

Tema: Infraestrutura (projeto e elementos construtivos)

**VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA PASSARELA METÁLICA QUANTO A CONDIÇÃO DE
CARREGAMENTO DE IÇAMENTO**

Carlos Alberto Medeiros¹
Hudson Chagas dos Santos²

Resumo

Uma passarela metálica treliçada foi projetada para que a etapa de concretagem de sua laje de piso fosse realizada na posição final de uso em serviço. Porém, para atender cronograma de obra e de eliminação de cimbramentos, a etapa de concretagem foi realizada em solo. Assim, uma reavaliação estrutural da passarela metálica foi feita para o processo de içamento. O presente trabalho apresenta uma análise por elementos finitos para verificação estrutural de uma passarela metálica quanto a condição de carregamento de içamento. A análise foi desenvolvida via Método dos Elementos Finitos. O carregamento de içamento da passarela foi definido para uma combinação última de construção estabelecida por ações permanentes de peso próprio da passarela e de uma ação variável de vento lateral. A verificação estrutural para a passarela metálica foi realizada utilizando o módulo *Steel Design* do programa RFEM6 da Dlubal e considerando critérios da norma ANSI/AISC 360-16. Então, foi constatado que a passarela metálica treliçada é segura para a condição de carregamento de içamento e com taxa máxima de trabalho de 52,8%.

Palavras-chave: Passarela metálica; Verificação estrutural; Análise por elementos finitos; Içamento.

**STRUCTURAL ASSESSMENT FOR A STEEL TRUSS FOOTBRIDGE UNDER LIFTING LOADING
CONDITION**

Abstract

A steel truss footbridge was designed considering the slab casting phase in your final floor position. However, to compress the construction schedule and to avoid frameworks, the slab casting phase was executed on the ground. Thus, a structural reassessment of the steel truss footbridge was made for the lifting process. The paper presents a finite element analysis for the structural assessment of a steel truss footbridge regarding the lifting loading condition. A finite element model was built. The lifting loading condition was defined from self-weight loads and lateral wind load. The structural assessment for the steel truss footbridge was done by RFEM's Steel Design module according to ANSI/AISC 360-16 standard. Then, it was verified that the steel truss footbridge is safe for the lifting loading condition and with a maximum design ratio of 52.8%.

Keywords: Steel footbridge; Structural assessment; Finite element analysis; Lifting condition

¹ Engenheiro Civil, Mestre, ENGFEA, São Paulo, São Paulo e Brasil.

² Engenheiro Civil, Doutor, Professor, Instituto Federal do Piauí, Teresina, Piauí e Brasil.

Cúnico (2018) afirma que o dimensionamento da estrutura a ser içada e dos componentes destinados à sua movimentação deve considerar um fator de amplificação dinâmico de modo a levar em conta os efeitos dinâmicos globais resultantes dos movimentos da estrutura, do guindaste e do carregamento do vento. A norma ABNT NBR8400-Parte 1:2019 apresenta valores de coeficiente dinâmico (ψ), determinado em função da velocidade da elevação da carga. Análises por elementos finitos são amplamente empregadas na verificação de estruturas em geral. Kindmann (2011) apresenta os fundamentos teóricos, metodologias de análise e procedimentos numéricos baseados no Método dos Elementos Finitos e conforme a norma Eurocode 3. Sugianto e Indriani (2017) desenvolveram uma análise por elementos finitos com o programa SAP200 e considerando critérios da norma AISC-ASD89 para validar reforços estruturais em plataformas offshore de petróleo para condições de carregamentos de içamento. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma verificação estrutural utilizando o módulo de estruturas metálicas de um programa comercial de análise por elementos finitos para uma passarela metálica treliçada quanto à condição de carregamento de içamento. Inicialmente é feita uma descrição do sistema estrutural da passarela metálica e do sistema de içamento empregado. Um modelo de elementos finitos de viga é elaborado para o sistema estrutural da passarela. A condição de carregamento de içamento da passarela é representada por uma combinação última de construção estabelecida a partir de ações permanentes de peso próprio das estruturas e de uma ação variável de vento lateral. Uma análise linear estática por elementos finitos é processada para determinar o valor do máximo esforço solicitante de compressão atuante dentro de grupos de perfis tubulares da estrutura da passarela metálica. Então, uma verificação para o sistema estrutural da passarela metálica treliçada é realizada utilizando o módulo *Steel Design* disponível no programa RFEM6 da Dlubal e considerando a norma ANSI/AISC 360-16 para obter resultados da máxima taxa de trabalho para grupos de perfis tubulares da passarela metálica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição da Passarela Metálica Treliçada e do Sistema de Içamento

