



RETRO-ANÁLISE DO PROJETO DE RECUPERAÇÃO DA PONTE SOBRE O RIO CUBÍCULO NA BR-101/SC

Iviane Cunha e Santos

Fábio Pessoa da Silva Nunes

ivianecunha@hotmail.com

fabionunes@gmail.com

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT

Brasília/DF, Brasil

Thyala Anarelli Cunha e Santos

thyalacunha@gmail.com

Universidade de Brasília, UnB

Brasília/DF, Brasil

Resumo. *Este trabalho retrata a retro-análise do projeto de recuperação da Ponte sobre o Rio Cubículo na BR-101/SC no estado de Santa Catarina, Brasil, de forma a avaliar os três processos de intervenção: recuperação, reforço e reabilitação da estrutura original. Como resultado constatou-se que o modelo adotado no reforço e alargamento da estrutura, não era suficiente para suportar a mudança de carregamento e a sobrecarga devido ao alargamento, e ainda se verificou que as alterações no coeficiente de impacto devido à atualização da Norma Brasileira ABNT NBR 7188:2013 não foram considerados na proposta de recuperação. A retro-análise de projeto de pontes demonstrou fundamental importância como forma de evitar que possíveis falhas de projeto, acidentes e retrabalhos. Afirmando que é imprescindível o atendimento as Normas e Manuais Técnicos na elaboração do projeto de recuperação de estruturas e na escolha do tipo de intervenção, reforço e adaptação à estrutura existente.*

Palavra Chave: *Manutenção, Recuperação, Reforço e Reabilitação.*

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da vida útil das obras-de-arte, o seu comportamento deve merecer continuada atenção, que permita detectar antecipadamente sinais de alteração dos níveis de segurança estrutural e desempenho funcional. Assim para preservação e manutenção da infraestrutura é imprescindível a avaliação do estado das estruturas de forma a permitir uma programação dos reparos das obras e a gestão econômica da infraestrutura com atenuação significativa nas despesas.

Segundo o Manual de Obras-de-arte Especiais do Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre – DNIT, IPR. Publ. 698, (1996), as estruturas projetadas devem ser leves, estéticas e elegantes, atentando que as obras-de-arte devem ser robustas bastante para que ofereçam conforto ao usuário e para que possam ser utilizadas durante toda sua vida útil, sem cuidados excepcionais de manutenção e sem necessidade obrigatória de obras de recuperação ou reforço.

Contudo, considerando o aumento significativo do volume de tráfego, a falta de manutenção adequada e ainda o envelhecimento das pontes da malha rodoviária federal, que na grande maioria são datadas da década de 60, as pontes apresentam gabarito inadequado às condições atuais de tráfego, transformando-se em pontos críticos, responsáveis por estrangulamento do fluxo e pela ocorrência de acidentes.

A ausência de manutenção é o principal motivo para o surgimento de danos nas estruturas, aumento da velocidade de degradação e desgaste, o que compromete a segurança dos usuários. Embora o grande avanço tecnológico e o desenvolvimento de novos métodos na área do cálculo estrutural, cada vez mais precisos, possam superar as limitações e dificuldades na análise da situação atual dessas obras. (VITÓRIO, 2002)

Segundo Mendes (2009), o cenário atual das 5.600 pontes cadastradas nas rodovias federais pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) está disposto conforme descrito a seguir:

- 70% das pontes possui idade superior a 30 anos;
- 79% das pontes possuem largura total inferior a 12,0m, considerada estreita pelo padrão atual; e
- 90% das pontes foram projetadas com trem tipo de 240kN ou de 360kN.

Assim, pode-se concluir que a grande maioria das pontes existentes necessita de adequação aos padrões de geometria e carregamentos.

Neste sentido, o artigo retrata a retro-análise do projeto de reforço, recuperação da Ponte sobre o Rio Cubículo na BR-101/SC no estado de Santa Catarina, Brasil, de forma a avaliar os três processos de intervenção: recuperação, reforço e reabilitação da estrutura original.

2 CASO DE ESTUDOS – PONTE SOBRE O RIO CUBÍCULO

A obra de recuperação da ponte foi projetada para a travessia do rio Cubículo na pista nova da duplicação da BR-101/SC junto ao Km 16+430, e forma um binário com a obra nova originária da obra de duplicação. Conforme apresenta o esquema das obras de duplicação Fig.1.

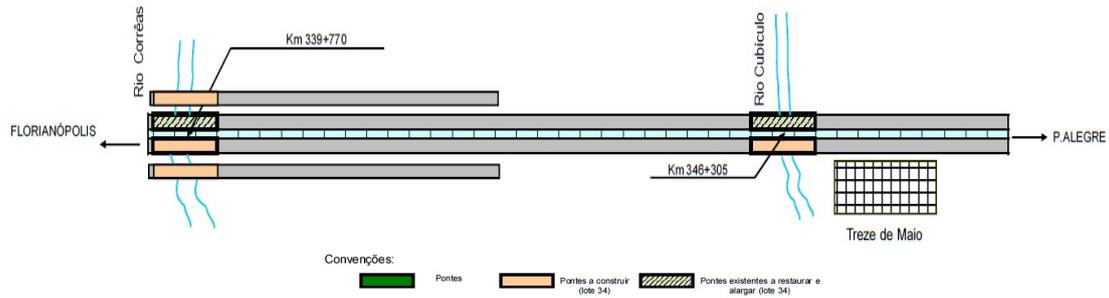


Figura 1: Esquema das obras da duplicação da BR-101/SC - Lote 34

O projeto de recuperação da Ponte sobre o Rio Cubículo na BR-101, segmento do km 329,90 – km 358,50, no estado de Santa Catarina, Brasil, foi elaborado pelo Consórcio STE/VEGA/DYNATEST/ENGER responsável pela supervisão das obras e da Unidade Local do DNIT da cidade de Tubarão/SC. A execução ficou sobre abrigo do contrato de obras TT-369/2005-00 estabelecido entre o DNIT e o Consórcio SOGEL-CONTESA. A Fig. 2 abaixo apresenta a localização da Ponte sobre o Rio Cubículo.



Figura 2: Localização da Ponte sobre o Rio Cubículo

As obras de recuperação, reforço e alargamento das pontes sobre o Rio Cubículo não foram inicialmente previstas no contrato de obras, somente as obras de construção das novas pontes referentes a duplicação da pista. Assim, a inclusão da obra de Reforço e Alargamento da Ponte sobre o Rio Cubículo com seus respectivos quantitativos apresentou um reflexo financeiro de R\$ 574.173,66 (Referência de Preço Agosto de 2003) que representa um acréscimo de 6,245% em relação ao Contrato Original.

2.1 Estrutura Original

A estrutura original foi projetada e construída na década de 60 e contempla o tráfego de veículo da Classe 36 toneladas, conforme NB-2. A Fig. 3 apresenta as fotos da Ponte sobre o rio Cubículo, vista inferior e vista superior, onde pode-se visualizar a obra nova da duplicação ao lado.



a)



b)

Figura 3: Fotos da Ponte sobre o Rio Cubículo a) Vista Inferior; b) Vista Superior

A ponte em concreto armado apresenta dois vãos laterais de 3,5 metros e um vão central de 15,9 metros complementados com dois balanços de 7,45 metros, totalizando 37,80 metros.

