

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
ROGER VASQUES BERCHEMBROCK

**PLATAFORMA ELEVATÓRIA: cálculo e dimensionamento estrutural e de
acionamento de uma plataforma elevatória de base fixa adaptada para veículo de carga**

N. CLASS.	M621.8
CUTTER	B485P
ANO/EDIÇÃO	2012

Varginha
2012

FEPESMIG

ROGER VÁSQUES BERCHEMBROCK

**PLATAFORMA ELEVATÓRIA: cálculo e dimensionamento estrutural e de
acionamento de uma plataforma elevatória de base fixa adaptada para veículo de carga**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica
do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-
requisito para obtenção do grau de Bacharel, sob
orientação do Prof. Me. Alexandre de Oliveira Lopes.

Varginha

2012

FEPESMIG

ROGER VASQUES BERCHEMBROCK

**PLATAFORMA ELEVATÓRIA: cálculo e dimensionamento estrutural e de
acionamento de uma plataforma elevatória de base fixa adaptada para veículo de carga**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia
Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas,
como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel
pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: ___ / ___ / ___

Prof. Me. Alexandre de Oliveira Lopes

Dedico este trabalho em especial a meus familiares e meus amigos que souberam depositar em mim confiança e responsabilidades suficientes para que eu pudesse alcançar minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais e minhas irmãs que me possibilitaram o início dessa caminhada, a meus amigos pelo apoio e incentivo e a meus professores por toda paciência e conhecimento que dividiram comigo e que irei levar ao longo de toda minha vida.

“Nenhum de nós é tão bom quanto todos nós
juntos.”

Ricardo Ferreira

RESUMO

O presente trabalho trata do dimensionamento estrutural e de acionamento de uma plataforma elevatória de base fixa, adaptada a um veículo de carga médio, para a realização de serviços específicos na área de comunicação visual em fachadas de residências e estabelecimentos comerciais. A idéia principal é o desenvolvimento de uma plataforma de trabalho para a substituição do uso de andaimes nos serviços de fachada prestados pela empresa VB Estruturas, visando maior praticidade e agilidade nas execuções desses serviços, além de diminuir o risco dos operários e da força humana necessária para a realização do mesmo. Esse dimensionamento servirá de base para uma futura análise financeira e estratégica por parte da empresa, visando uma possível construção da mesma. Será dimensionada toda a plataforma de trabalho, o sistema de elevação e seu acionador. Para a estrutura de elevação, será utilizado o sistema de elevação do tipo tesoura, onde será utilizado como acionador um pistão hidráulico. Nesses dimensionamentos, serão realizados cálculos e avaliações estruturais visando atender aos requisitos mínimos necessários para a realização dos serviços da empresa, estipulando esforços e limites, além de visar também à parte de segurança do equipamento. Sendo utilizadas para isso as normas técnicas e regulamentadoras vigentes para atender todos os parâmetros necessários para seu perfeito funcionamento e enquadramento às legislações.

Palavras-chave: Plataforma Elevatória. Tesoura. Pistão.

ABSTRACT

This paper deals with the structural design and actuation of a platform lift fixed base, adapted to a medium load vehicle for the achievement of specific services in the area of visual communication in facades of residences and commercial establishments. The main idea is to develop a working platform for the replacement of the use of scaffolds in facade services provided by the company VB structures, aiming at greater convenience and flexibility in the execution of these services, and reduce the risk of workers and the manpower required to achieve the same. This design will be the basis for a future strategic and financial analysis for the company, seeking a possible construction of the same. Is scaled across the work platform, the lifting system and its actuator. For the lifting frame, the system will be used scissors-type lift, which is used as a hydraulic piston actuator. In these sizing, will be performed calculations and structural evaluations to meet the minimum requirements needed to achieve the company's services, and efforts stipulating limits, besides also target the security part of the equipment. Being so used to the technical standards and regulatory provisions to meet all the necessary parameters for flawless performance and framing to the legislation.

Keywords: Platform Lift. Scissors. Piston.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tesoura elevatória em vários níveis de altura.....	12
Figura 2: Modelo e dimensões do veículo de sustentação da plataforma	14
Figura 3: Altura de trabalho da plataforma elevatória.....	15
Figura 4: Disposição final da plataforma elevatória.....	17
Figura 5: Assoalho.....	19
Figura 6: Grade de segurança	20
Figura 7: Pontos críticos de esforço	21
Figura 8: Disposição das vigas de apoio	22
Figura 9: Esforços nas vigas de apoio 1	22
Figura 10: Esforços nas vigas de apoio 2	23
Figura 11: Esforços resultantes nas vigas de apoio	23
Figura 12: Possíveis locais do atuador	25
Figura 13: Diagrama da plataforma em estado de repouso e suspensa	25
Figura 14: Tabela de esforços.....	26
Figura 15: Comparação de dh/dl para diferentes localizações do atuador.....	27
Figura 16: Tabela de cilindros.....	29
Figura 17: Diagrama do local de fixação do acionador.....	29
Figura 18: Descrição de barras 1	30
Figura 19: Tabela de medição de barras.....	30
Figura 20: Tabela de verificação de esforços do acionador	30
Figura 21: Descrição de barras 2	31
Figura 22: Características mecânicas	31
Figura 23: Tabela de verificação de esforços da plataforma abaixada.....	32
Figura 24: Tabela de verificação de esforços da plataforma suspensa.....	33
Figura 25: Estrutura de elevação da plataforma elevatória	34
Figura 26: Disposição do rolamento na estrutura.....	34
Figura 27: Tabela de rolamentos	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 PLATAFORMA DE TRABALHO AEREO.....	11
2.1 Estrutura metálica.....	11
2.2 Tesoura	11
2.3 Hidráulica e pneumática.....	13
3 MÉTODOS.....	13
3.1 Dimensões básicas do veículo a ser adaptado	13
3.2 Altura de trabalho	14
3.3 Dimensões da plataforma de trabalho.....	14
3.4 Fixação e percurso da base da tesoura	15
3.5 Níveis de tesoura	16
3.6 Comprimento da tesoura	17
3.7 Carga de operação	18
4 DESENVOLVIMENTO.....	18
4.1 Plataforma de trabalho	19
4.1.1 Assoalho	19
4.1.2 Grade de proteção coletiva	20
4.1.3 Vigas de apoio	22
4.2 Acionador	25
4.3 Tesoura	29
4.3.1 Apoio da tesoura.....	34
5 RESULTADO	35
6 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS	38

I INTRODUÇÃO

A utilização de andaimes na prestação de serviços da empresa VB Estruturas onde necessita de trabalho em locais altos, tem sido um atraso à produção, já que tal utilização necessita de um tempo para montagem e desmontagem que em muitas vezes ultrapassa o tempo gasto pelo serviço prestado em si. Além do atraso no serviço, o trabalho torna cansativo para os operários pela necessidade de uso de força humana para a montagem desses andaimes, para o transporte (da base ao topo do andaime) de materiais necessários para a realização do serviço prestado como também para a própria locomoção dos operários pelo andaime.

O presente trabalho visa calcular e desenvolver a estrutura de uma plataforma elevatória (área de trabalho e sistema de elevação e sustentação) para uma base de fixação pré-determinada, estudar e calcular quais tipos, disposição no projeto e força dos acionadores a serem empregados no mesmo.

Para isso será feito uma análise de todos os envoltivos necessários para a realização dos serviços prestados pela empresa, incluindo posição e locais de trabalho, pessoal e equipamentos, além dos requisitos das normas regulamentadoras e de segurança vigentes referentes a essa estrutura, a fim de dimensionar uma estrutura que cumpra esses requisitos mínimos.

2 PLATAFORMA DE TRABALHO AEREO

“Plataforma de Trabalho Aéreo - PTA é o equipamento móvel, autopropelido ou não, dotado de uma estação de trabalho (cesto ou plataforma) e sustentado em sua base por haste metálica (lança) ou tesoura, capaz de erguer-se para atingir ponto ou local de trabalho elevado” (NR 18 - ANEXO IV, 2008. p.1), sua estrutura deve ser dimensionada de forma que as suas resistências de cálculo, correspondentes aos estados limites em consideração, sejam maiores que as solicitações de cálculo, de acordo com a Norma Regulamentadora nº 18.

2.1 Estrutura Metálica

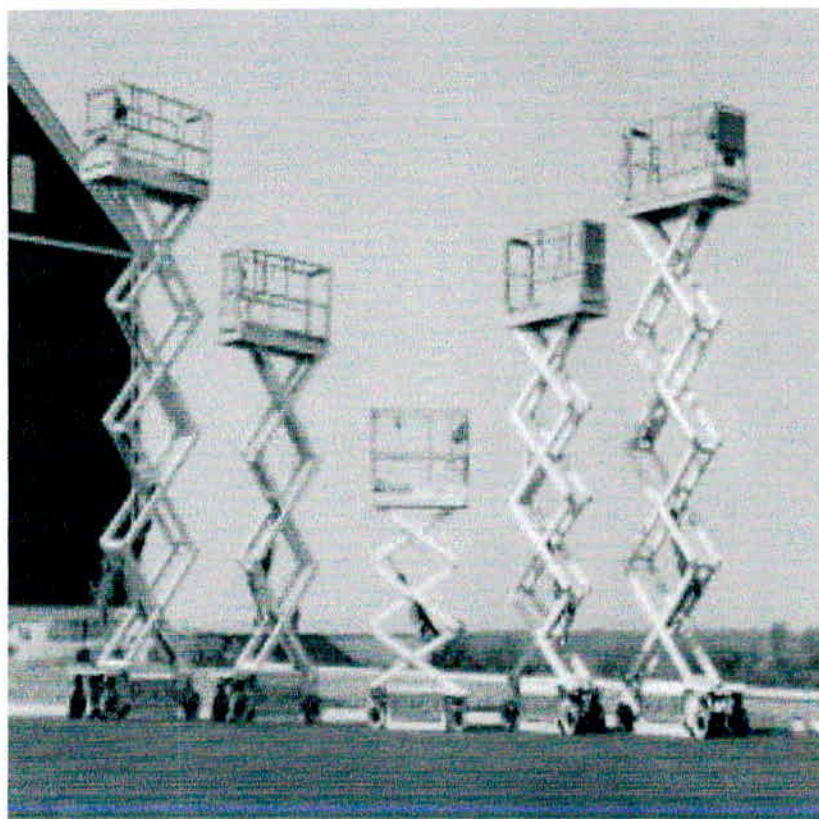
De acordo com Roberto (2009) a estrutura metálica, é constituída da ligação de elementos metálicos de seções transversais conhecidas ou não, gerando assim um conjunto de determinada geometria possibilitando seu uso estrutural de forma otimizada, proporcionando a criação de estruturas resistentes e leves. Ideais para estruturas nas quais se necessitam de mobilidade e resistência