Figura 3 apresenta as dimensões geométricas de comprimento, altura e largura do sistema estrutural da passarela metálica treliçada.

Figura 3 – Dimensões geométricas do sistema estrutural da passarela metálica treliçada.

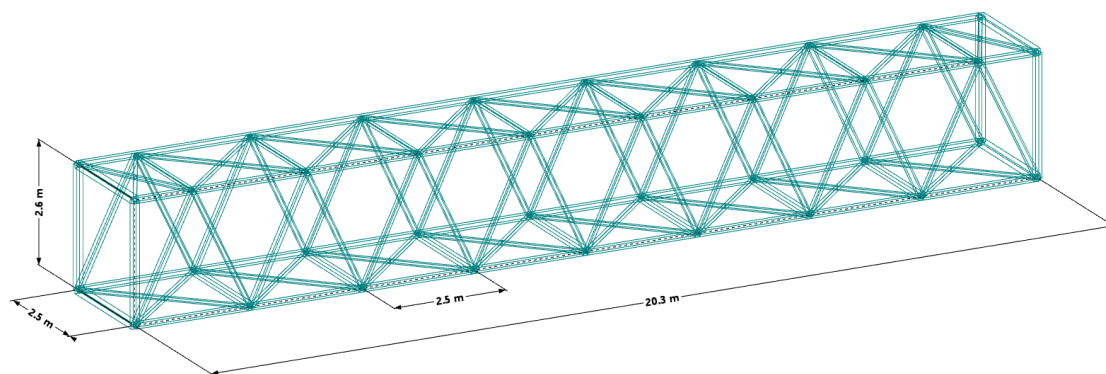


Figura 4 identifica os perfis do sistema estrutural da passarela metálica treliçada que possui perfis tubulares de 101 mm x 8,0 mm para os elementos longitudinais do banzo superior e perfis tubulares de 101 mm x 5,8 mm para os elementos longitudinais do banzo inferior. O travamento transversal dos banzos são constituídos por perfis tubulares de 60,5 mm x 5,5 mm e para sustentação do piso em steel deck são adotados perfis W150 x 18. As diagonais da passarela metálica treliçada tem perfis tubulares de 73 mm x 5,0 mm e próximo as torres de acesso da passarela são utilizados perfis tubulares de 101 mm x 5,8 mm. Nas extremidades da passarela são adotados perfis retangulares tubulares de 127 mm x 127 mm x 9,5 mm.

Figura 4 – Identificação dos perfis do sistema estrutural da passarela metálica treliçada.

