



PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UMA PLATAFORMA NIVELADORA FRONTAL

ZADUSKI, Mariana Strapazzon¹

VIERA, Bruno Cardozo²

ROSA, Fabíola da Silva³

RESUMO: Este estudo apresenta o desenvolvimento técnico e científico para o dimensionamento de uma plataforma niveladora frontal, utilizada para transporte de cargas entre as docas dos armazéns e os caminhões. A plataforma niveladora é constituída pela material base aço ASTM A36 e está dimensionada para suportar 5 toneladas. Na primeira parte do trabalho, é apresentada uma análise estática utilizando a estática clássica, onde é apresentado o estudo das tensões internas atuantes no sistema. Em seguida, é mostrado a análise de falha através do critério de falha de Tresca, bem como o cálculo do fator de segurança. A próxima parte apresenta a modelagem da estrutura no *software* de modelagem 3D *SolidWorks* 2020. Por último, é realizada uma simulação utilizando o método de elementos finitos no mesmo programa citado anteriormente. São comparados os cálculos realizados por estática clássica, com as análises realizadas no software de modelamento. Após este feito, é verificado que o modelo apresenta superdimensionamento. Esse dado pode ser expresso pela análise da tensão de von Mises encontrada no software além de também estar expressado no cálculo do critério de falha de Tresca, o qual é apresentado no pré-dimensionamento. Por conta da constatação de superdimensionamento, realiza-se uma modificação na estrutura da plataforma. Ao realizar as melhorias no dimensionamento da estrutura, constatou-se que o modelo se mantém resistente, pois a tensão de von Mises continua abaixo da tensão de escoamento do material. Este trabalho mostra que a plataforma niveladora de doca em questão, estava superdimensionada no ponto de vista estático, não necessitando de tanto material e reforços, pois resistiu bem aos esforços solicitados.

Palavras - chave: Logística. Plataforma Niveladora. Aço. Dimensionamento. Simulação.

INTRODUÇÃO

Segundo Moura (2020), os países, bem como os demais países do mundo, estão passando por inúmeras mudanças em relação a sua cadeia logística. Com isso, há o aumento de portos, armazéns logísticos, rodovias e demais estruturas a fim de garantir que o escoamento

¹ Mariana Strapazzon Zaduski, graduanda do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNISUL, marizaduski@hotmail.com

² Bruno Cardoso Vieira, graduando do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNISUL, bruno.cardozovieira@gmail.com

³ Fabíola da Silva Rosa, Mestre, Orientadora, Professora do curso de Engenharia mecânica do Centro Universitário UNISUL, engfabiolaros@gmail.com

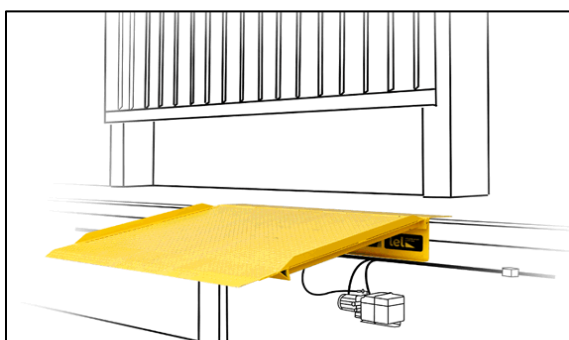
de carga ocorra de maneira mais eficiente e lucrativa. Por isso, é importante para entender o panorama atual da logística, com a finalidade de compreender mais sobre a economia.

Isto se deve, a evolução do agronegócio que vem crescendo e impulsionando a economia. Segundo Tooge (2020), o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) divulgou que o agronegócio foi responsável pelo aumento do PIB do país em 2019. Segundo o colunista, esse percentual chegou a 21% da produção nacional, enquanto os setores de indústria e serviços contribuíram com índices de crescimento de 0,5% e 1,3%. Assim, tornando o agronegócio uma das principais atividades econômicas brasileiras.

Os dados publicados pelo IBGE, reiteram a importância do bom funcionamento de toda a cadeia logística no âmbito econômico do país. Segundo essa prática, os fabricantes irão garantir que toda essa produção chegue ao seu destino, e por fim gere os impostos que irão manter o crescimento regional.

Conforme descrito por Ribeiro *et al.* (2012), para garantir o bom funcionamento deste serviço, há um emprego de variadas tecnologias para armazenagem e movimentação de carga. Dentre as utilidades que são empregadas no mercado logístico, a funcionalidade que foi explicada ao decorrer deste artigo será a plataforma niveladora de doca, mostrada na Figura 1.

Figura 1: Plataforma niveladora de doca



Fonte: LEL PLATAFORMAS, 2021.

Os autores Barreto e Araújo (2010) afirmam que as plataformas niveladoras de doca são equipamentos que auxiliam na agilidade, segurança e otimização de custos durante as operações logísticas, com enfoque no processo de carga e descarga de material. Esses equipamentos são instalados normalmente em altura aproximadamente igual a de um caminhão e são usados para compensar a diferença de altura entre este último (com ou sem carga) e a doca do prédio.

Essa ferramenta tem o objetivo de fazer a ligação entre o piso do armazém e a carroceria do veículo que será carregado ou descarregado. Assim, compensando a diferença de altura do

armazém e do veículo, possibilitando o acesso de empilhadeiras, paleteiras e demais equipamentos que fazem o transporte do material.

De formatos variados, essa tecnologia é pensada para locais que dispõem, ou não, de espaço de pátio de manobras para o carregamento e descarregamento. Sabendo disto, pode-se descrever esse equipamento como um tipo de elevador de carga, que será destinado ao transporte de cargas embaladas e paletizadas. Na Figura 2 está disponibilizado um *QR code* para um vídeo que explica o funcionamento da plataforma niveladora de doca.

Figura 2: QR Code do vídeo de funcionamento da plataforma niveladora de doca



Fonte: MOVIMENTAÇÃO, ARMEL, 2021.

O Vale do Itajaí é um dos principais precursores nacionais do desenvolvimento logístico. Tal afirmação é confirmada com a fala do superintendente do Porto de Itajaí (VEIGA, 2021). Segundo ele, em 2020 passaram por Itajaí, de janeiro a dezembro, 1.419.082 TEUs (unidade de medida equivalente a um contêiner de 20 pés) e 15.655.812 toneladas de cargas. No mesmo período do ano anterior, foram movimentados 1.230.467 TEUs e 13.724.748 toneladas. Estes dados representam um aumento de 15% em TEUs e 14% na tonelagem 1,4 milhão de TEUs. Por conta disto, o Complexo Portuário de Itajaí é o segundo em movimentação de contêineres no Brasil, ficando somente atrás de Santos (SP).

Conforme os dados citados acima, é bastante expressiva a busca por equipamento que possa tornar o processo logístico mais funcional e ágil. Focando o estudo nas cidades de Itajaí e Navegantes, foi constatado ao decorrer deste trabalho que as plataformas niveladoras de doca são equipamentos empregados em várias empresas. Como por exemplo: Gomes da Costa, Klabin, Vendemmia entre outras. Ao quantificar esses equipamentos, pode-se afirmar que a empresa Vendemmia contém um armazém com 7 plataformas, a empresa Corven dispõe de um armazém com 4 plataformas já a empresa Gomes da Costa possui em torno de 12 plataformas distribuídas em nas unidades de Centro de Distribuição, Gomes da Costa Alimentos e Gomes da Costa Embalagens.

Os principais fabricantes deste maquinário, estão em localidades distantes dos polos logísticos atuais, em cidades mais interioranas. Como a empresa Cooper, localizada em Guaramirim (SC), a fabricante MKS Marksell sediada Itapevi (SP), a empresa Karsten Máquinas que se localiza em Jaraguá do Sul (SC) e a fabricante Metaro com sede em Erechim (RS).

Segundo os fornecedores Karsten, Marksell, Metaro e Cooper informaram em seus catálogos, atualmente há dois padrões de tamanho disponíveis para compra. Um modelo com dimensões de 2 m x 2 m e 3 m x 2 m. O piso da plataforma é produzido nas medidas de 2 m x 2 m até a dimensão máxima de 2 m x 3 m. Esse equipamento tem a capacidade de transporte de cargas de 500 quilos até 6.000 quilos por *pallet*. Abaixo pode-se notar a Tabela 1, que especifica as dimensões comercializadas pelo fornecedor Karsten.

