.

2.3.3 Programa *Two-dimensional Frame Analysis Tool*

O programa Two-dimensional Frame Analysis Tool (FTOOL) foi idealizado pelo professor Luiz Fernando Martha do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

O desenvolvimento das envoltórias de esforços internos para cargas móveis foi realizado pela pesquisadora Gisele Cristina da Cunha Holtz, com base na sua dissertação de mestrado “Traçado Automático de Envoltórias de Esforços em Estruturas Planas devido a Cargas Móveis utilizando um Algoritmo Evolucionário”, defendida no Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio em 2005.

De acordo com a pesquisadora, o FTOOL calcula a linha de influência de um esforço utilizando o Princípio de Müller-Breslau, também conhecido como método cinemático para o traçado de linha de influência.

O programa auxilia o estudo do comportamento de estruturas, como as pontes, por exemplo, determinando os esforços internos da estrutura, os valores máximos e mínimos para a carga móvel, as envoltórias limites dos esforços internos e os deslocamentos na estrutura.

Nesse estudo o FTOOL será utilizado pois propicia, no aspecto de dimensionamento, uma forma simplificada na calibração do modelo por conta de sua interface, com isso possibilitando a obtenção dos objetivos desejados.

2.3.4 SOFTWARE ANSYS®

O software de análise estrutural ANSYS® permite resolver problemas complexos de engenharia estrutural e tomar decisões de projeto. Com os solucionadores de análise de elementos finitos (FEA) disponíveis no pacote, é possível personalizar e automatizar soluções para os problemas de mecânica estrutural e configurá-los para analisar as diferentes formas.

3 A PONTE DO PEIXE GORDO

3.1 Localização

A ponte sobre o rio Jaguaribe, mais conhecida como Ponte do Peixe Gordo, está localizada na rodovia BR-116, Km 204, no distrito de Peixe Gordo na cidade de Tabuleiro do Norte – Ceará.



Figura 10 – a) Localização; b) Ponte do Peixe Gordo. Fonte: Adaptado - <http://tvj1.com.br/policial/noticias/tabuleiro-do-norte-ponte-do-peixe-gordo-e-explodida-e-fica-com-buracos-na-estrutura-na-br-116.html>

3.2 Breve histórico

A construção da Ponte sobre o rio Jaguaribe data de 1948, com largura de 6,30 metros e comprimento de 390 metros. No ano de 1991, pela necessidade de ser alargada a plataforma, sua estrutura ser reforçada e restaurada, para permitir segurança e trafegabilidade adequada a situação local, foi elaborado e entregue ao Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), que passou a ser posteriormente o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), um Projeto de Engenharia para Reforço, Restauração e Alargamento da ponte.



Figura 11 – Ponte do Peixe Gordo, quando houve o rompimento do Açude do Orós, em 1960. Fonte: Nelson G.

Nos dias 06 e 13, do mês de janeiro de 2019, a ponte foi alvo de ataques criminosos, onde no primeiro ataque, detonaram explosivos em três pontos da tubulação da drenagem da ponte, no segundo ataque, novamente foram utilizados explosivos nos pilares da ponte.



Figura 12 - Imagens do 1º ataque. Fonte: <http://tvj1.com.br/policial/noticias/tabuleiro-do-norte-ponte-do-peixe-gordo-e-explodida-e-fica-com-buracos-na-estrutura-na-br-116.html>

Foi realizada uma avaliação estrutural pelo Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções – LAREB, onde evidenciou que a camada de recobrimento de concreto destacada durante as explosões, onde se pode concluir que a explosão não ocasionou fissuras extensivamente profundas, danos superficiais na estrutura.

3.3 Elementos e características da ponte do peixe gordo

A ponte estudada se classifica como uma ponte rodoviária, o material utilizado na ponte é de concreto armado, exceto as barras do guarda-corpo, quanto ao tipo estrutural da ponte é classificada como ponte em laje maciça, e quanto a sua durabilidade, classifica-se como permanente.

A ponte do peixe gordo tem extensão total de 412 metros, subdividida 11 vãos da seguinte maneira, nove destes vãos com o comprimento de 37 metros e dois com 28,50 metros, e em dois encontros nas extremidades de 11 metros. Sua infraestrutura (fundação) composta por 40 estacas pré-moldadas de concreto armado de 30 x 30 cm por pilar, por meio das estacas os esforços são transmitidos ao solo, a mesoestrutura é constituída por 10 pilares, aparelhos de apoio e encontros, que transmitem os esforços da superestrutura para a infraestrutura. A superestrutura é composta por lajes, vigas (alagamentos das vigas), pista de rolamento, passeio, guarda-rodas e guarda-corpo, esses elementos são os que dão suporte para a ponte.

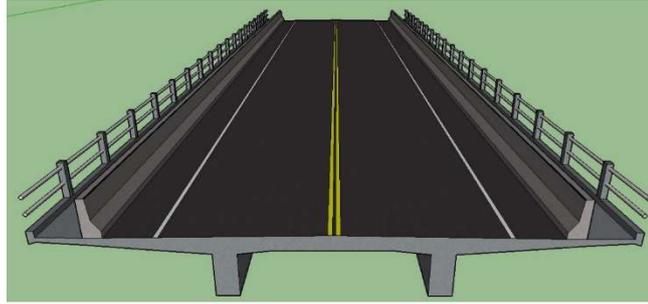


Figura 13 - Representação gráfica de um vão da ponte. Fonte: Próprio Autor (*Sketchup*)

3.4 Superestrutura

A superestrutura, como já foi dito, é composta pelos elementos estruturais a seguir são eles, as vigas principais, a laje do tabuleiro (pista de rolamento, com acréscimo do revestimento e passarela de passeio), as guarda-rodas e os guarda-corpo. As dimensões dessas estruturas estão abaixo, Figura 7.

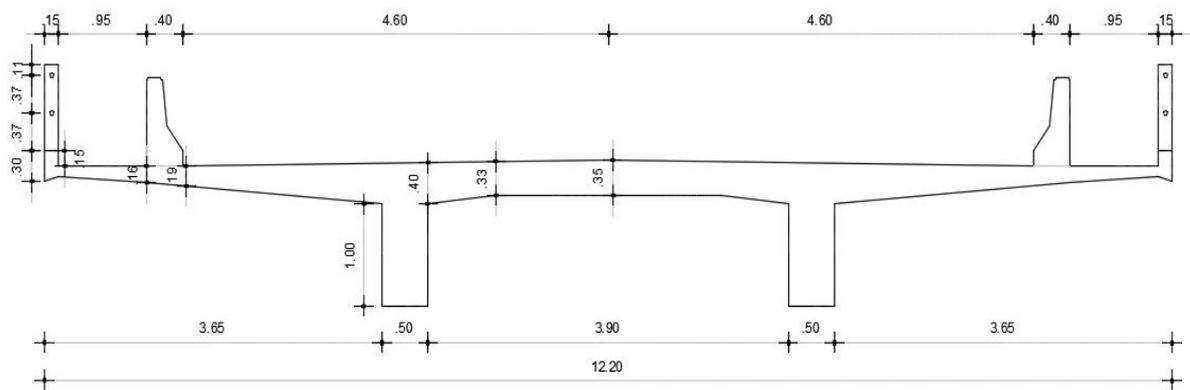


Figura 14 - Superestrutura da ponte. Fonte: Próprio Autor

Nas vigas principais da Ponte do Peixe Gordo existe um alargamento nas proximidades dos seus pilares, construído na intervenção realizada.

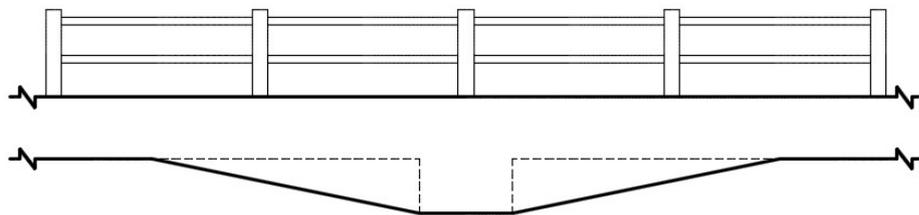


Figura 15 - Detalhe do alargamento. Fonte: Próprio Autor

3.5 Ações na ponte do peixe gordo

3.5.1 Ações permanentes

As ações permanentes são as cargas constantes na ponte. Essas cargas são o peso próprio da estrutura, dos elementos construtivos permanentes e os pesos dos equipamentos fixos. O

material das estruturas, exceto o revestimento sobre o tabuleiro e os tubos galvanizados do guarda-corpo, é o concreto armado, que tem peso específico igual a 25 kN/m^3 , já os demais materiais, revestimento do pavimento e tubo galvanizado, tem os seguintes pesos específicos, 24 kN/m^3 e $3,66 \text{ kN/m}^3$, respectivamente. Outro carregamento permanente que deve ser considerado são os alargamentos na viga principal. Com cálculo semelhante, temos uma carga igual a $17,22 \text{ kN}$. Assim temos o seguinte carregamento permanente.

Tabela 3 - Carregamento Permanente

Estrutura da ponte	Área (m^2)	γ (kN/m^3)	Carregamento (kN/m)
Laje - Viga	2,25	25,0	56,23
Guarda-roda	0,23	25,0	5,80
Guarda-corpo	0,02	25,0	0,48
Tubos (Guarda-corpo)	0,01	3,66	0,03
Revestimento	0,23	24,0	5,52
Total			68,06
Carga Pontual (Alargamento)			17,22 kN

Fonte: Próprio Autor

Com a utilização da ferramenta computacional FTOOL, temos os esforços cortantes e os momentos fletores, os valores estão na tabela 4, o detalhamento do carregamento e os diagramas DEC e DMF na figura 16.

Tabela 4 – Esforço cortante e momento fletor da carga permanente na ponte.

Seção	Carga Permanente	
	Esforço Cortante	Momento Fletor
A	711,53 kN	0,00 kN.m
B	B _{ESQ}	- 1.228,18 kN
	B _{DIR}	1.245,33 kN
C	C _{ESQ}	- 1.272,89 kN
	C _{DIR}	1.262,80 kN
D	D _{ESQ}	- 1.255,42 kN
	D _{DIR}	1.258,13 kN
E	E _{ESQ}	- 1.260,09 kN
	E _{DIR}	1.259,36 kN
F	F _{ESQ}	- 1.258,86 kN
	F _{DIR}	1.259,11 kN
G	G _{ESQ}	-1.259,11 kN
	G _{DIR}	1.258,86 kN
H	H _{ESQ}	- 1.259,36 kN
	H _{DIR}	1.260,09 kN
I	I _{ESQ}	- 1.258,13 kN
	I _{DIR}	1.255,42 kN
J	J _{ESQ}	- 1.262,80 kN
	J _{DIR}	1.272,89 kN
K	K _{ESQ}	- 1.245,33 kN
	K _{DIR}	1.228,18 kN
L	- 711,53 kN	0,00 kN.m

Fonte: Própria Autor

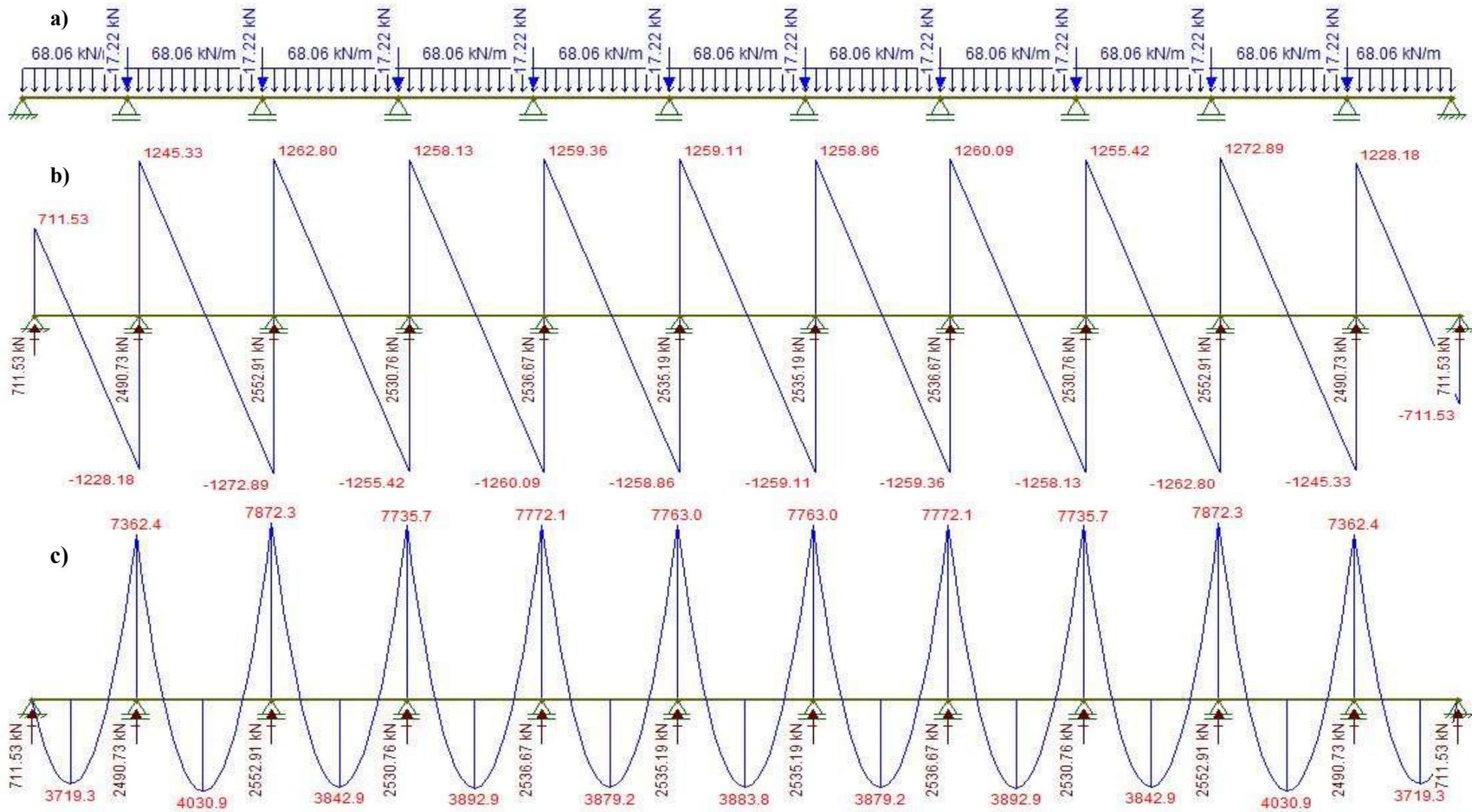


Figura 16 – a) Carregamento permanente da ponte; b) DEC; c) DMF. Fonte: Próprio Autor (*FTOOL*)

3.6 Trem-tipo

Para determinar o veículo-tipo, classifica-se a Ponte do Peixe Gordo como sendo uma ponte T45, pois se trata de uma ponte situada na BR-116, onde se tem grande tráfego de cargas pesadas, como também um número elevado de transportes, assim utiliza-se o veículo-tipo T45.