2.2 Tesoura

O sistema de elevação tipo tesoura é um dos mais usados pela sua estrutura compacta e pela necessidade de pouca força para erguê-lo. Estes modelos de elevação são capazes de manter grandes e pesadas cargas suspensas, lidando com áreas mais extensas de trabalho. Eles estão entre os modelos mais utilizados de elevadores hidráulicos. Eles são usados em uma ampla variedade de aplicações, ajustando a sua altura de forma a proporcionar uma superfície de trabalho ergonômica.

Esse sistema de elevação funciona como uma espécie de “sanfona”, onde os braços de sustentação (tesouras) se recolhem (dobram) e aumentam de tamanho (estendem) com o auxílio de forças externas, geralmente mecânicas ou hidráulicas. Como demonstrado no modelo apresentado na figura a seguir.

Figura 1: Tesoura elevatória em vários níveis de altura



Fonte: Grupo Montarte Ltda.

De acordo com Spackman (1989) uma maneira possível de calcular as forças de reação ao longo de um elevador tipo tesoura está a começar na parte superior do mesmo, onde as cargas aplicadas são conhecidas, e utiliza-se as equações de equilíbrio estático, para resolver as forças de reacção na primeira tesoura (nível 1), assim as forças atuantes na parte superior da segunda tesoura são conhecidas, uma vez que são iguais e opostas as forças na parte inferior do nível 1.

“[...]as forças de reacção dos membros da tesoura fora dos níveis contendo o atuador não são afetadas pela orientação do mesmo[...]” (Spackman, 1989. p.5, tradução nossa). Isto permite que os membros de tesoura acima do atuador e os membros inferiores do atuador para ser modelado como duas estruturas de tesouras "básicas", uma estrutura em tesoura que está preso ao solo em todas as quatro juntas. De acordo com Spackman (1989) se a plataforma tiver atrito nas articulações insignificantes, então o princípio da conservação de energia se aplica, permitindo que as forças do atuador (hidráulico e pneumático) possam ser calculadas diretamente.

2.3 Hidráulica e Pneumática

“Hidráulica e Pneumática é a tecnologia associada com a geração, controle e transmissão de potência empregando fluidos pressurizados, [...] os sistemas hidráulicos e pneumáticos têm por objetivo fundamental a geração de uma força ou torque através de uma haste ou eixo, onde uma bomba ou compressor transfere fluido, através de tubulações e válvulas de controle, para um atuador, seja linear ou rotativo”. (Juliano, 2001. p.13).

De acordo com Juliano (2001) essa tecnologia presente em quase todos os processos de fabricação atual, sendo um equipamento extremamente eficiente quando se desejam diminuir ou eliminar o uso de força humana.

3 MÉTODOS

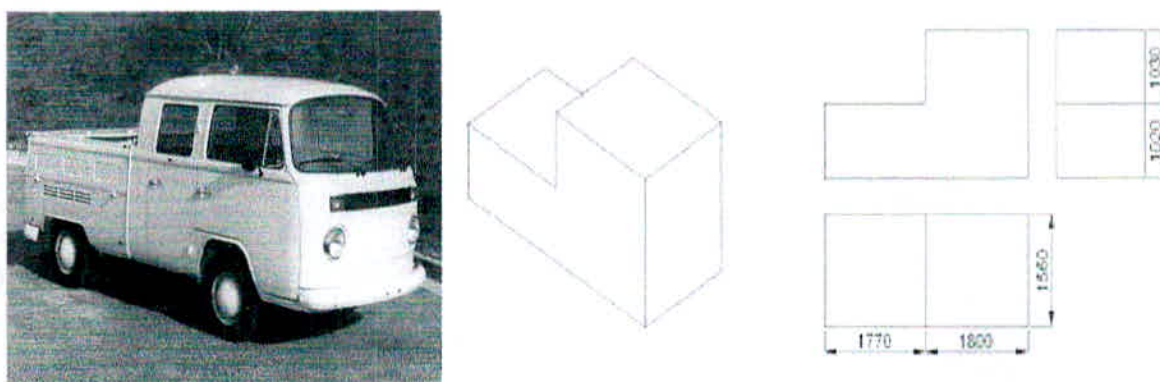
Será apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho, devido o estudo realizado em campo.

3.1 Dimensões básicas do veículo a ser adaptado

O veículo a ser posteriormente destinado a montagem da plataforma elevatória é um Volkswagen Kombi Pick-up, na qual necessitava de um posterior estudo voltado para o comportamento desse automóvel ao utilizar o sistema de elevação desenvolvido aqui, desenvolvendo a base de fixação para a estrutura elevatória, bem como um apoio destinado a sua perfeita estabilização com o solo de trabalho caso seja verificada a necessidade no estudo futuro.

Na imagem a seguir esta demonstrado o modelo do veículo de trabalho da empresa VB Estruturas a ser utilizado para esse desenvolvimento, além de suas dimensões básicas.

Figura 2: Modelo e dimensões do veículo de sustentação da plataforma



Medidas em milímetro - Fonte: O autor

3.2 Altura de trabalho

Com o intuito de aumentar a plataforma de trabalho, a mesma será disposta acima da cabine do veículo a ser adaptado, com uma distância de 70 mm de segurança, enquanto sua base será fixada na carroceria.

A altura média dos trabalhos da empresa VB Estruturas esta entre 5 e 6 metros, levando em consideração a altura da carroceria (1020 mm), a altura da estrutura da plataforma de trabalho e a altura dos operadores, foi definido como altura máxima provisória da tesoura de elevação como sendo 4 metros (a ser recalculado posteriormente).

Definindo altura mínima da tesoura como sendo $h_0 = 1100 \text{ mm}$ e a altura máxima $h_{1(\text{provisória})} = 4000 \text{ mm}$.

3.3 Dimensões da plataforma de trabalho

Com o objetivo de reduzir custos e evitar a necessidade de fazer emendas na base da plataforma, ela será composta por uma chapa de 2000 x 1200 mm, e ficará disposta a uma distância mínima de 200 mm das extremidades do veículo de trabalho.

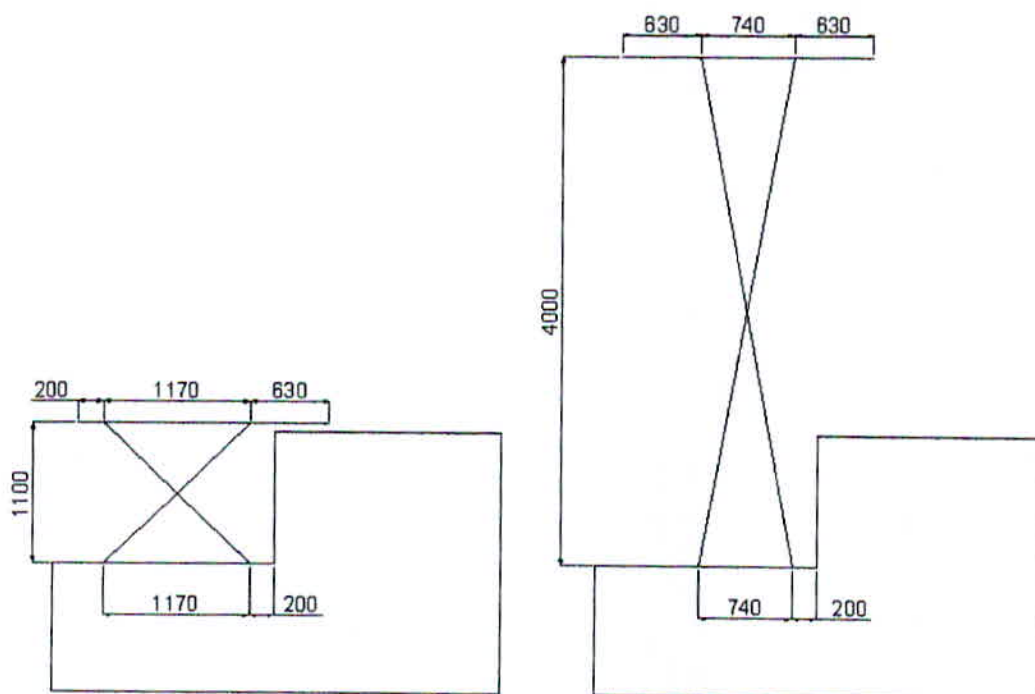
3.4 Fixação e percurso da base da tesoura

Para determinar a fixação e percurso da base da tesoura, será utilizada uma distancia mínima de 200 mm entre a tesoura e a cabine do veículo, e entre a tesoura e a extremidade da plataforma de trabalho.

E a tesoura de elevação será disposta de modo que em sua altura de trabalho máxima, as distâncias entre as extremidades traseiras e dianteiras da plataforma de trabalho fiquem a distâncias equivalentes da tesoura quando a mesma se encontrar em elevação máxima.