Tabela 1: Catálogo do fornecedor Karsten Máquinas e Equipamentos

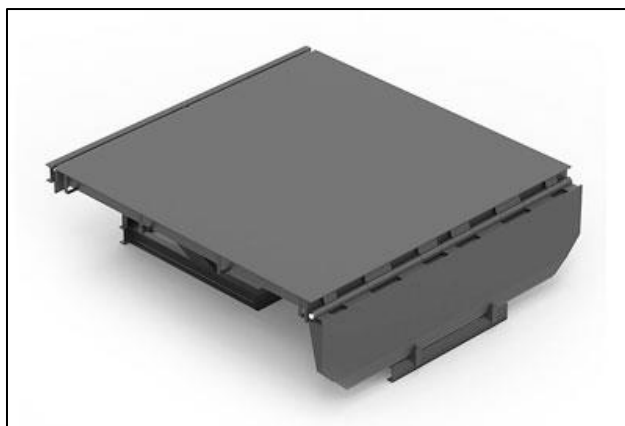
Dimensão	Capacidade de carga	Comprimento (mm)	Largura (mm)
20x20	2,4,6	2000	2000
20x25	2,4,6	2500	2000
20x30	2,4,6	3000	2000

Fonte: CATÁLOGO KARSTEN, 2021

Stinghen (2020) diz que há dois modelos de plataforma niveladora: as niveladoras de docas embutidas e as niveladoras avançadas (frontal) conforme Figura 3 e 4 respectivamente. As niveladoras embutidas são divididas em dois acionamentos, eletro-hidráulico que é acionada por comando elétrico e mecânica manual por contrapeso (esforço para acionar em torno de 10kg).

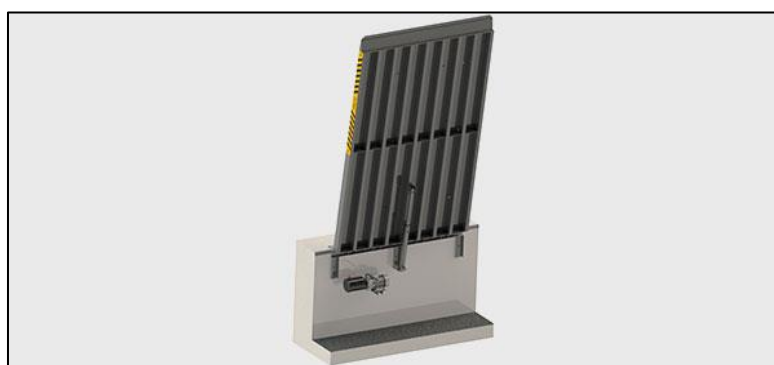
Sabendo dos tipos de plataforma que estão disponíveis, salienta-se que as niveladoras avançadas são mais baratas e de fácil instalação, pois não exigem fosso, ao contrário do modelo embutido. Os acionamentos destes equipamentos serão divididos em quatro tipos: mola gás, hidráulico manual (se assemelha ao acionamento de uma transpaleteira manual), mecânica manual por contrapeso e eletro-hidráulico (STINGHEN, 2020).

Figura 3: Plataforma niveladora embutida



Fonte: HZB, 2021

Figura 4: Plataforma niveladora frontal



Fonte: MEGADOORS, 2021.

Com o atual destaque de serviços logísticos destinados à região do Vale do Itajaí, pode-se notar um aumento significativo na aquisição de equipamentos e serviços que tornam o fluxo logístico mais rápido e eficiente, além de trazer mais segurança para o usuário. Desta forma, evidencia-se a importância na fabricação de estruturas que possibilitem a otimização do fluxo logístico e a melhoria da segurança.

O objetivo principal deste trabalho foi dimensionar uma plataforma niveladora de doca avançada frontal. Este equipamento possibilita o transporte de produtos realizando carga e descarga de mercadorias. Sem deixar de cumprir todas as normas de segurança, qualidade estrutural e design, para fornecimento de Itajaí e Região.

2. METODOLOGIA

Este trabalho teve como propósito a construção de um projeto funcional de uma plataforma niveladora de doca que, além de garantir a segurança do usuário, irá evitar o superdimensionamento deste equipamento. Para que tais objetivos sejam atingidos, foi

elaborado um projeto de uma plataforma niveladora de doca, seja para uso comercial ou industrial, assim apresentando ao mercado uma solução confiável e segura.

Primeiramente foram apresentadas as características da plataforma, bem como a descrição das partes que a compõem. Com o objetivo de justificar seu dimensionamento. Como ponto de partida deste estudo, foi realizado o pré-dimensionamento da estrutura com os cálculos conforme norma NBR 8800, para se obter as medidas máximas e mínimas, cargas suportáveis, normas de segurança, e por fim uma análise de elementos finitos.

O ponto de partida do projeto foi o pré-dimensionamento, onde foram realizados todos os cálculos da estrutura. Após o pré-dimensionamento ser finalizado, foi realizado a modelagem 3D de um protótipo, no qual o software *SolidWorks* 2020 foi selecionado.

Para a escolha e o dimensionamento dos elementos de máquina, há exigência que o desenhista tenha uma compreensão básica de alguns estudos, tais como: resistência mecânica dos materiais, propriedades dos materiais, análise de esforços e processos de fabricação. Tais conhecimentos garantem a qualidade do projeto, assim auxiliando na determinação da sua forma e dimensões para que seja capaz de suportar as cargas, além de simular como o material irá trabalhar ao receber a carga projetada.

Em seguida da modelagem, sua estrutura foi posta em prova a fim de garantir que a estrutura irá suportar o peso que será empregado. Foi realizada a simulação de elementos finitos através de um estudo de cargas através do software *SolidWorks*, utilizando uma análise que usa o FEM é chamada de *Finite Element Analysis (FEA)* ou *Design Analysis*.

Após análises de resultados, tais como: deslocamentos, tensões e possíveis ajustes no projeto de acordo com o critério de falha estabelecido na norma NBR 8800 foi verificado que a plataforma estava superdimensionada. Após a constatação de superdimensionamento, foi necessário rever alguns itens do projeto, além de refazer a simulação chegando no modelo final e ideal do protótipo.

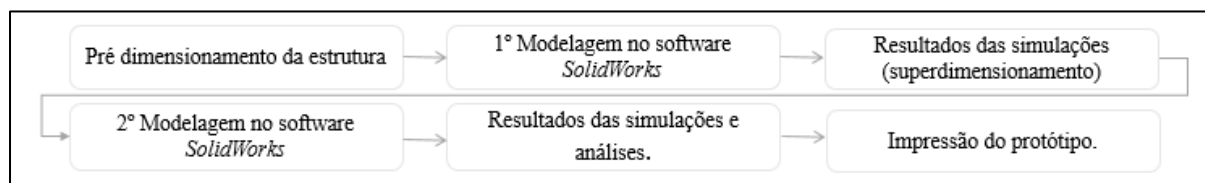
Este projeto foi baseado em avaliações de projetos já existentes, para sustentar os resultados, foi realizado o estudo de tensões da estrutura, assim podendo garantir a segurança do equipamento e que ele não seja superdimensionado. Desta forma podendo baratear a produção e fornecimento.

Também foi realizada a montagem de um projeto de protótipo, o qual foi impresso em 3D, a fim de analisar de uma forma palpável o modelo dimensionado, focando nos parâmetros estéticos e de acabamento.

No projeto de uma estrutura ou máquina, existe a necessidade de determinar as dimensões necessárias, para que o componente possa suportar as necessidades conforme o

escopo/cliente. Como demonstrada Figura 5, o fluxograma mostra em detalhes o passo-a-passo do dimensionamento da plataforma niveladora no decorrer do trabalho.

Figura 5: Fluxograma das etapas do dimensionamento



Fonte: AUTORES, 2021.

3 REQUISITOS DO PROJETO

O dimensionamento da plataforma niveladora frontal foi efetuado em conformidade com as especificações conforme as normas regulamentadoras, EN 1398 (*Dock levellers - Safety requirements*), NBR 8800 (Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios), e NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade).

3.1 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DA PLATAFORMA

- Capacidade de carga máxima: 50 kN;
- Comprimento da plataforma: 2000 mm;
- Largura da plataforma: 2000 mm;
- Sistema de fixação: Chumbada no concreto da doca;
- Material da plataforma: ASTM A-36 com espessura de 6 milímetros - (Módulo de Elasticidade 200 GPa.
- Módulo de segurança: 1,5

3.2 MATERIAIS DA PLATAFORMA

Grande parte dos componentes foi especificado para ser fabricado com o aço ASTM A36 que é um dos mais utilizados para esta finalidade, ele apresenta.

σ - Limite de escoamento de $2,5 \times 10^2$ N/mm²

σ_t - Resistência à tração de 4×10^2 N/mm²

E - Módulo elástico de 2×10^5 N/mm²

ν - Coeficiente de Poisson de 0,26

ρ - Massa específica de 7 850 kg/m³

Y= Modo de cisalhamento de $7,93 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$.

3.3 REQUISITOS OPERACIONAIS

A operação deste equipamento é simples, a plataforma niveladora de doca hidráulica cria uma ponte entre o piso da edificação e a carroceria do caminhão. Esse acionamento pode ser iniciado por um botão ou alavanca, sem a necessidade de emprego de força física. Desta forma esse equipamento irá garantir mais segurança e agilidade para os funcionários e para o processo.