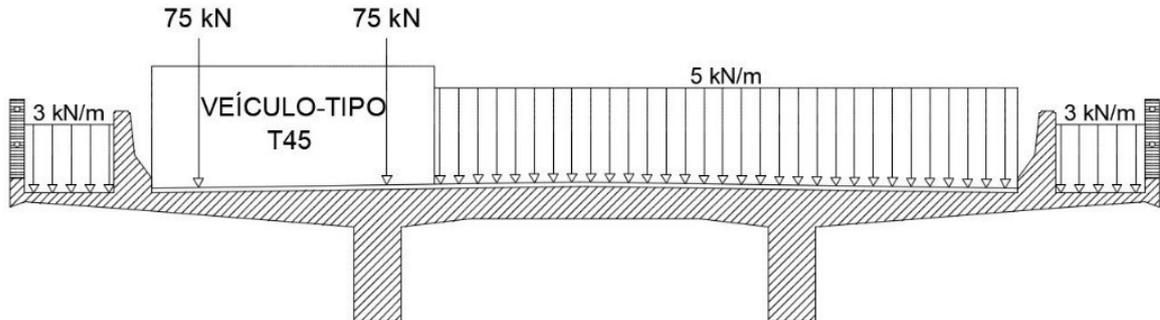


Figura 17 - Detalhe veículo-tipo T45 na ponte. Fonte: Próprio Autor

Para o cálculo das reações do trem-tipo determinado, não foi incluído o balanço da passarela e uma parte da pista de rolamento, sendo destinado ao cálculo a parte entre os apoios e o balanço mais próximo a reação requerida, pois as reações encontradas desta maneira possibilita uma maior segurança, pois as reações obtidas com esta disposição, possuem valores maiores.

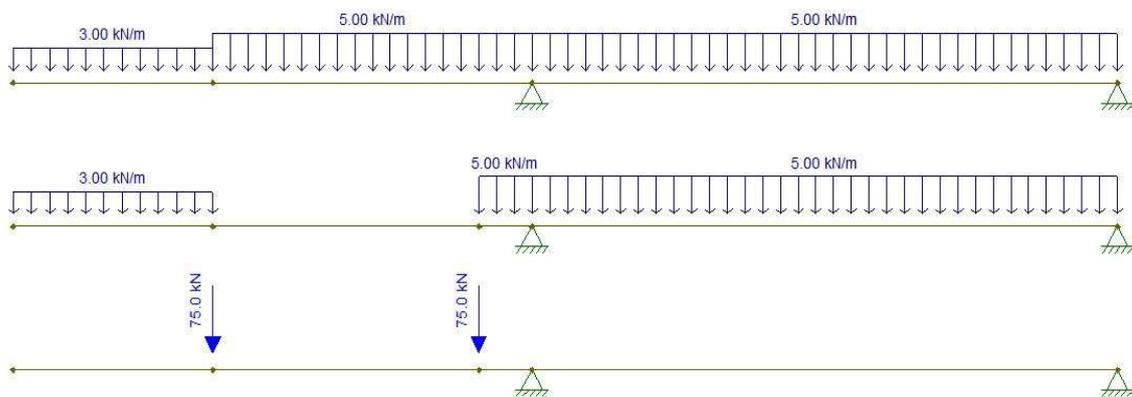


Figura 18 - Detalhe das faixas na seção transversal da ponte, veículo-tipo T45. Fonte: Próprio Autor

Realizado os cálculos das reações nas seções previstas, utilizando o programa FTOOL, as resultantes foram as seguintes, na faixa fora do veículo-tipo é igual a 33,99 kN, na faixa do veículo-tipo é igual a 20,81 kN, e por fim na faixa do veículo-tipo (carga veículo) é de 197,73 kN.

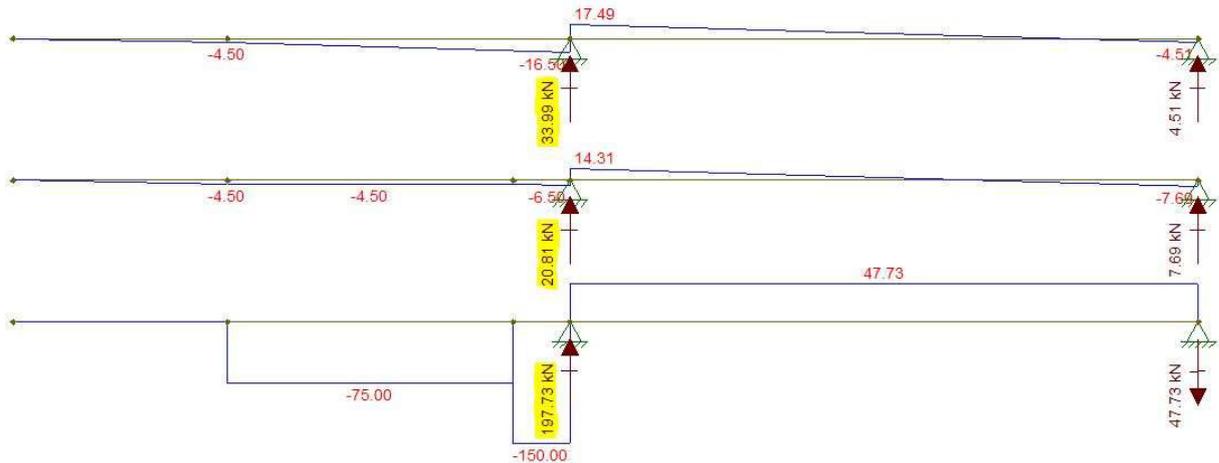


Figura 19 – Reações para constituir o trem-tipo. Fonte: Próprio Autor

O cálculo do coeficiente de impacto é necessário para o trem-tipo, de acordo com a NBR 7187:2003, no caso de vãos desiguais, como no caso da ponte estudada, se o menor vão seja igual ou superior a 70% do vão maior, permite-se considerar um vão ideal equivalente à média aritmética dos demais vãos. Sendo assim, o comprimento do vão utilizado será igual a 390 metros dividido por 11 vãos, onde temos L igual a 35,45 metros. Ao passo que o coeficiente de impacto (φ) é calculado:

$$\varphi = 1,4 - 0,007 \times L \geq 1 \quad (1)$$

$$\varphi = 1,4 - 0,007 \times 35,45 \geq 1 \quad (2)$$

$$\varphi = 1,4 - 0,25 \geq 1 \quad (3)$$

$$\varphi = 1,15 \geq 1 \quad (4)$$

Calculado o coeficiente de impacto, temos que multiplicá-lo pelas reações calculadas, assim temos o seguinte Trem-tipo.

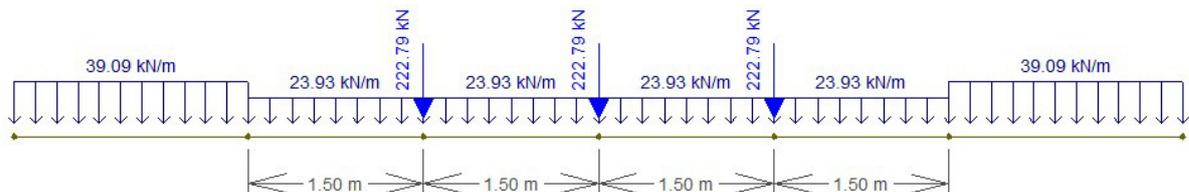


Figura 20 - Trem-tipo. Fonte: Próprio Autor

3.7 Máximos e mínimos dos esforços internos para carga móvel

As linhas de influência são utilizadas para a obtenção dos máximos e mínimos para a carga móvel, utilizando o FTOOL, temos os seguintes resultados para o esforço cortante e o momento fletor, esses resultados estão detalhados na Tabela 5.

Nos apêndices A e B, temos a linha de influência utilizada e as posições das cargas móveis para máximo e mínimo do esforço cortante e do momento fletor.

Tabela 5 – Máximos e mínimos para a carga móvel.

Carga Móvel					
Seção	Esforço Cortante		Momento Fletor		
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
A	-179,92	1.085,36	0,00	0,00	
B	B_{ESQ}	-1.317,51	48,21	-6.989,42	1.373,93
	B_{DIR}	-168,61	1.405,41		
C	C_{ESQ}	-1.406,72	142,81	-7.641,60	1.802,28
	C_{DIR}	-183,28	1.430,40		
D	D_{ESQ}	-1.427,78	184,23	-7.797,35	2.042,38
	D_{DIR}	-191,50	1.435,93		
E	E_{ESQ}	-1.436,46	190,85	-7.864,19	2.088,57
	E_{DIR}	-193,06	1.438,20		
F	F_{ESQ}	-1.438,06	193,20	-7.876,07	2.105,62
	F_{DIR}	-193,52	1.438,52		
G	G_{ESQ}	-1.438,52	193,52	-7.876,07	2.105,62
	G_{DIR}	-193,20	1.438,06		
H	H_{ESQ}	-1.438,20	193,06	-7.864,32	2.088,57
	H_{DIR}	-190,85	1.436,46		
I	I_{ESQ}	-1.435,93	191,50	-7.797,35	2.042,38
	I_{DIR}	-184,23	1.427,78		
J	J_{ESQ}	-1.430,40	183,28	-7.641,60	1.802,28
	J_{DIR}	-142,81	1.406,72		
K	K_{ESQ}	-1.405,41	168,61	-6.989,42	1.373,93
	K_{DIR}	-48,21	1.317,51		
L	-1.085,36	179,92	0,00	0,00	

Fonte: Próprio Autor

3.8 Envoltórias

As envoltórias dos esforços na estrutura da ponte, foram obtidas com a utilização dos diagramas dos esforços internos, Tabela 3 e Figura 16, e dos máximos e mínimos para a carga móvel, Tabela 4, assim temos a tabela de composição das solicitações de serviço.

As tabelas de composição a seguir são para o esforço cortante e para o momento fletor, assim temos os máximos e mínimos submetidos na estrutura, com isto possibilita o dimensionamento da estrutura.

Tabela 6 – Tabela de composição para o esforço cortante.

Seção	Envoltórias (kN)		
	Mínimo	Máximo	
A	531,61	1.796,89	
B	B _{ESQ}	-2.545,70	-1.179,98
	B _{DIR}	1.076,72	2.650,74
C	C _{ESQ}	-2.679,61	-1.130,08
	C _{DIR}	1.079,52	2.693,21
D	D _{ESQ}	-2.683,20	-1.071,19
	D _{DIR}	1.066,62	2.694,05
E	E _{ESQ}	-2.696,56	-1.069,25
	E _{DIR}	1.066,30	2.697,56
F	F _{ESQ}	-2.696,92	-1.065,67
	F _{DIR}	1.065,59	2.697,63
G	G _{ESQ}	-2.697,63	-1.065,59
	G _{DIR}	1.065,67	2.696,92
H	H _{ESQ}	-2.697,56	-1.066,30
	H _{DIR}	1.069,25	2.696,56
I	I _{ESQ}	-2.694,05	-1.066,62
	I _{DIR}	1.071,19	2.683,20
J	J _{ESQ}	-2.693,21	-1.079,52
	J _{DIR}	1.130,08	2.679,61
K	K _{ESQ}	-2.650,74	-1.076,72
	K _{DIR}	1.179,98	2.545,70
L	-1.796,89	-531,61	

Fonte: Próprio Autor

Tabela 7 – Tabela de composição para o momento fletor.

Seção	Envoltórias (kN.m)	
	Mínimo	Máximo
A	0,00	0,00
A-B	1.743,12	10.226,78
B	-14.351,81	-5.988,43
B-C	1.440,86	11.429,75
C	-15.513,85	-6.069,97
C-D	949,33	11.509,36
D	-15.533,04	-5.693,30
D-E	935,11	11.640,85
E	-15.636,43	-5.683,54
E-F	900,95	11.643,82
F	-15.639,06	-5.657,39
F-G	903,05	11.652,80
G	-15.639,04	-5.657,36
G-H	900,95	11.643,82
H	-15.636,37	-5.683,50
H-I	935,11	11.640,85
I	-15.533,04	-5.693,30
I-J	949,33	11.509,36
J	-15.513,85	-6.069,97
J-K	1.440,86	11.429,75
K	-14.351,66	-5.988,44
K-L	1.743,12	10.226,78
L	0,00	0,00

Fonte: Próprio Autor

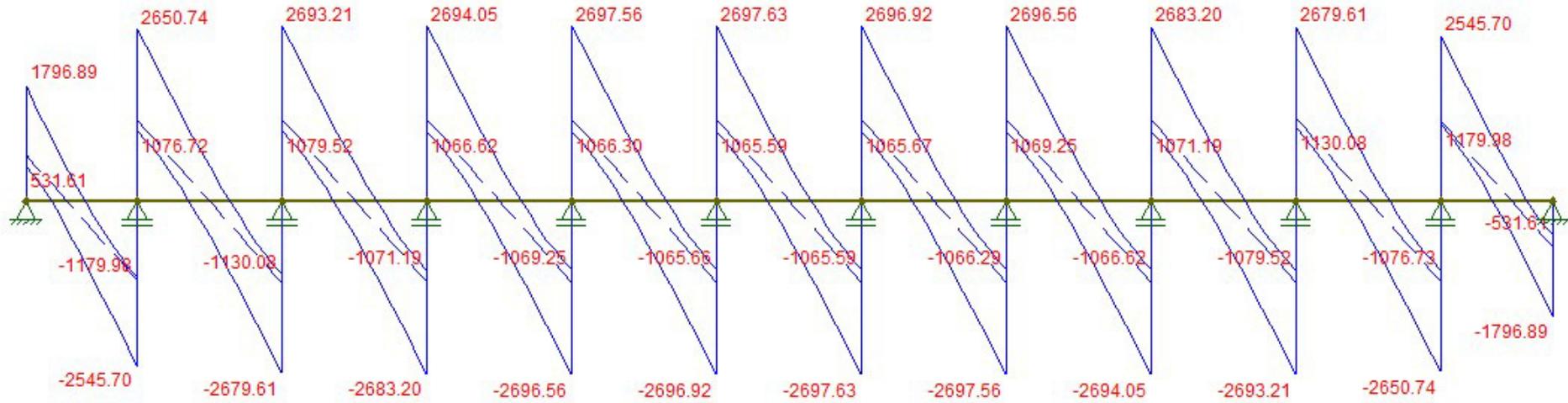


Figura 21 – Envoltória do esforço cortante. Fonte: Próprio Autor

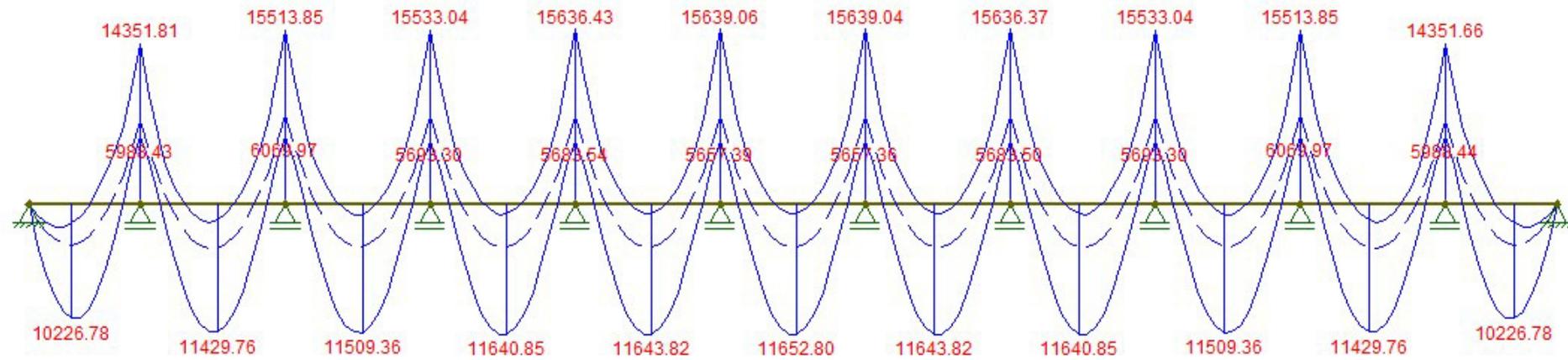


Figura 22 – Envoltória do momento fletor. Fonte: Próprio Autor

4 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA PONTE

4.1 Análise estática

4.1.1 *Modelagem numérica da estrutura*

Nessa etapa, buscou-se inicialmente a elaboração de um modelo 3D que representasse a superestrutura da ponte. Para isso foram utilizadas as informações obtidas de projetos estruturais da ponte fornecida pelo DNIT e com uso do software comercial *AutoCAD*®, que possibilitou a construção do modelo que representasse a estrutura da ponte o mais fidedigno possível às suas características. Em seguida, o modelo foi importado para o no software *Ansys*®, versão 17.1, para que se obtivesse a malha de elementos finitos. Com isso, obteve-se uma malha composta por 192.784 elementos e 394.252 nós. A Figura 23 mostra dois vão do modelo 3D obtido.

