



ANÁLISE ESTRUTURAL POR ELEMENTOS FINITOS DE UMA UNIDADE PORTÁTIL *OFFSHORE* PARA A CONDIÇÃO DE IÇAMENTO POR MEIO DO SOFTWARE *OPEN SOURCE SALOME-MECA*

Elton Danilo Benitez Estigarribia, elton.estigarribia054@academico.ufgd.edu.br
Rodrigo Borges Santos, rodrigobsantos@ufgd.edu.br
Augusto Salomão Bornschlegell, augustosalomao@ufgd.edu.br

Universidade Federal da Grande Dourados – Faculdade de Engenharia.
Rodovia Dourados / Itahum, Km 12 – Unidade II
Cidade Universitária
79804970 – Dourados, MS – Brasil – Caixa postal: 364

Resumo. *A necessidade de transportar cargas onde a capacidade física humana não é suficiente torna a utilização de máquinas de elevação e/ou transporte uma ferramenta necessária. Operações em serviços offshore, onshore e subsea utilizam máquinas de elevação e transporte em seus processos. Apresenta-se neste artigo um estudo estrutural estático, em elementos finitos, de uma unidade portátil offshore para a condição de içamento modelizado pelo elemento de placa DKT (Discrete Kirchhoff Theory) no software Salome-Meca. As condições de contorno e carregamentos foram modelados com base na Norma DNV 2.7-3 com objetivo de avaliar a carga máxima que a estrutura suportaria antes de alcançar o limite de tensão admissível. As cargas máximas são apresentadas para diferentes classes operacionais de acordo com a DNV 2.7-3.*

Palavras chave: *Elementos finitos. Içamento. Análise estrutural. DNV 2.7-3. DKT.*

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de levantar, deslocar e/ou transportar cargas como máquinas, contêineres e até mesmo pessoas onde a capacidade braçal do homem não é suficiente torna a utilização de máquinas de elevação e transporte uma importante ferramenta para tal propósito.

O processo de içamento tem aplicações em serviços *offshore* (são aqueles realizados a partir da costa marítima), *onshore* (são conhecidos por estarem localizados em terra, ou seja, distantes da costa) e *subsea* (em serviços submersos).

As operações de içamento *offshore* são bem mais complexas. A partir dessa premissa, criou-se a norma DNV 2.7-3 (Det Norske Veritas, 2011) que abrange tipos de unidades específicas para cargas maiores que 25 toneladas. Equipamentos certificados de acordo com esta norma são considerados unidades portáteis *offshore*.

Para fixação, movimentação, elevação e amarração de cargas os principais componentes para içamento são divididos em dois grupos: a estrutura e a lingada. A estrutura é composta por quadro estrutural, olhais e elementos de ligação entre estrutura e lingada. A lingada é normalmente composta por manilhas, cabo de aço e anelão.

A norma DNV 2.7-3 estabelece padrões para certificação para içamento abrangendo requisitos adequados para içamento de unidades portáteis *offshore*. De acordo com a norma as estruturas são classificadas nos tipos: A, B, C e D, representado na Fig. 1.

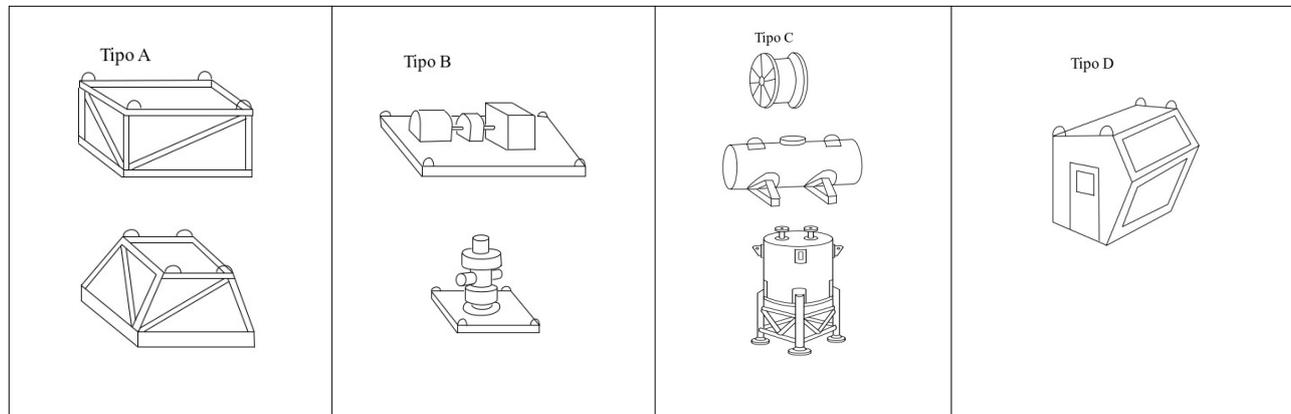
A mesma norma ainda classifica as estruturas conforme o tipo de operação. O tipo de operação está baseado na altura máxima de onda (içamentos *offshore*) e no risco associado a operação. São definidas 3 classes de operação, a R60, R45 e R30. As máximas alturas de onda permitidas são de 6,0; 4,5 e 3,0 metros para as classes R60, R45 e R30, respectivamente. Para a avaliação de risco, é disponibilizada uma tabela para consulta. Por exemplo, estruturas do Tipo A, de alto risco, para cargas inferiores a 25 toneladas, a classe operacional correspondente é a R45.