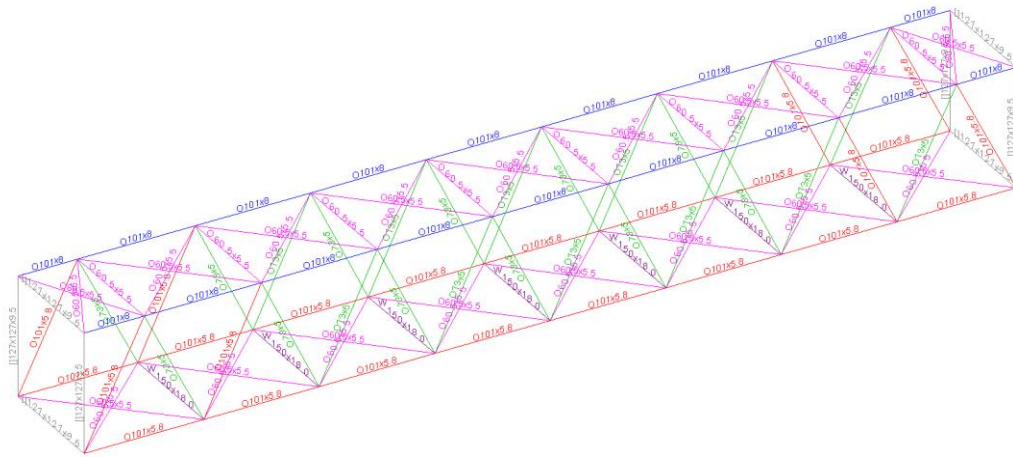
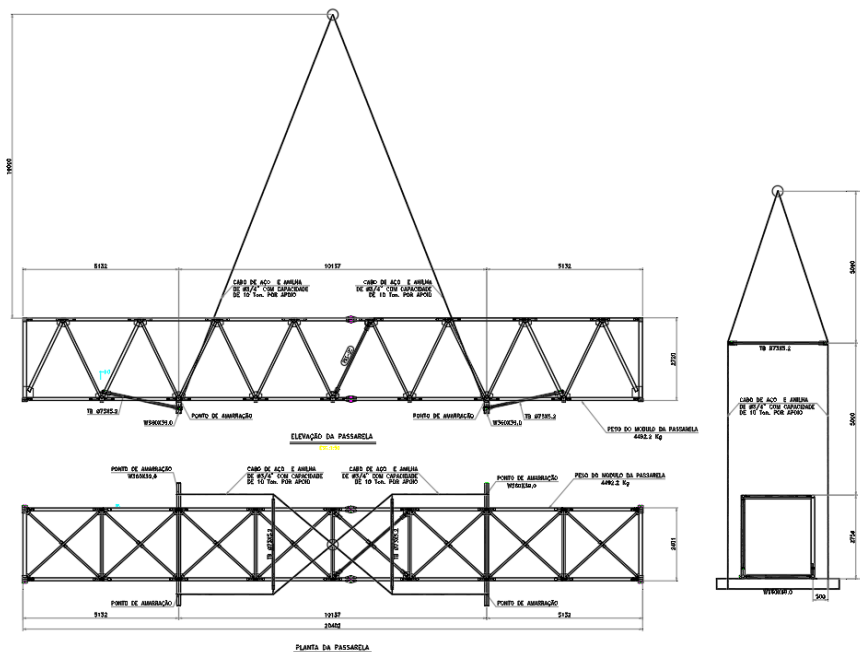


Figura 5 apresenta o sistema de içamento utilizado para a passarela metálica treliçada e que é constituído por cabos de aço de uma polegada (25,4 mm) de diâmetro, Berço de perfis metálicos W360x39 e na parte superior por perfis tubulares de 73 mm x 5,2 mm.