Na transversal, a obra é composta de seção de concreto em caixão, com largura de 10 metros, sendo 8,2 metros de pista e dois passeios de 0,9 metros cada. A superestrutura se apoia na mesoestrutura com juntas de concreto tipo *Freyssinet*.

A mesoestrutura apresentam colunas em forma de lâminas curtas com seção retangular com 0,25 metros de espessura e 5,5 metros de largura, apoiados em blocos maciços sobre estacas metálicas.

A Fig. 4 apresenta a vista lateral e transversal da ponte original.

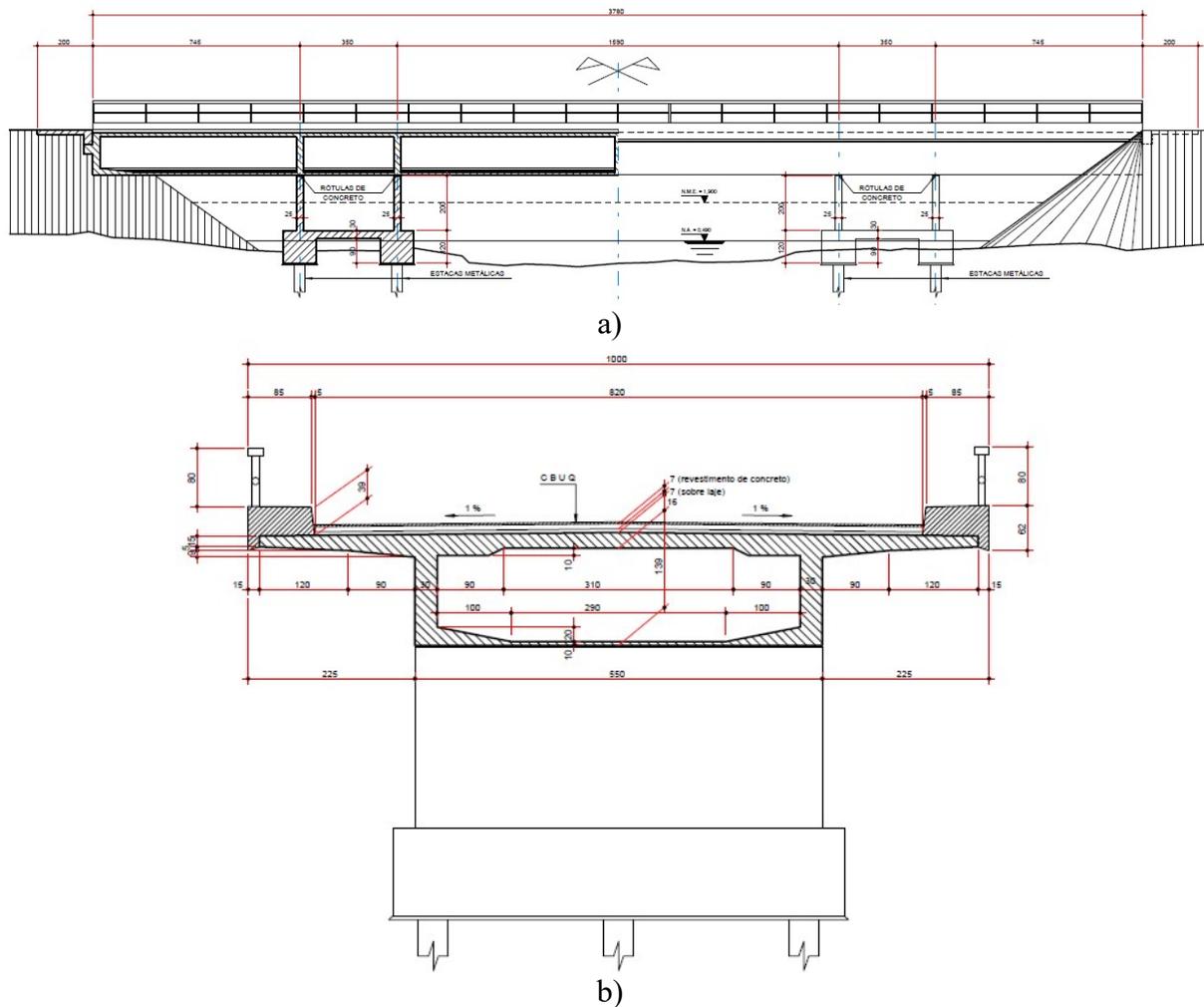


Figura 4: Projeto Original da Ponte a) Vista Lateral; b) Vista Transversal

2.2 Projeto de Recuperação, Reforço e Alargamento

No projeto foi proposto o alargamento da estrutura para a seção final de 12,10 seguindo a largura, sendo 11,30 metros de pista e duas barreiras do Tipo *New Jersey* com 0,40 metros cada, removendo os passeios laterais.

Para a obra de reforço e recuperação para adequação para o Trem Tipo de 45 toneladas conforme NBR 7188 foi proposto adicionar uma laje de 0,07 metros de espessura sobre a estrutura original de forma a alojar a armadura adicional. Para as longarinas da ponte foi proposta a protensão externa do tabuleiro, a construção de duas vigas adicionais e uma laje de fechamento da estrutura. A Fig. 5 apresenta os detalhes do projeto do reforço. Para os pilares foi proposto reforço com concreto projetado e as fundações estruturas adicionais composta de estaca raiz.