Visando a integridade da carga içada e das pessoas envolvidas na operação, Rudenko (1976), aponta que "[...] todos os mecanismos e suas estruturas de metal devem ser fabricados com materiais de alta qualidade, em estrita conformidade com as especificações estabelecidas pelos fornecedores de metal."

O avanço do uso de materiais e a técnica de representação gráfica, tem permitido o uso de técnicas computacionais avançadas para a avaliação de propriedades desejadas (MONTES, 2014). A simulação computacional tem se mostrado uma importante ferramenta para avaliar tais propriedades e conformidades e alinhada ao método de elementos finitos (FEA), permite a análise para prever o comportamento mecânico de uma estrutura ou parte dela.

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo avaliar a carga máxima para uma unidade portátil classe A de envelope de 1 m³, para a operação de içamento *offshore* e para as classes de operação R30, R45 e R60 de içamento *offshore* em 3 pontos em uma análise por elementos finitos empregando o *software* livre *Salome-Meca*.

Figura 1. Classificação dos tipos de estruturas (Retirado da Norma DNV 2.7-3)



2. MATERIAIS E MÉTODOS

Baseado na teoria do elemento finitos e cobrindo uma ampla gama de aplicações, como análises mecânicas estáticos e dinâmicos com comportamento linear ou não linear, o *software* *Salome-Meca* foi utilizado para todo o processo de simulação FEA (*Finite Element Method*).

O modelo CAD (*Computer Aided Design*) foi criado no módulo "*Geometry*" do *software*. A unidade portátil foi projetada com viga de perfil I comercial conforme mostra a Fig.2 e, de acordo com as dimensões apresentadas na Tab.1.

Levando em consideração a economia computacional e sendo os elementos do tipo casca utilizados quando a espessura da estrutura modelada for muito menor que as outras dimensões (VENDRAMIN, 2016) a geometria foi criada pelo elemento de placa DKT (*Discrete Kirchoff Theory*), descrito em (CARRIJO, 1995).

Tabela 1. Descrição do perfil I utilizado (Gerdau, 2019)

Descrição	Área A	Altura d	Espessura da alma t _w	Aba	
				Largura b _f	Espessura t _f
mm x kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm
W150 x 13,0	16,6	148	4,3	100	4,9

A representação dos olhais para amarração dos cabos na estrutura, também foi criada sem rigor geométrico, apenas conferindo-lhe uma espessura de ½ polegada (12,7 mm) com o intuito de visualizar o comportamento destes elementos na estrutura. O envelope da estrutura finalizada é de 1 m³.

Reuniram-se em grupos as entidades geométricas empregadas para as condições de contorno e carregamento, a saber: o grupo "*load*" se refere ao nó central da base para aplicação da carga pontual e o grupo com os elementos de linha "*eng_1*", "*eng_2*", "*eng_3*" e "*eng_4*" referente aos elementos que foram engastados (Fig. 2).

Posteriormente, o modelo e os grupos foram exportados para o módulo "*Mesh*", no qual foi realizada a discretização da mesma com o algoritmo *Netgen 1D-2D*. A discretização gerada é constituída por 267 elementos finitos triangulares, 14677 elementos finitos quadriláteros, sendo estes definidos por 11110 nós (Fig. 3).

O modelo discretizado foi carregado no módulo "*AsterStudy*" e atribuído a este a modelização DKT (*Discrete Kirchoff Theory*). Para as propriedades dos materiais optou-se pelo aço ASTM A36 com os valores de 200 GPa e 0,26 para o Módulo de *Young* e coeficiente de *Poisson*, respectivamente. A tensão de escoamento deste material é de 250 MPa.