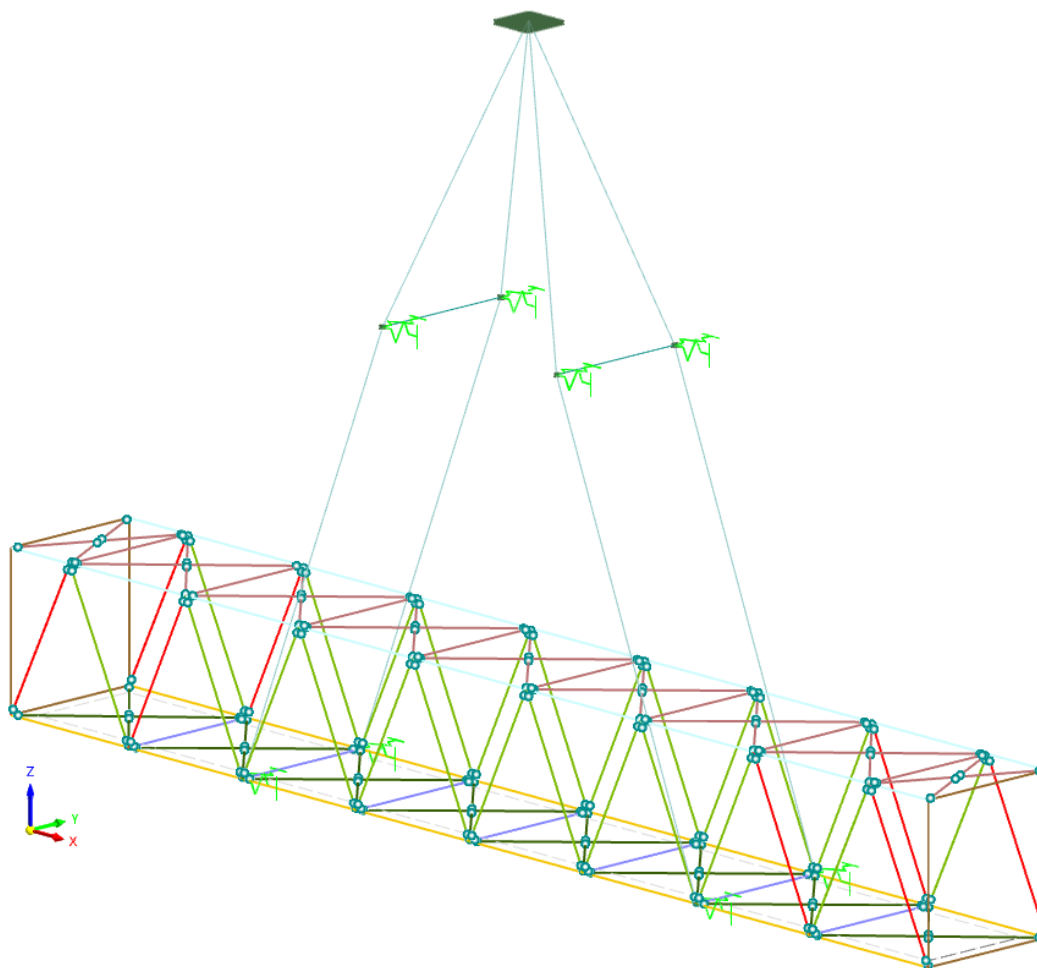
Figura 5 – Sistema de içamento por cabos para a passarela metálica treliçada.



2.2 Modelo de Elementos Finitos

Figura 6 mostra o modelo computacional de elementos finitos elaborado para o sistema estrutural da passarela metálica treliçada e do sistema de içamento por cabos. As barras dos perfis da passarela metálica treliçada foram modeladas com elementos finitos de viga e os cabos do sistema de içamento foram modelados com elementos finitos de cabo de comportamento linear. A laje steel deck foi representada por uma superfície de transferência de cargas.

Figura 6 – Modelo de elementos finitos do sistema estrutural da passarela metálica treliçada.



Vale aqui mencionar que as barras dos elementos das diagonais e dos travamentos transversais dos banzos da passarela foram rotuladas em suas extremidades.