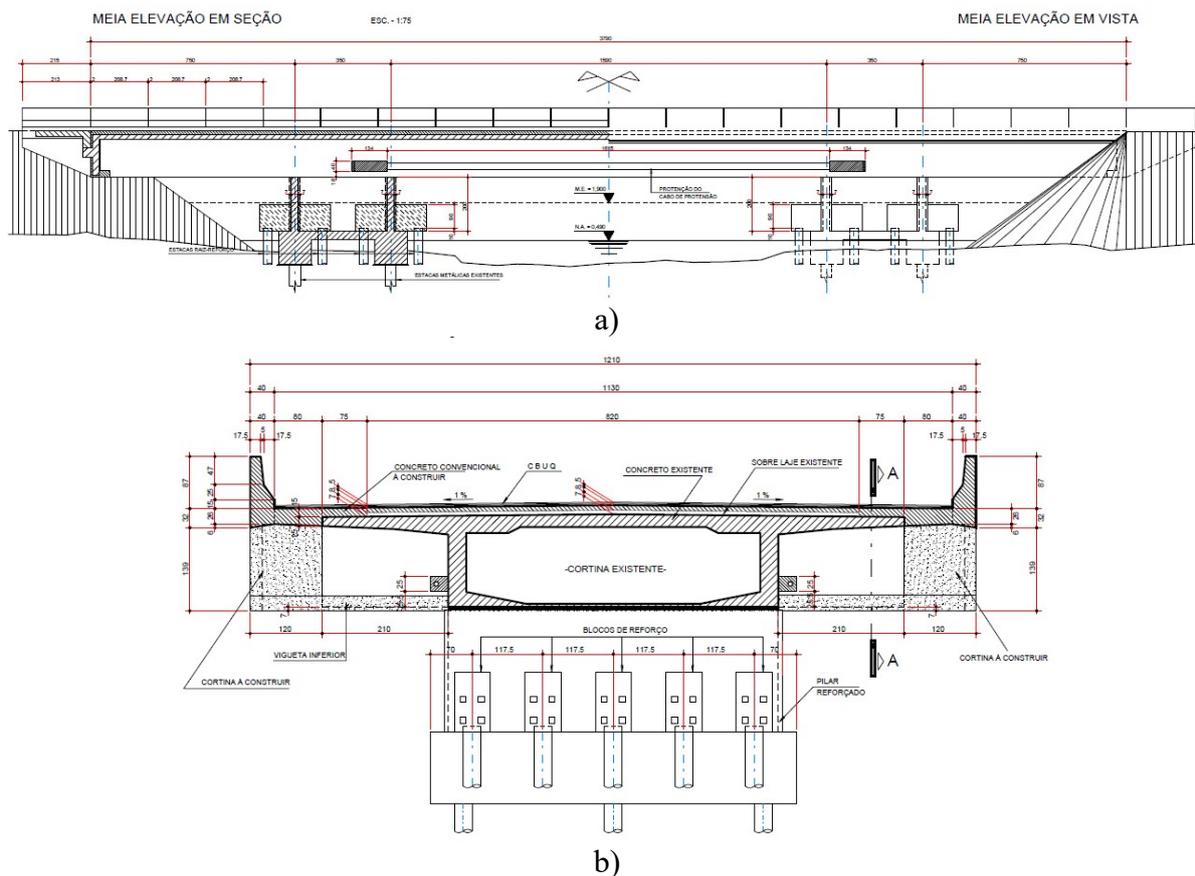


Figura 5: Projeto do Reforço da Ponte a) Vista Lateral; b) Vista Transversal

Para o reforço foi considerado o concreto de 30MPa para a superestrutura e 20MPa na mesoestrutura e infraestrutura, em ambos os casos armados com aço CA-50.

3 CARGAS MÓVEIS EM PONTES RODOVIÁRIAS

A norma de cargas móveis ABNT: NBR-7188 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas define as cargas móveis a serem consideradas no cálculo de pontes rodoviárias e passarelas de pedestres.

As pontes até 1950 foram dimensionadas de acordo com as normas brasileiras NB-6/1946 que previa uma carga móvel composta de um compressor de 240kN e caminhões de 9kN por faixas de tráfego, carga de multidão variável com o vão teórico basicamente de 4,5kN/m² e o coeficiente de impacto de $\phi = 1,3$.

Entre 1950 e 1960 a norma brasileira NB-6/1946 não sofreu revisões. Contudo houve a evolução da Norma para Projeto de Estradas de Rodagem - NPER/1949, onde o trem tipo era composto de um compressor de 240kN combinado com caminhões de 120kN por faixas de tráfego e multidão conforme a peça e o vão teórico de 5kN/m² com coeficiente de impacto $\phi = 1,3$.

Entre 1960 e 1975 houve grandes mudanças na norma brasileira com a atualização da NB-6/1960. A principal foi a introdução do trem tipo composto por um veículo de 360kN, multidão de 5kN/m² na frente e atrás do veículo e de multidão de 3kN/m² no restante da pista e nos passeios, o coeficiente de impacto passou a ser dado em função do vão pela formulação $\phi = 1,4 - 0,007 L$. Entre 1975 e 1985 a norma foi atualizada em NB-6/1982 e depois na atual

ABNT NBR 7188 (2013), contudo as principais mudanças neste período foram a introdução do veículo de 450kN e a distribuição da carga no tabuleiro da ponte.

O trem-tipo é formado de um veículo tipo de 3 m de largura por 6 m de comprimento e de cargas uniformemente distribuídas de intensidades P de 5kN/m^2 para a pista e p de 3kN/m^2 para os passeios, conforme apresentado na Fig. 6.

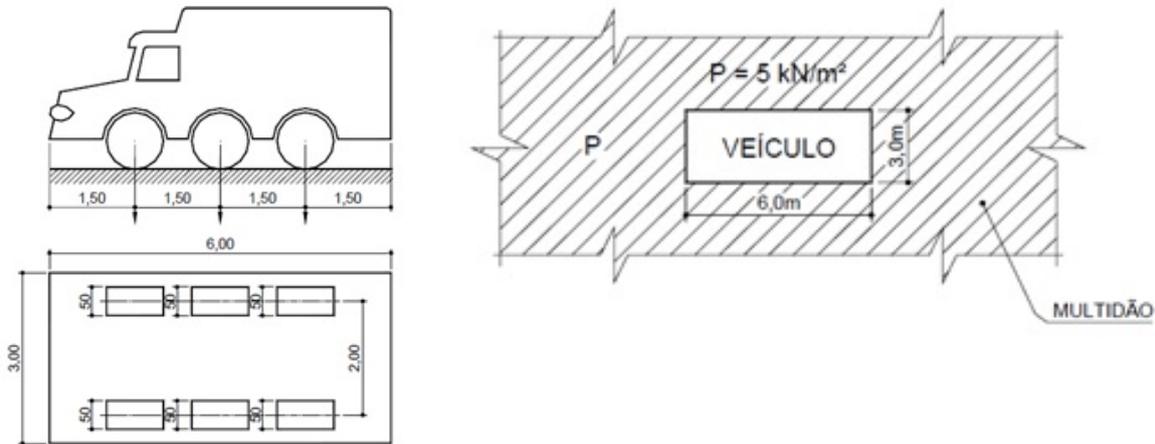


Figura 6: Trem Tipo 450kNFonte: (ABNT: NBR-7188, 2013)

As cargas para as Pontes Rodoviárias foram então divididas em três classes, de acordo com os pesos em toneladas dos veículos tipo: Classe 45 para veículo tipo de 450kN, Classe 30 para veículo tipo de 300kN e Classe 12 para veículo tipo de 120kN. Contudo as pontes em rodovias federais são dimensionadas na Classe 45, sendo as demais classes para rodovias vicinais.

Em 2013 a grande modificação na ABNT NBR 7188 (2013) foi no coeficiente de impacto e a previsão da necessidade de estudo específicos para a amplificação dinâmica de estruturas com vãos maiores que 200 metros. Com a atualização a majoração dos esforços pelo coeficiente de impacto passou a ser feita através da ponderação pelas três equações apresentadas a seguir, conforme definido na Eq. (1) para as cargas concentradas e Eq. (2) para as cargas distribuídas:

$$Q = P \times CIV \times CNF \times CI \quad (1)$$

Onde Q é a carga estática concentrada e aplicada no nível do pavimento com valor estático de uma roda do veículo, acrescido de todos os coeficientes de ponderação; P é carga estática concentrada e aplicada no nível do pavimento com valor estático de uma roda do veículo, sem nenhuma majoração.

$$q = p \times CIV \times CNF \times CIA \quad (2)$$

Onde q é a carga uniformemente distribuída com valor estático p , acrescido de todos os coeficientes de ponderação; p é a carga uniformemente distribuída com valor estático da carga móvel uniformemente distribuída.