A plataforma niveladora de doca possui um motor trifásico que atuam na elevação da do sistema esse motor é acoplado a um cilindro hidráulico que será responsável pela elevação e recolhimento da estrutura. Seu funcionamento consiste na abertura da pestana (rampa), em seguida a estrutura realiza o movimento de descida suavemente até encontrar a carroceria do veículo, como demonstrado no vídeo direcionado pelo *QR code* da Figura 6.

Figura 6: QR code do funcionamento de uma plataforma niveladora de doca



Fonte: METARO INDÚSTRIA E COMÉRCIO, 2020.

O funcionamento do é basicamente resumido em um sistema hidráulico simples, onde há a utilização de um cilindro hidráulico, o qual é responsável por transformar força, potência ou energia hidráulica em força, potência ou energia mecânica.

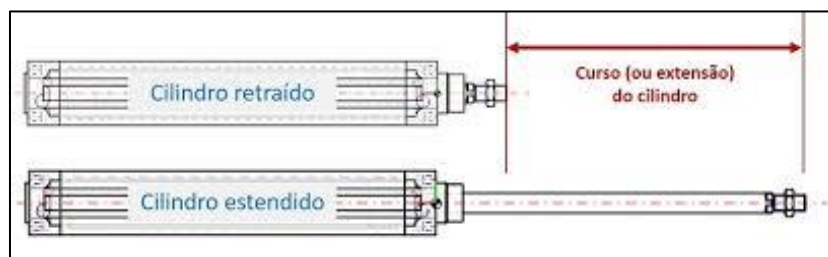
Nele, encontram-se diversas peças, como: haste, guia da haste, vedação da haste, êmbolo, vedação do êmbolo, anel raspador, flange dianteiro, conexão, cilindro, câmara da haste e câmara do êmbolo. Sendo que o seu movimento é determinado conforme a entrada e saída de óleo no cilindro.

Para que ocorra a movimentação do pistão, o óleo irá atuar como o fluído hidráulico que será pressurizado por um conjunto bomba-motor elétrico. O funcionamento do sistema pode ser especificado como um tubo que ficará fixado, e a haste se deslocará para fora e para dentro, conforme acionada pelo comando.

Ao acionar a plataforma, automaticamente o motor elétrico irá enviar um sinal elétrico para o pistão, o qual irá começar a projetar a haste para fora da carcaça do cilindro hidráulico,

conforme indicado na Figura 7. Como reação a esses processos, a haste empurrará a pestana (rampa) para cima, assim criando o nivelamento entre as duas partes.

Figura 7: Funcionamento de um cilindro hidráulico



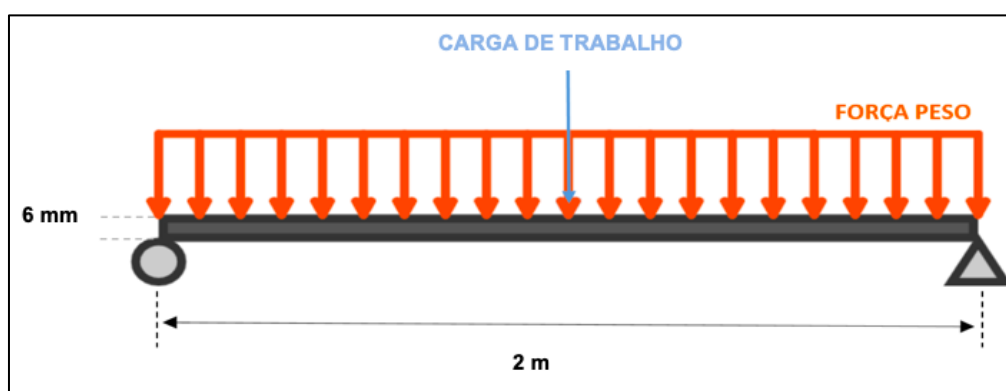
Fonte: MASTER TECNOLOGIA INDUSTRIAL, 2020.

4 DESENVOLVIMENTO

Para que se fosse realizado uma aproximação inicial das tensões atuantes, foi adotado o método de estática clássica, ao invés do modelo em 3D. Esse primeiro modelamento foi utilizado como parâmetro de consulta e comparação para o dimensionamento realizado no software *SolidWorks* 2020. Além de fornecer uma ideia inicial da tensão a qual o material está sujeito.

Primeiramente, foi esboçado o diagrama de forças, o qual pode ser visualizado na Figura 8. Para os apoios, foi adotado um apoio do tipo rolete, o qual seria referente a carroceria do caminhão, representado pela esfera. O segundo apoio que fora representado, foi um apoio simples, o qual representa a parte engastada na parede, representada por um triângulo.

Figura 8: Diagrama de forças



Fonte: OS AUTORES, 2021.

Como forças atuantes, foi utilizado o uma carga distribuída e uma carga concentrada, ambas com valores diferentes. A carga distribuída refere-se ao peso próprio da estrutura (P_P). Devido ao critério de dimensionamento a ser respeitado, fora incidido uma carga concentrada de 49.050 N (5.000 Kg), que será a carga máxima de trabalho/atuação, pois esse é o limite de

peso que a plataforma suportará. Essa carga foi aplicada no ponto médio da viga estudada, pois é o local que está mais longe dos apoios, desta forma é o ponto mais crítico da estrutura.

Para o cálculo do P_P , foi utilizada a Equação 1. Onde nela pode-se observar o emprego densidade do material (ρ), da área da sessão (A), da gravidade (g) e do fator de segurança (F_s). Após o cálculo desta força, foi elaborado o diagrama de corpo livre, o qual está representado na Figura 9.

$$P_P = \rho \cdot A \cdot g \cdot F_s \quad (1)$$

$$P_P = 138,65 \frac{kg}{s^2} \therefore 138,65 \frac{N}{m}$$

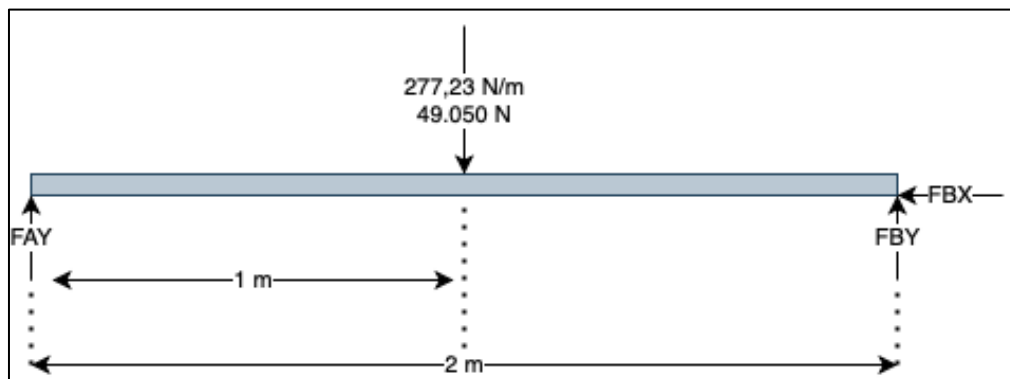
Após o cálculo da foça P_P , utilizou-se da Equação 2 para que se pudesse concentrara a carga P_P no centroide da estrutura ($P_{P \text{ CONCENTRADO}}$). Onde, (l) representa o comprimento da estrutura.

$$P_{P \text{ CONCENTRADO}} = P_P \cdot l \quad (2)$$

$$P_P = 277,23 \frac{kg}{s^2} \therefore 277,23 \frac{N}{m}.$$

Realizado o cálculo citado acima, fora elaborado um diagrama de corpo livre, representado na Figura 10. Tal representação tem como intuito demonstrar de forma visual as forças atuantes neste sistema. Onde: (FAY) representa a força atuante no ponto A no eixo Y, a força (FBY) representa a força atuante no ponto B no eixo Y e a força (FBX) representa a força atuante no ponto B no eixo X, ambas as três forças tem newton (N) como unidade.

Figura 9: Diagrama de corpo livre



Fonte: OS AUTORES, 2021.

Após a elaboração do diagrama de corpo livre, foi calculado as reações atuantes no sistema. Tais passos foram calculados usando as equações da estática clássica, representadas nas

Equações 3, 4 e 5. Após a realização dos cálculos, fora representado todas as forças atuantes no diagrama de corpo livre, representado na Figura 10.