2.3 Ações e Combinação Última de Construção

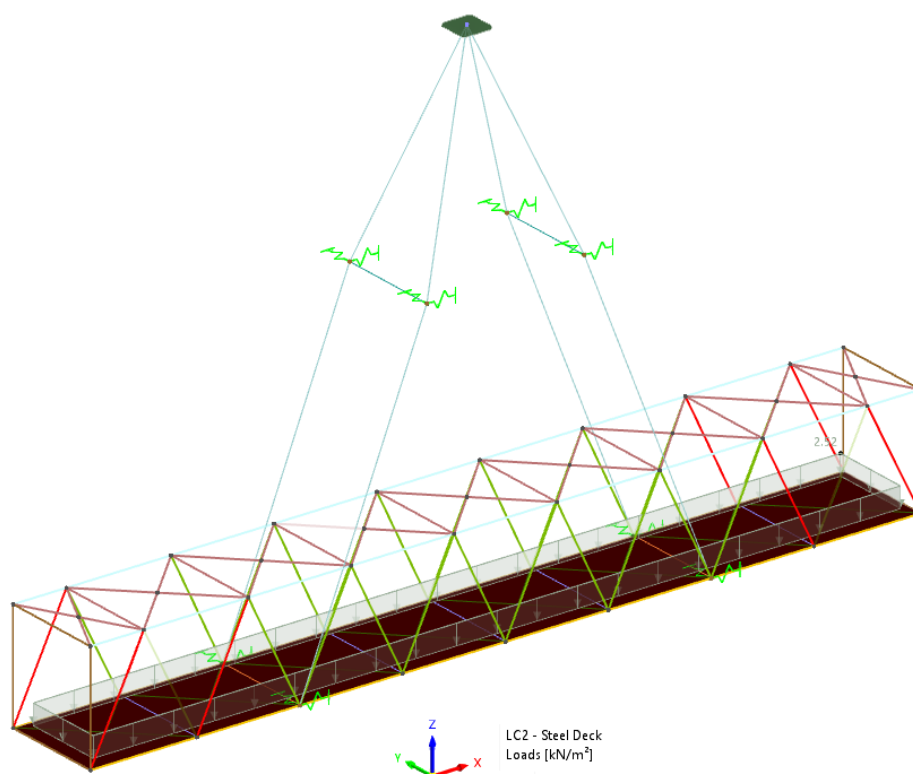
Para verificação do sistema estrutural da passarela metálica treliçada quanto a condição de carregamento de içamento foram consideradas as seguintes ações:

- Ações devidas ao peso próprio da estrutura metálica da passarela treliçada.

- Ação permanente de peso próprio da laje em steel deck e com valor de $2,52 \text{ kN/m}^2$ como mostrado na Figura 7.

O peso próprio da laje de steel deck de $2,52 \text{ kN/m}^2$ foi definido a partir de informações obtidas no catálogo da Metform (2019) para um Steel Deck MF-75, com espessura da telha-fôrma de 0,95 mm e laje com altura total de 140 mm.

Figura 7 – Ação permanente de peso próprio da laje de steel deck.



- Ação variável de vento lateral de valor igual a $1,28 \text{ kN/m}$ e que foi aplicada nos elementos dos banzos inferior e superior da passarela metálica treliçada como mostrado na Figura 8.

A ação variável de vento lateral de valor igual a $1,28 \text{ kN/m}$ foi estabelecida conforme procedimetros apresentados na norma ABNT NBR 6123:1988 e para os seguintes dados de projeto:

Velocidade Básica $V_o = 32 \text{ m/s}$

Fator topográfico $S_1 = 1$

Fator $S_2 = 0,83$ (Categoria IV, Classe B, $z = 10 \text{ m}$)

Fator $S_3 = 1,1$

Velocidade Característica: $V_k = V_o \times S_1 \times S_2 \times S_3 = 29,22 \text{ m/s}$

Pressão Dinâmica $q = 0,613 V_k^2 = 523 \text{ N/m}^2 = 0,523 \text{ kN/m}^2$

A Força de Arrasto foi calculada pela expressão $F_a = C_a \times q \times A_e$

onde:

C_a : Coeficiente de Arrasto

q : Pressão Dinâmica do Vento

A_e : Área frontal efetiva de obstrução ao movimento do vento.

O índice de área exposta é dado por $\phi = \frac{A_e}{A_c}$

Para passarela aqui estudada, tem-se $\phi = 0,165$.

Da Figura 6 da norma NBR 6123 foi encontrado o valor do coeficiente de arrasto $C_a = 1,83$.