O CIV é o coeficiente de impacto vertical, e tem a função de amplificar a ação da carga estática, simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores, contudo não elimina a necessidade de análise dinâmica nas estruturas sensíveis e com rigidez baixa, em especial estruturas de aço e estruturas estaiadas. CIV é definido conforme a Eq. (3):

$$\begin{aligned}
 CIV &= 1,35 \rightarrow L_{v\tilde{v}\tilde{a}o} < 10m \\
 CIV &= 1 + 1,06 \times \left(\frac{20}{L_{v\tilde{v}\tilde{a}o} + 50}\right) \rightarrow 10 \leq L_{v\tilde{v}\tilde{a}o} < 200m \\
 CIV &= (\text{Estudo Específico}) \text{ para } L_{v\tilde{v}\tilde{a}o} > 200m
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Onde L_{iv} é o vão em metros para estruturas de vão isostático ou a média aritmética dos vãos nos casos de vãos contínuos. CNF é o coeficiente do número de faixas e relaciona a probabilidade de a carga móvel ocorrer em função do número de faixas, o CNF é definido pela Eq. (4):

$$CNF = 1 - 0,05 \times (n - 2) > 0,9
 \tag{4}$$

Onde n é o número inteiro de faixas de tráfego consideradas na rodovia carregada sobre um tabuleiro transversalmente contínuo. Este coeficiente não se aplica ao dimensionamento de elementos estruturais transversais ao sentido do tráfego, tais como lajes, transversinas.

O coeficiente de impacto adicional CIA consiste em majorar a carga móvel devido à imperfeição e/ou descontinuidade da pista de rolamento, no caso de juntas de dilatação e nas extremidades da obra, estruturas de transição e acessos, definido conforme a Eq. (5):

$$\begin{aligned}
 CIA &= 1,25 \rightarrow \text{Obras de Concreto e Mistas} \\
 CIA &= 1,15 \rightarrow \text{Obras de Obras de Aço}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Por ser um coeficiente que determina a majoração dos esforços na região das juntas estruturais e extremidades da obra, é limitada a condição de uso somente para as seções dos elementos estruturais com distância horizontal, normal à junta inferior a 5,0 metros para cada lado da junta ou descontinuidade estrutural.

3.1 Cálculo dos Esforços na Ponte sobre o Rio Cubículo

Para a análise do modelo da ponte sobre o rio Cubículo avaliou a evolução das cargas com a comparação dos carregamentos advindos das normas NB-2 (1960) e NBR 7188(2013), assim como a avaliação da mudança do trem-tipo de 360kN para 450kN e consequências do alargamento.

No Tab. 1 apresenta-se o comparativo entre os carregamentos obtidos levando em consideração a condição original do projeto de 1950 e condição de carregamento atual para a obra de recuperação e alargamento.

Tabela 1: Cálculo das Cargas Concentradas e Distribuídas

Condição Original da Estrutura TB 36	Condição Atual de Carregamento TB 45
$\phi = 1,30$	$L_{iv} = 7,56$; $CIV = 1,368$; $CNF = 1,0$; $CIA = 1,25$
$P = 50 \text{ kN}$	$P = 75 \text{ kN}$
$p = 5 \text{ kN/m}^2$	$p = 5 \text{ kN/m}^2$
$Q = 60 \times \phi = 78\text{kN}$	$Q = P \times CIV \times CNF \times CIA = 128,28\text{kN}$
$q = 5 \times \phi = 6,5 \text{ kN/m}^2$	$q = p \times CIV \times CNF \times CIA = 8,55\text{kN}$

De acordo com a nova ponderação considerando a ABNT NBR 7188:2013 observa-se um aumento na intensidade das cargas concentradas e distribuídas atuantes na ponte de 64,46% para as cargas concentradas e 31,53% para as cargas distribuídos em relação a carga original ao qual a estrutura foi projetada.

Este aumento nos valores dos carregamentos observados no caso prático não se dá exclusivamente devido ao coeficiente de impacto que passou de 1,3 para 1,71, mas também devido ao aumento no valor do carregamento do trem tipo em relação a época de projeto, passando de 300kN para 450kN.

4 METODOLOGIA

Para a análise e verificação da proposta de projeto para a recuperação, reforço e alargamento da Ponte sobre o Rio Cubículo foi desenvolvido o modelo numérico da superestrutura e simulado duas situações distintas, a primeira na condição original considerando os carregamentos originais conforme previsão na NB-2 e também a resposta as cargas atuais, e a segunda situação considerando o reforço proposto com os carregamentos conforme a NBR-7188 (2013).

Com a simulação tentou-se analisar o atendimento aos estados limites de serviço para a condição do reforço proposto, visando comparar com os limites previsto nas normatizações vigentes.

4.1 Modelo Numérico da Estrutura Original

O modelo numérico foi desenvolvido na versão educacional do *Software* ANSYS versão R15. O modelo numérico foi desenvolvido considerando o tabuleiro como elemento sólido, onde foi adotado o SOLID187, um elemento quadrático com 10 nós e três graus de liberdade por nó. Este elemento foi selecionado para representar o tabuleiro devido a capacidade de análise no regime não-linear. A Fig.7 e Fig.8 apresentam respectivamente o modelo global e os detalhes do modelo com elemento sólido 3D.

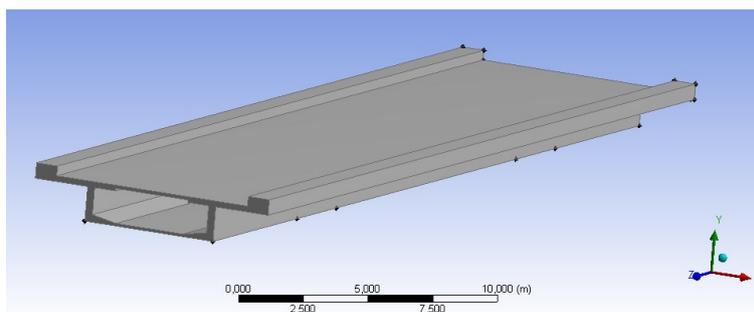


Figura 7: Modelo Numérico Sólido 3D – Ponte sobre o Rio Cubículo

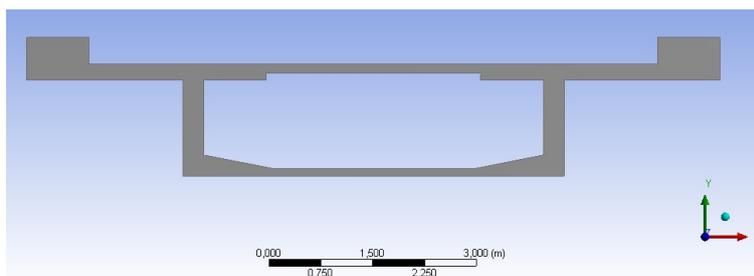


Figura 8: Detalhe do Tabuleiro em Sólido 3D

4.2 Modelo Numérico da Recuperação, Reforço e Alargamento

No modelo numérico da recuperação, reforço e alargamento foram consideradas as seções de alargamento e as vigas adicionais conforme proposto no projeto. Para o modelo numérico foi considerando o tabuleiro como elemento sólido, adotando o elemento SOLID187. A Fig.9 e Fig.10 apresentam respectivamente o modelo global e os detalhes do modelo.