A figura a seguir demonstra essa disposição para a plataforma de trabalho em seu estado de repouso ($h_0 = 1100 \text{ mm}$) e em sua altura máxima provisória de trabalho ($h_{1(\text{provisória})} = 4000 \text{ mm}$), utilizando apenas 1 nível de tesoura no desenho abaixo apenas como demonstrativo, sendo o mesmo calculado posteriormente:

Figura 3: Altura de trabalho da plataforma elevatória



Medidas em milímetro - Fonte: O autor

Assim temos:

- Abertura horizontal inicial da tesoura (máxima): $u_0 = 1170 \text{ mm}$
- Abertura horizontal final da tesoura (mínima): $u_1 = 740 \text{ mm}$

3.5 Níveis de tesoura

Com as medidas de apoio e de elevação da plataforma já conhecidas, o próximo passo é determinar o número de níveis de tesoura.

De acordo com Spackman (1989), analisando geometricamente a tesoura teremos a seguinte fórmula para sua altura total:

$$h = n \cdot \sqrt{(d^2 - u^2)}$$

Onde (h) representa a altura da tesoura de sustentação da plataforma de trabalho, (d) representa o comprimento de cada um dos 4 braços que compõe cada nível de tesoura, e (u) representa a abertura horizontal da tesoura.

Sabendo que a altura inicial corresponde a $h_0 = 1100 \text{ mm}$ e a abertura da tesoura inicial correspondente é de $u_0 = 1170 \text{ mm}$, e tendo em vista que a altura final provisória é de $h_{1(\text{provisória})} = 4000 \text{ mm}$ e a abertura da tesoura correspondente é de $u_1 = 740 \text{ mm}$, temos que:

$$h_0 = n \cdot \sqrt{(d^2 - u_0^2)} \rightarrow 1100 = n \cdot \sqrt{(d^2 - 1170^2)} \rightarrow n^2 \cdot d^2 - 1368900 n^2 = 1210000$$

$$h_1 = n \cdot \sqrt{(d^2 - u_1^2)} \rightarrow 4000 = n \cdot \sqrt{(d^2 - 740^2)} \rightarrow n^2 \cdot d^2 - 547600 n^2 = 16000000$$

Simplificando as equações anteriores temos:

$$821300 \cdot n^2 = 14790000 \rightarrow n = 4,24$$

Sendo assim será adotado 4 níveis de tesoura, visando menor custo.

Com o número de níveis de tesoura definidos, a altura máxima de operação da plataforma é calculada a seguir, utilizando a mesma fórmula apresentada anteriormente:

$$h_0 = n \cdot \sqrt{(d^2 - u_0^2)} \rightarrow 1100 = 4 \cdot \sqrt{(d^2 - 1170^2)} \rightarrow d^2 = 1444525$$

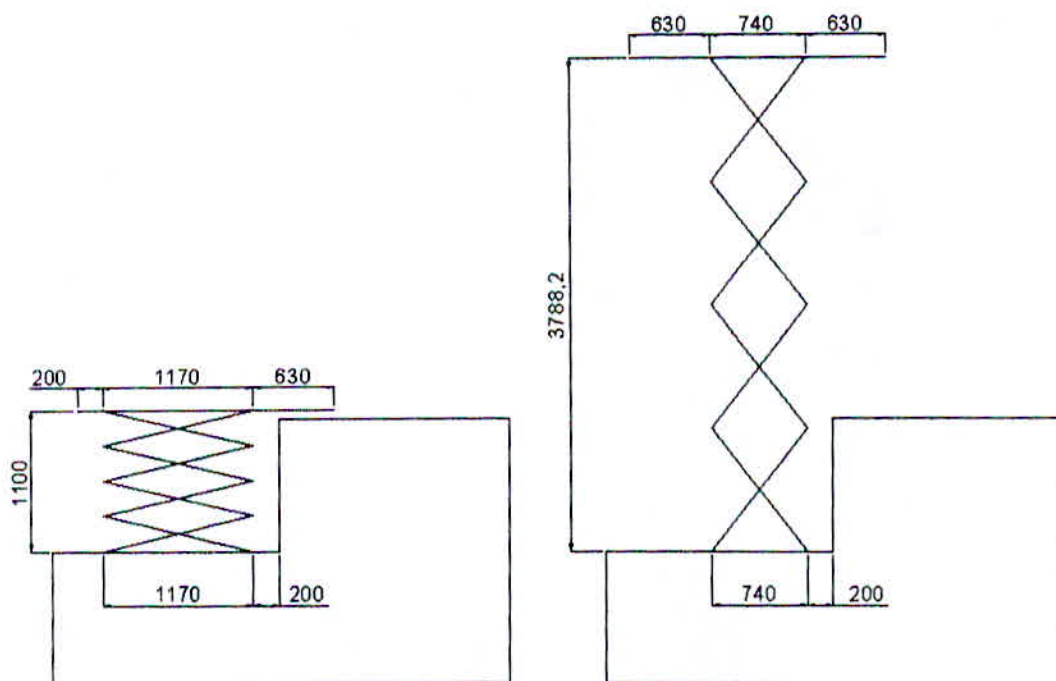
$$h_1 = n \cdot \sqrt{(d^2 - u_1^2)} \rightarrow h_1 = 4 \cdot \sqrt{(d^2 - 740^2)} \rightarrow d^2 = \frac{h_1^2}{16} + 547600$$

Simplificando as equações anteriores temos:

$$\frac{h_1^2}{16} + 547600 = 1444525 \rightarrow h_1 = 3788,2 \text{ mm}$$

Com a altura máxima definida como $h_1 = 3788,2 \text{ mm}$ e o número de níveis de tesoura da plataforma definidos como $n = 4$, segue abaixo a disposição final para a plataforma de trabalho em seu estado de repouso e em sua altura máxima de trabalho:

Figura 4: Disposição final da plataforma elevatória



Medidas em milímetro - Fonte: O autor

3.6 Comprimento da tesoura

Utilizando a mesma fórmula anterior define-se o comprimento (d) de cada braço da tesoura como:

$$h = n \cdot \sqrt{(d^2 - u^2)} \rightarrow 1100 = 4 \sqrt{(d^2 - 1170^2)} \rightarrow d = 1202 \text{ mm}$$

Como o comprimento do braço calculado representa a distancia entre seu eixo de apoio será somado 100 mm de material de cada lado visando sua posterior montagem, ficando 1402 mm de braço. Sendo 4 níveis de tesoura com 4 braços cada nível, teremos o comprimento de material sendo:

$$d_{total} = 4 \times 4 \times 1362 = 21792 \text{ mm}$$

3.7 Carga de operação

Outro ponto crucial para o inicio dos cálculos dessa plataforma de trabalho, é determinar as cargas das quais essa plataforma necessitara suportar para que a empresa possa realizar suas atividades rotineiras, substituindo os andaimes por essa estrutura.

Para determinar a carga de operação dessa plataforma de trabalho aéreo, levam-se em consideração algumas informações sobre o cotidiano de prestação de serviços da empresa.

Segundo a empresa, sua necessidade rotineira é de se utilizar duas pessoas para a realização desses serviços, alem da necessidade de erguer uma carga media de 200 kg, referente ao produto fornecido ao cliente e os equipamentos necessários para tal prestação de serviços (dados fornecidos pela empresa).

Sendo assim assume para o inicio dos cálculos as seguintes cargas:

- 2 operários de no máximo 100 kg cada
 - 200 kg para equipamentos
- TOTAL = 400 kg

Sendo definida essa carga como sendo uma carga móvel, por possuir a característica de poder se encontrar em qualquer lugar acima da plataforma de trabalho. Assim, Carga Móvel (pessoas e equipamentos) $Q_m = 400 \text{ kg}$.

4 DESENVOLVIMENTO

Serão apresentados os resultados encontrados após a analise dos dados coletados em campo.

4.1 Plataforma de trabalho

A plataforma de trabalho é o local restrito reservado aos funcionários, onde eles desempenharão suas atividades profissionais.

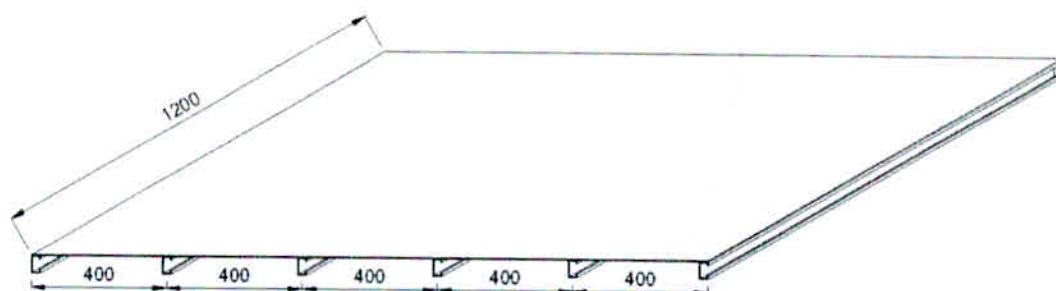
Nesse trabalho ela será definida como todo o conjunto estrutural suportado pela tesoura de elevação.

4.1.1 Assoalho

O assoalho da plataforma de trabalho será composto por uma chapa de aço do tipo xadrez, definida afim também de se evitar escorregões.

Esse assoalho será feito de 1 chapa de aço xadrez ($\frac{1}{8}$ " x 27,5 kg/m²) com barras de perfil U enrijecido (5 cm x 1,83 kg/m) soldados em sua base conforme figura a seguir, afim de garantir que não haja flambagem.