- **Cálculo das reações de apoio:**

$$\sum F_x = 0 \quad (3)$$

$$FBX = 0N$$

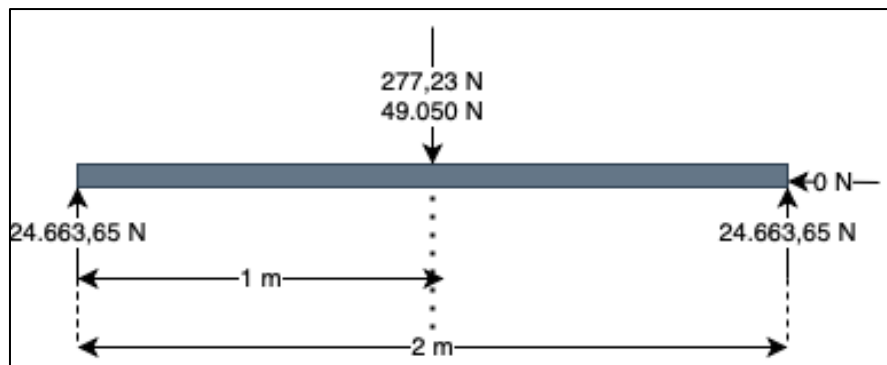
$$\sum Ma = 0 \quad (4)$$

$$FBY = 24.663,61N$$

$$\sum Fy = 0 \quad (5)$$

$$FAY = 24.663,65 N$$

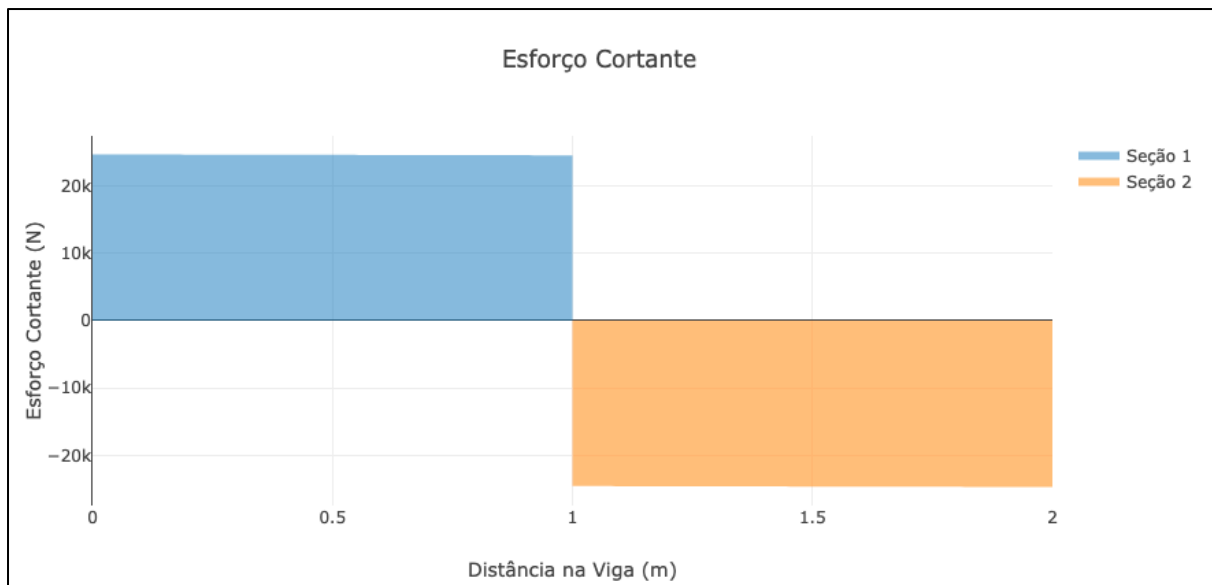
Figura 10: Diagrama de corpo livre com todas as forças e reações



Fonte: OS AUTORES, 2021.

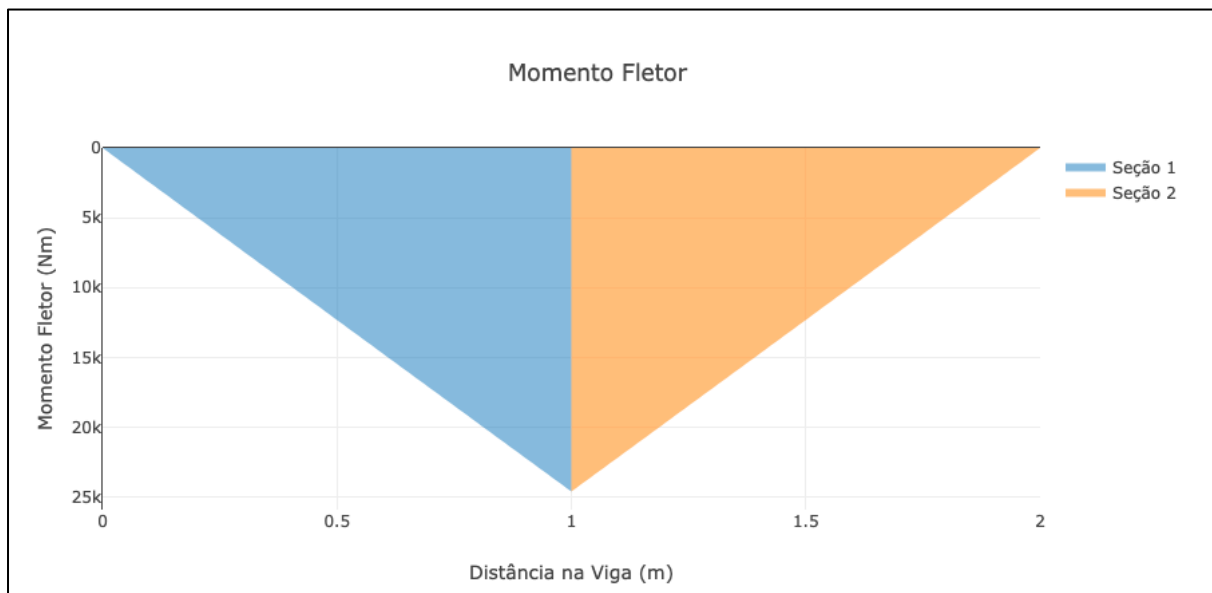
Após a realização dos cálculos para encontrar as reações, foi calculado pelo método das seções, os seguintes esforços: esforço cortante representado na Figura 11 e o momento fletor, representado na Figura 12. Para tais cálculos, a viga fora dividida em duas seções, sendo elas: seção $(0 \leq x \leq 1)$ e seção $(1 \leq x \leq 2)$ respectivamente.

Figura 11: Gráfico do esforço cortante



Fonte: OS AUTORES, 2021.

Figura 12: Gráfico do momento fletor



Fonte: OS AUTORES, 2021.

- **Cálculo do critério de falha (Tresca)**

Após o cálculo dos esforços internos, calcularam-se as tensões principais para que se possa comparar com o critério de falha de Tresca, o passo-a-passo está a seguir. Primeiramente calculou-se a tensão de cisalhamento, calculado na Equação 6:

$$\tau_{xy} = \text{Tensão de cisalhamento } \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right);$$

$$V(X) = \text{Força cortante (N)};$$

$A = \text{Área da chapa} + \text{Área de todos os reforços (mm}^2\text{)}.$

$$\tau_{xy} = \frac{V(X)}{A} \quad (6)$$

$$\tau_{xy} = 6,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Em seguida, calculou-se as coordenadas do círculo do Mohr, utilizando as Equações 7 e 8.

Centro:

$$\sigma_M = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (7)$$

$$\tau_M = 0 \quad (8)$$

Com o centro calculado, foi utilizado a Equação 9 para encontrar o raio.

Raio:

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (9)$$
$$R = \tau_{xy}$$

As tensões principais são dadas por: σ_1 e σ_2 , representados na Equação 10:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \tau_{xy} \\ \sigma_2 &= -\tau_{xy} \end{aligned} \quad (10)$$

Desta forma, o critério de Tresca quando σ_1 e σ_2 tem sinais diferentes é representado pela Equação 11:

$$|\sigma_1 - \sigma_2| \leq \sigma_m \therefore 2\tau_{xy} \leq \sigma_e \quad (11)$$

Substituindo os valores:

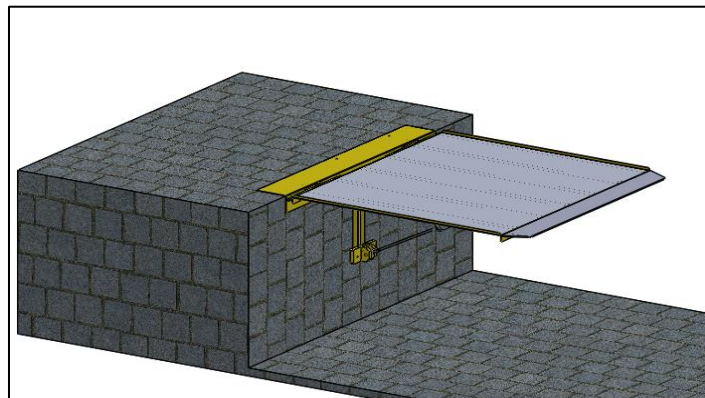
$$12,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Assim, verifica-se que a tensão cisalhante está abaixo da tensão de escoamento do material, ou seja, a plataforma não irá falhar por estática. Na sessão 6 é apresentada a análise do método de elemento finitos no *SolidWor*.