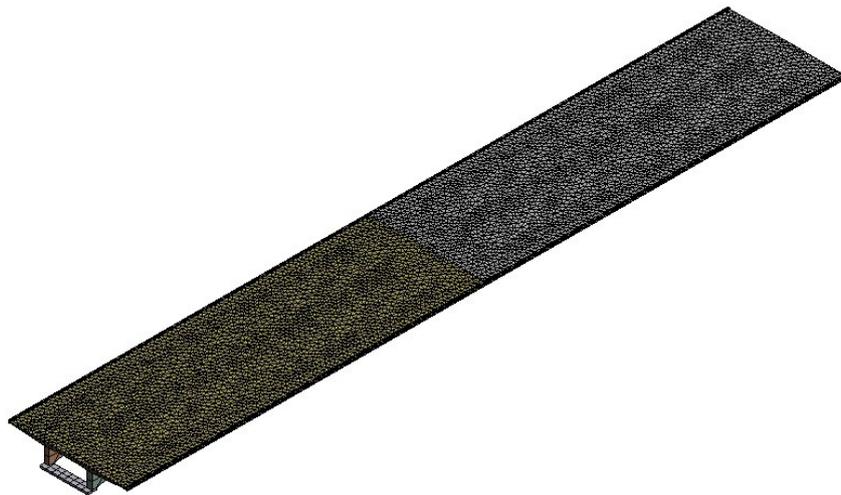


Figura 23 – Modelo 3D em malha de elementos finitos. Fonte: Próprio Autor

4.1.2 *Carregamentos e propriedades mecânicas*

Os carregamentos aplicados nesta análise foram as ações permanentes das pontes que são as cargas constantes, ou seja, peso próprio dos elementos da superestrutura. Os elementos da superestrutura que estão no modelo 3D são as vigas e a laje, para os demais elementos adotaram-se forças para substituir o peso próprio, são eles: guarda-rodas, guarda-corpo e revestimento, assim os carregamentos permanentes estão aplicados na estrutura, onde facilitou a construção da malha do modelo.

Para o cálculo dos carregamentos, o material utilizado em todo o modelo foi o de características que se parecem ao concreto armado, onde, de acordo com Pinheiro (2007),

adotaram-se os seguintes parâmetros para as propriedades mecânicas do material: considerou-se o módulo de elasticidade (E) de 30 GPa, o peso específico (w) de 25 kN/m, a resistência à compressão (f_c) de 25 MPa, a resistência a tração (f_t) de 3 MPa e o coeficiente de Poisson (ν) de 0,20. As propriedades estão dispostas na Tabela 8.

Tabela 8 –Propriedades mecânicas adotadas no modelo numérico para análise estática.

Propriedade Mecânica	Magnitude	Unidade
E	30,00	GPa
w	25,00	kN/m ³
f_c	25,00	MPa
f_t	3,00	MPa
ν	0,20	adimensional

Fonte: Próprio Autor

4.1.3 Resultados e discussão

4.1.3.1 Deslocamentos direcionais

O início da análise da superestrutura deu-se após adicionadas as características dos materiais e as cargas, pela qual foram obtidos os deslocamento direcionais nos eixos X, Y e Z. O eixo X corresponde ao sentido transversal horizontal da ponte, o eixo Y no sentido vertical e o eixo Z no sentido longitudinal horizontal.

Os deslocamentos direcionais no eixo X estão representados na Figura 24, onde verifica-se que o deslocamento, no sentido positivo do eixo, tem amplitude de aproximadamente 1,03 mm, localizada na viga do vão 9. Já na direção negativa do eixo, o deslocamento tem amplitude de, aproximadamente, 0,88mm, localizada na viga do vão 11.

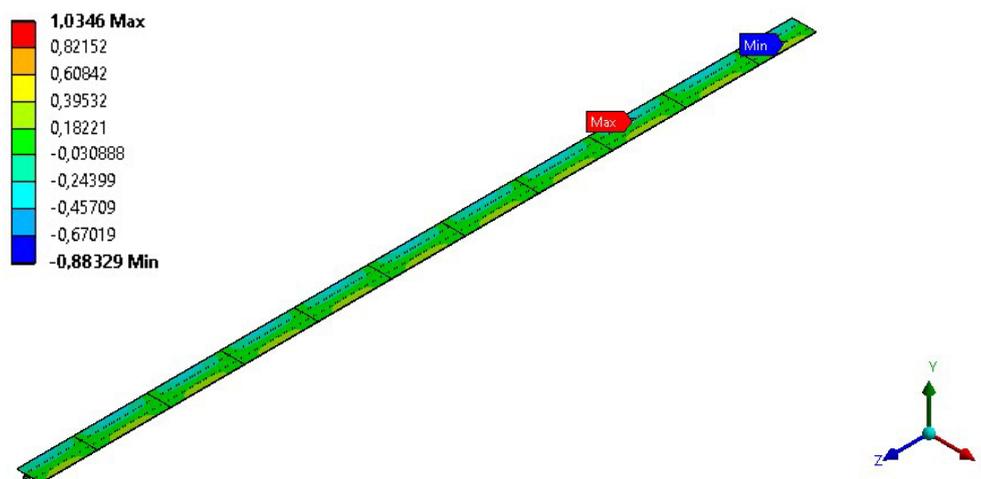


Figura 24 – Deslocamentos direcionais no eixo X com unidade em milímetros. Fonte: Próprio Autor

Os deslocamentos direcionais no eixo Z estão representados na Figura 25, onde verifica-se que o deslocamento, no sentido positivo do eixo, tem amplitude de aproximadamente 3,31

mm, localizada na viga do vão 10. Já na direção negativa do eixo, o deslocamento tem amplitude de, aproximadamente, 3,31mm, localizada na viga do vão 2.

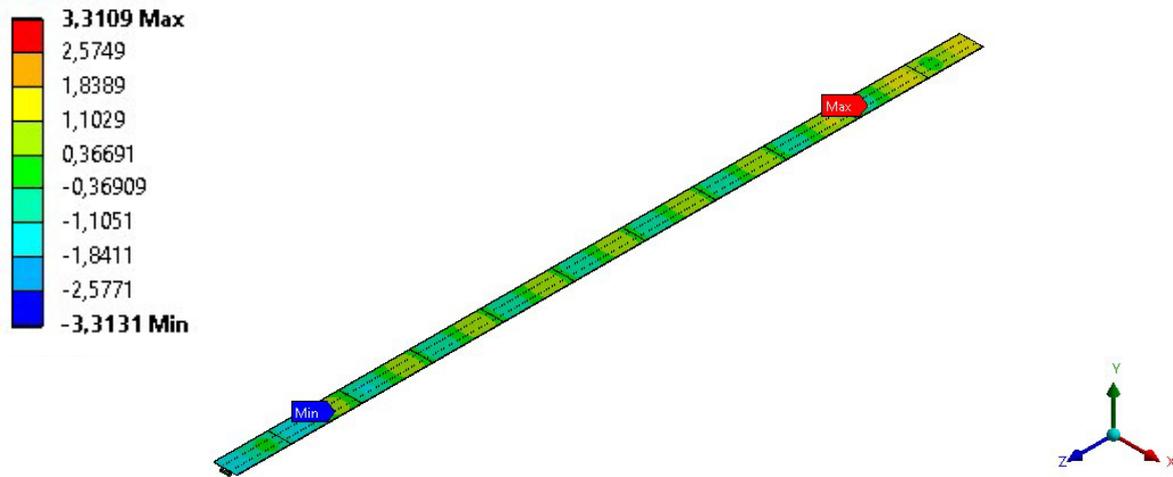


Figura 25 – Deslocamentos direcionais no eixo Z com unidade em milímetros. Fonte: Próprio Autor

Para o eixo Y apresenta os deslocamentos, para o eixo positivo, de menor intensidade, cerca de 0,66 mm, entretanto o eixo negativo contém maior amplitude, 40,68 mm. A menor intensidade está localizada na extremidade livre da laje do vão 11. A maior intensidade está localizada na borda lateral da laje do vão 10.

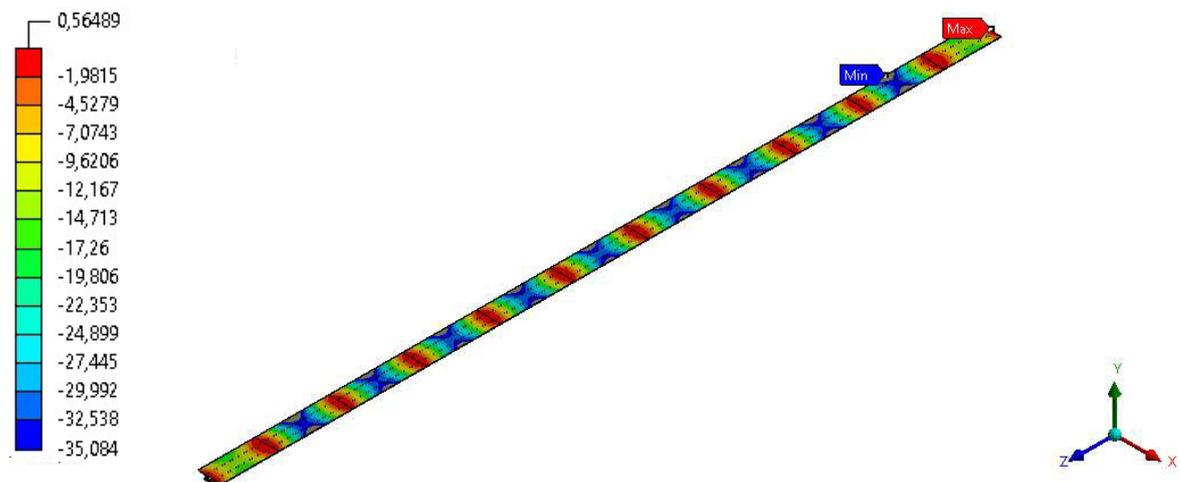


Figura 26 – Deslocamentos direcionais no eixo Y com unidade em milímetros. Fonte: Próprio Autor

4.1.3.2 Deslocamento total

Com os deslocamentos direcionais obtidos, tornou-se interessante obter os resultados referentes ao deslocamento total apresentado pela estrutura da ponte do Peixe Gordo, representado na Figura 27. Nota-se o deslocamento máximo igual a 40,68 mm, localizada na borda lateral da laje do vão 10.

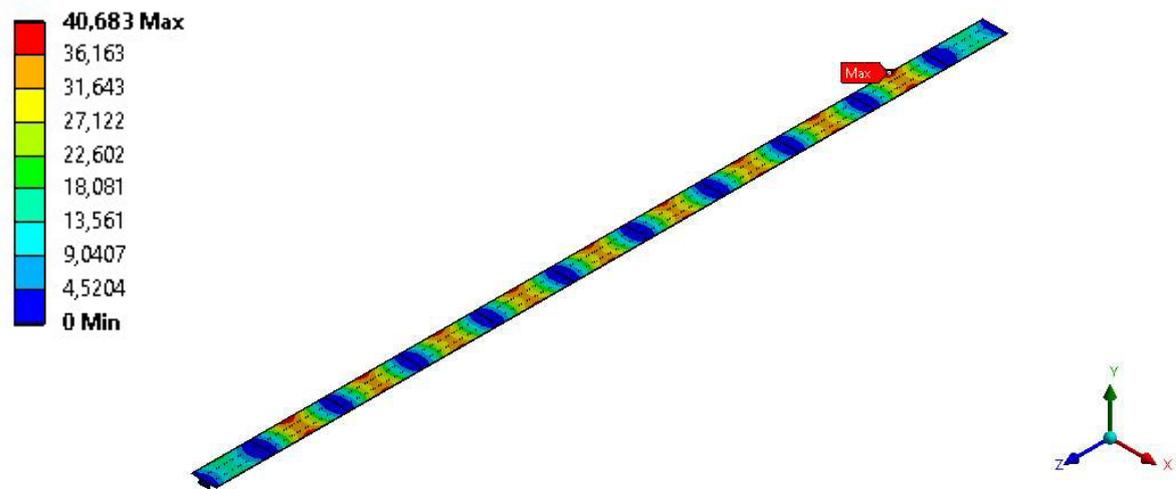


Figura 27 – Deslocamento total com unidade em milímetros. Fonte: Próprio Autor

4.1.3.3 Tensões principais

A Figura 28, apresenta as tensões principais de tração atuantes na superestrutura da ponte. Os maiores valores de tensão encontrados, estão localizados no meio das extremidades inferiores das vigas (Figura 28.b), onde a maior intensidade encontrada foi no meio do vão 6 (vão central), cerca de 13,21 MPa. Vale salientar que as tensões ultrapassam a resistência característica a tração adotada, de 3,00 MPa.

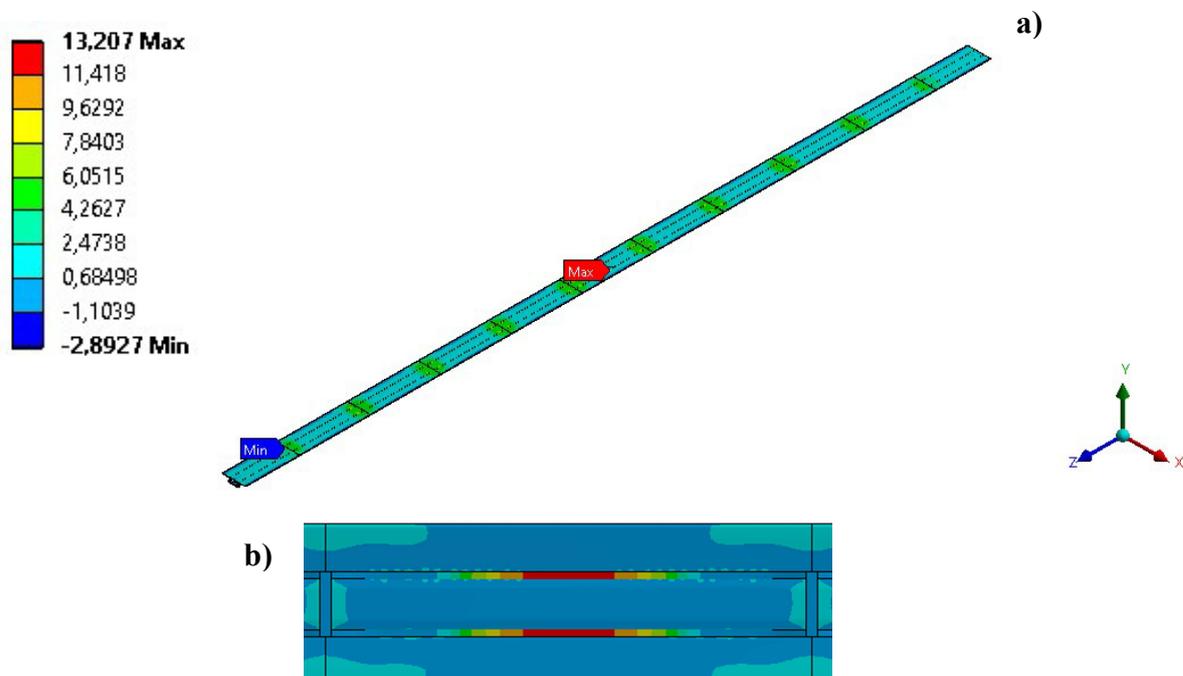


Figura 28 – Tensões principais de tração no modelo, unidade em Pascal. (a) Vista em perspectiva, (b) Ponto de maior intensidade. Fonte: Próprio Autor

As tensões principais de compressão, representadas na Figura 29, as amplitudes atingem até 25,28 MPa, valor um pouco maior que a resistência adotada no modelo.