Figura 5: Assoalho



Medidas em milímetro - Fonte: O autor

Sendo assim teremos os pesos estruturais desse assoalho sendo:

- 1 chapa xadrez de $\frac{1}{8}$ " x 1200 x 2000 PESO = 66 kg
 - 6 vigas U enrijecido (5 cm x 1,83 kg/m) x 1200 PESO = 13,18 kg
- TOTAL = 79,18 kg

Sendo definida assim a carga correspondente ao assoalho como sendo $Q_{\text{assoalho}} = 79,18 \text{ kg}$.

4.1.2 Grade de proteção coletiva

Após definido o piso de trabalho, inicia-se o desenvolvimento da grade de proteção coletiva, exigida pela Norma Regulamentadora nº18:

NR18.13.1: É obrigatória a instalação de proteção coletiva onde houver risco de queda de trabalhadores ou de projeção e materiais.

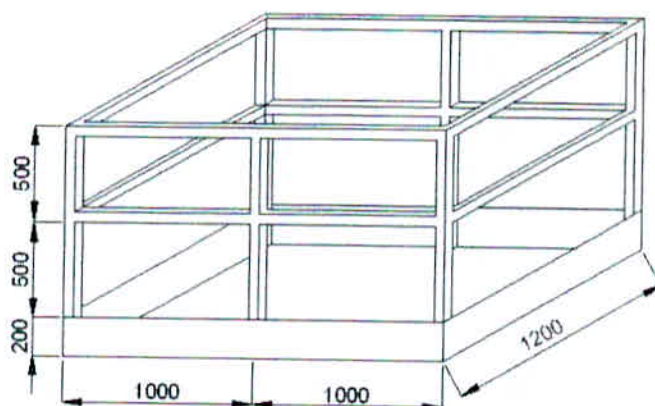
A disposição da grade de proteção se faz como estabelece a Norma Regulamentadora 18.13.5 a seguir:

NR18.13.5: A proteção contra quedas, quando constituída de anteparos rígidos, em sistema de guarda-corpo e rodapé, deve atender aos seguintes requisitos:

- a) ser construída com altura de 1,20m (um metro e vinte centímetros) para o travessão superior e 0,70m (setenta centímetros) para o travessão intermediário;
- b) ter rodapé com altura de 0,20m (vinte centímetros);
- c) ter vãos entre travessas preenchidos com tela ou outro dispositivo que garanta o fechamento seguro da abertura.

Chegando na disposição final exibida no esquema abaixo:

Figura 6: Grade de segurança



Medidas em milímetro - Fonte: O autor.

O material da grade de proteção foi predefinido como o metalon de perfil quadrado (50 mm x 2 mm x 18kg/6000 mm).

Com o material predefinido analisou-se a seção onde esse material é menos resistente a esforços. Já que o material de todo o conjunto é o mesmo, o ponto analisado foi o de maior comprimento.

$L=1200$ mm

A análise foi feita através do programa MDSolids, que efetuou cálculos de esforços para o perfil e material selecionado (A 36). O programa nos forneceu o maior esforço a que a barra resiste em seu ponto mais crítico e o maior esforço distribuído a que ela resiste.

Figura 7: Pontos críticos de esforço



Fonte: O autor.

- $P_{máx} = 3.282 N = 334,5 kg$
- $W_{máx} = 5.470,8 \frac{N}{m} = 557,7 kg/m$

E o rodapé será feito de chapa de aço ($\frac{1}{16}$ " x 12,72 kg/m²).

Sendo assim teremos os pesos estruturais da grade de proteção coletiva sendo:

- METALON 10x1200 = 12000mm TOTAL = 16000 mm
 4x1000 = 4000mm
Peso = 48kg
- CHAPA 2x200x2000 = 800000mm² TOTAL = 1,82 m²
 2x200x1200 = 480000mm²
Peso = 16,3kg

Sendo definida assim a carga correspondente a grade de proteção coletiva como sendo $Q_{grade} = 64,3 kg$.

4.1.3 Vigas de apoio

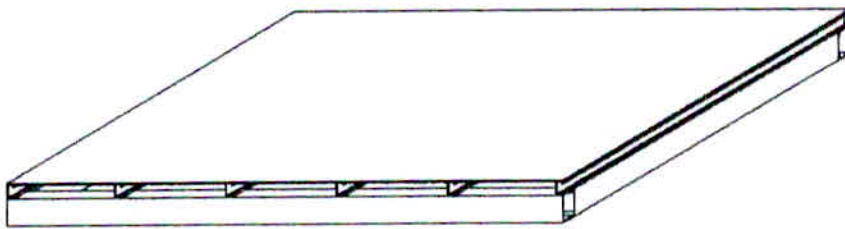
Com as primeiras cargas já determinadas inicia a análise das vigas onde são fixadas a plataforma e a tesoura de sustentação.

Somando todas as cargas encontradas na plataforma chegamos aos seguintes valores:

- Carga Total Estrutural ($Q_{assoalho} + Q_{grade}$) $Q_e = 143,48 \text{ kg}$
- Carga Móvel (pessoas e equipamentos) $Q_m = 400 \text{ kg}$

O apoio da plataforma de trabalho será composto por 4 vigas de perfil U enrijecido dispostas nas 4 laterais de baixo da plataforma de trabalho conforme desenho a seguir, visando a utilização das vigas de apoio também como guia dos braços de sustentação da plataforma:

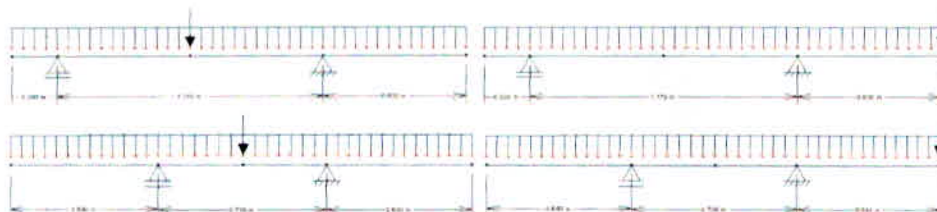
Figura 8: Disposição das vigas de apoio



Fonte: O autor

A distribuição das forças nos apoios da plataforma se faz nas imagens abaixo, demonstrando as possíveis disposições críticas dessas forças. E demonstrando também os pontos onde a plataforma irá apoiar sobre as tesouras.

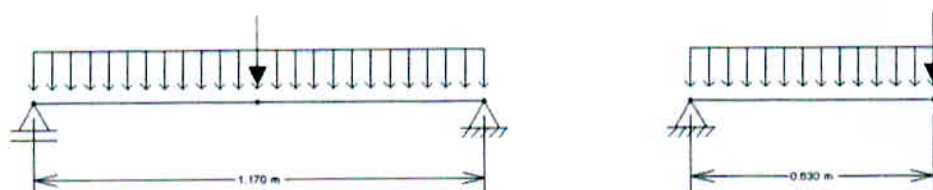
Figura 9: Esforços nas vigas de apoio I



Medidas em milímetro - Fonte: O autor

Portanto as situações críticas serão as seguintes:

Figura 10: Esforços nas vigas de apoio 2

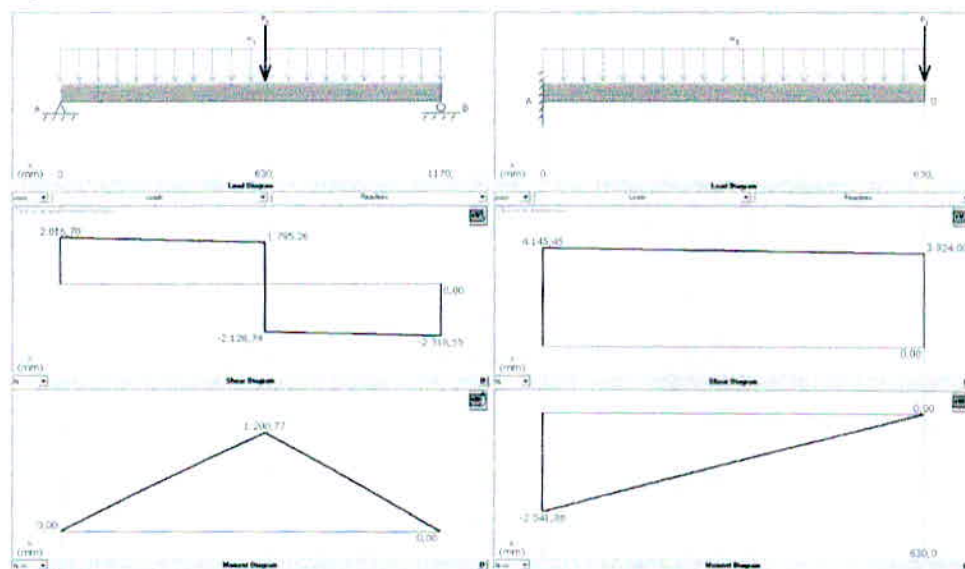


Medidas em milímetro - Fonte: O autor

Dividindo a carga estrutural ($Q_e = 143,48 \text{ kg}$) nas 2 vigas laterais de apoio teremos 71,74 kg por viga. Sendo 2 metros a viga ela carregara 35,87 kg/m ou 351,5 KN/m de carga estrutural por viga.

Com esses dados o programa MDSolids nos fornece as seguintes reações nas vigas:

Figura 11: Esforços resultantes nas vigas de apoio



Medidas em milímetro - Fonte: O autor

Foi predeterminado o perfil U enrijecido (100mm x 5,56 kg/m) para facilitar no acoplamento da tesoura a plataforma, já que esse ocorreria utilizando um rolamento preso ao braço da tesoura e correria dentro da viga.

Através do MDSolids também foi determinado as tensões causadas em cada caso nas vigas.