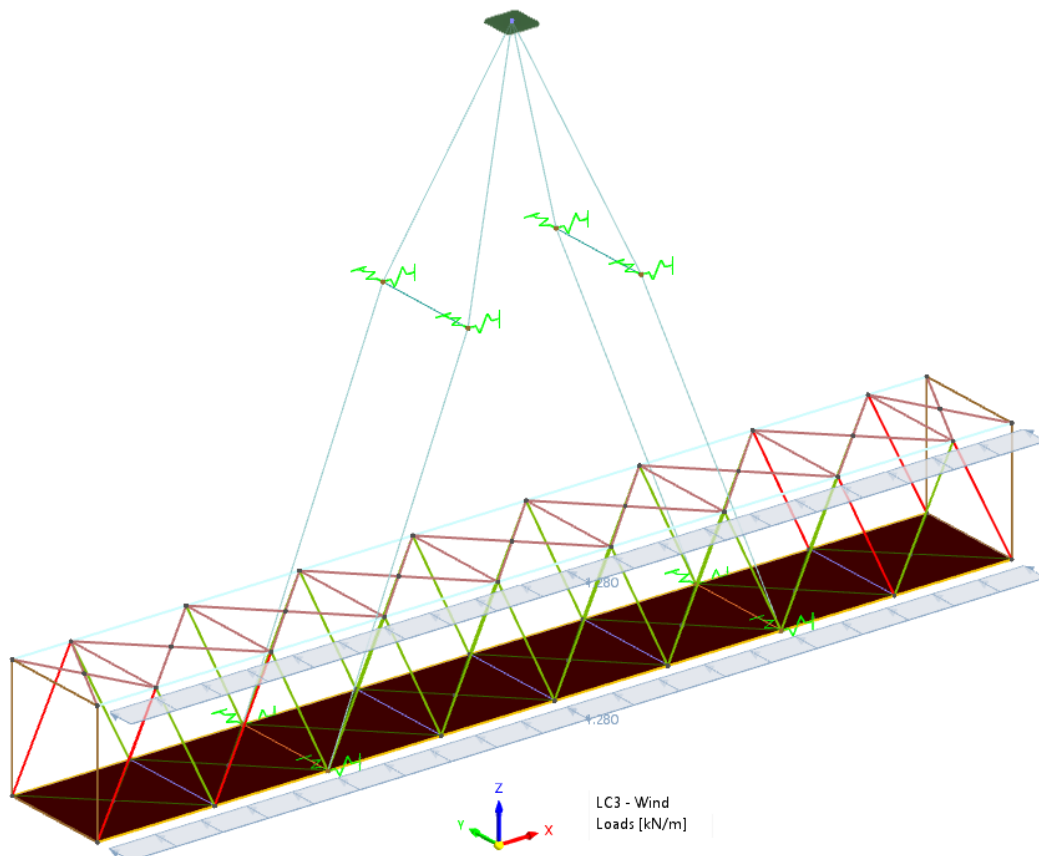
Sendo a favor da segurança foi adotado $A_e = A_c$.

E considerando a altura da passarela igual a 2,7 m.

Logo, a força de arrasto por metro linear é $F_a = 1,83 \times 0,52 \times 2,7 = 2,56 \text{ kN/m}$.

Assim, para cada banzo da passarela: $F_a = 2,56 \text{ kN/m} / 2 = 1,28 \text{ kN/m}$.

Figura 8 – Ação variável de vento lateral.



Vale aqui informar que a norma americana ANSI/AISC 360-16 foi adotada para a verificação estrutural da passarela metálica treliçada. E que a norma ANSI/AISC 360-16 afirma em seu item B2. LOADS AND LOAD COMBINATIONS que as ações e combinações de ações de projeto devem ser elaboradas conforme códigos de normas de construções aplicáveis. Dessa forma, a combinação última de construção foi estabelecida conforme a expressão do item 4.7.7.2.2 da norma brasileira ABNT NBR 8800:2008.

Tabela 1 lista os valores valores de coeficientes de ponderação de ações apresentados na norma ABNT NBR 8800:2008 e que foram utilizados na definição da combinação última de construção.

Tabela 1 – Coeficientes de ponderação das ações.