Para fins de análise o modelo foi carregado com uma carga pontual (18 kN) no grupo "*load*" para que o nível de tensão na estrutura ultrapassasse o limite de escoamento do material. Simulando os cabos de aço, e respeitando o indicativo de penalização da Norma DNV 2.7-3 de desconsiderar uma eslinga da lingada, aplicou-se as seguintes restrições de movimento: para o grupo "*eng_1*", restrição nas direções y e z, "*eng_2*" na direção z, "*eng_3*" nas direções x e z e "*eng_4*" ficou livre. Finalizando este estágio a análise foi processada no *software*.

Ainda segundo a Norma DNV 2.7-3 a carga de projeto em todos os elementos em um içamento com eslingas para unidades portáteis deve ser calculada com base na força do ar, F_{Ar} (kN), dada em Eq. (1).

$$F_{Ar} = DF \times MGW \times g \times SKL \quad (1)$$

Sendo, DF = fator de projeto (definido de acordo com a classe operacional e MGW na Tab. 2); MGW = *Maximum gross weight* (peso bruto máximo em toneladas); g = aceleração da gravidade ($\sim 9,81 \text{ m/s}^2$); SKL = fator de penalização por diferença de comprimento dos cabos (segundo a norma devem ser tomados no mínimo 1,25).

Figura 2. Geometria e os grupos (Elaborado pelos autores)

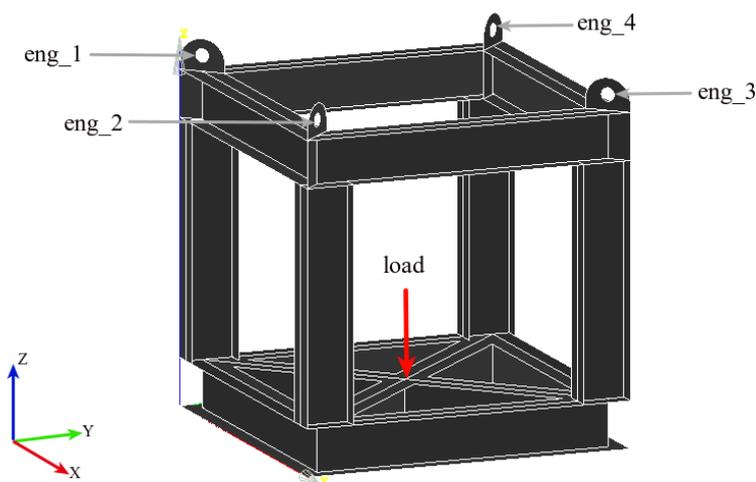


Figura 3. Modelo estrutural discretizado (Elaborado pelos autores)

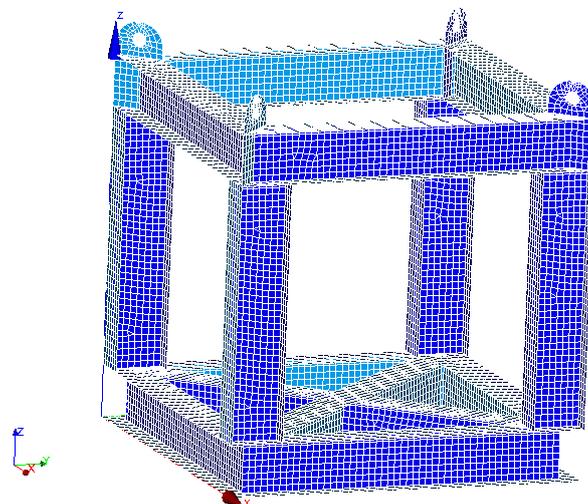


Tabela 2. Classe operacional (traduzido da Norma DNV 2.7-3)

Classe Operacional	MGW < 50 toneladas	MGW ≥ 50 toneladas
R60	$1,4 + 0,8 \times \sqrt{50/MGW}$	2,2
R45	$1,4 + 0,6 \times \sqrt{50/MGW}$	2,0
R30	$1,4 + 0,4 \times \sqrt{50/MGW}$	1,8

Para a tensão admissível a Norma DNV 2.7-3 indica fator de penalização de 0,85, deste modo a tensão admissível no içamento por 3 pontos foi calculada pela Eq. (2).

$$\sigma_{adm} = 0,85 \times S_Y \tag{2}$$

Onde: σ_e é tensão admissível e S_Y tensão de escoamento do material.