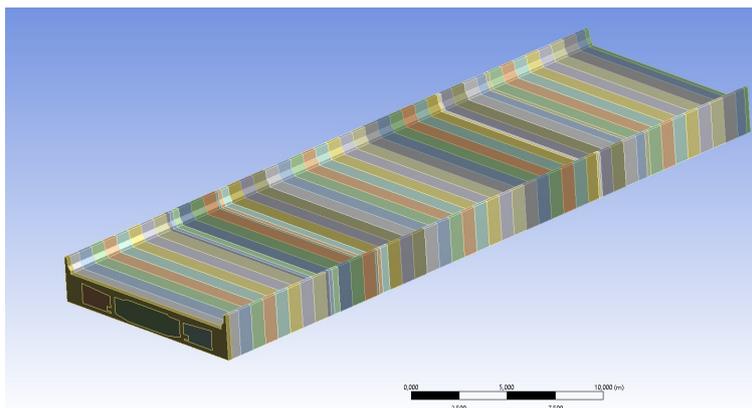


Figura 9: Modelo Numérico Sólido 3D – Ponte sobre o Rio Cubículo

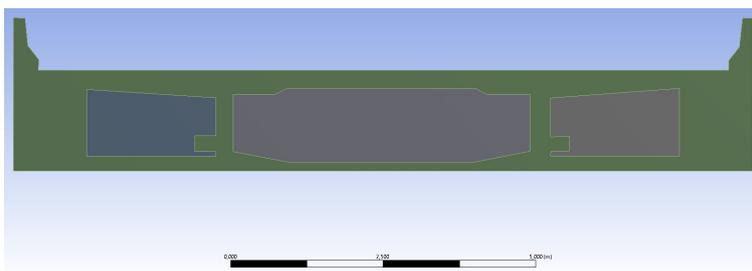


Figura 10: Detalhe do Tabuleiro em Sólido 3D

Foram considerados dois passos de carga na análise não-linear, na fase preliminar foi considerado as cargas da protensão externa da viga principal junto ao peso próprio da estrutura, e finalmente os carregamentos devido as cargas móveis e carregamento distribuído sobre o tabuleiro conforme NBR 7188 (2013).

5 RESULTADOS

Os resultados são apresentados separados primeiro a estrutura original e a seguir a proposta de recuperação, reforço e alargamento. Ao fim apresenta um paralelo da avaliação do projeto que subsidiou o parecer técnico da solução proposta.

5.1 Estrutura Original

A primeira etapa foi a análise estática considerando as ações das cargas permanentes gravitacionais, na estrutura na condição original. A Fig.11 apresenta a deformada final do modelo do tabuleiro.

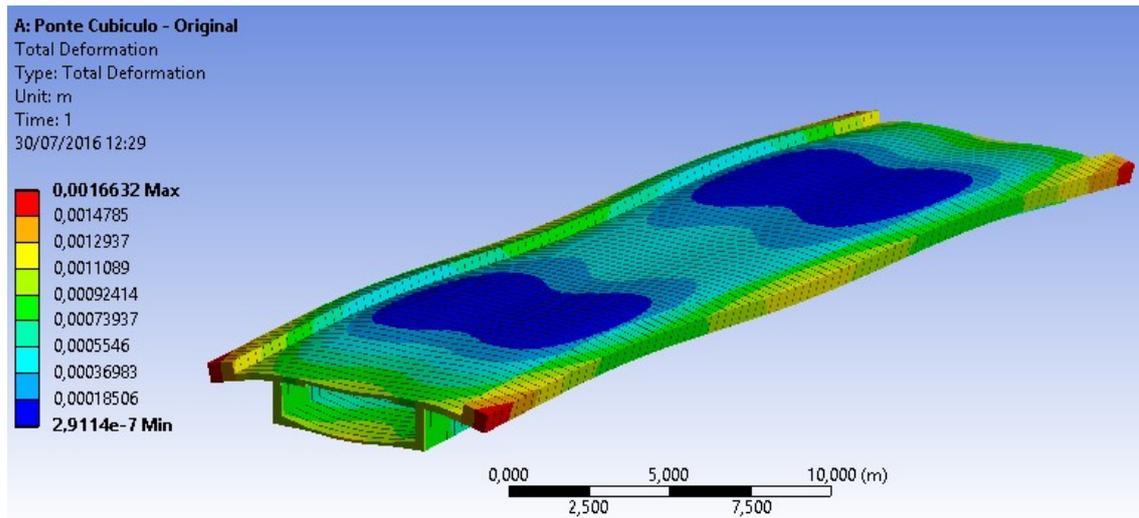


Figura 11: Deformada Final Análise Estática

Para a análise das cargas móveis foi realizada a análise transiente estática por meio do *software* ANSYS, assim, a carga definida para o trem tipo de Classe 36 varia de posição com o tempo simulando o movimento do veículo sobre a estrutura. A Fig. 12 apresenta o gráfico da deformação final e tensão equivalente de von misses.