Combinação	Ações permanentes		Ações variáveis
	Peso próprio de estruturas Metálicas (PP)	Peso próprio de estruturas moldadas no local (CP)	Vento Lateral (W)
Especiais ou de Construção.	1,15	1,25	1,2

A combinação última de construção foi definida como:

$$F_d = PP \times 1,15 \times \psi + CP \times 1,25 \times \psi + W \times 1,2 \quad (1)$$

Ressalta-se que a Equação 1 considera um coeficiente dinâmico (ψ) de 1,2, como recomendado pela norma ABNT NBR 8400-1 (2019), e que foi aplicado apenas para as ações permanentes.

2.4 Verificação Estrutural para a Passarela Metálica Treliçada

Para verificação estrutural da passarela metálica treliçada foi utilizado o módulo *Steel Design* disponível no ambiente do programa RFEM6 da Dlubal e com a consideração de critérios de cálculos apresentados na norma ANSI/AISC 360-16.

Vale esclarecer que a escolha da norma americana ANSI/AISC 360-16 para desenvolvimento do presente trabalho foi feita devido ao fato que a norma brasileira ABNT NBR 8800:2008 ainda não se encontra implementada no módulo *Steel Design* do programa RFEM6 da Dlubal. E que as expressões de verificação de cálculo presentes na norma americana se assemelham com as apresentadas na norma brasileira.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 9 apresenta resultados de esforços normais atuantes nos perfis tubulares da passarela metálica treliçada obtidos da análise estática linear de elementos finitos.

Figura 9 – Esforços de normais atuantes nos perfis tubulares da passarela metálica treliçada.

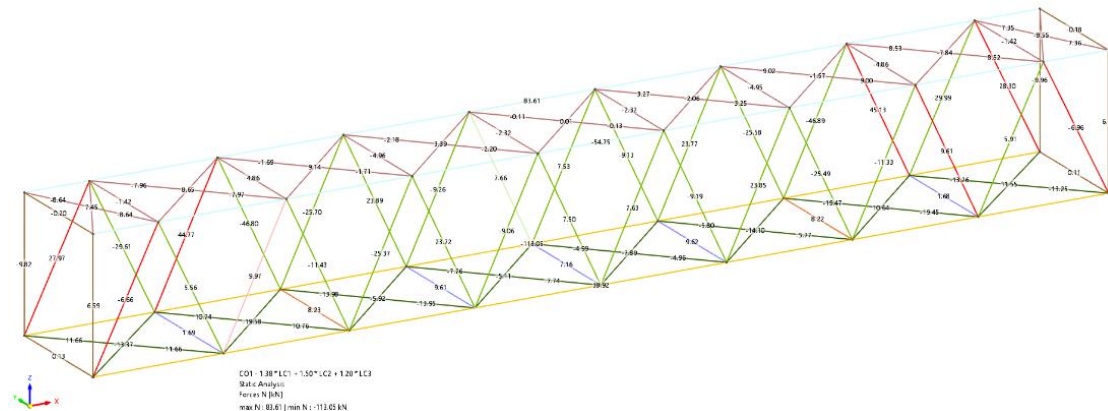


Tabela 2 apresenta um resumo de resultados de esforços máximos de compressão atuante nos grupos de perfis tubulares da passarela metálica treliçada.

Tabela 2 – Esforços máximos de compressão atuantes nos grupos de perfis da passarela.

Perfis tubulares da Passarela Metálica	Esforços Máximos de Compressão (kN)
Perfis 101 mm x 8.0 mm (Banzo superior)	54,75
Perfis 101 mm x 5.8 mm (Banzo inferior)	113,05
Perfis 73 mm x 5.0 mm (Diagonais)	46,89
Perfis 101 mm x 5.8 mm (Diagonais)	6,96
Perfis 60.5 mm x 5.5 mm (Travamentos banzo sup.)	8,64
Perfis 60.5 mm x 5.5 mm (Travamentos banzo inf.)	19,58
Perfis W150 x 18	1,45
Perfis 127 mm x 127 mm x 9,5 mm	9,96

Figura 10 apresenta resultados de taxa de trabalho nos perfis tubulares da passarela metálica treliçada obtidos com o módulo *Steel Design* do programa RFEM6.