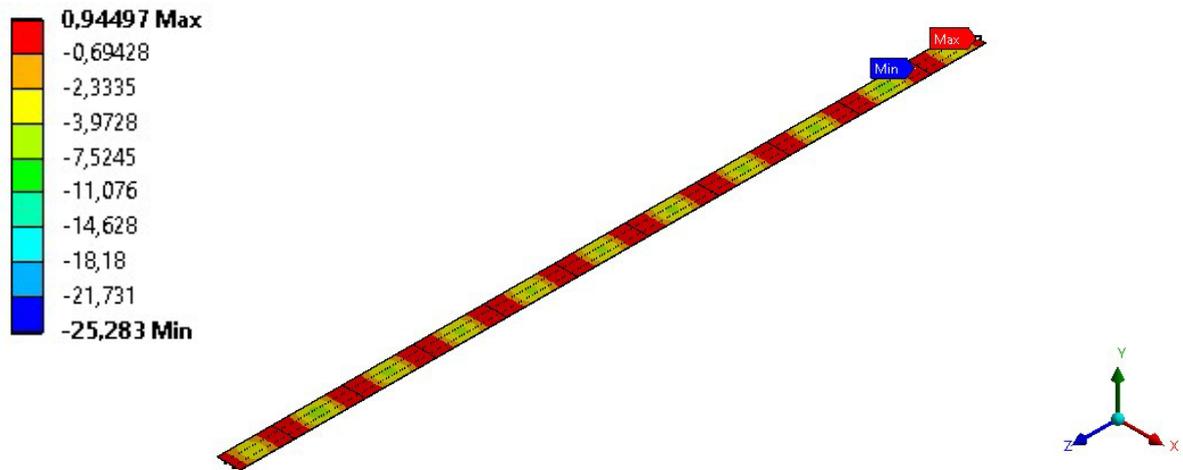


Figura 29 – Tensões Principais de compressão no modelo, unidade em Pascal. Fonte: Próprio Autor

4.2 Análise dinâmica

4.2.1 Modelagem numérica da estrutura

Analogamente a modelagem numérica da estrutura para a análise estática, o modelo foi construído, em seguida importado para o software Ansys®, versão 17.1, onde obtivemos uma malha composta por 192.259 elementos e 393.571 nós.

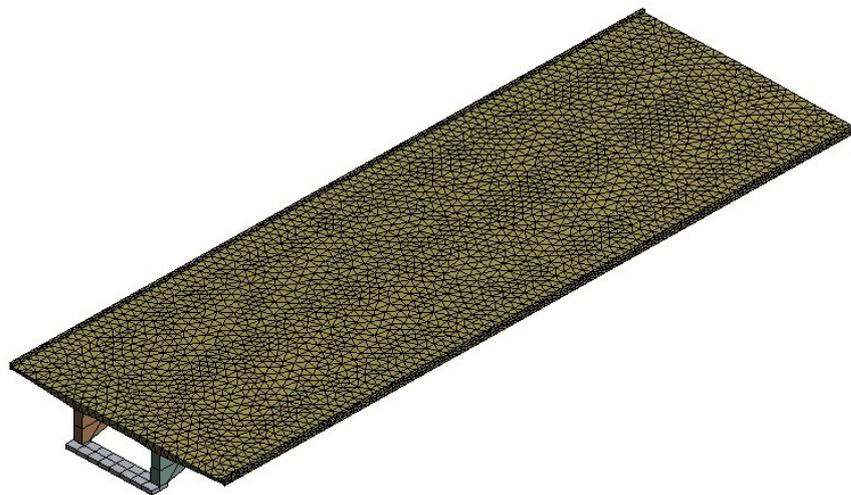


Figura 30 – Modelo 3D em malha de elementos finitos. Fonte: Próprio Autor

4.2.2 Propriedades mecânicas

O material utilizado em todo o modelo, foi o de características que se assemelham ao concreto armado, onde, de acordo com Pinheiro (2007), adotaram-se os seguintes parâmetros para as propriedades mecânicas do material, análogo análise estática: considerou-se o módulo

de elasticidade (E) de 30 GPa, o peso específico (w) de 25 kN/m, a resistência à compressão (f_c) de 25 MPa, a resistência a tração (f_t) de 3 MPa e o coeficiente de Poisson (ν) de 0,20.

Tabela 9 – Propriedades mecânicas adotadas no modelo numérico para análise dinâmica.

Propriedade Mecânica	Magnitude	Unidade
E	30,00	GPa
w	25,00	kN/m ³
f_c	25,00	MPa
f_t	3,00	MPa
ν	0,20	adimensional

Fonte: Próprio Autor

4.2.3 Resultados e discussão

4.2.3.1 Frequências naturais e modos de vibração

Foram extraídos as frequências naturais e períodos de 6 modos de vibração do modelo 3D. A Tabela 10 apresenta os resultados e as respectivas participações de massa para cada eixo, onde o eixo X corresponde ao sentido transversal horizontal da ponte, o eixo Y no sentido vertical e o eixo Z no sentido longitudinal horizontal.

Tabela 10 – Frequência natural e período para cada modo de vibração.

Modo de Vibração	Frequência (Hz)	Período (s)	Participação de Massa %		
			Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
1	3,0902	0,324	7,64	1,64	0,00
2	3,0994	0,323	2,46	0,00	5,24
3	3,1154	0,321	21,47	17,07	0,00
4	3,1383	0,319	5,99	0,00	22,95
5	3,1690	0,316	50,26	81,29	0,01
6	3,2094	0,312	12,17	0,00	71,79

Fonte: Próprio Autor

Com os dados extraídos, tem-se também as representações gráficas nos eixos X, Y e Z, onde destaca-se as participações de massa no eixo principal do gráfico, no eixo secundário temos as frequências naturais, onde se tem o acréscimo das frequências ao passo que as simulações se desenvolvem.

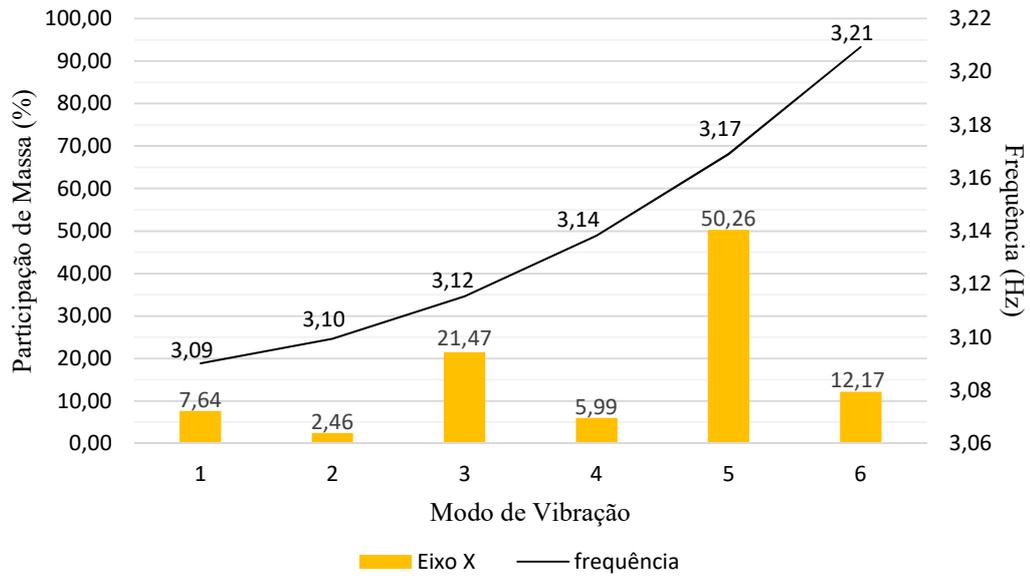


Figura 31 – Representação gráfica da participação de massa no eixo X, e também, das frequências naturais de vibração. Fonte: Próprio Autor

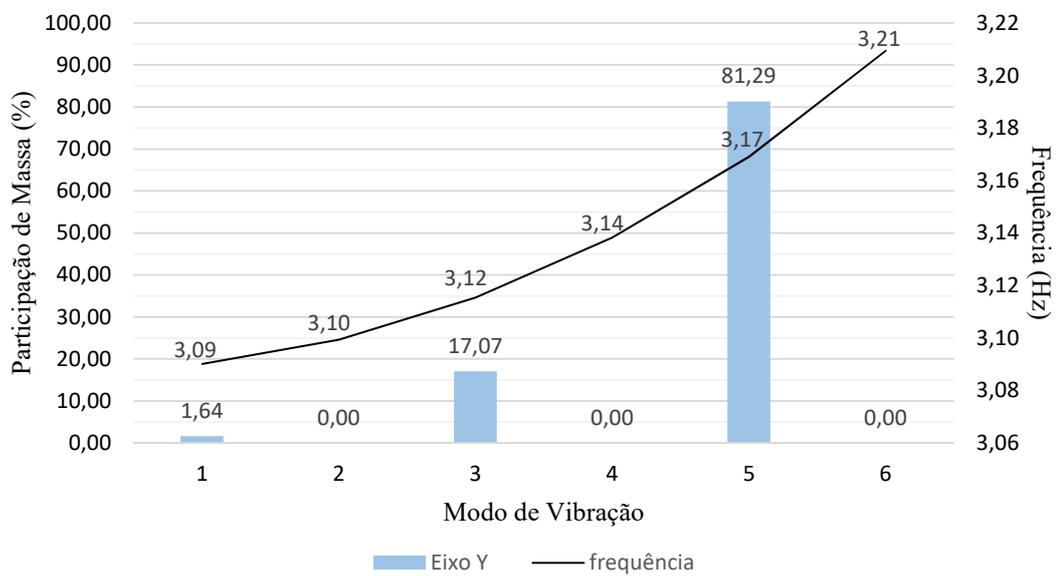


Figura 32 – Representação gráfica da participação de massa no eixo Y, e também, das frequências naturais de vibração. Fonte: Próprio Autor

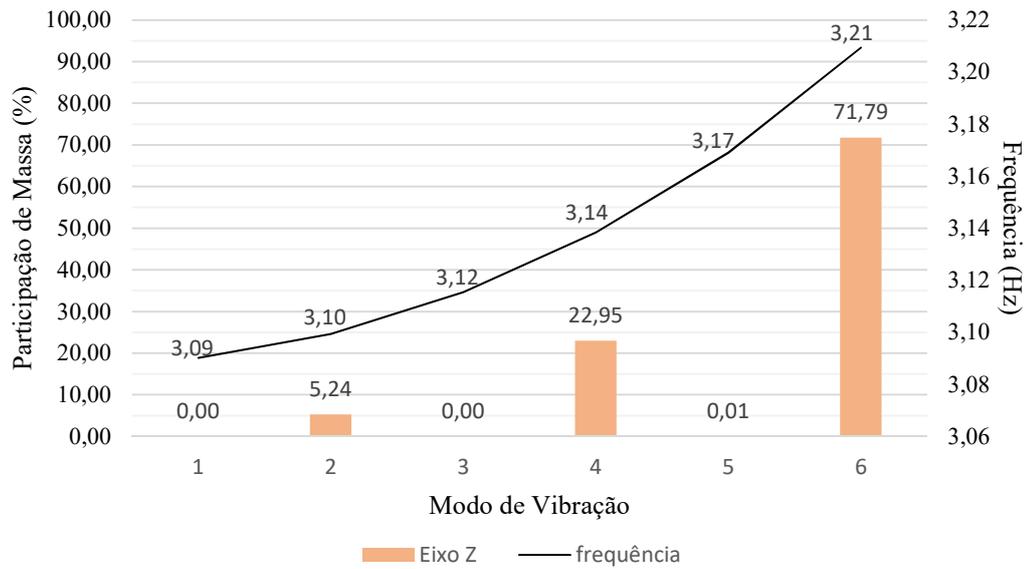


Figura 33 – Representação gráfica da participação de massa no eixo Z, e também, das frequências naturais de vibração. Fonte: Próprio Autor

É de grande relevância a primeira frequência obtida, pois a esta frequência podem ocasionar fenômenos oscilatórios danosos a estrutura da ponte. O eixo Y, eixo vertical, foi o que apresentou deslocamentos significativos, em relação aos demais eixos, X e Z, pois a superestrutura da ponte está no plano XZ, sendo assim os apoios fixados estão no mesmo plano, conseqüentemente as vibrações atuam de forma direta no eixo Y. Isso pode ser percebido nos 6 modos de vibração obtidos, e apresentados a seguir.

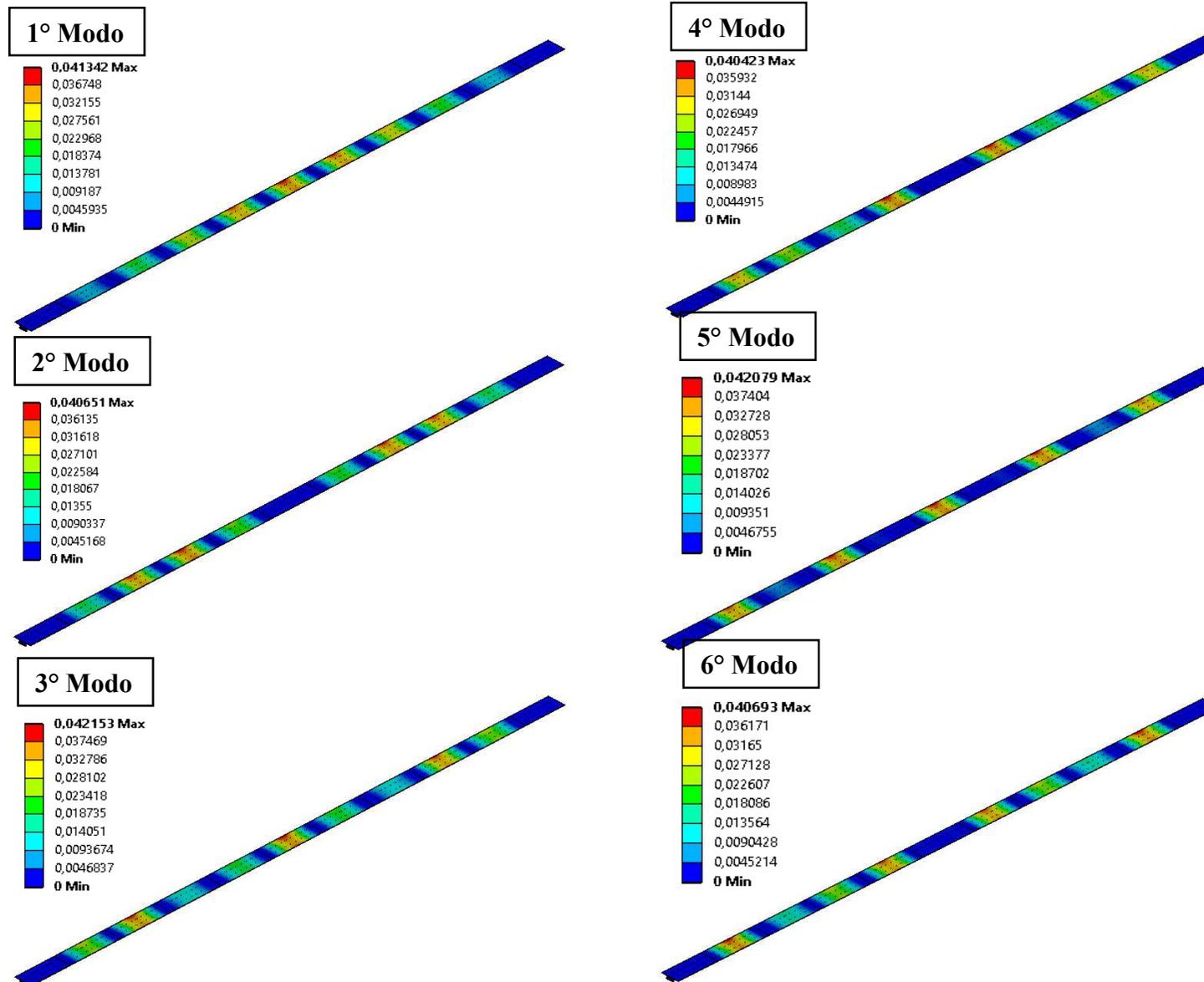


Figura 34 – Deslocamentos totais para os 6 modos de vibração, unidade em milímetros. Fonte: Próprio Autor (FTOOL)

Observa-se que o primeiro modo, de frequência 3,09 Hz, apresentou um deslocamento máximo de 0,0413 mm, sendo este deslocamento localizado no vão central da ponte, vão 6, mais precisamente na borda lateral da laje no meio do vão. O segundo modo, de frequência 3,10 Hz, apresentou 0,0407 mm de deslocamento máximo, localizado na borda lateral da laje no vão 4.