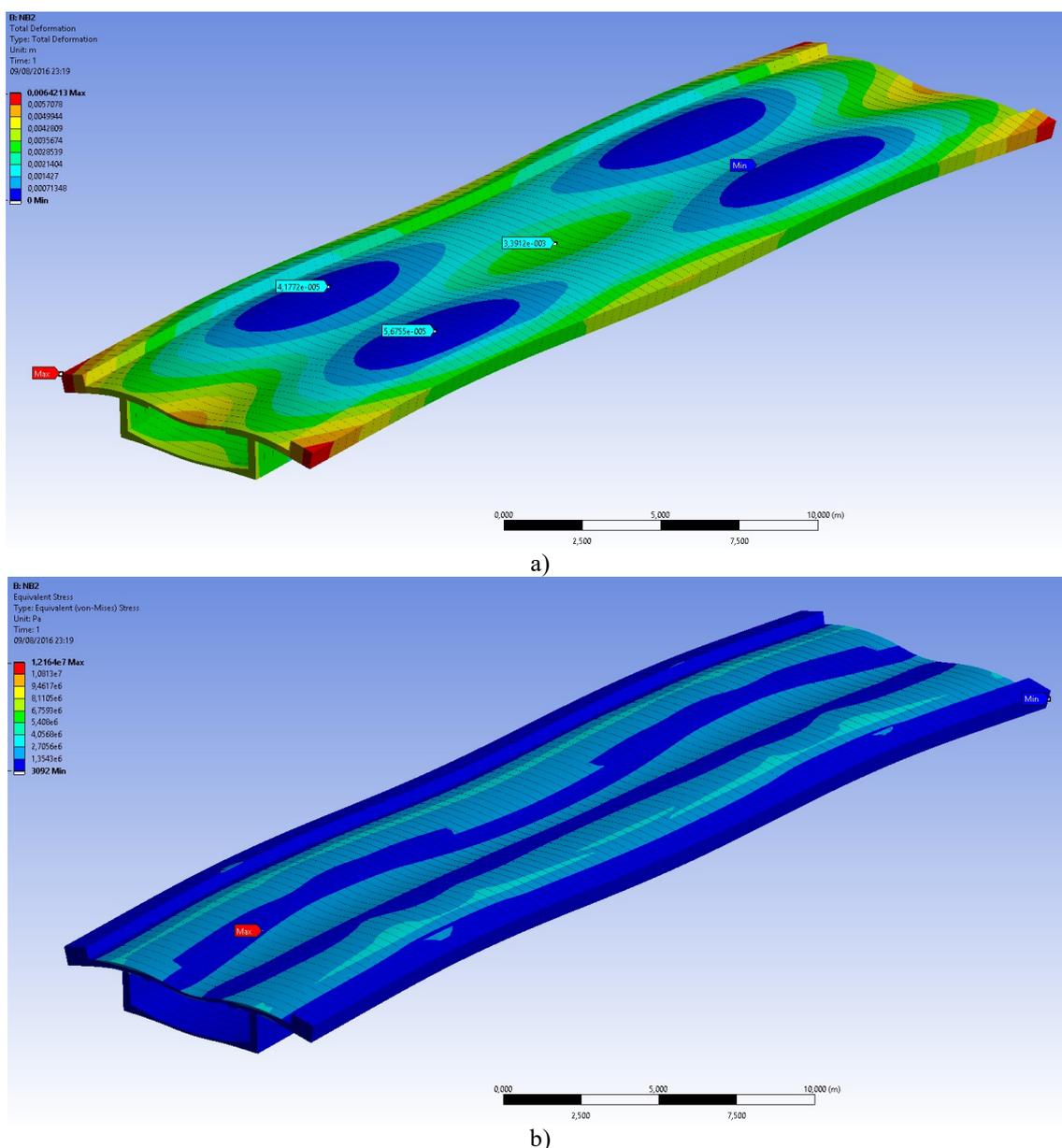


Figura 12: Análise Transiente – Carregamento NB-2: a) Deformada Final; e b) Tensão Equivalente de Von Mises

Assim, podemos verificar que a estrutura original atende ao pré-requisitos de carregamento considerando as cargas móveis conforme NB-2, apresentando uma baixa deformação total no meio vão da ordem de 0.003m e tensão equivalente de Von Mises da ordem de 12,1 MPa.

Ainda ao considerar a evolução dos carregamentos e passar a adotar o trem tipo conforme Classe 45 da NBR 7188 (2013) a estrutura apresenta bom comportamento frente aos carregamentos, apresentado pequenas deformações (0.008m) e tensão equivalente de Von Mises ($1.27E+7$), conforme apresenta a Fig. 13.

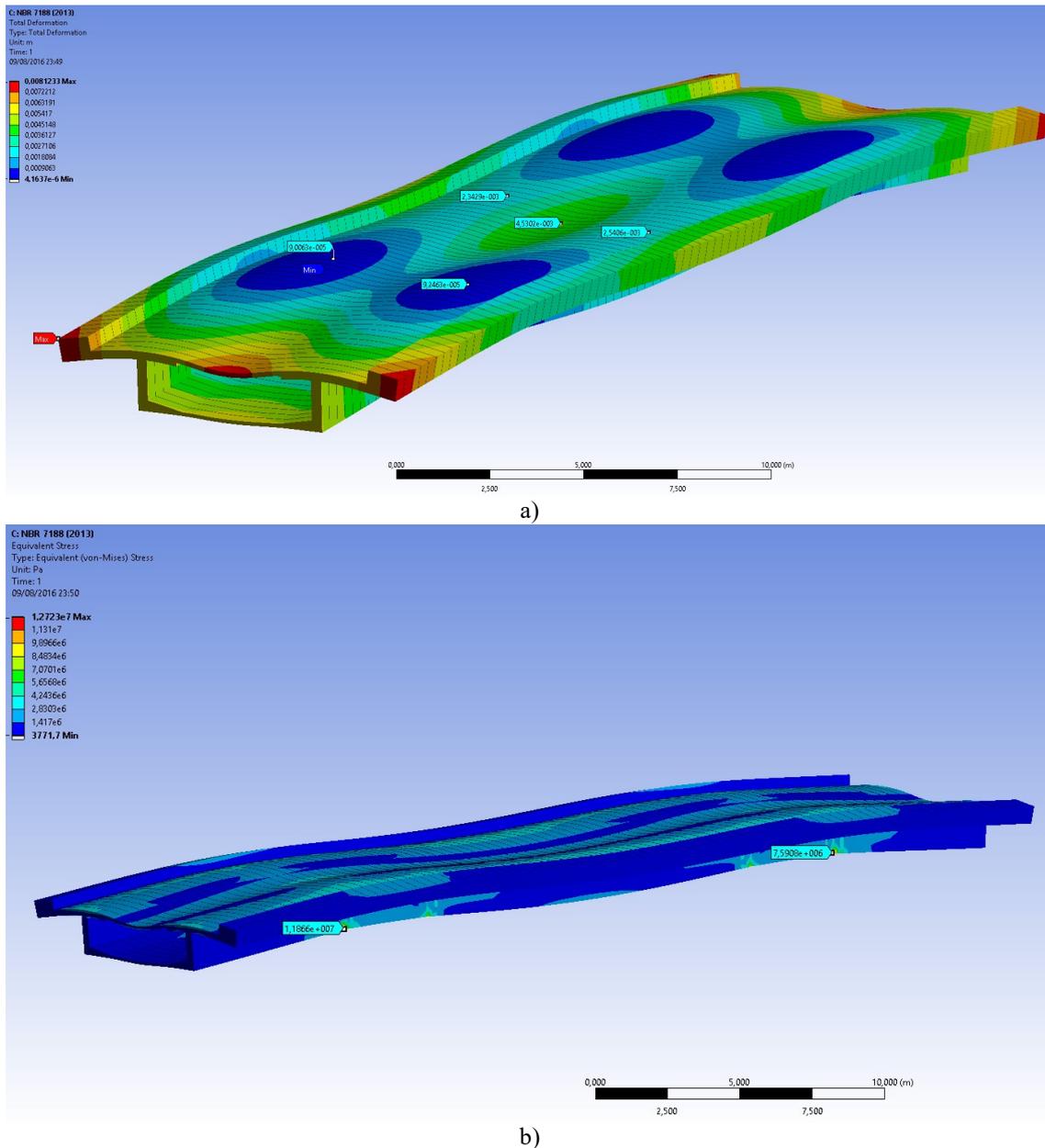


Figura 13: Análise Transiente – Carregamento NBR 7188 (2013): a) Deformada Final; e b) Tensão Equivalente de Von Misses

A boa resposta da estrutura frente aos carregamentos conforme Classe 45 da NBR 7188 (2013) pode ser justificado pelo coeficiente de segurança utilizado nos dimensionamentos conforme Norma Brasileira NB-01 (1960).