O peso máximo permissível de carga, que pode ser transportado com segurança pela estrutura, dado em kg, é calculado pela Eq.(3).

$$P = MGW - T \tag{3}$$

Onde: $T = Tara$ (massa da estrutura vazia, inclui qualquer equipamento permanente excluindo a carga e o conjunto de içamento em kg). $MGW =$ Massa bruta máxima de toda a estrutura *offshore* (incluindo equipamentos permanentes e sua carga em kg).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Finalizado o processamento, no módulo de visualização "ParaVis" é possível ter percepção imediata dos locais de maior deslocamento e onde as tensões principais de *von Mises* apresentam maior intensidade.

A carga de 18 kN foi aplicada gradualmente no grupo "load". Levando em consideração a tensão admissível calculada pela Eq. 2 ($\sigma_{adm} = 212,5$ MPa), verificou-se que o carregamento máximo admissível é de 12,6 kN, 70% da carga aplicada. Cargas acima de 12,6 kN submetem a estrutura a tensões superiores a tensão admissível. O resultado da simulação identifica em vermelho onde as vigas sofrem maior tensão devido ao carregamento (Fig. 4 e 5). A tensão calculada pelo *software* é abordada pelo critério de *von Mises*.

Devido a condição de içamento em três pontos, observa-se que a tensão é maior na barra diagonal ligada aos dois pontos adjacentes ao ponto livre, como observado na vista superior da estrutura na Fig. 5.

Nota-se, pontualmente, regiões com tensões acima da tensão admissível. Estas regiões estão na proximidade de aplicação de condições de contorno e carregamento e, por isso, podem ser relevadas. A seção mais solicitada mecanicamente é a seção de travamento (Fig. 5). Nela, as abas atingem tensões próximas a admissível, mas a sua alma permanece com nível de tensões baixos. Desta forma, interpreta-se que o limite da estrutura está sendo respeitada.

A Fig. 6 apresenta a magnitude de deslocamento da estrutura. Percebe-se que o maior deslocamento ocorre na viga horizontal ligada ao olhal livre.

A determinação do MGW foi dada por um processo iterativo no *software LibreOffice Calc*, chegando a valores distintos para classes operacionais diferentes como segue na Tab. 3.

O valor da *Tara*, com base em Gerdal (2019), foi estimado em $T = 200$ kg.

Ao final, utilizando a Eq. (3) a máxima massa permissível de carga, que pode ser transportada com segurança pela estrutura está apresentado na Tab. 3 que depende da classe operacional.

Figura 4. Tensão de von Mises [MPa] (Elaborado pelos autores)

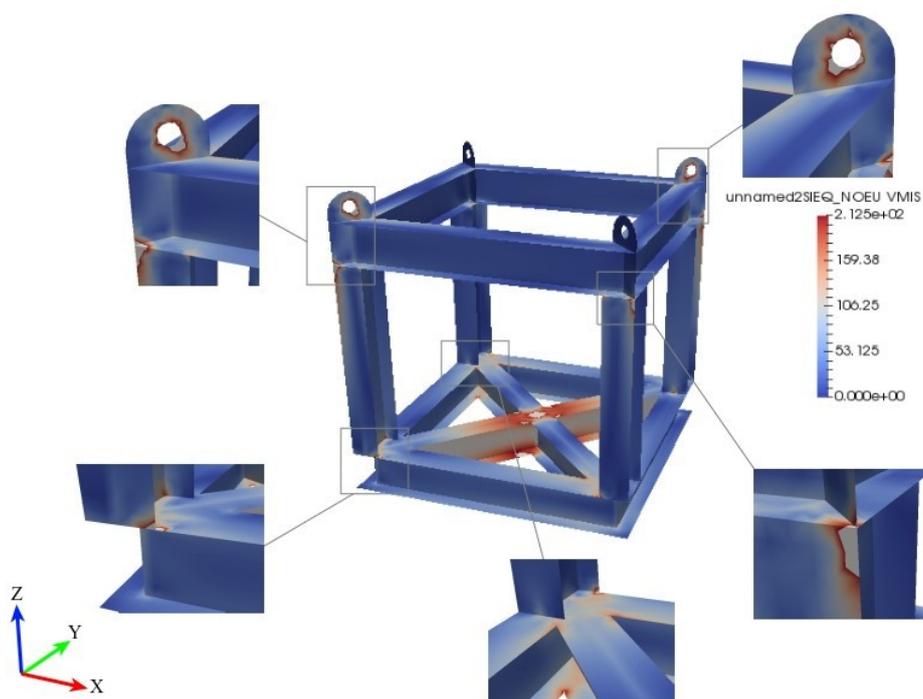


Figura 5. Tensão de von Mises [MPa], vista superior (Elaborado pelos autores)