CASO 1

$$\sigma = 58,7 \text{ Mpa}$$

$$\tau = 7,4 \text{ Mpa}$$

CASO 2

$$\sigma = 123,5 \text{ Mpa}$$

$$\tau = 61,8 \text{ Mpa}$$

Sendo a tensão admissível normal e de cisalhamento do aço ASTM - A36 respectivamente $\sigma_{adm} = 205 \text{ Mpa}$ e $\tau_{adm} = 117,5 \text{ Mpa}$ segundo a ABNT NBR 8800:2008, o perfil resiste a tensão sofrida e trabalha com um coeficiente de segurança de:

$$F.S. = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{205}{123,5} = 1,66$$

$$F.S. = \frac{\tau_{adm}}{\tau} = \frac{117,5}{61,8} = 1,9$$

Com o perfil do apoio da plataforma definido, teremos seu peso sendo:

- PERFIL U ENRIJECIDO (100mm x 5,56 kg/m)
 $2 \times 2000 = 4000 \text{ mm}$ TOTAL = 6200mm
 $1 \times 1100 = 2200 \text{ mm}$

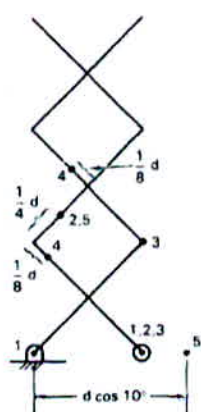
$$\text{PESO} = 34,47 \text{ kg}$$

Sendo definida assim a carga correspondente ao perfil de apoio como sendo $Q_{apoio} = 34,47 \text{ kg}$.

4.2 Acionador

Para os cálculos do acionador e da tesoura necessita-se definir antes um local para acoplar o atuador, sendo sugerido por Spackman (1989) alguns pontos a seguir divididos de 1 a 5:

Figura 12: Possíveis locais do atuador

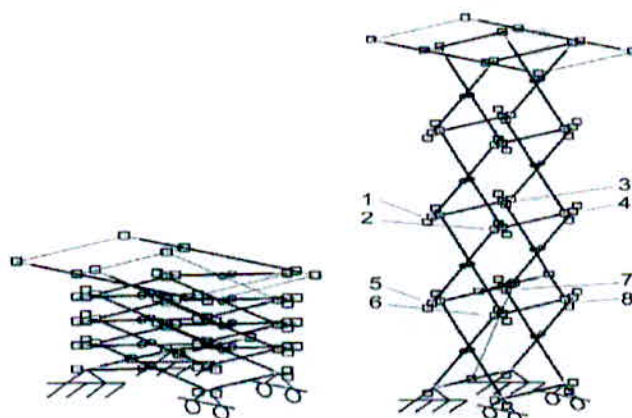


Fonte: (SPACKMAN, 1989, p.47).

Foi definido a posição 2 para o acionador devido a falta de espaço.

Utilizando as cargas da plataforma de trabalho já conhecidas, um primeiro diagrama de corpo livre da plataforma foi feito utilizando o programa CYPE 2012 – Metal 3D, mostrado abaixo esse diagrama para a plataforma em estado de repouso e suspensa:

Figura 13: Diagrama da plataforma em estado de repouso e suspensa



Fonte: O autor

Onde nos forneceu as primeiras medidas dos perfis necessários para a sustentação da plataforma sem levar em conta a utilização do acionador hidráulico.

Por ser necessário um recálculo posterior da estrutura metálica que compõe a tesoura, apenas o peso “provisório” resultante e os esforços causados nas pontas da tesoura onde é acoplado o acionador, enumerados na figura acima, são necessários.

Obtendo assim um peso de 450,22 kg e as seguintes forças descritas abaixo:

Figura 14: Tabela de esforços

TABELA DE ESFORÇOS		
LOCAL	PLATAFORMA ABAIXADA	PLATAFORMA SUSPensa
	Ry	Ry
1	-131 N	-90 N
2	-249 N	-21 N
3	-379 N	-20 N
4	10 N	113 N
5	141 N	255 N
6	-2876 N	-12 N
7	-249 N	-70 N
8	3253 N	171 N

Fonte: O autor

De acordo com Spackman (1989) o cálculo do atuador se faz utilizando a fórmula $F = \left(H_y + \frac{B_y}{2}\right) x \frac{dh}{dt}$; onde H_y é a carga em cima da estrutura de sustentação da plataforma (tesoura) e B_y é o peso das treliças que compõem a tesoura. O valor de $\frac{dh}{dt}$ é determinado conforme o local onde o acionador é colocado, seguindo-se a tabela abaixo:

Figura 15: Comparação de $\frac{dh}{dl}$ para diferentes localizações do atuador

Actuator Position	Equation for dh/dl	dh/dl for $\theta = 10^\circ$	dh/dl for $\theta = 5^\circ$
1	$\frac{-3}{\tan \theta}$	-17.0	-34.3
2	$\frac{3}{4} \left(25 + 9 \frac{1}{\tan^2 \theta} \right)^{1/2}$	13.3	26.0
3	3	3	3
4	$\frac{3}{2} \left(9 + \frac{1}{\tan^2 \theta} \right)^{1/2}$	9.62	17.7
5	$\frac{12 \sin \zeta}{5 \cos (\zeta + \phi)}$ <p>where</p> $\phi = \tan^{-1} \frac{\frac{5}{4} \sin \theta}{\frac{1}{4} \cos \theta - \cos 10^\circ}$ $\zeta = \tan^{-1} \frac{5}{\tan \theta}$	7.59	14.69

Fonte: (SPACKMAN, 1989, p.48)

Assim a formula ficara:

$$F = \left(H_y + \frac{B_y}{2} \right) \times \frac{3}{4} \times \left(25 + 9 \times \frac{1}{\tan^2 \theta} \right)^{1/2}$$

Sabendo que H_y é a soma dos pesos estruturais da plataforma de trabalho mais o peso móvel temos:

$$H_y = Q_{\text{assoalho}} + Q_{\text{grade}} + Q_{\text{apoio}} + Q_m = 79,18 + 64,3 + 34,47 + 400 = 577,95 \text{ kg}$$

$$H_y = 577,95 \text{ kg} = 5669,7 \text{ N}$$

Levando em conta que o peso de 450,22 kg da estrutura de sustentação da plataforma será recalculado após o dimensionamento do acionador, será utilizada uma compensação de mais 50% desse peso a fim de tentar prever esse recalcu, o que será posteriormente analisado após o fim dos cálculos da estrutura.

Assim a carga utilizada no calculo do acionador será de:

$$B_y = 450,22 \times 1,5 = 675,33 \text{ kg} = 6625 \text{ N}$$

Sendo $\cos \theta = \frac{u}{d}$ temos:

$$\cos \theta = \frac{u}{d} = \frac{1170}{1202} = 0,973 \rightarrow \theta = 13,25^\circ$$

Sendo assim F será:

$$F = \left(5669,7 + \frac{6625}{2} \right) \times \frac{3}{4} \times \left(25 + 9 \times \frac{1}{\text{tg}^2 13,25} \right)^{1/2} = 92201,45 \text{ N}$$

Sabendo se que l representa o comprimento do acionador, foi analisado o diagrama da tesoura do acionador e chegou à seguinte formula:

$$l = \sqrt{\left(\frac{3}{4}u\right)^2 + \left(\frac{5}{4}h\right)^2}$$

Assim tem-se l_0 e l_1 como os comprimentos do acionador no seu estado inicial e final respectivamente mostrado a seguir:

$$l_0 = \sqrt{\left(\frac{3}{4}u_0\right)^2 + \left(\frac{5}{4}h_0\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{3}{4}1170\right)^2 + \left(\frac{5}{4}\frac{1100}{4}\right)^2} = 943,6 \text{ mm}$$

$$l_1 = \sqrt{\left(\frac{3}{4}u_1\right)^2 + \left(\frac{5}{4}h_1\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{3}{4}740\right)^2 + \left(\frac{5}{4}\frac{3788,2}{4}\right)^2} = 1307,5 \text{ mm}$$

Portanto o acionador a ser utilizado será um pistão hidráulico com comprimento inicial l_0 menor que 943,6 mm e comprimento final l_1 maior que 1307,5 mm, e possuirá um curso mínimo de 363,9 mm.

Devido a necessidade de se possuir rotação livre na extremidade do cilindro, o mesmo terá sua fixação do tipo MP5 (olhal com rótula no fundo).

Sendo assim definido para o acionamento o cilindro CDH1 MP5 80 45 600, escolhido da tabela abaixo:

Figura 16: Tabela de cilindros

Êmbolo	Haste	Relação de área	Áreas			Força a 250 bar ¹⁾			Vazão a 0.1 m/s ²⁾		
			Êmbolo	Haste	Anel	Pressão	Dif.	Tração	Avanço	Dif.	Retorno
AL Ø mm	MM Ø mm	$\frac{q_1}{A_1/A_2}$	A_1 cm ²	A_2 cm ²	A_3 cm ²	F_1 kN	F_2 kN	F_3 kN	q_{v1} L/min	q_{v2} L/min	q_{v3} L/min
40	22	1.43	12.56	3.80	8.76	31.40	9.50	21.90	75	2.3	5.3
	28	1.96		6.16	6.40		15.40	16.00		3.7	3.8
50	28	1.46	19.63	6.16	13.47	49.10	15.40	33.70	11.8	3.7	8.1
	36	2.08		10.18	9.45		25.45	23.65		6.1	5.7
63	36	1.48	31.17	10.18	20.99	77.90	25.45	52.45	18.7	6.1	12.6
	45	2.04		15.90	15.27		39.75	38.15		9.5	9.2
80	45	1.46	50.26	15.90	34.36	125.65	39.75	85.90	30.2	9.5	20.7
	56	1.96		24.63	25.63		61.55	64.10		14.8	15.4

Fonte: (Rexroth Bosch Group)

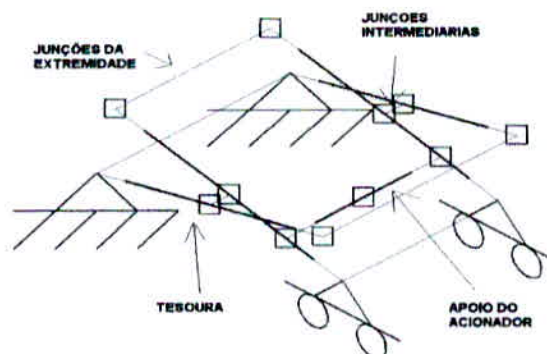
4.3 Tesoura

Para o dimensionamento dos elementos da tesoura, a força de acionamento do cilindro hidráulico é adicionada aos diagramas de corpo livre do programa CYPE 2012 – Metal 3D no ponto definido anteriormente.