5.2 Recuperação, Reforço e Alargamento

Para a condição de recuperação, reforço e alargamento avaliou-se na primeira etapa a análise estática considerando a ação da força de protensão externa conforme projeto e as ações das cargas permanentes gravitacionais. A Fig. 14 apresenta o resultado da deformada final encontrada.

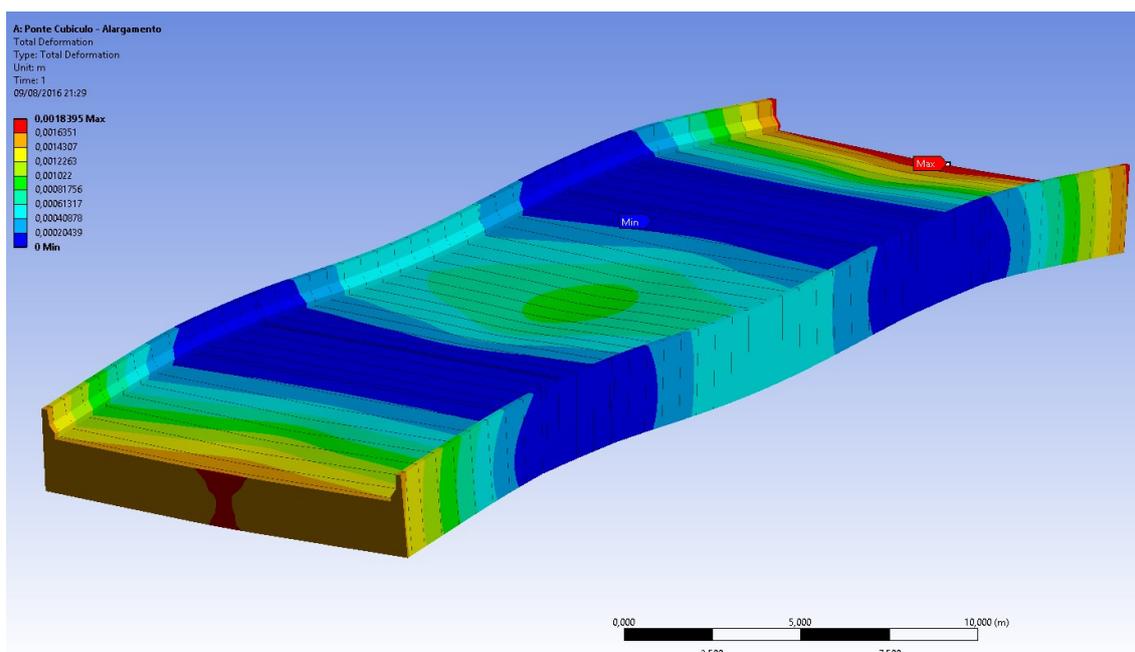


Figura 14: Deformada Final Análise Estática

Na segunda etapa avaliou a deformada final com a superposição das ações das cargas móveis sob a deformada final da análise estática. A Fig. 15 apresenta os resultados da análise transiente.

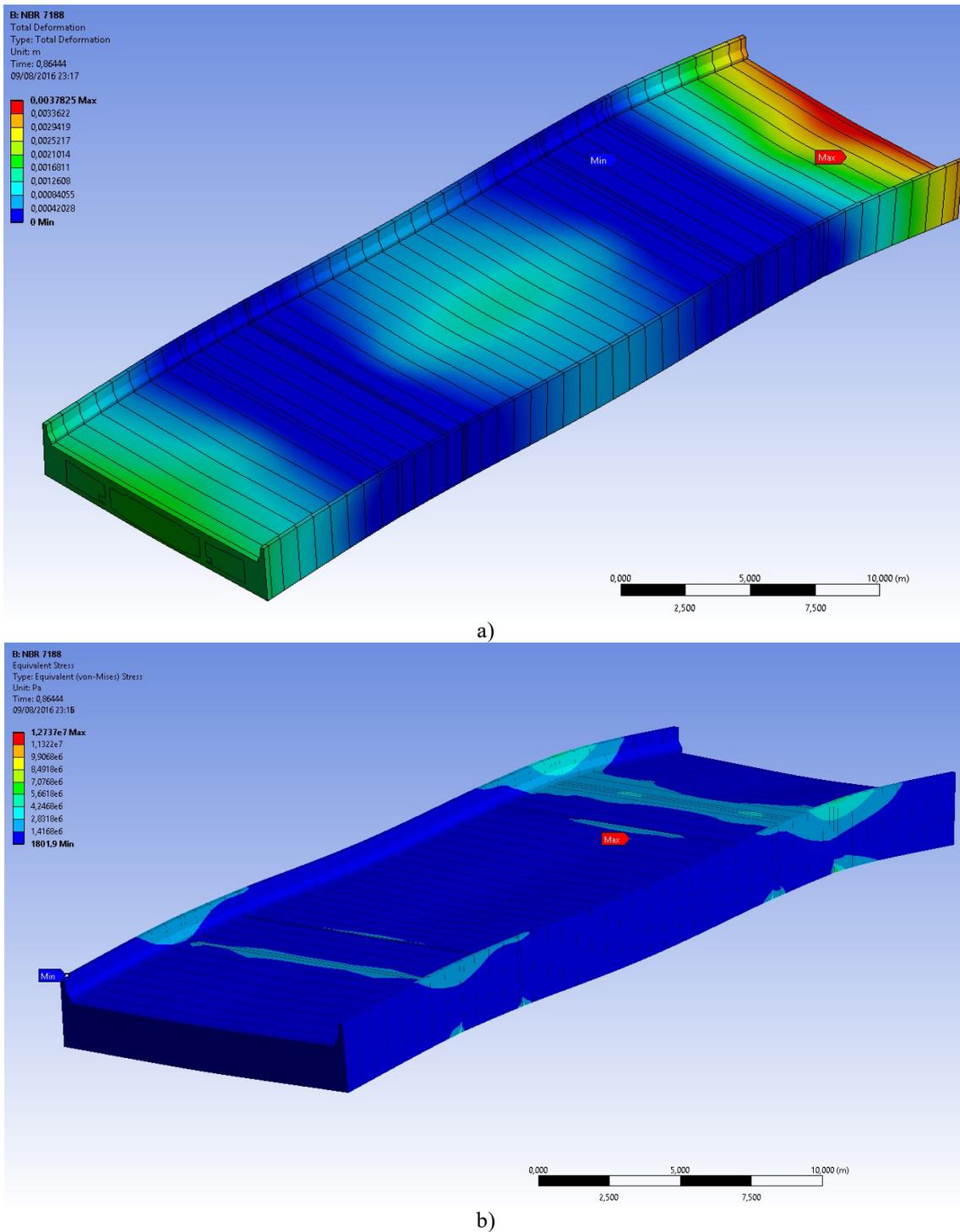


Figura 15: Análise Transiente – Carregamento NBR 7188 (2013): a) Deformada Final; e b) Tensão Equivalente de Von Misses

A proposta de recuperação, reforço e alargamento apresentou pequenas deformações (0.004m) e tensão equivalente de Von Misses ($1.2737E+7$).