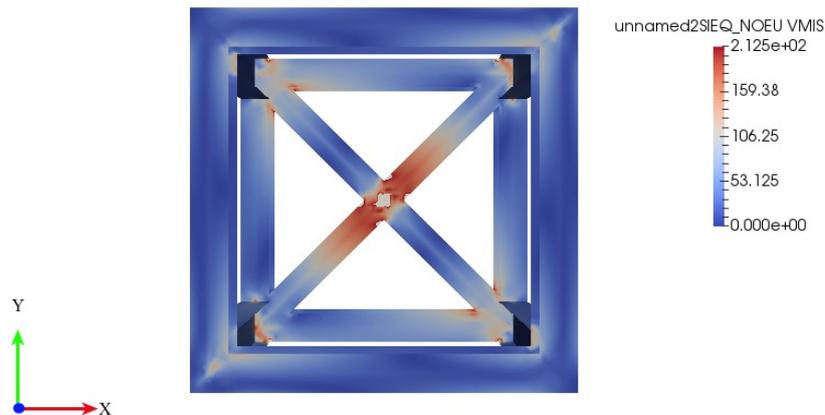


Figura 6. Magnitude de deslocamento [mm] (Elaborado pelos autores)

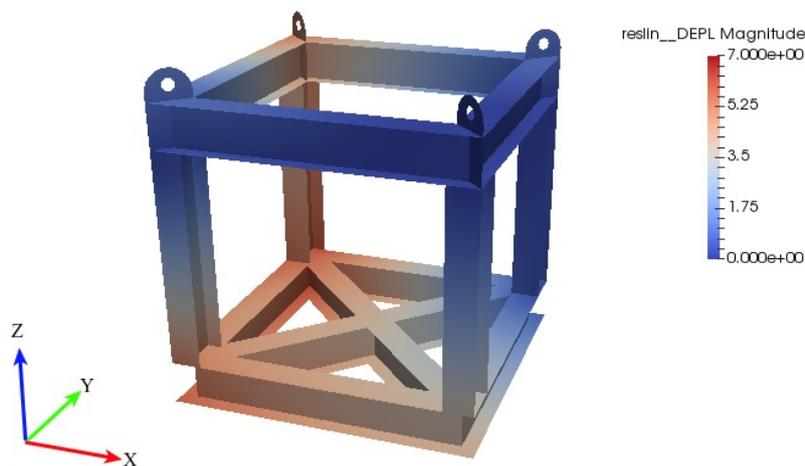


Tabela 3. MGW e peso máximo permissível de carga para cada classe operacional (Elaborado pelos autores)

Classe operacional	MGW [toneladas]	Carga máxima permissível de carga [toneladas]
R60	1,89	1,69
R45	2,57	2,37
R30	3,56	3,36

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de condições de trabalho adversas e meteorológicas em operações de içamento *offshore*, eleva a importância de análises corretas para a determinação da capacidade de carregamento, de modo a evitar acidentes e prejuízos no içamento de equipamentos. Este estudo possibilitou o conhecimento e aplicação de normas técnicas utilizadas por empresas do ramo.

Em conformidade com a norma DNV 2.7-3 a carga máxima que pode ser içada em segurança pelo modelo idealizado pode ser de 1,69 toneladas para a classe operacional R60, 2,37 toneladas para a classe operacional R45 e 3,36 toneladas para a classe operacional R30.

Softwares livres como o *Salome-Meca*, tem-se mostrado como alternativa, em vista do alto custo das licenças para utilização de *softwares* comerciais para simulação computacional de estruturas. Utilizada para toda a análise FEA deste trabalho, o *software* se mostrou uma boa ferramenta abrangendo o pré-processamento, processamento e pós-processamento.

5. REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, Á. F. M. Método dos elementos finitos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. 2003.
- CARRIJO. E. C. Aplicação do elemento finito DKT à análise de casca. Dissertação. São Carlos, 1995.
- DET NORSKE VERITAS. Standard for Certification n° 2.7-3, Portable Offshore Units. 2011.
- GERDAU. Perfíles estructurales W Gerdau. Disponível em: <https://www.gerdau.com/ar/es/productservices/products/Document%20Gallery/muestra_ger_tablaperfil.pdf>. Acesso em 23 de junho de 2019.
- MONTES, D. T. Análisis de fátiga em uniones metálicas mediante el entorno *Salome-Meca*. Universidad de Granada, Granada (Espanha), 2014. Disponível em: <<http://digibug.ugr.es/handle/10481/33391>>. Acesso em 21 de junho de 2019.
- RUDENKO, N. Máquinas de elevação e transporte. Livros técnicos e científicos editora S.A., Rio de Janeiro, 1976. Tradução: Plaza, J.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.