O terceiro modo, de frequência 3,12 Hz, apresentou um deslocamento máximo de 0,0422 mm, sendo localizado também no vão central, como o primeiro modo. O quarto modo, de frequência 3,14 Hz, apresentou deslocamento máximo de 0,0404 mm, localizado na borda lateral da laje do vão 5 no meio do vão. O quinto modo, de frequência 3,17 Hz, apresentou deslocamento máximo de 0,0421 mm, localizado na borda lateral da laje, no meio do vão central. O sexto modo, de frequência 3,21 Hz, com deslocamento máximo de 0,0407 localizado no meio do vão 10, na borda lateral da laje.

Tabela 11 – Frequência natural e deslocamento máximo.

Modo	Frequência (Hz)	Deslocamento Máximo (mm)
1	3,09	0,0413
2	3,10	0,0407
3	3,12	0,0422
4	3,14	0,0404
5	3,17	0,0421
6	3,21	0,0407

Fonte: Próprio Autor

Os resultados obtidos permitem uma maior compreensão a respeito das possíveis respostas da estrutura frente à esforços capazes de introduzir movimentos oscilatórios. Assim, identificou as regiões mais propícias a movimentações durante a ocorrência de uma excitação dinâmica na estrutura. Por fim, pode-se dizer que simulações dessa natureza possuem grande importância como ferramenta para identificação de mecanismos de danos.

5 CONCLUSÕES

Notadamente, este trabalho teve por objetivo caracterizar o comportamento estrutural da superestrutura da Ponte do Peixe Gordo, em Tabuleiro do Norte, Ceará, e no seguimento, um modelo numérico computacional baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF) foi construído com base nas informações geométricas e informações de projetos fornecidas pelo DNIT.

Para a análise estrutural, foram obtidas as envoltórias dos esforços, a partir de um dimensionamento expedito da ponte, e seguiu-se com a análise estática e dinâmica da ponte. É importante destacar que além da contribuição para a avaliação da segurança estrutural da ponte, este tipo de trabalho contribui para a aquisição de conhecimento de estruturas existentes e monitoramento da evolução da durabilidade global da construção.

Os resultados da análise estática mostraram que os deslocamentos direcionais da estrutura apresentaram deslocamentos iguais a 1,03 milímetros para o eixo X, 3,31 milímetros para o eixo Z, e 40,68 milímetros para o eixo Y, maior amplitude obtida. Logo, o deslocamento total obtido na análise, foi de 40,61 milímetros localizado na borda lateral da laje do vão 10. Os maiores valores obtidos para a tensão de tração e a tensão de compressão foram de 13,21 MPa e 25,28 MPa, respectivamente.

Já os resultados da análise dinâmica mostraram que, para os seis primeiros modo de vibração, o deslocamento com maior amplitude apresentado foi no terceiro modo, com deslocamento de 0,0422 milímetros. Na sequência temos o quinto modo, com 0,0421 milímetros, e o primeiro modo, com 0,0413 milímetros. Vale ressaltar que todos os máximos deslocamentos desta análise estão localizados no vão central da ponte.

Durante o processo de análise foi estudado nos eixos da estrutura a variável, participação de massa. Constatou-se as seguintes maiores participações, onde para o eixo X apresentou 50,26% no quinto modo de vibração, para o eixo Y apresentou 81,29% no quinto modo de vibração, e para o eixo Z apresentou 71,79% no sexto modo de vibração.

Os modelos numéricos utilizados assegura dados viáveis, que permitiram compreender o comportamento da estrutura e avaliar o nível de tensões atuantes, bem como localizar essas tensões no plano geométrico.

Este estudo promove conhecimento a respeito de uma obra existente, sendo assim, considerado de suma importância a sociedade, pois possibilita ao DNIT – UNIDADE RUSSAS a aquisição de dados a respeito daquela obra, onde os dados obtidos por este trabalho servirão de subsídios para futuras ações de monitoramento auxiliando como suporte para posteriores

análises, com enfoque na restauração e conservação destas edificações.

O DNIT – Unidade Russas monitora trechos de rodovias federais, onde neles existem obras especiais análogas a estudada neste trabalho. O órgão não possui trabalhos desta natureza nas suas demais obras.

Como sugestão para trabalhos futuros, podemos citar:

- Análise estática e dinâmica dos pontos de detonação na superestrutura;
- Análise estática e dinâmica dos pontos de detonação na mesoestrutura;
- Adicionar nas análises as demais partes da ponte, que são elas, a infraestrutura e a mesoestrutura;
- Realizar o estudo da mesma natureza nas demais obras especiais do DNIT – Unidade Russas;

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187**: projeto de pontes de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas - procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

Azevedo, Álvaro F. M. **Método dos Elementos Finitos**. Portugal: Universidade do Porto, 2003.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de projeto de obras-de-arte especiais**. Rio de Janeiro, 1996.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes**. Brasília, 2017.

FERNANDES, A. V. B.; CORREIA, V. C. Uma Introdução ao estudo das pontes em viga. **Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIT**, Aracaju, v. 4, n. 1, p.115-138, 2017.

GAMA, Janaína Almeida Bacelar. **Pontes de concreto armado**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014.

HOLTZ, Gisele Cristina da Cunha. **Traçado automático de envoltórias de esforços em estruturas planas utilizando algoritmo evolucionário**. Rio de Janeiro: PUC, 2005.

LEET, Kenneth M. **Fundamentos da análise estrutural**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

LEONHARDT, Fritz. **Construções de concreto, v. 6:** princípios básicos da construção de pontes de concreto. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

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

MESQUITA, E.; PINTO, M.; RUBENS, T.; SOEIRO, M. Análise dinâmica da Igreja Nossa Senhora do Rosário dos Homens Pretos, Aracati, CE. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES, 2., 2019, Fortaleza.

MESQUITA, E.; PINTO, M.; RUBENS, T.; SOEIRO, M. Análise estática de uma Igreja vernacular de influência luso-brasileira do século XVIII. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES, 2., 2019, Fortaleza.

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

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios.** São Carlos: Universidade de São Paulo, 2007.

SORIANO, Humberto Lima e Lima; SOUZA, Silvio de. **Análise de estruturas- volume I.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2004.

SUSSEKIND, J. C. **Curso de análise estrutural:** estruturas isostáticas. Porto Alegre: Editora Globo, 1997. v. 2.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Pontes rodoviárias:** fundamentos, conservação e gestão. Recife: CREA-PE, 2002.

APÊNDICE A – CARGA MÓVEL MÁXIMO E MÍNIMO PARA O ESFORÇO CORTANTE, LINHA DE INFLUÊNCIA UTILIZADA E AS POSIÇÕES DAS CARGAS MÓVEIS.

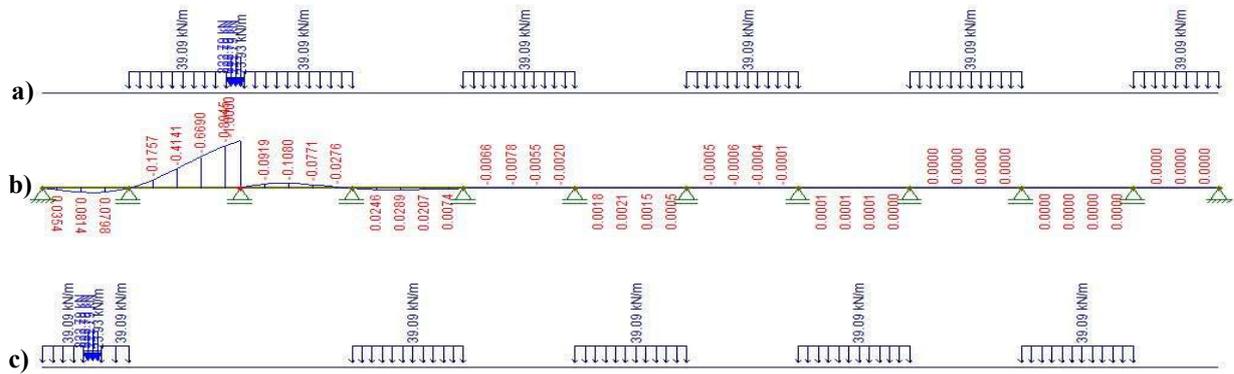


Figura D – Ponto C à esquerda; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

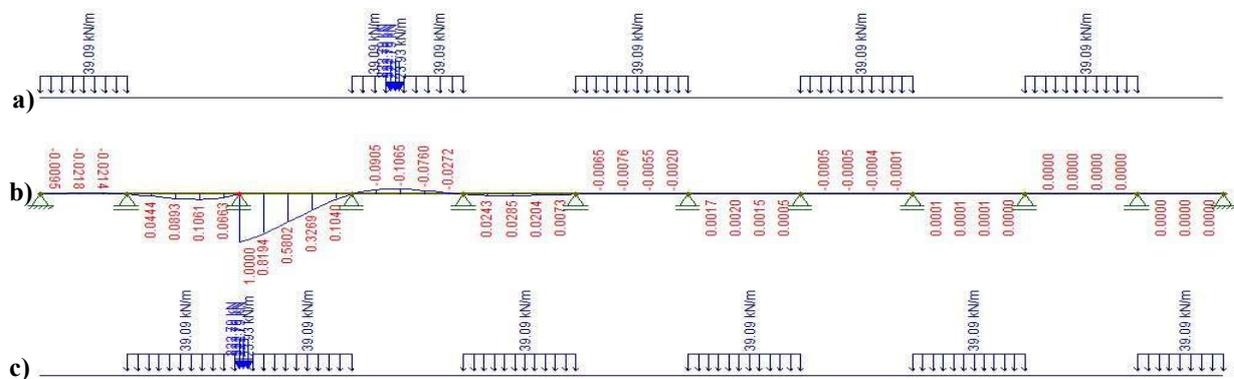


Figura E – Ponto C à direita; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

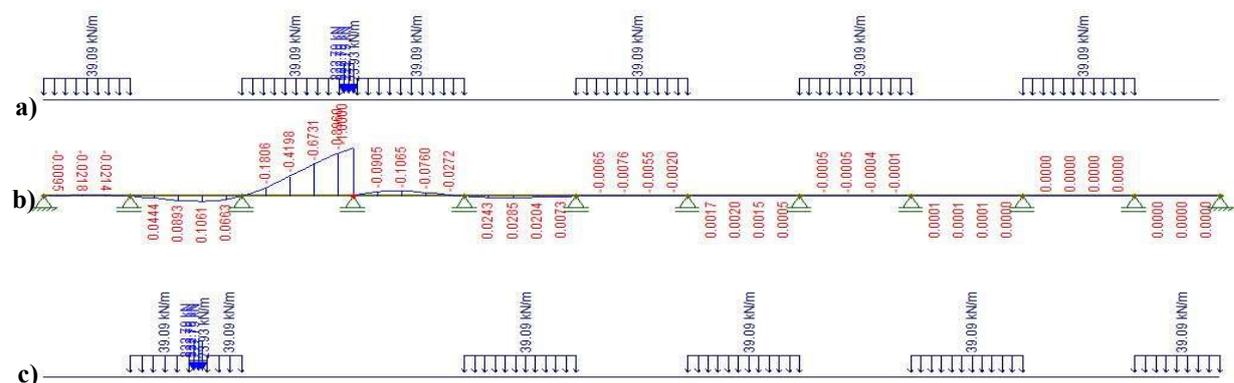


Figura F – Ponto D à esquerda; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

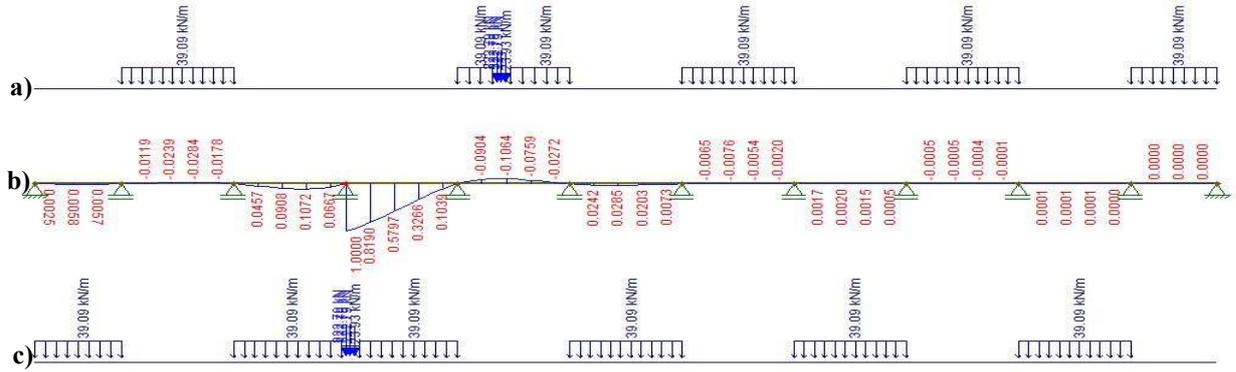


Figura G – Ponto D à direita; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

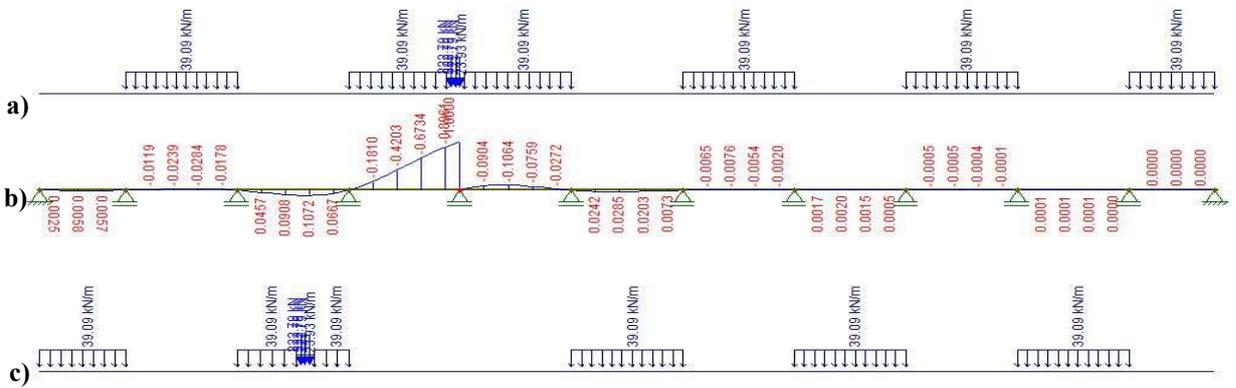


Figura H – Ponto E à esquerda; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