Segundo Spackman (1989) o esforço realizado pelo acionador afetara apenas o nível onde essa força é aplicada, não sendo necessário o cálculo na estrutura por completo. Possibilitando assim separar apenas o nível onde se encontra os esforços do acionador, mantendo as forças resultantes nas pontas do braço da tesoura encontradas na figura 11.

Assim o diagrama desse nível de tesoura apresenta-se abaixo:

Figura 17: Diagrama do local de fixação do acionador



Fonte: O autor

Depois de feito o diagrama, inicia a realização dos cálculos estruturais pelo programa no instante do acionamento. Onde se devem adicionar também as cargas resultantes em cada ponta da tesoura analisada no exercício anterior.

Obtendo assim algumas possibilidades de perfis para as vigas da estrutura da tesoura, além de suas cargas, reações e respectivos limites mostrados abaixo:

Figura 18: Descrição de barras I

Tipos de peça		
Ref.	Peças	Descrição
1	N2/N4, N3/N1, N7/N5 e N8/N6	JUNÇÕES DA EXTREMIDADE
2	N10/N9	APOIO DO ACIONADR
3	N12/N13 e N14/N15	JUNÇÕES INTERMEDIARIAS
4	N4/N1, N2/N3, N6/N5 e N8/N7	TESOURA

Fonte: O autor

Figura 19: Tabela de medição de barras

Tabela de medição						
Material		Peça (Ni/Nf)	Perfil(Série)	Comprimento (m)	Volume (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designação					
Aço laminado	A-36 250Mpa	N2/N4	D 50.8 (D)	1.000	0.002	15.91
		N3/N1	D 50.8 (D)	1.000	0.002	15.91
		N10/N9	D 101.6 (D)	0.800	0.006	50.91
		N12/N13	D 76.2 (D)	0.100	0.000	3.58
		N14/N15	D 76.2 (D)	0.100	0.000	3.58
		N7/N5	D 50.8 (D)	0.800	0.002	12.73
		N8/N6	D 50.8 (D)	0.800	0.002	12.73
		Aço enformado	A-36	N4/N1	# 120x80x5.3 (Tubos rectangulares)	1.202
N2/N3	# 120x80x5.3 (Tubos rectangulares)			1.202	0.002	18.06
N6/N5	# 120x80x5.3 (Tubos rectangulares)			1.202	0.002	18.06
N8/N7	# 120x80x5.3 (Tubos rectangulares)			1.202	0.002	18.06

Anotação:
 Ni: Nó inicial
 Nf: Nó final

Fonte: O autor

Figura 20: Tabela de verificação de esforços do acionador

Barras	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)										Estado	
	l	N _t	N _c	M _x	M _y	V _x	V _y	NM _x	T	NMVT		e t f
N2/N4	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(3)	x: 1 m η = 1.5	x: 0 m η = 3.2	η < 0.1	x: 1 m η = 0.1	x: 1 m η = 4.5	η = 0.1	N.P.(4)	x: 1 m η = 4.8	VERIFICA η = 4.8
N3/N1	N.P.(1)	η = 0.3	N.P.(3)	x: 0 m η = 3.9	x: 1 m η = 0.5	η < 0.1	x: 1 m η = 0.7	x: 0 m η = 5.3	η = 0.3	N.P.(4)	x: 0 m η = 9.2	VERIFICA η = 9.2
N10/N11	l ≤ 200.0	N.P.(2)	η = 0.5	x: 0.4 m η = 18.6	x: 0.4 m η = 47.1	η = 5.3	x: 0.4 m η = 1.2	x: 0.4 m η = 65.9	η = 0.2	N.P.(4)	x: 0.4 m η = 72.0	VERIFICA η = 72.0
N11/N9	l ≤ 200.0	N.P.(2)	η = 0.5	x: 0 m η = 18.6	x: 0 m η = 47.1	η = 5.3	x: 0 m η = 1.3	x: 0 m η = 65.9	η = 0.2	N.P.(4)	x: 0 m η = 72.0	VERIFICA η = 72.0
N12/N13	N.P.(1)	η = 0.3	N.P.(3)	x: 0 m η = 7.9	x: 0 m η = 24.0	η = 9.4	x: 0.1 m η = 0.9	x: 0 m η = 32.0	η = 56.5	N.P.(4)	x: 0 m η = 67.1	VERIFICA η = 67.1
N14/N15	N.P.(1)	η = 0.3	N.P.(3)	x: 0.1 m η = 7.8	x: 0.1 m η = 23.9	η = 9.4	x: 0 m η = 0.9	x: 0.1 m η = 31.9	η = 58.3	N.P.(4)	x: 0.1 m η = 68.5	VERIFICA η = 68.5
N7/N5	l ≤ 200.0	N.P.(2)	η = 1.1	x: 0.8 m η = 11.5	x: 0 m η = 2.5	η < 0.1	x: 0.8 m η = 1.1	x: 0.8 m η = 14.5	N.P.(5)	N.P.(5)	x: 0.8 m η = 1.1	VERIFICA η = 14.6
N8/N6	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(3)	x: 0.8 m η = 6.3	x: 0.8 m η = 0.4	η < 0.1	x: 0.8 m η < 0.1	x: 0.8 m η = 6.8	η = 0.1	N.P.(4)	x: 0.8 m η = 9.5	VERIFICA η = 9.5

Anotação:
 l: Limitação de índice de esbeltez
 N_t: Resistência à tração
 N_c: Resistência à compressão
 M_x: Resistência à flexão axial X
 M_y: Resistência à flexão axial Y
 V_x: Resistência ao esforço transversal X
 V_y: Resistência ao esforço transversal Y
 NM_x: Resistência ao esforço axial e flexão combinado
 T: Resistência à torção
 NMVT: Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e força cortante
 e t f: Resistência à interação de esforços e momento de torção
 η: Coeficiente de origem de barra
 N.P.: Não procede
 Verificações que não são necessárias (N.R.):
 (1) A verificação não procede, já que não há força axial de compressão.
 (2) A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de tração.
 (3) A verificação não é necessária, já que não existe esforço axial de compressão.
 (4) Este caso não será considerado pela norma e, portanto, não é possível realizar a verificação.
 (5) A verificação não é necessária, já que não existe momento torção.
 (6) Não há interação entre a flexão axial, momento fletor, esforço transversal e momento torção. Portanto, a verificação não é necessária.

Fonte: O autor

Com os perfis do nível da tesoura onde se encontra o acionador já determinados, é realizado o recalculo estrutural da tesoura como um todo.

Pelo fato de a VB Estruturas enquadrar-se no ramo de empresas que trabalham com estruturas metálicas e realizar compras de vigas e outros materiais metálicos com grande frequência e em grandes quantidades, conseqüentemente com custos reduzidos, e ainda por se tratar da construção de um único equipamento, não necessitando de redução de custos tão grande como em uma produção em maior escala. A empresa e seus colaboradores optaram pela utilização dos mesmos perfis estipulados anteriormente no restante da plataforma, a fim de se obter uma maior facilidade em sua construção, além de um aumento significativo na segurança da mesma. Sendo assim, segue o desenvolvimento dos cálculos abaixo:

Figura 21: Descrição de barras 2

Tipos de peça		Descrição
Ref.	Peças	
1	N11/N16, N9/N14, N7/N15, N6/N2, N60/N61, NB/N3, N10/N4, N12/N5, N5/N89, N90/N12, N57/N22, NB7/N57, N22/N88 e N65/N66	JUNÇÕES DA EXTREMIDADE APOIO DO ACIONADR JUNÇÕES INTERMEDIARIAS TESOURA
2	N64/N63	
3	N67/N68, N69/N70, N71/N72, N73/N74, N75/N76, N77/N78, N79/N80 e N81/N82	
4	N15/N50, N33/N52, N30/N54, N55/N34, N56/N32, N53/N36, N47/N42, N41/N45, N49/N40, N39/N46, N37/N48, N31/N59, N43/N5, N44/N22, N51/N12 e N38/N57	

Fonte: O autor

Figura 22: Características mecânicas

Características mecânicas									
Material		Ref.	Descrição	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designação								
Aço laminado	A-36 250Mpa	1	D 50.8, (D)	20.27	18.24	18.24	32.69	32.69	65.38
		2	D 101.6, (D)	81.07	72.97	72.97	523.05	523.05	1046.10
		3	D 76.2, (D)	45.60	41.04	41.04	165.50	165.50	330.99
Aço enformado	A-36	4	# 120x80x5.3, (Tubos retangulares)	19.14	6.60	10.13	360.97	192.12	422.81

Anotação:
 Ref.: Referência
 A: Área da secção transversal
 Avy: Área de esforço transversal da secção segundo o eixo local 'Y'
 Avz: Área de esforço transversal da secção segundo o eixo local 'Z'
 Iyy: Inércia da secção em torno do eixo local 'Y'
 Izz: Inércia da secção em torno do eixo local 'Z'
 It: Inércia à torção
 As características mecânicas das peças correspondem à secção no ponto médio das mesmas.