5. MODELAGEM NO *SOLIDWORKS*

Abaixo pode-se notar a Figura 13 ilustra a modelagem da plataforma sendo fixada em uma estrutura simbolizando a doca de carregamento.

Figura 13: Plataforma niveladora de doca instalada



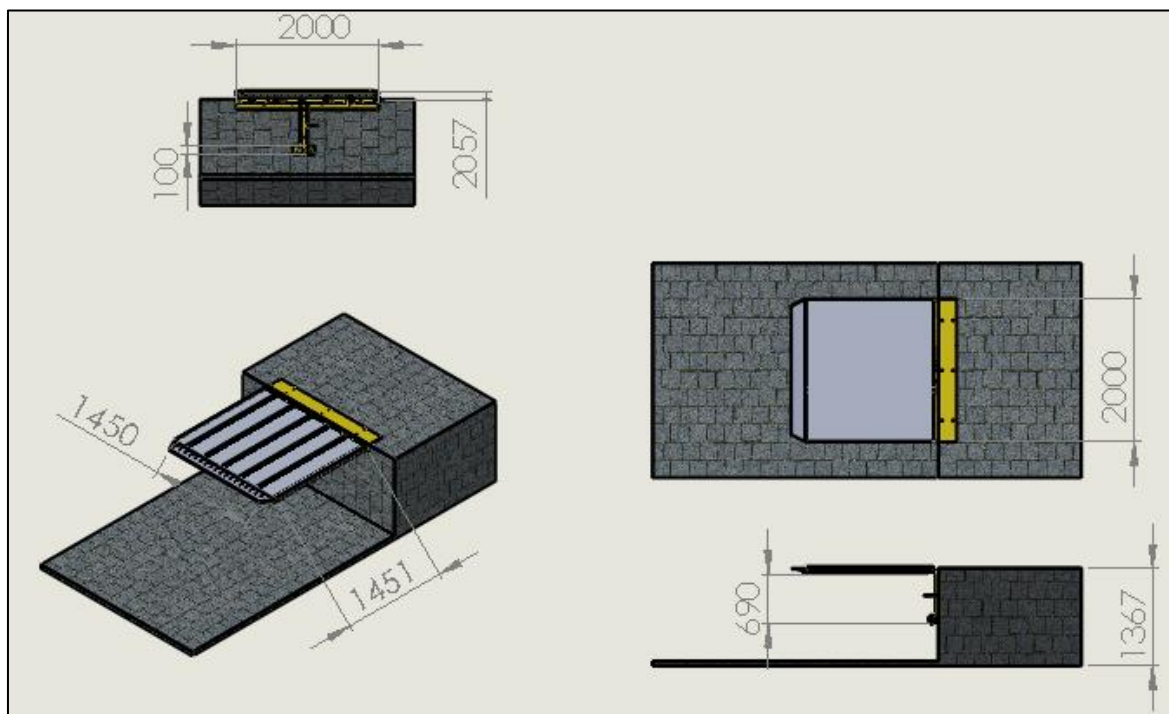
Fonte: OS AUTORES, 2021.

Para realização da simulação computacional por elementos finitos, foi feita uma modelagem virtual em 3 dimensões com base nas dimensões do componente real. Primeiramente, foi desenvolvido a chapa com 4 mm de espessura, foi acrescentado a parte que fica fixada na doca com orifícios para encaixe de parafuso 120 x 50 mm parafuso de metal de cabeça chata Phillips ou chumbador, 6 parafusos na parte superior e 4 na parte inferior.

Desenhamos também a estrutura em U com 2 parafusos para fixação na doca e a estrutura frontal chanfrada para melhor encaixe na doca no momento do carregamento. Após isso realizamos a modelagem da estrutura de reforço, tanto da parte inferior da plataforma quanto das borboletas da parte inferior frontal, para reforçar a estrutura no momento da força exercida e os 2 eixos.

Finalizamos com a montagem, união das peças e determinação do material empregado. Figura 14 podemos ver as vistas da plataforma.

Figura 14: Vistas da plataforma



Fonte: OS AUTORES, 2021

6. ANÁLISE PELO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS ATRAVÉS DO SOLIDWORKS 2020

Para ter uma verificação mais precisa do cálculo da análise estática dos mecanismos e da estrutura do equipamento, foi decidido comparar o método analítico com o computacional. O método computacional escolhido foi o Método dos Elementos Finitos (MEF).

O MEF é muito utilizado para fazer análises de estruturas, pois ele consiste em uma forma de resolução numérica de um sistema de equações diferenciais parciais.

As tensões variam através do contínuo de qualquer componente. Dividindo esse componente em um número finito de elementos discretos conectados pelos seus nós (chamados de malha), pode-se

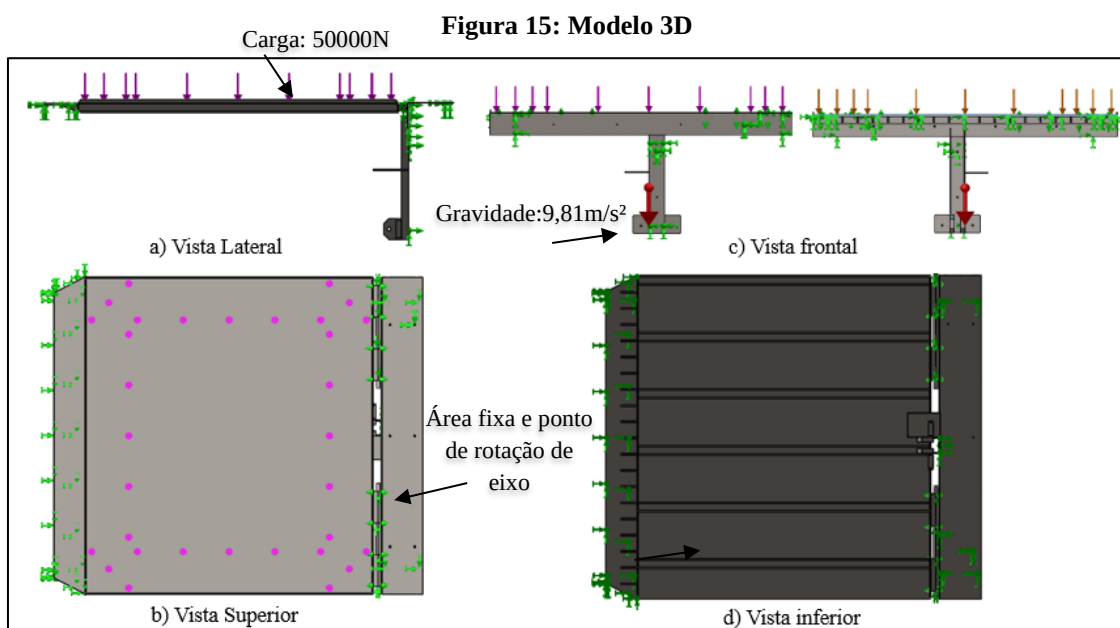
obter uma aproximação das tensões e deformações, em qualquer parte do componente, para um dado conjunto de condições de contorno e de cargas aplicadas em alguns nós da estrutura NORTON (2013).

Todavia, apesar de todas as vantagens deste método, deve-se saber que a precisão de seus resultados também possui limites de tolerância, que precisam de atenção, como em todo modelo matemático. Oliveira 2000, explica que os fatores que podem conduzir a imprecisões dos resultados são: 1) a variabilidade inerente aos processos biomecânicos, 2) simplificações para a adoção de um determinado modelo matemático; 3) a divisão de estruturas complexas em várias formas geométricas, levando à perda de alguns detalhes.

Cook, Malkus e Plesha 1989, ainda ressaltam que outros motivos também podem levar a erros durante a execução do programa, como: 1) omissão ou má interpretação de aspectos importantes do comportamento físico do material; 2) erros do programa de computador não checados devidamente; 3) utilização de programas inapropriados e/ou de informações incorretas; 4) obtenção de uma malha muito simplificada; 5) uso de um elemento inadequado.

As análises foram geradas pelo programa *SolidWorks*, tratando-se o modelo da viga do eixo de transmissão como corpos sólidos.

Na análise gerada, foi aplicada uma carga máxima a qual o equipamento está submetido (50000N). Foi considerado efeito da gravidade $9,81 \text{ m/s}^2$, para levar em conta não só os efeitos gerados pela carga, como também os efeitos gerados pelo próprio peso de cada mecanismo foram aplicados também área fixa da plataforma e ponto de rotação de eixo Figura 15.