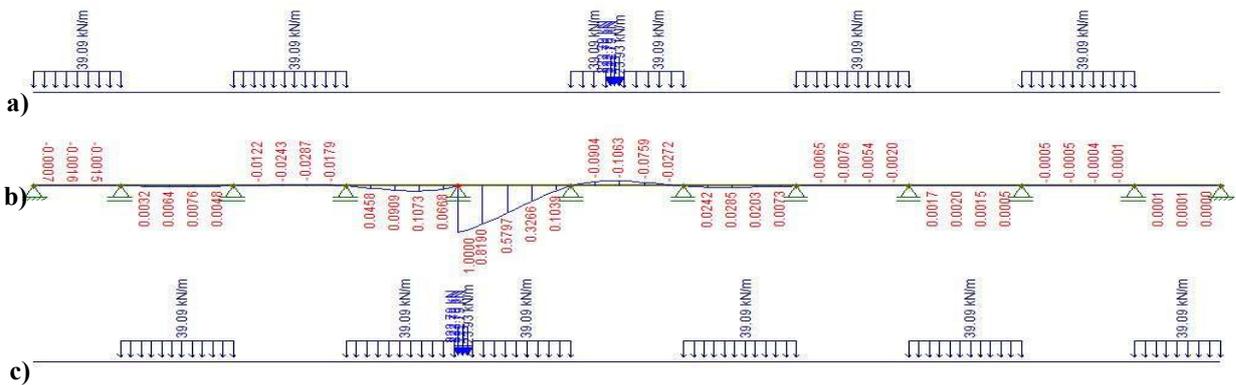


Figura I – Ponto E à direita; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

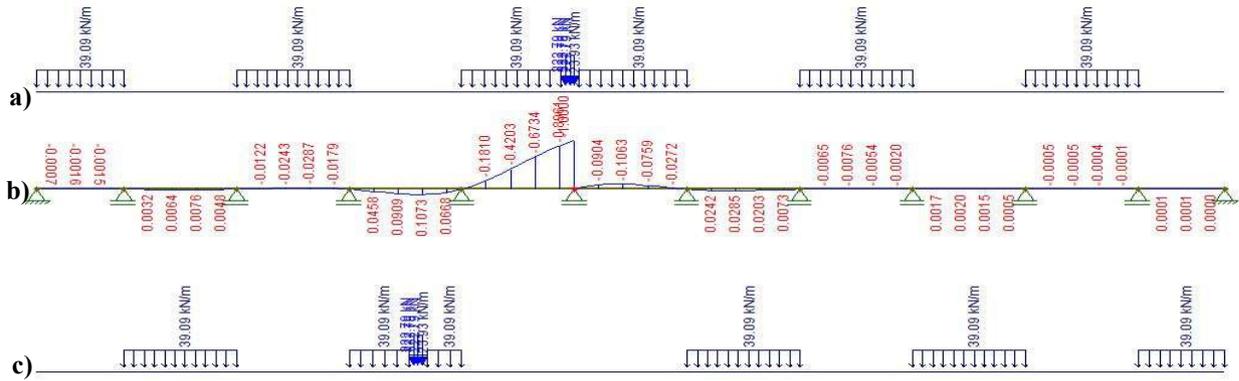


Figura J – Ponto F à esquerda; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

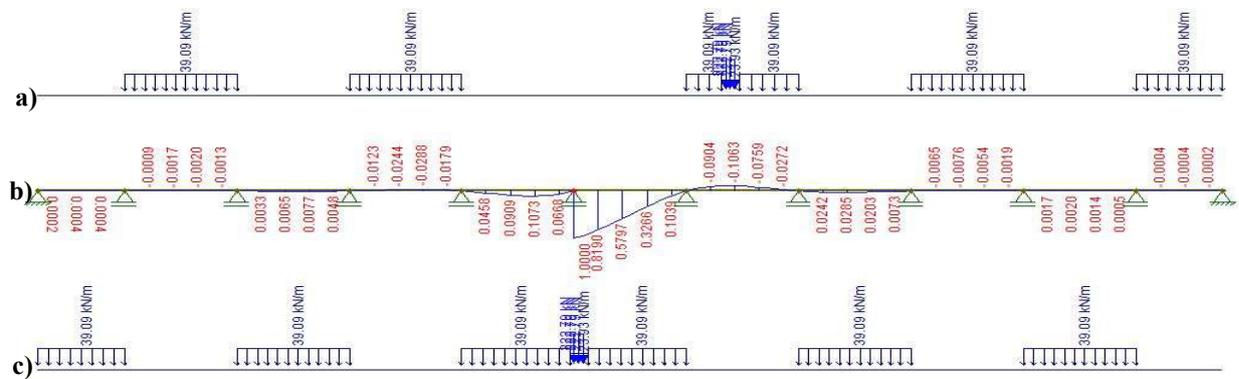


Figura K – Ponto F à direita; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

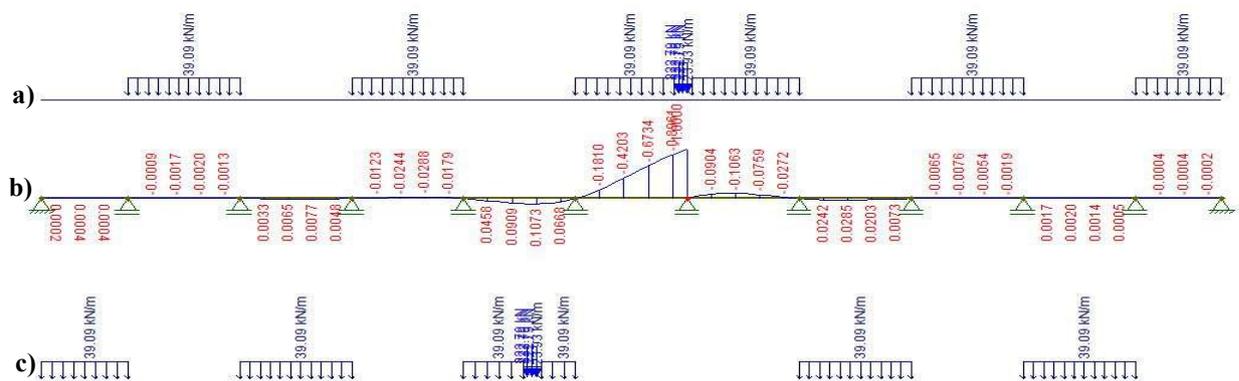


Figura L – Ponto G à esquerda; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

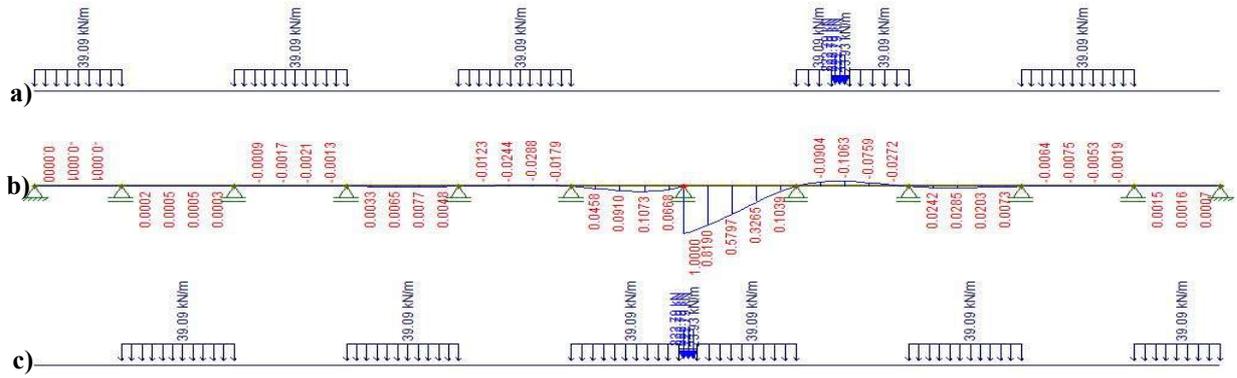


Figura M – Ponto G à direita; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

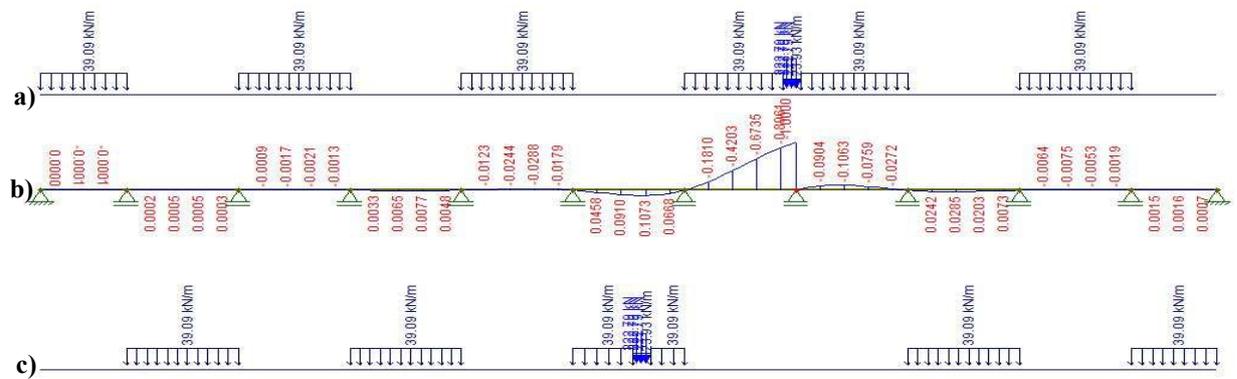


Figura N – Ponto H à esquerda; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

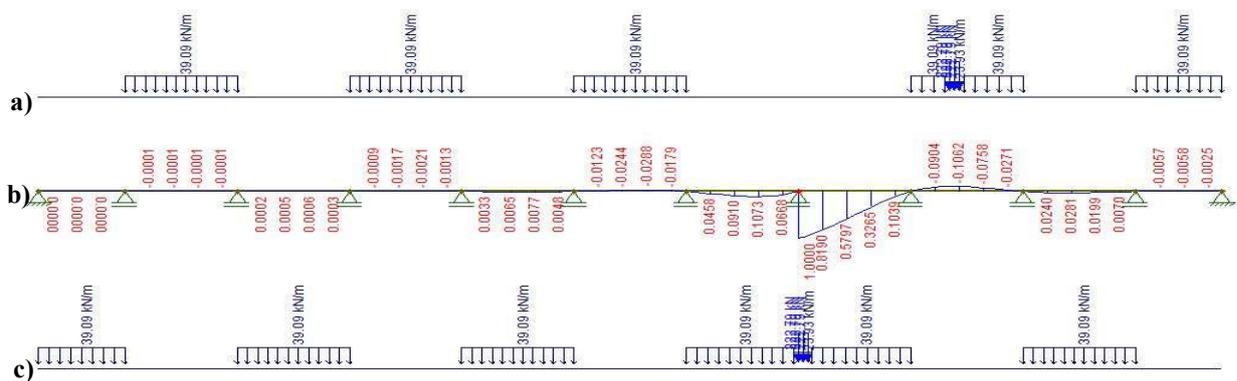


Figura O – Ponto H à direita; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

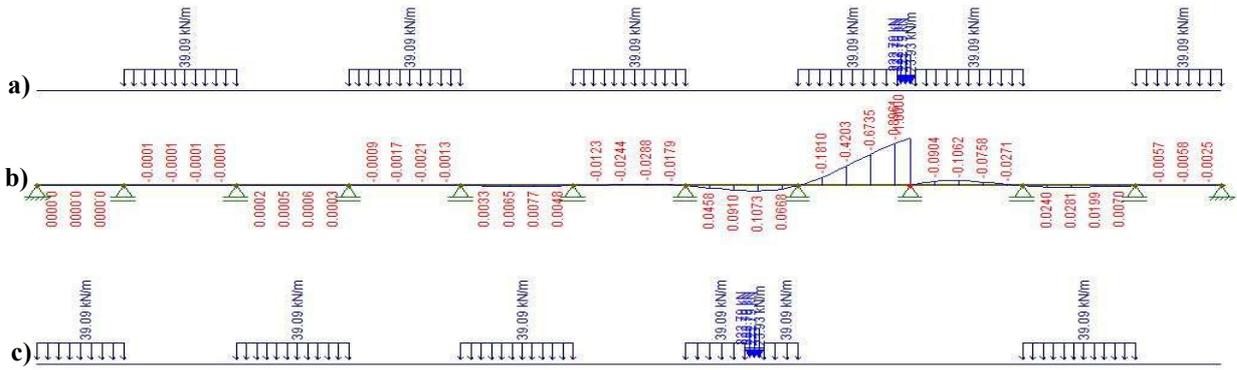


Figura P – Ponto I à esquerda; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

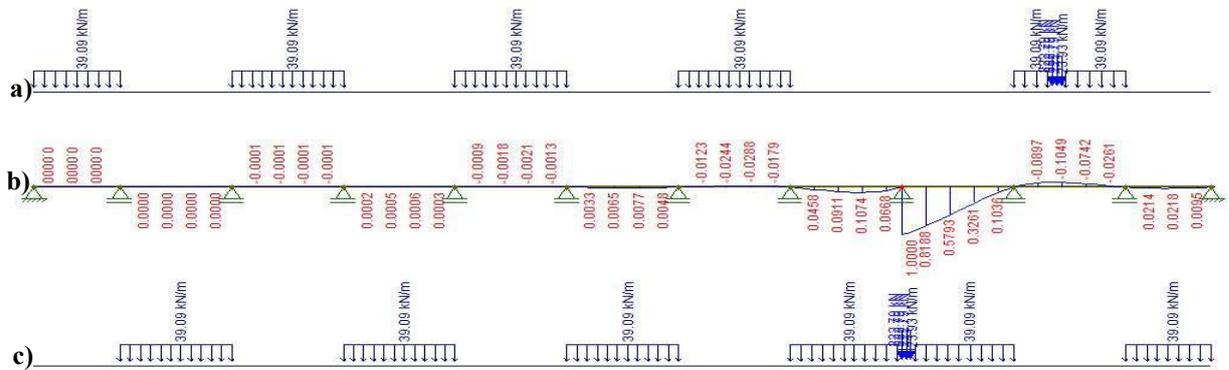


Figura Q – Ponto I à direita; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

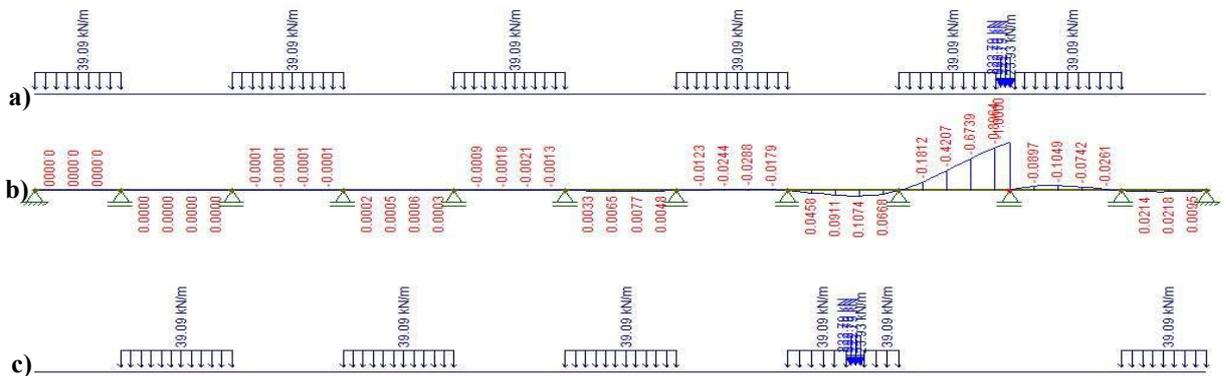


Figura R – Ponto J à esquerda; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