Fonte: O autor

Figura 23: Tabela de verificação de esforços da plataforma abaixada

Barra	1	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	N ₇	N ₈	N ₉	N ₁₀	N ₁₁	N ₁₂	N ₁₃	N ₁₄	N ₁₅	N ₁₆	N ₁₇	N ₁₈	N ₁₉	N ₂₀	N ₂₁	N ₂₂	N ₂₃	N ₂₄	N ₂₅	N ₂₆	N ₂₇	N ₂₈	N ₂₉	N ₃₀	N ₃₁	N ₃₂	N ₃₃	N ₃₄	N ₃₅	N ₃₆	N ₃₇	N ₃₈	N ₃₉	N ₄₀	N ₄₁	N ₄₂	N ₄₃	N ₄₄	N ₄₅	N ₄₆	N ₄₇	N ₄₈	N ₄₉	N ₅₀	N ₅₁	N ₅₂	N ₅₃	N ₅₄	N ₅₅	N ₅₆	N ₅₇	N ₅₈	N ₅₉	N ₆₀	N ₆₁	N ₆₂	N ₆₃	N ₆₄	N ₆₅	N ₆₆	N ₆₇	N ₆₈	N ₆₉	N ₇₀	N ₇₁	N ₇₂	N ₇₃	N ₇₄	N ₇₅	N ₇₆	N ₇₇	N ₇₈	N ₇₉	N ₈₀	N ₈₁	N ₈₂	N ₈₃	N ₈₄	N ₈₅	N ₈₆	N ₈₇	N ₈₈	N ₈₉	N ₉₀	N ₉₁	N ₉₂	N ₉₃	N ₉₄	N ₉₅	N ₉₆	N ₉₇	N ₉₈	N ₉₉	N ₁₀₀	N ₁₀₁	N ₁₀₂	N ₁₀₃	N ₁₀₄	N ₁₀₅	N ₁₀₆	N ₁₀₇	N ₁₀₈	N ₁₀₉	N ₁₁₀	N ₁₁₁	N ₁₁₂	N ₁₁₃	N ₁₁₄	N ₁₁₅	N ₁₁₆	N ₁₁₇	N ₁₁₈	N ₁₁₉	N ₁₂₀	N ₁₂₁	N ₁₂₂	N ₁₂₃	N ₁₂₄	N ₁₂₅	N ₁₂₆	N ₁₂₇	N ₁₂₈	N ₁₂₉	N ₁₃₀	N ₁₃₁	N ₁₃₂	N ₁₃₃	N ₁₃₄	N ₁₃₅	N ₁₃₆	N ₁₃₇	N ₁₃₈	N ₁₃₉	N ₁₄₀	N ₁₄₁	N ₁₄₂	N ₁₄₃	N ₁₄₄	N ₁₄₅	N ₁₄₆	N ₁₄₇	N ₁₄₈	N ₁₄₉	N ₁₅₀	N ₁₅₁	N ₁₅₂	N ₁₅₃	N ₁₅₄	N ₁₅₅	N ₁₅₆	N ₁₅₇	N ₁₅₈	N ₁₅₉	N ₁₆₀	N ₁₆₁	N ₁₆₂	N ₁₆₃	N ₁₆₄	N ₁₆₅	N ₁₆₆	N ₁₆₇	N ₁₆₈	N ₁₆₉	N ₁₇₀	N ₁₇₁	N ₁₇₂	N ₁₇₃	N ₁₇₄	N ₁₇₅	N ₁₇₆	N ₁₇₇	N ₁₇₈	N ₁₇₉	N ₁₈₀	N ₁₈₁	N ₁₈₂	N ₁₈₃	N ₁₈₄	N ₁₈₅	N ₁₈₆	N ₁₈₇	N ₁₈₈	N ₁₈₉	N ₁₉₀	N ₁₉₁	N ₁₉₂	N ₁₉₃	N ₁₉₄	N ₁₉₅	N ₁₉₆	N ₁₉₇	N ₁₉₈	N ₁₉₉	N ₂₀₀	N ₂₀₁	N ₂₀₂	N ₂₀₃	N ₂₀₄	N ₂₀₅	N ₂₀₆	N ₂₀₇	N ₂₀₈	N ₂₀₉	N ₂₁₀	N ₂₁₁	N ₂₁₂	N ₂₁₃	N ₂₁₄	N ₂₁₅	N ₂₁₆	N ₂₁₇	N ₂₁₈	N ₂₁₉	N ₂₂₀	N ₂₂₁	N ₂₂₂	N ₂₂₃	N ₂₂₄	N ₂₂₅	N ₂₂₆	N ₂₂₇	N ₂₂₈	N ₂₂₉	N ₂₃₀	N ₂₃₁	N ₂₃₂	N ₂₃₃	N ₂₃₄	N ₂₃₅	N ₂₃₆	N ₂₃₇	N ₂₃₈	N ₂₃₉	N ₂₄₀	N ₂₄₁	N ₂₄₂	N ₂₄₃	N ₂₄₄	N ₂₄₅	N ₂₄₆	N ₂₄₇	N ₂₄₈	N ₂₄₉	N ₂₅₀	N ₂₅₁	N ₂₅₂	N ₂₅₃	N ₂₅₄	N ₂₅₅	N ₂₅₆	N ₂₅₇	N ₂₅₈	N ₂₅₉	N ₂₆₀	N ₂₆₁	N ₂₆₂	N ₂₆₃	N ₂₆₄	N ₂₆₅	N ₂₆₆	N ₂₆₇	N ₂₆₈	N ₂₆₉	N ₂₇₀	N ₂₇₁	N ₂₇₂	N ₂₇₃	N ₂₇₄	N ₂₇₅	N ₂₇₆	N ₂₇₇	N ₂₇₈	N ₂₇₉	N ₂₈₀	N ₂₈₁	N ₂₈₂	N ₂₈₃	N ₂₈₄	N ₂₈₅	N ₂₈₆	N ₂₈₇	N ₂₈₈	N ₂₈₉	N ₂₉₀	N ₂₉₁	N ₂₉₂	N ₂₉₃	N ₂₉₄	N ₂₉₅	N ₂₉₆	N ₂₉₇	N ₂₉₈	N ₂₉₉	N ₃₀₀	N ₃₀₁	N ₃₀₂	N ₃₀₃	N ₃₀₄	N ₃₀₅	N ₃₀₆	N ₃₀₇	N ₃₀₈	N ₃₀₉	N ₃₁₀	N ₃₁₁	N ₃₁₂	N ₃₁₃	N ₃₁₄	N ₃₁₅	N ₃₁₆	N ₃₁₇	N ₃₁₈	N ₃₁₉	N ₃₂₀	N ₃₂₁	N ₃₂₂	N ₃₂₃	N ₃₂₄	N ₃₂₅	N ₃₂₆	N ₃₂₇	N ₃₂₈	N ₃₂₉	N ₃₃₀	N ₃₃₁	N ₃₃₂	N ₃₃₃	N ₃₃₄	N ₃₃₅	N ₃₃₆	N ₃₃₇	N ₃₃₈	N ₃₃₉	N ₃₄₀	N ₃₄₁	N ₃₄₂	N ₃₄₃	N ₃₄₄	N ₃₄₅	N ₃₄₆	N ₃₄₇	N ₃₄₈	N ₃₄₉	N ₃₅₀	N ₃₅₁	N ₃₅₂	N ₃₅₃	N ₃₅₄	N ₃₅₅	N ₃₅₆	N ₃₅₇	N ₃₅₈	N ₃₅₉	N ₃₆₀	N ₃₆₁	N ₃₆₂	N ₃₆₃	N ₃₆₄	N ₃₆₅	N ₃₆₆	N ₃₆₇	N ₃₆₈	N ₃₆₉	N ₃₇₀	N ₃₇₁	N ₃₇₂	N ₃₇₃	N ₃₇₄	N ₃₇₅	N ₃₇₆	N ₃₇₇	N ₃₇₈	N ₃₇₉	N ₃₈₀	N ₃₈₁	N ₃₈₂	N ₃₈₃	N ₃₈₄	N ₃₈₅	N ₃₈₆	N ₃₈₇	N ₃₈₈	N ₃₈₉	N ₃₉₀	N ₃₉₁	N ₃₉₂	N ₃₉₃	N ₃₉₄	N ₃₉₅	N ₃₉₆	N ₃₉₇	N ₃₉₈	N ₃₉₉	N ₄₀₀	N ₄₀₁	N ₄₀₂	N ₄₀₃	N ₄₀₄	N ₄₀₅	N ₄₀₆	N ₄₀₇	N ₄₀₈	N ₄₀₉	N ₄₁₀	N ₄₁₁	N ₄₁₂	N ₄₁₃	N ₄₁₄	N ₄₁₅	N ₄₁₆	N ₄₁₇	N ₄₁₈	N ₄₁₉	N ₄₂₀	N ₄₂₁	N ₄₂₂	N ₄₂₃	N ₄₂₄	N ₄₂₅	N ₄₂₆	N ₄₂₇	N ₄₂₈	N ₄₂₉	N ₄₃₀	N ₄₃₁	N ₄₃₂	N ₄₃₃	N ₄₃₄	N ₄₃₅	N ₄₃₆	N ₄₃₇	N ₄₃₈	N ₄₃₉	N ₄₄₀	N ₄₄₁	N ₄₄₂	N ₄₄₃	N ₄₄₄	N ₄₄₅	N ₄₄₆	N ₄₄₇	N ₄₄₈	N ₄₄₉	N ₄₅₀	N ₄₅₁	N ₄₅₂	N ₄₅₃	N ₄₅₄	N ₄₅₅	N ₄₅₆	N ₄₅₇	N ₄₅₈	N ₄₅₉	N ₄₆₀	N ₄₆₁	N ₄₆₂	N ₄₆₃	N ₄₆₄	N ₄₆₅	N ₄₆₆	N ₄₆₇	N ₄₆₈	N ₄₆₉	N ₄₇₀	N ₄₇₁	N ₄₇₂	N ₄₇₃	N ₄₇₄	N ₄₇₅	N ₄₇₆	N ₄₇₇	N ₄₇₈	N ₄₇₉	N ₄₈₀	N ₄₈₁	N ₄₈₂	N ₄₈₃	N ₄₈₄	N ₄₈₅	N ₄₈₆	N ₄₈₇	N ₄₈₈	N ₄₈₉	N ₄₉₀	N ₄₉₁	N ₄₉₂	N ₄₉₃	N ₄₉₄	N ₄₉₅	N ₄₉₆	N ₄₉₇	N ₄₉₈	N ₄₉₉	N ₅₀₀	N ₅₀₁	N ₅₀₂	N ₅₀₃	N ₅₀₄	N ₅₀₅	N ₅₀₆	N ₅₀₇	N ₅₀₈	N ₅₀₉	N ₅₁₀	N ₅₁₁	N ₅₁₂	N ₅₁₃	N ₅₁₄	N ₅₁₅	N ₅₁₆	N ₅₁₇	N ₅₁₈	N ₅₁₉	N ₅₂₀	N ₅₂₁	N ₅₂₂	N ₅₂₃	N ₅₂₄	N ₅₂₅	N ₅₂₆	N ₅₂₇	N ₅₂₈	N ₅₂₉	N ₅₃₀	N ₅₃₁	N ₅₃₂	N ₅₃₃	N ₅₃₄	N ₅₃₅	N ₅₃₆	N ₅₃₇	N ₅₃₈	N ₅₃₉	N ₅₄₀	N ₅₄₁	N ₅₄₂	N ₅₄₃	N ₅₄₄	N ₅₄₅	N ₅₄₆	N ₅₄₇	N ₅₄₈	N ₅₄₉	N ₅₅₀	N ₅₅₁	N ₅₅₂	N ₅₅₃	N ₅₅₄	N ₅₅₅	N ₅₅₆	N ₅₅₇	N ₅₅₈	N ₅₅₉	N ₅₆₀	N ₅₆₁	N ₅₆₂	N ₅₆₃	N ₅₆₄	N ₅₆₅	N ₅₆₆	N ₅₆₇	N ₅₆₈	N ₅₆₉	N ₅₇₀	N ₅₇₁	N ₅₇₂	N ₅₇₃	N ₅₇₄	N ₅₇₅	N ₅₇₆	N ₅₇₇	N ₅₇₈	N ₅₇₉	N ₅₈₀	N ₅₈₁	N ₅₈₂	N ₅₈₃	N ₅₈₄	N ₅₈₅	N ₅₈₆	N ₅₈₇	N ₅₈₈	N ₅₈₉	N ₅₉₀	N ₅₉₁	N ₅₉₂	N ₅₉₃	N ₅₉₄	N ₅₉₅	N ₅₉₆	N ₅₉₇	N ₅₉₈	N ₅₉₉	N ₆₀₀	N ₆₀₁	N ₆₀₂	N ₆₀₃	N ₆₀₄	N ₆₀₅	N ₆₀₆	N ₆₀₇	N ₆₀₈	N ₆₀₉	N ₆₁₀	N ₆₁₁	N ₆₁₂	N ₆₁₃	N ₆₁₄	N ₆₁₅	N ₆₁₆	N ₆₁₇	N ₆₁₈	N ₆₁₉	N ₆₂₀	N ₆₂₁	N ₆₂₂	N ₆₂₃	N ₆₂₄	N ₆₂₅	N ₆₂₆	N ₆₂₇	N ₆₂₈	N ₆₂₉	N ₆₃₀	N ₆₃₁	N ₆₃₂	N ₆₃₃	N ₆₃₄	N ₆₃₅	N ₆₃₆	N ₆₃₇	N ₆₃₈	N ₆₃₉	N ₆₄₀	N ₆₄₁	N ₆₄₂	N ₆₄₃	N ₆₄₄	N ₆₄₅	N ₆₄₆	N ₆₄₇	N ₆₄₈	N ₆₄₉	N ₆₅₀	N ₆₅₁	N ₆₅₂	N ₆₅₃	N ₆₅₄	N ₆₅₅	N ₆₅₆	N ₆₅₇	N ₆₅₈	N ₆₅₉	N ₆₆₀	N ₆₆₁	N ₆₆₂	N ₆₆₃	N ₆₆₄	N ₆₆₅	N ₆₆₆	N ₆₆₇	N ₆₆₈	N ₆₆₉	N ₆₇₀	N ₆₇₁	N ₆₇₂	N ₆₇₃	N ₆₇₄	N ₆₇₅	N ₆₇₆	N ₆₇₇	N ₆₇₈	N ₆₇₉	N ₆₈₀	N ₆₈₁	N ₆₈₂	N ₆₈₃	N ₆₈₄	N ₆₈₅	N ₆₈₆	N ₆₈₇	N<
-------	---	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	----