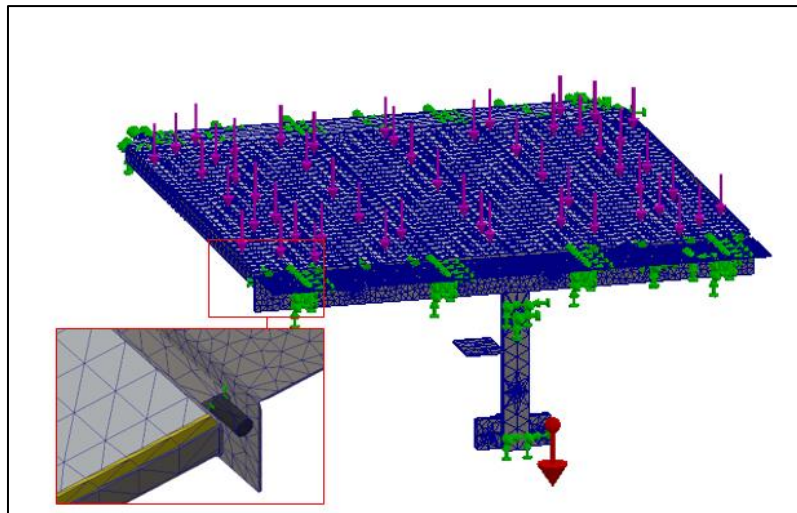


Fonte: OS AUTORES, 2021

A definição do modelo virtual foi realizada no modo fino, ou seja, alta densidade de malha selecionada na caixa de ferramentas das propriedades de malha do software. Os parâmetros foram malha sólida com base em curvatura, obteve um total de 78511 nós e 40103 elementos, tamanho do elemento de 59,7115 mm.

A Figura 16 apresenta o modelo virtual na etapa da discretização por elementos finitos.

Figura 16: Malha utilizada no trabalho



Fonte: OS AUTORES, 2021.

Norton (2013) fala que a tensão equivalente de von Mises σ' é definida como a tensão de tração uniaxial que criaria a mesma energia de distorção que é criada pela combinação atual das tensões aplicadas.

Esse procedimento permite tratar casos de tensão multiaxial combinada a tensões de cisalhamento como se fossem devidos a um carregamento de tração pura. O autor afirma que baseado nos experimentos e na teoria da energia de distorção, considera-se que a falha nos casos de materiais dúcteis submetidos a carregamentos estáticos se deve à tensão de cisalhamento.

De acordo com a análise de von Mises pode se perceber que a estrutura estava superdimensionada pois o σ - Limite de escoamento do material é de $2,5 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ e a tensão máxima que ele encontrou foi $1,424 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ estando mais alta que o necessário.

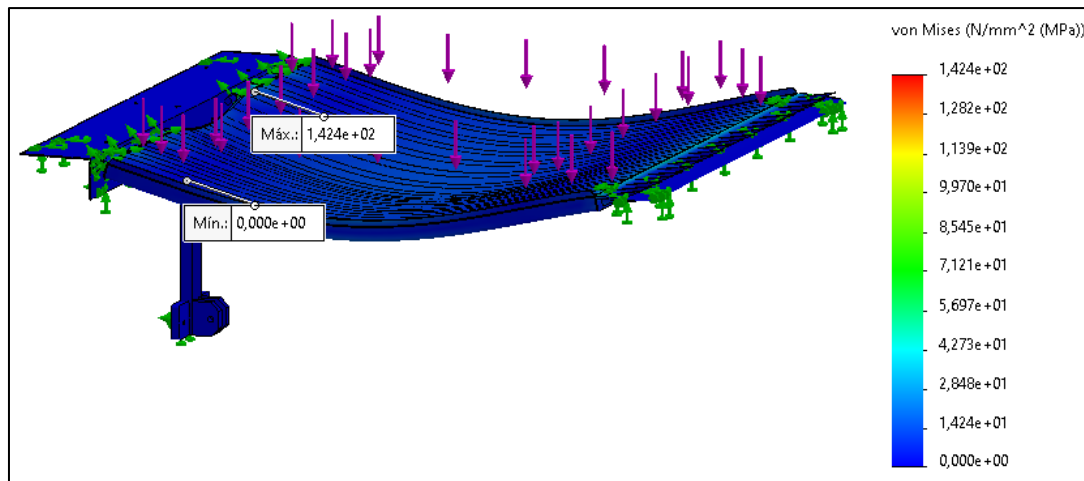
6.1 REMODELAGEM DA PLATAFORMA

Para Carvalho (2020) quando há o superdimensionamento o maior problema é que, aumentando a seção do elemento estrutural, estamos aumentando também o seu peso. O peso adicional deve ser levado em consideração nos demais elementos e influencia na estrutura

como um todo. Os elementos estruturais são projetados sempre para garantir a segurança da estrutura, porém, também é considerado que existe a possibilidade de ruptura.

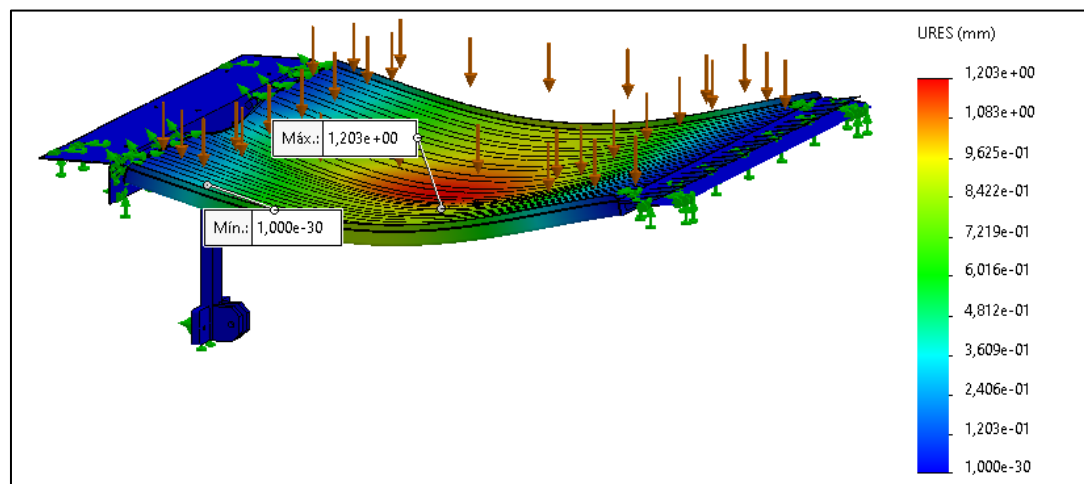
Os resultados foram analisados através do *SolidWorks* 2020 e abaixo pode-se verificar a análise de tensões de von Mises Figura 17, deslocamento Figura 18 e a sua deformação estática na Figura 19.

Figura 17: Análise de tensões von Mises



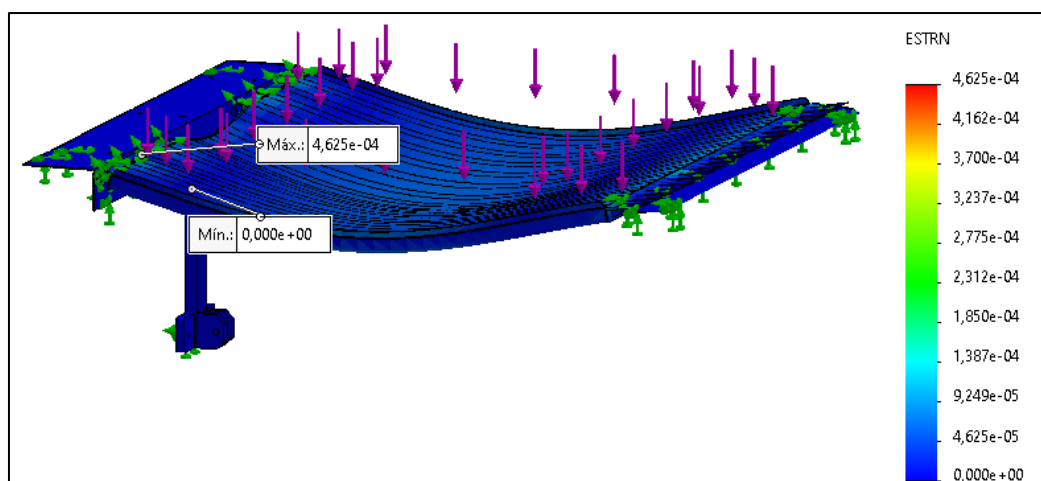
Fonte: OS AUTORES, 2021.

Figura 18: Análise de deslocamentos



Fonte: OS AUTORES, 2021.

Figura 19: Análise de deformação



Fonte: OS AUTORES, 2021.