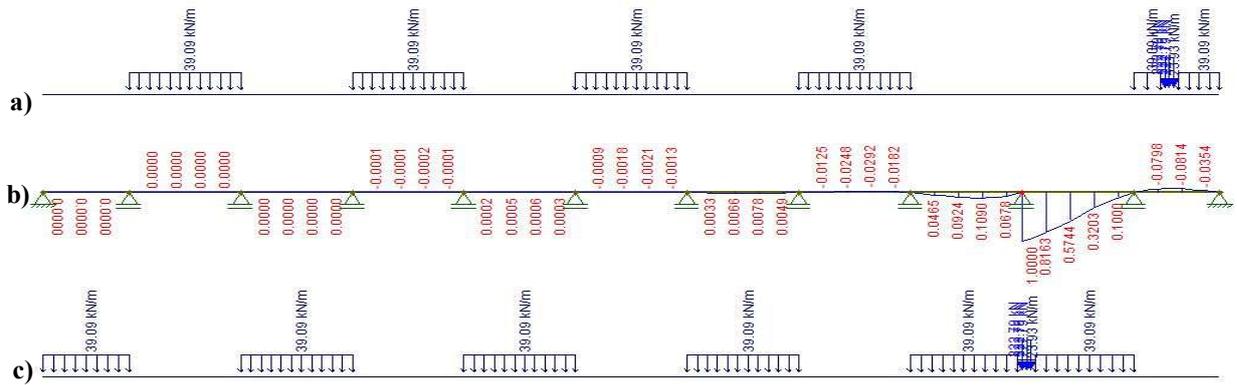


Figura S – Ponto J à direita; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

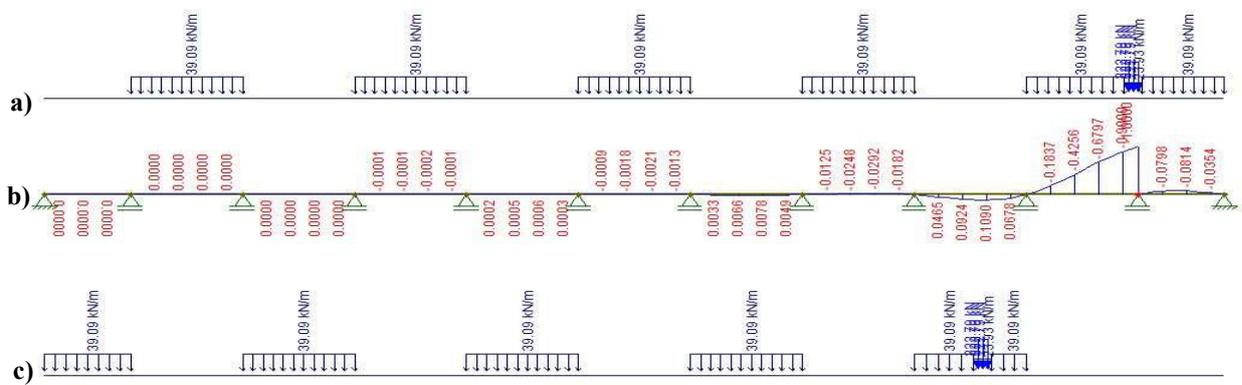


Figura T – Ponto K à esquerda; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

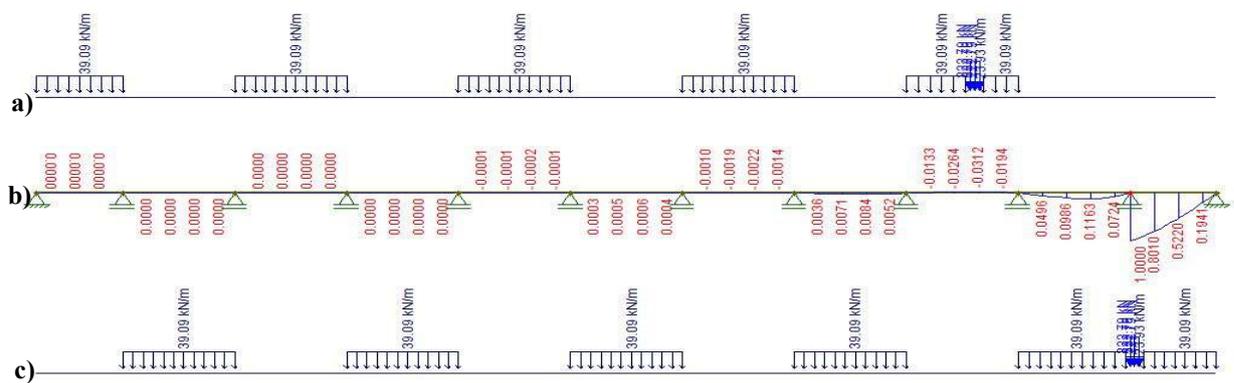


Figura U – Ponto K à direita; a) Posição da carga móvel para cortante mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para cortante máximo. Fonte: Próprio Autor

APÊNDICE B – CARGA MÓVEL MÁXIMO E MÍNIMO PARA O MOMENTO FLETOR, LINHA DE INFLUÊNCIA UTILIZADA E AS POSIÇÕES DAS CARGAS MÓVEIS.