5.3 Avaliação da Proposta para Recuperação, Reforço e Alargamento

Ao se comparar as deformadas, pode-se notar que a proposta de recuperação, reforço e alargamento da ponte não apresentou uma deformada final superior aos limites estabelecidos na norma NBR 6188 (2014) para o estado limite.

Contudo, ao analisar a margem de segurança do projeto por meio da tensão máxima de segurança que se baseia na teoria de von Mises-Hencky, onde uma combinação de tensões principais poderá causar a falha se a tensão máxima equivalente (σ_e) em uma estrutura for igual ou superior a um limite de tensão específica S_{lim} Eq. (6):

$$\frac{\sigma_e}{S_{limit}} < 1 \quad (6)$$

Considerando a resistência do material, pode-se limitar que a tensão máxima equivalente seja menor do que a resistência ao escoamento do material definido (S_y) na Eq. (7):

$$\frac{\sigma_e}{S_y} < 1 \quad (7)$$

O índice ainda pode ser definido em relação a resistência última do material (S_u) conforme Eq. (8):

$$\frac{\sigma_e}{S_u} < 1 \quad (8)$$

O fator de segurança (F_s) e a margem de segurança (M_s) dos projetos são calculados conforme Eq. (9) e Eq. (10) respectivamente.

$$F_s = \frac{S_{limit}}{\sigma_e} \quad (9)$$

$$M_s = F_s - 1 = \frac{S_{limit}}{\sigma_e} - 1 \quad (10)$$

Assim, podemos verificar que a proposta de recuperação, reforço e alargamento da ponte apresentou baixos valores de Margem de Segurança quando comparado com a tensão limite de escoamento do material conforme apresenta a Fig. 16.

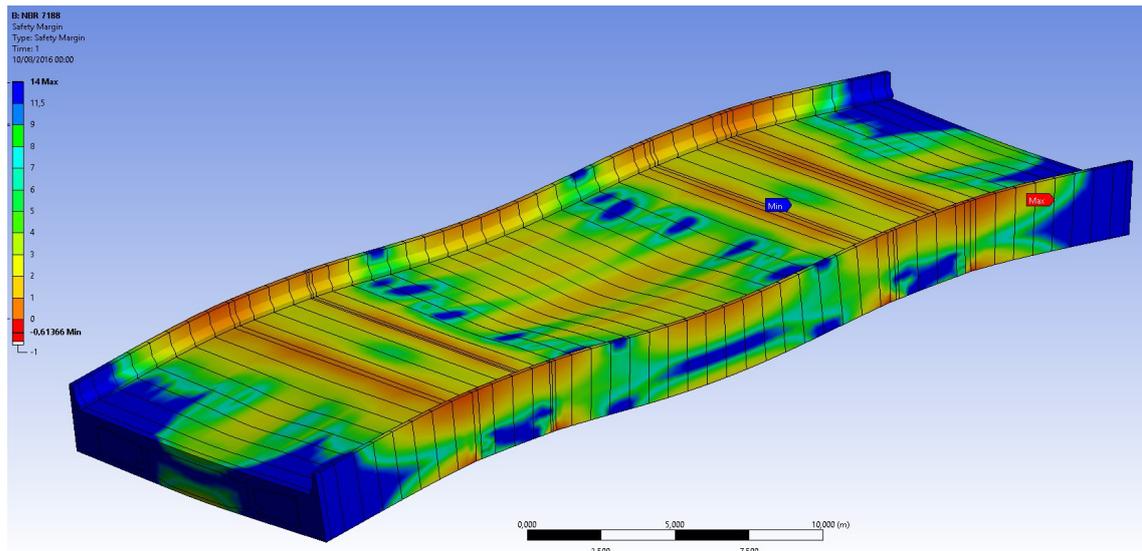


Figura 16: Margem de Segurança do Projeto

A proposta apresentou valores de Margem de Segurança menores que 1,0 em vários pontos da ponte conforme leitura da Fig. 16. Contudo, a seleção adequada do tipo de tensão, compressão ou tração, para análise de cada elemento é fundamental para o correto julgamento e aplicação da teoria, conforme apresenta Juvinal, (1967) e Shigley e Budynas (2003).

6 CONCLUSÃO

Assim podemos concluir que a proposta de reforço e alargamento da estrutura, não era suficiente para suportar a mudança de carregamento e a sobrecarga devido ao alargamento, e ainda se verificou que as alterações no coeficiente de impacto devido à atualização da Norma Brasileira ABNT NBR 7188:2013 não foram considerados na proposta de recuperação.

A retro-análise de projeto de pontes demonstrou fundamental importância como forma de evitar que possíveis falhas de projeto, acidentes e retrabalhos. Afirmando que é imprescindível o atendimento as Normas e Manuais Técnicos na elaboração do projeto de recuperação de estruturas e na escolha do tipo de intervenção, reforço e adaptação à estrutura existente.

As considerações deste estudo embasaram o Parecer Técnico sobre o projeto, sendo a proposta recuperação e alargamento da ponte indeferida pelo órgão executor.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o suporte fornecido pelas seguintes instituições e parceiros do trabalho:

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

Universidade de Brasília (UnB)

Licença acadêmica software ModeFrontier ESTECO; e

Licença acadêmica software FEMTools.

REFERENCES

ABNT:NBR-6118. (2014). *Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT:NBR-7188. (1984). *Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT:NBR-7188. (2013). *Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. São Paulo: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

DNIT. (1996). *Manual de Projeto de Obras-de-Arte Especiais*. DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.

Juvinall, R. C. (1967). *Engineering Considerations of Stress, Strain, and Strength*. Universidade de Michigan: Mcgraw Hill Series in Mechanical Engineering.

MENDES, P. D. (2009). *Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicada à rede de rodovias brasileiras*. São Paulo, SP, Brasil: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotecnia.

Shigley, J. E., & Budynas, R. G. (2003). *Mechanical Engineering Design* (7 edition ed.). McGraw-Hill Science/Engineering/Math. doi:ISBN-13: 978-0072520361

Vitorio, J. (2002). *Ponte Rodoviárias: Fundamentos, Conservação e Gestão*. Recife: 1 Edição.