6.2 REMODELAGEM DA PLATAFORMA

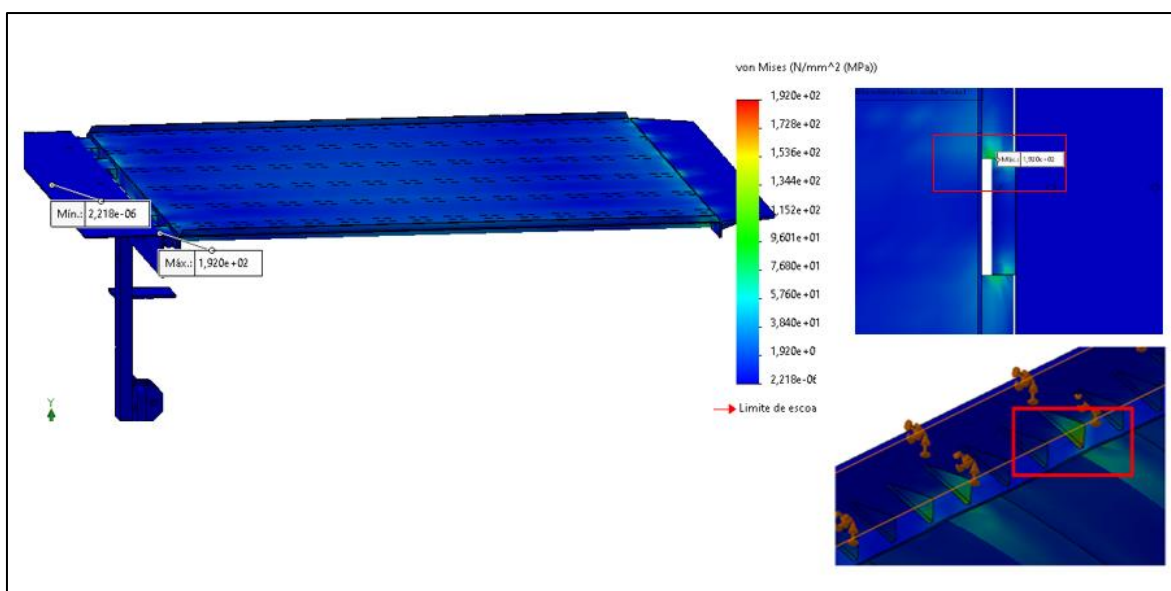
Para Carvalho (2020) quando há o superdimensionamento o maior problema é que aumentando a seção do elemento estrutural, estamos aumentando também o seu peso. O peso adicional deve ser levado em consideração nos demais elementos e influencia na estrutura como um todo. Os elementos estruturais são projetados sempre para garantir a segurança da estrutura, porém, também é considerado que existe a possibilidade de ruptura.

Por conta do superdimensionamento realizamos modificações a plataforma ela estava com material e reforços de estrutura desnecessários. Por conta disto foi reduzido a espessura da chapa ASTM A36 de 6 mm para 4 mm. Além da diminuição de reforços, que foi de 18 unidades para 6 unidades.

Norton (2013) diz que a falha ocorrerá quando a tensão normal em uma peça atingir algum limite de resistência normal, como tensão normal de escoamento ou tensão normal de ruptura. Para materiais dúcteis, a tensão de escoamento é o critério desejado.

Para a simulação de tensão máxima de von Mises pode se observar que ocorreu junto eixo onde tivemos a maior tensão $1,920 \times 10^2$ N/mm² mesmo assim estava abaixo do valor de escoamento que é $2,5 \times 10^2$ N/mm² (análise estática). A tensão de escoamento não deve exceder o escoamento do material, confirmando que para uma análise estática a plataforma aguenta a força exercida sobre ela, abaixo na Figura 20 podemos verificar os pontos com maior concentração de tensão.

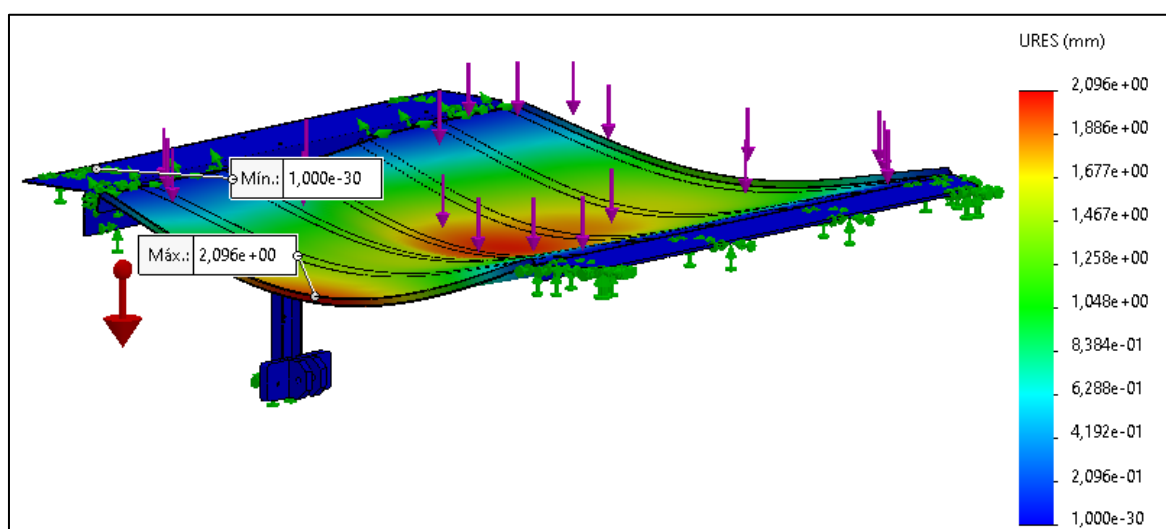
Figura 20: Análise de tensões von Mises



Fonte: OS AUTORES, 2021.

Já na Figura 21 podemos verificar os pontos de maior deslocamento, atingindo o máximo de $2,096e+00$ (mm) e mínimo de $1,000e-30$ (mm).

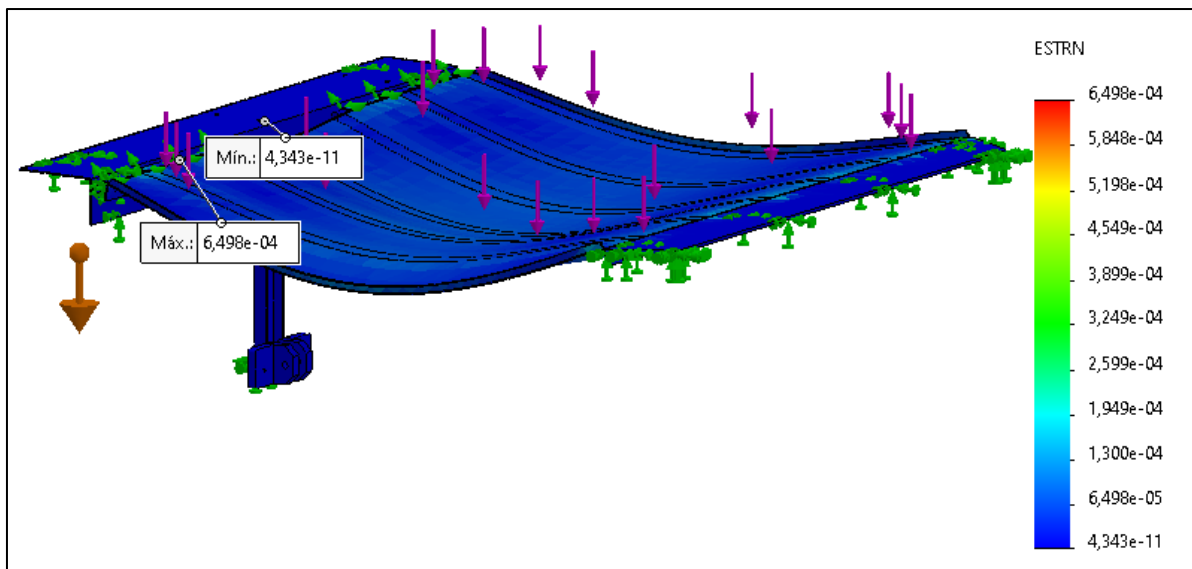
Figura 21: Análise de deslocamentos



Fonte: OS AUTORES, 2021.

A deformação máxima pode ser observada com maior detalhe na estrutura do eixo aonde teremos a maior deformação do material $6,498 \times 10^{-04}$ a Figura 22.

Figura 22: Análise de deformação



Fonte: OS AUTORES, 2021.

7. IMPRESSÃO DO MODELO 3D

Segundo Azevedo (2013) as impressoras 3D são máquinas de grande utilidade em prototipagem, pois a fabricação de um modelo piloto com esse equipamento ocorre de forma rápida e barata, além de estar acessível a qualquer pessoa com acesso à internet. Todas as comodidades citadas anteriormente, tornam a impressão 3D uma das melhores maneiras de analisar o resultado de uma modelagem.