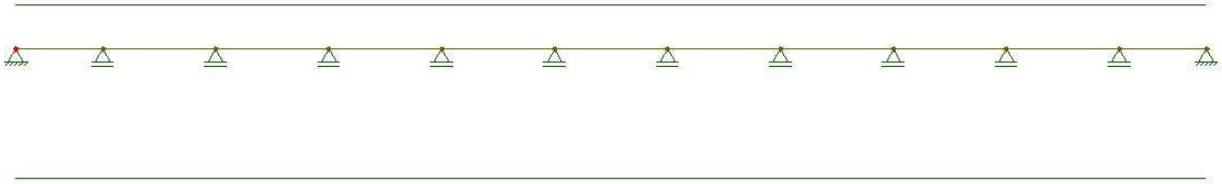


Figura A – Ponto A; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

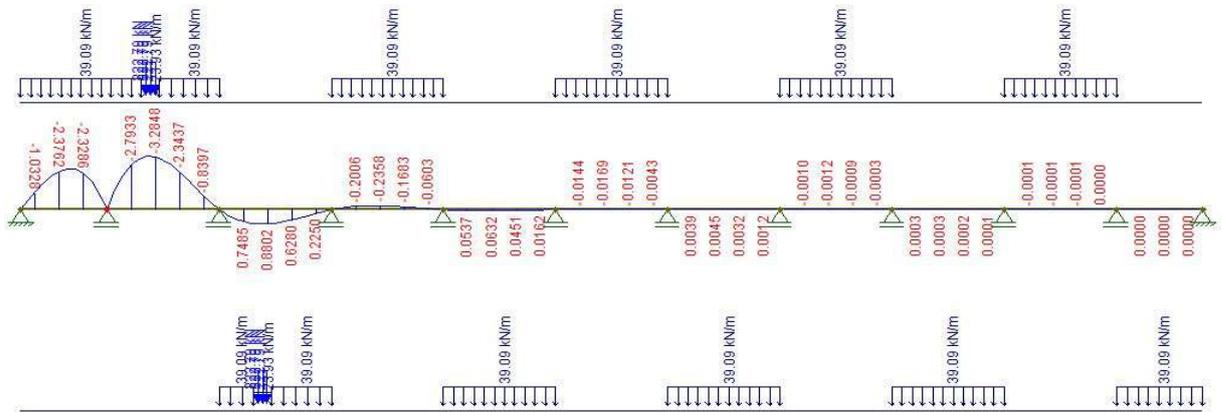


Figura B – Ponto B; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

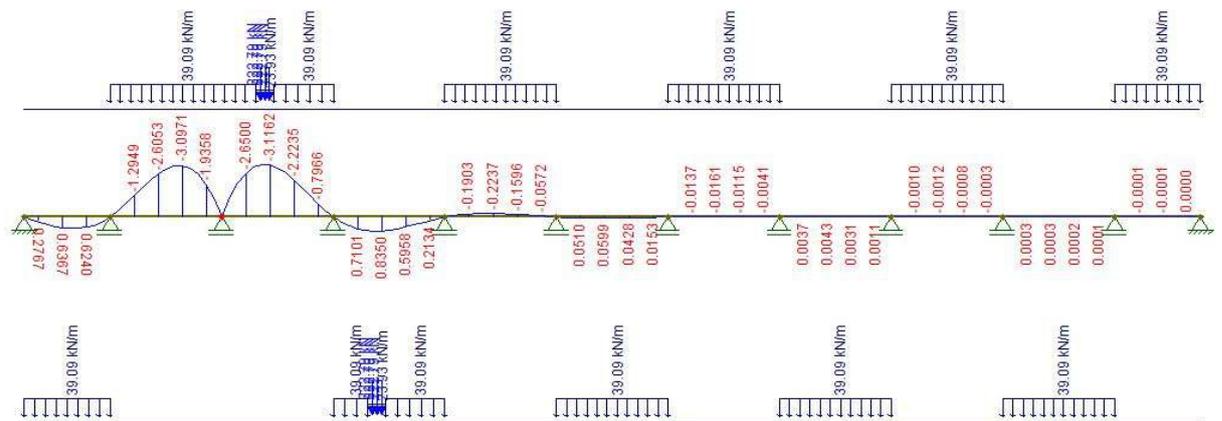


Figura C – Ponto C; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

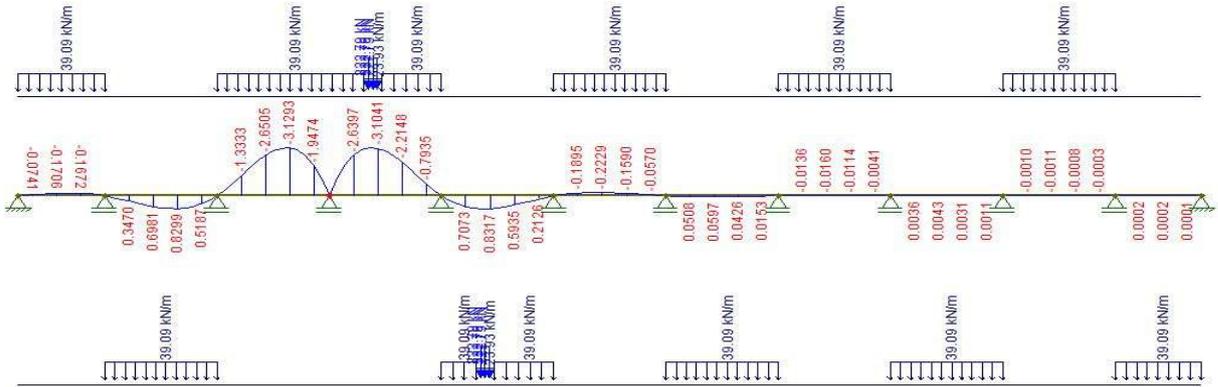


Figura D – Ponto D; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

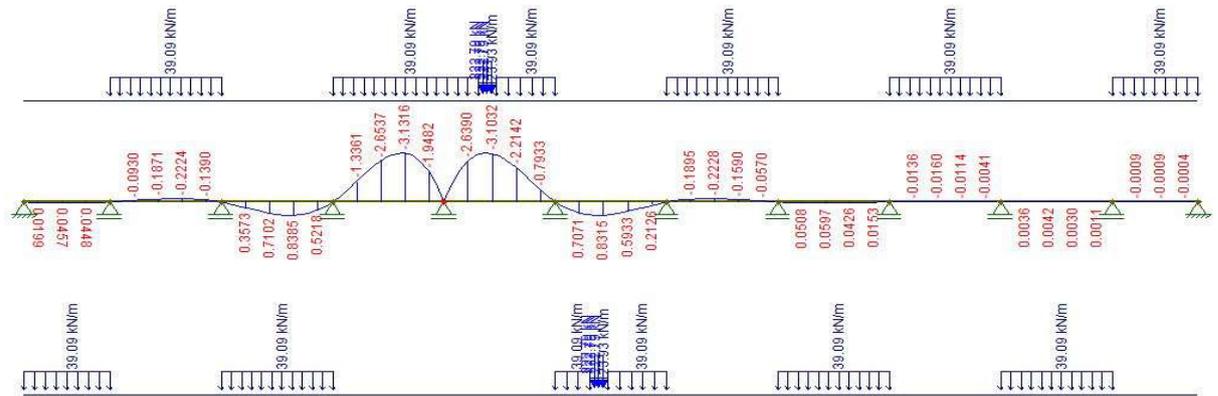


Figura E – Ponto E; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

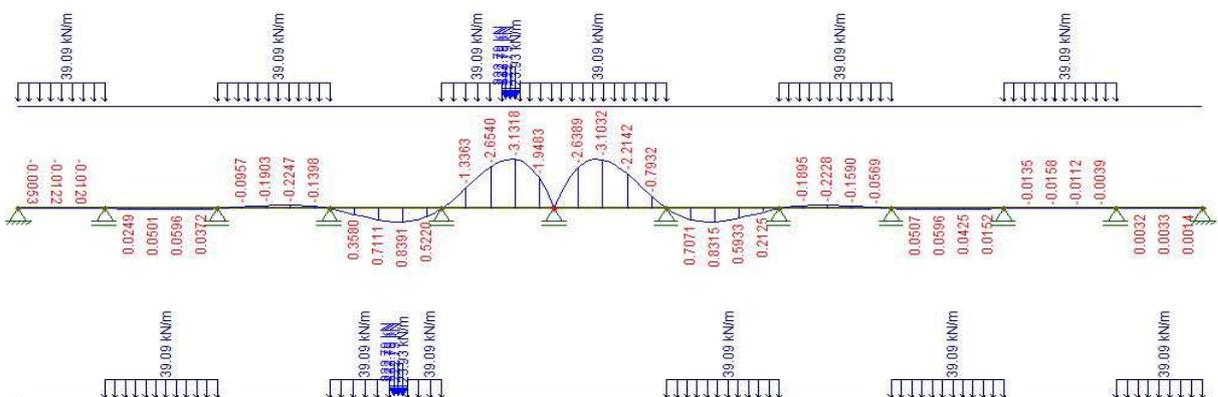


Figura F – Ponto F; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

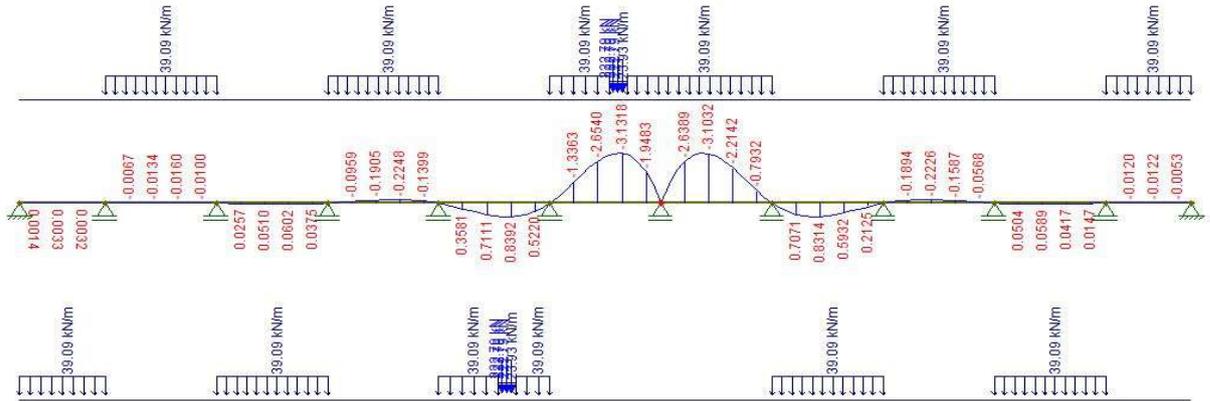


Figura G – Ponto G; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

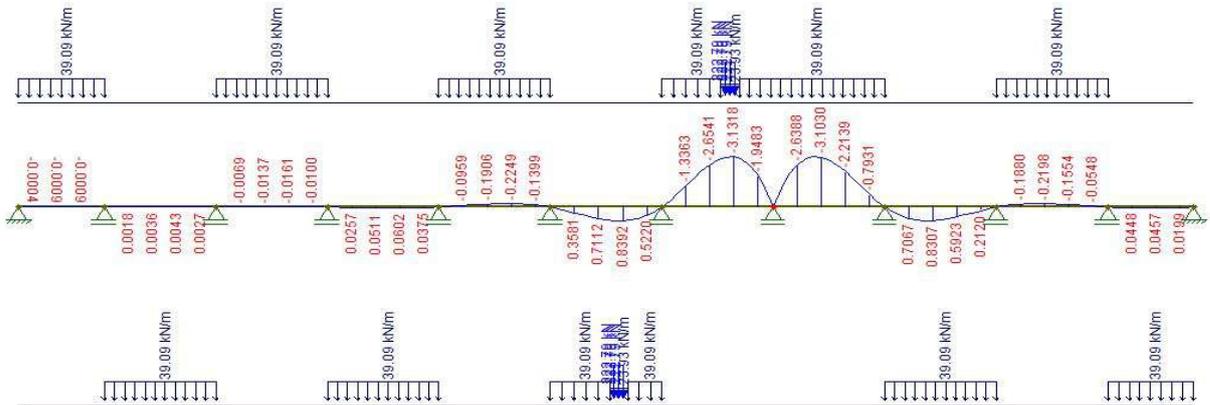


Figura H – Ponto H; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

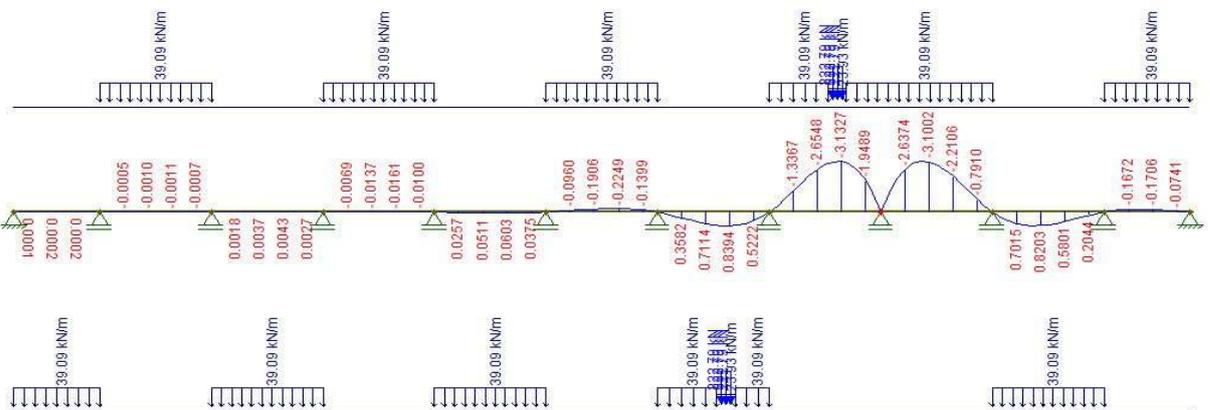


Figura I – Ponto I; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

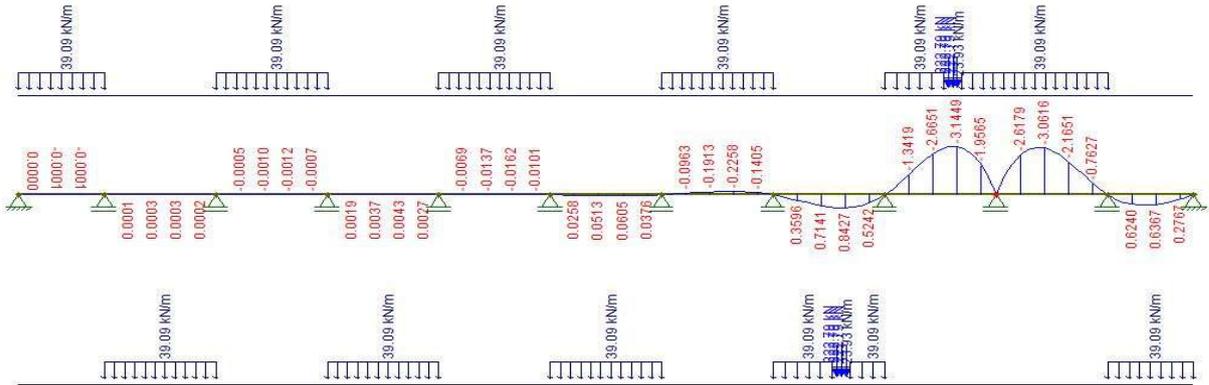


Figura J – Ponto J; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

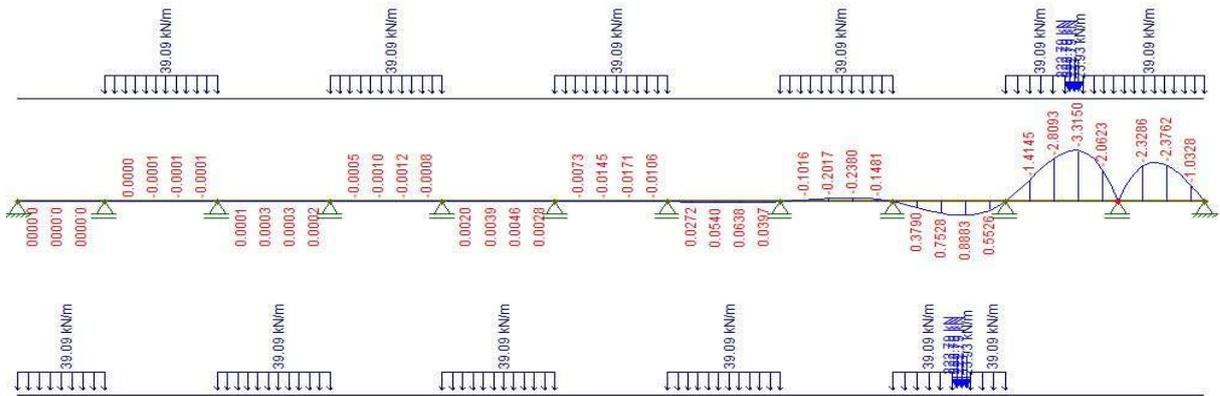


Figura K – Ponto K; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

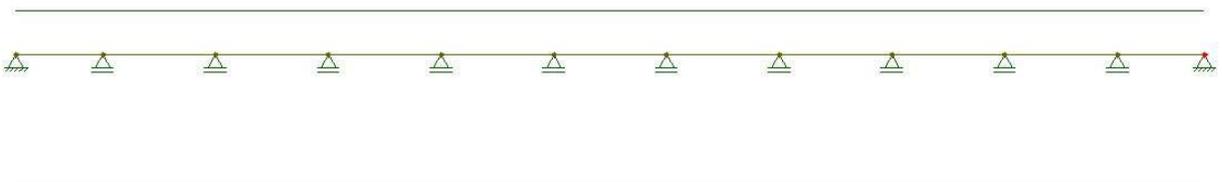
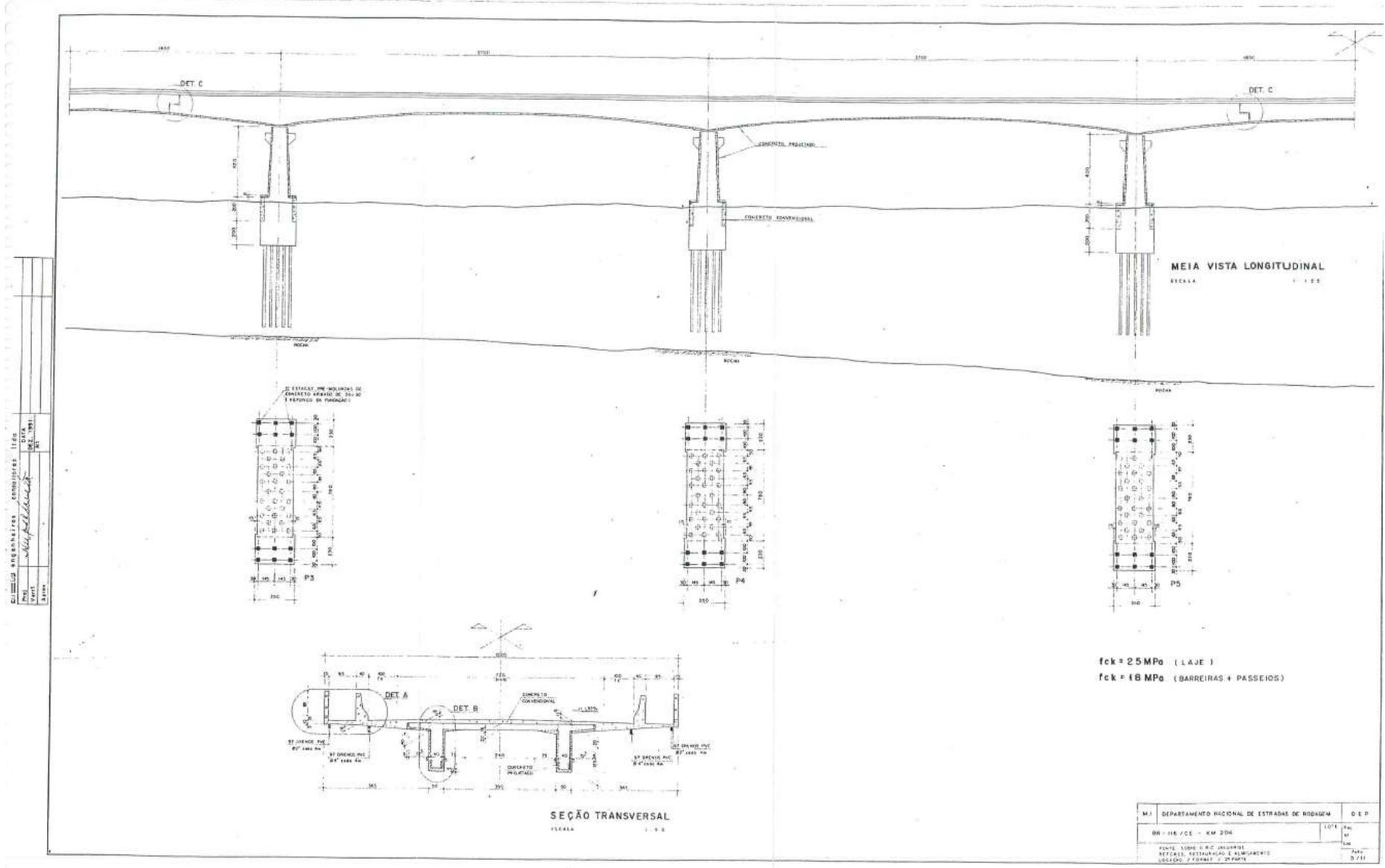


Figura L – Ponto L; a) Posição da carga móvel para o momento fletor mínimo; b) Linha de Influência; c) Posição da carga móvel para o momento fletor máximo. Fonte: Próprio Autor

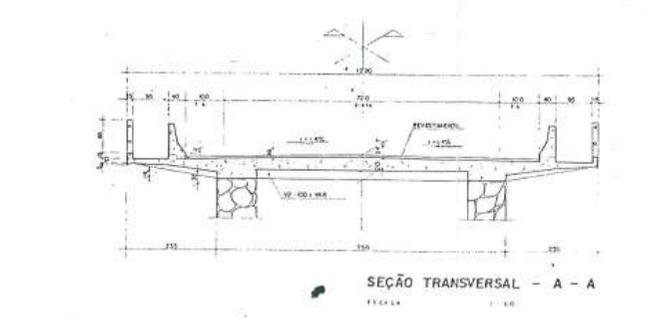
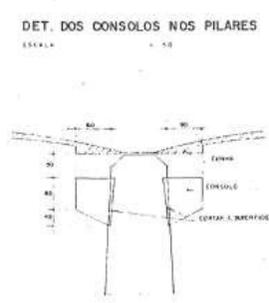
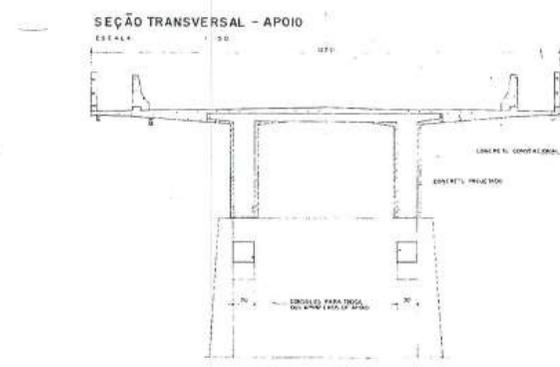
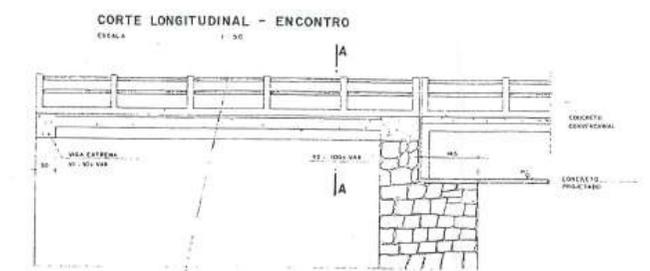
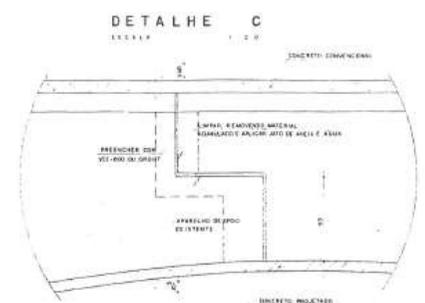
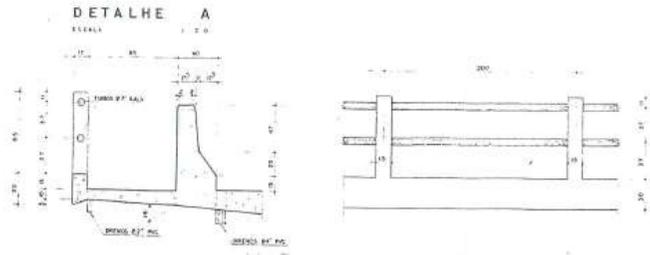
ANEXO – PROJETOS DNIT (PONTE SOBRE O RIO JAGUARIBE)



DEPARTAMENTO REGIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM	DEPARTAMENTO REGIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM
PROJETO	PROJETO
REVISÃO	REVISÃO
APROVAÇÃO	APROVAÇÃO
DATA	DATA
FECHA	FECHA

M.J. DEPARTAMENTO REGIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM	D.E.P.
BR - 116 / CE - KM 206	1074
PONTE SOBRE O RIO JAUARI	1074
REPOSICIONAMENTO E ALARGAMENTO	1074
LOTEAMENTO / OBRAS / SERVIÇOS	1074
	0.11

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONSULTORIA TÉCNICA
 INCTA
 Rua...
 São Paulo, SP
 Brasil



M-1	DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM	D. E. F.
BR - 116 / CE - KM 204		
PAVIMENTO DE TIPO 3 - 140 CM DE ESPESURA REPARO, RECONSTRUÇÃO E ALARGAMENTO PAVIMENTO DE TIPO 3 - 140 CM DE ESPESURA		
		1/20
		1/30
		1/30

RELATÓRIO FOTOGRÁFICO – PONTE DO PEIXE GORDO



Fotográfica 01 – vista da superestrutura.



Fotográfica 02 – vista da superestrutura.



Fotográfica 03 – vista inferior da ponte.



Fotográfica 04 – vista inferior da ponte.



Fotográfica 05 – pilar e encontro da ponte.



Fotográfica 06 – ponte do peixe gordo.



Fotográfica 07 – recuperação da drenagem pós ataque.



Fotográfica 08 – recuperação da drenagem pós ataque.



Fotográfica 09 – pilar a ser recuperado devido ao ataque.



Fotográfica 10 – pilar a ser recuperado devido ao ataque.