Figura 10 – Taxa de trabalho dos perfis da passarela metálica treliçada.

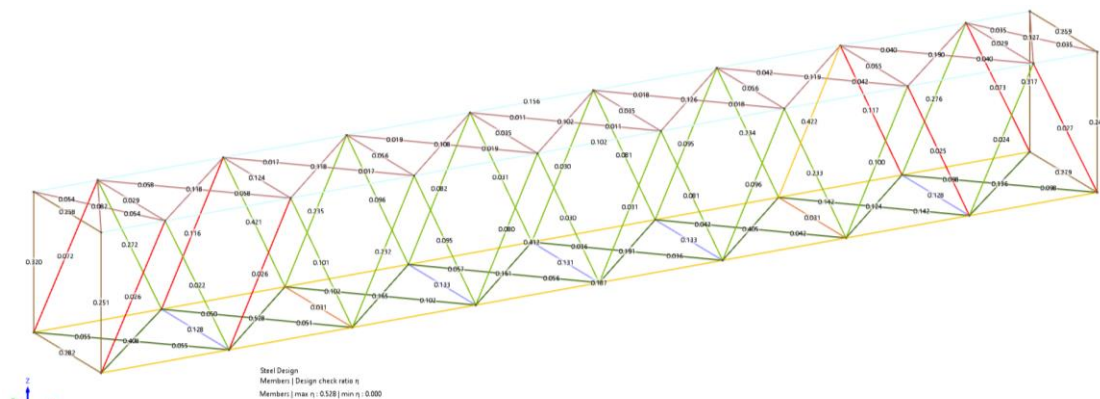


Tabela 3 apresenta um resumo de resultados da máxima taxa de trabalho encontrados para os grupos de perfis tubulares da passarela metálica treliçada.

Tabela 3 – Taxa de trabalho para os elementos da passarela metálica treliçada.

Perfis tubulares da Passarela Metálica	Máxima Taxa de Trabalho (%)
Perfis 101 mm x 8.0 mm (Banzo superior)	15,6
Perfis 101 mm x 5.8 mm (Banzo inferior)	41,2
Perfis 73 mm x 5.0 mm (Diagonais)	42,2
Perfis 101 mm x 5.8 mm (Diagonais)	11,7
Perfis 60.5 mm x 5.5 mm (Travamentos banzo sup.)	19,0
Perfis 60.5 mm x 5.5 mm (Travamentos banzo inf.)	52,8
Perfis W150 x 18 (13,3
Perfis 127 mm x 127 mm x 9,5 mm	32,0

4 CONCLUSÃO

O sistema estrutural de uma passarela metálica treliçada foi verificado para a condição de carregamento de içamento que não foi prevista em projeto. A análise estática linear de elementos finitos apresentou um resumo de resultados de esforços máximos de compressão atuantes nos grupos de perfis tubulares da passarela metálica treliçada. A verificação estrutural da passarela metálica treliçada utilizando o módulo *Steel Design* do programa RFEM6 da Dlubal e com a consideração da norma ANSI/AISC 360-16 apresentou o resultado da taxa máxima de trabalho igual a 52,8%. Portanto, foi constatado que o sistema estrutural da passarela metálica treliçada é seguro para a condição de carregamento de içamento.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, ABNT, 1988.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR8400: Equipamentos de elevação e movimentação de carga - Regras para projeto - Parte 1: Classificação e cargas sobre as estruturas e mecanismos. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.
- [4] AISC 360-16 (2019): Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- [5] Cúnico, M. N. Cálculo e análise do fator de amplificação dinâmica em içamentos off-shore não submersos utilizando balsas guindaste, com foco em descomissionamento de plataformas de petróleo. Dissertação (mestrado). Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.
- [6] Kindmann, R., Kraus, M. Steel Structures Design Using FEM. Ernest & Sohn, Berlin, Germany, 2011.
- [7] Sugianto, A., Indriani, A. M. Analysis of offshore platforms lifting with fixed pile structure type (fixed platform) based on ASD89. AIP Conference Proceedings 1903, 020023 (2017).