Conforme todas as vantagens já citadas, para melhor visualização da modelagem da plataforma niveladora de doca, foi impresso um modelo em 3D uma prova de conceito. Para tal feito, foi utilizado o modelamento já realizado no *software SolidWorks*, o software de fatiamento utilizado foi o *Ultimaker Cura* e a impressora 3D da marca *Anycubic*, modelo I3 Mega S.

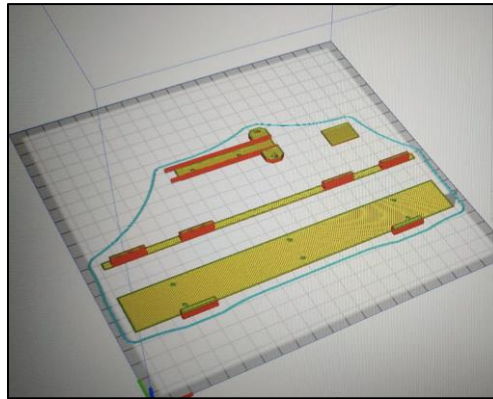
Os parâmetros de impressão e fatiamento utilizados foram baseados em experiências empíricas, as quais foram fundamentais para atingir o objetivo desta impressão. Baseado em estudos anteriores, utilizou-se os seguintes parâmetros:

- Temperatura do bico de impressão (*hot end*): 200 °C;
- Temperatura da mesa: 45 °C;
- Altura de camada: 0,2 mm;
- Velocidade de impressão: entre 45 mm/s (peças cinza) e 35 mm/s (peças translúcidas);

- Preenchimento: 30%;
- Espessura de parede: 1,6 mm

Abaixo, tem-se a Figura 23 a qual representa peças translúcidas alocadas na mesa de impressão, esse posicionamento além do fatiamento foi realizado no software de fatiamento Cura.

Figura 23: Posicionamento e fatiamento de peças no software Cura



Fonte: OS AUTORES, 2021.

Após o processo de posicionamento e fatiamento, as peças seguiram para a impressão. Para a impressão dos componentes, foram utilizadas cerca de 3 horas de impressão nas peças translúcidas e 10 horas de impressão na peça cinza.

Após a finalização da impressão de todos os componentes, passou-se para a etapa da montagem, a qual está representada na Figura 24 A, B e C. Para garantir a união das peças foi utilizado cola de conto.

Figura 24: Protótipo finalizado



Fonte: OS AUTORES, 2021

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como aprendizado principal deste trabalho, foi a realização do dimensionamento de forma completa da estrutura de uma plataforma niveladora de doca frontal. Foram apresentados os cálculos de tensões, diagrama de tensões, os quais auxiliaram na determinação da tensão máxima, além de ser calculado o critério de falha de Tresca. A escolha deste critério se dá pelo fato do mesmo ser mais conservador.

Após os cálculos, foi-se comparado a simulação realizada em um software de modelagem e os cálculos realizados. Feito a realização da simulação, percebe-se que a estrutura ficou superdimensionada. Na primeira simulação, por conta do elevado do critério de falha de Von Mises, foi-se verificado a possibilidade de diminuir a quantidade de material, sem prejudicar as especificações do escopo original.

Desta forma, conclui-se com a apresentação deste artigo a importância da etapa de pré-dimensionamento, fase essa que antecede todo o dimensionamento do produto final. Pois, quando ela for realizada de maneira correta e eficiente, irá garantir ganhos significativos para o projeto.

Com base nos resultados obtidos, sugere-se a utilização do modelo computacional para estudos de otimização da estrutura da plataforma, analisando novos reforços para a mesma, diminuindo as espessuras das chapas. Sugere-se também, simulações dinâmicas sobre a peça para se obter uma melhor análise da estrutura.

9. REFERÊNCIAS

BARRETO, André Renato; ARAUJO, João Alberto Borges de. **SISTEMAS DE ARMAZENAGEM EM UMA INDÚSTRIA DE FITOTERÁPICOS**. 2010. 19 f. Tese (Doutorado) - Curso de M Controladoria e Finanças, Faculdade de Tecnologia de Botucatu., Botucatu, 2010. Disponível em: <<http://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/84/43>> Acesso em 21 de novembro 2021

RIBEIRO, Priscilla Cristina Cabral. MEYER, Nayara Regina Marques. FREITAS, Raphaela Iannarelli Martino. **ARMAZENAGEM EM OPERADORES LOGÍSTICOS: USO DE EQUIPAMENTOS E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO**. In: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32. Bento Gonçalves. Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção. Abepro, 2012. p. 1-11. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Priscilla-Cristina-Ribeiro-2/publication/267262642_Armazenagem_em_Operadores_Logisticos_uso_de_equipamentos_e_Tecnologias_de_Informacao/links/5448d6950cf2d62c3052cc63/Armazenagem-em-Operadores-Logisticos-uso-de-equipamentos-e-Tecnologias-de-Informacao.pdf. Acesso em: 21 novembro 2021.

VEIGA, Fábio. **O COMPLEXO PORTUÁRIO DE ITAJAÍ REGISTRA A MAIOR MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS DA HISTÓRIA**. PORTAL DE ITAJAÍ. 2021. Disponível em: <<https://www.itajai.sc.gov.br/noticia/26094/complexo-portuario-de-itajai-registra-maior-movimentacao-de-cargas-da-historia#.YXW4KRrMLIU>>. Acesso em: 24 de outubro de 2021

COOK, R. D.; MALKUS, D.; PLESHA, M. E. Introduction. In: _____. **CONCEPTS AND APPLICATIONS OF FINITE ELEMENT ANALYSIS**. 3. ed. John Willey & Sons, 1989. cap. 1, p. 1-30.

STINGHEN, Eduardo. **PLATAFORMA NIVELADORA DE DOCA EMBUTIDA E AVANÇADA**. Empilhando. 2020. Disponível em: <<https://empilhando.com.br/niveladora-doca/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2021

CARVALHO, Matheus. **O QUE É SUPERDIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS**. 2020. Disponível em: <https://carluc.com.br/projeto-estrutural/superdimensionamento-estrutural/>. Acesso em: 28 nov. 2021.

TOOGE, Richardy. **O AGRONEGÓCIO CRESCE 3,8% E REPRESENTA 21% DO PIB BRASILEIRO EM 2019**. G1. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2020/03/09/agronegocio-cresce-38percent-e-representa-21percent-do-pib-brasileiro-em-2019-diz-cna.ghml>>. Acesso em: 26 de Setembro de 2021

AZEVEDO, Fábio Mariotto de. **ESTUDO E PROJETO DE MELHORIA EM MÁQUINA DE IMPRESSÃO 3D**. 2013. 48 f. Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

OLIVEIRA, E. J. **BIOMECÂNICA BÁSICA PARA ORTODONTISTAS**. 1. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2000. 196p.

NORTON, Robert L. **PROJETO DE MÁQUINAS: UMA ABORDAGEM INTEGRADA**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: PROJETO DE ESTRUTURAS DE AÇO E DE ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO DE EDIFÍCIOS**. Rio de Janeiro: 2008

PLATAFORMA DE DOCA. HZB. 2021. Disponível em: <<https://www.hbz.com.br/plataforma-doca.php>>. Acesso em: 24 de outubro de 2021

PLATAFORMAS NIVELADORAS FRONTAL. MEGADOORS. 2021. Disponível em: Disponível em: <<https://www.megadoors.com.br/niveladora-de-doca-frontal/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2021

PLATAFORMA NIVELADORA DE DOCA. Mobile Automação. Disponível em: <<https://www.mobileautomacao.com.br/plataforma-niveladora-doca>> Acesso em 27 de setembro de 2021

PLATAFORMAS NIVELADORAS FRONTAL. LEL PLATAFORMAS. 2021. Disponível em: <<https://www.lelplataformasniveladoras.com.br/plataforma-niveladora-frontal>>. Acesso em: 24 de outubro de 2021

NIVELADORAS DE DOCAS: QUAIS OS TIPOS E SEUS BENEFÍCIOS. KOPRON. 2020. Disponível em: <<https://www.kopron.com/pt/newsdetails/beneficios-niveladoras-de-docas>>. Acesso em 27 setembro 2021

MOURA, Helenice. **ECOMMERCEBRASIL 2020. E-COMMERCE NO AGRONEGÓCIO ESTÁ EM FASE INICIAL, PORÉM INDISPENSÁVEL AO SETOR** Disponível em: <<https://www.ecommercebrasil.com.br/artigos/e-commerce-no-agronegocio-esta-em-fase-inicial-porem-indispensavel-ao-setor/>>. Acesso em: 01 de dezembro 2021.

MOVIMENTAÇÃO, Armel. **SIMULAÇÃO DE OPERAÇÃO EM UMA RAMPA NIVELADORA DE DOCAS**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yvCio-CyTBo>. Acesso em: 01 dez. 2021.