Figura 24: Tabela de verificação de esforços da plataforma suspensa

Barra	VERIFICAÇÕES (ABNT NBR 8800:2008)											Estado
	λ	N_c	N_t	M_x	M_y	V_x	NM_x	T	MPVT	σ_{rf}		
N2/N78	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	$x: 0.5 m$ $\eta = 16.5$	$x: 0 m$ $\eta = 7.1$	$\eta = 0.3$	$x: 0 m$ $\eta = 0.9$	$x: 0 m$ $\eta = 19.3$	$\eta = 2.5$	N.P.(3)	$x: 0.5 m$ $\eta = 24.7$	VERIFICA $\eta = 2.3$
N78/N1	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 18.9$	$x: 0.5 m$ $\eta = 3.7$	$\eta = 0.2$	$x: 0.5 m$ $\eta = 1.0$	$x: 0 m$ $\eta = 20.7$	$\eta = 1.1$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 30.8$	VERIFICA $\eta = 30.8$
N53/N8	N.P.(1)	N.P.(4)	N.P.(2)	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(4)	$x: 0.1 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N8/N14	N.P.(1)	N.P.(4)	N.P.(2)	$x: 0.8 m$ $\eta = 1.1$	$x: 0.8 m$ $\eta = 1.0$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.1$	$x: 0.8 m$ $\eta = 2.1$	$\eta = 0.1$	N.P.(3)	$x: 0.8 m$ $\eta = 2.2$	VERIFICA $\eta = 2.2$
N14/N54	N.P.(1)	N.P.(4)	N.P.(2)	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(5)	$x: 0 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N5/N88	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	$x: 0.1 m$ $\eta = 9.8$	$x: 0 m$ $\eta = 3.4$	$\eta = 0.3$	$x: 0 m$ $\eta = 0.5$	$x: 0.1 m$ $\eta = 11.4$	$\eta = 61.1$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 61.7$	VERIFICA $\eta = 61.7$
N88/N87	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	$x: 0 m$ $\eta = 9.6$	$x: 0 m$ $\eta = 4.7$	$\eta = 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.3$	$x: 0 m$ $\eta = 14.3$	$\eta = 0.9$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 15.2$	VERIFICA $\eta = 15.2$
N87/N24	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 9.0$	$x: 0 m$ $\eta = 2.5$	$\eta = 0.2$	$x: 0.1 m$ $\eta = 0.9$	$x: 0 m$ $\eta = 11.5$	$\eta = 71.6$	N.P.(3)	$x: 0.1 m$ $\eta = 72.5$	VERIFICA $\eta = 72.5$
N3/N90	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 7.4$	$x: 0 m$ $\eta = 4.4$	$\eta < 0.1$	$x: 0.1 m$ $\eta = 1.2$	$x: 0 m$ $\eta = 11.9$	$\eta = 18.3$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 21.4$	VERIFICA $\eta = 21.4$
N90/N90	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 6.4$	$x: 0 m$ $\eta = 4.3$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.2$	$x: 0 m$ $\eta = 10.7$	$\eta = 0.3$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 14.0$	VERIFICA $\eta = 14.0$
N89/N22	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0.1 m$ $\eta = 4.9$	$x: 0 m$ $\eta = 4.1$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.2$	$x: 0.1 m$ $\eta = 9.0$	$\eta = 19.2$	N.P.(3)	$x: 0.1 m$ $\eta = 20.0$	VERIFICA $\eta = 20.0$
N9/N13	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 4.6$	$x: 0 m$ $\eta = 2.5$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.0$	$x: 0 m$ $\eta = 7.2$	$\eta = 81.2$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 82.2$	VERIFICA $\eta = 82.2$
N13/N19	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	$x: 0.8 m$ $\eta = 1.2$	$x: 0 m$ $\eta = 0.8$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.7$	$\eta = 0.1$	N.P.(3)	$x: 0.8 m$ $\eta = 1.8$	VERIFICA $\eta = 1.8$
N19/N23	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 5.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.9$	$\eta < 0.1$	$x: 0.1 m$ $\eta = 1.0$	$x: 0 m$ $\eta = 7.0$	$\eta = 83.4$	N.P.(3)	$x: 0.1 m$ $\eta = 84.5$	VERIFICA $\eta = 84.5$
N55/N56	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(4)	$x: 0 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N57/N58	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(4)	$x: 0 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N59/N60	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(4)	$x: 0 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N61/N62	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(4)	$x: 0 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N63/N64	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(4)	$x: 0 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N65/N66	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(4)	$x: 0 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N67/N68	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(4)	$x: 0 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N69/N70	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	N.P.(5)	N.P.(5)	N.P.(4)	$x: 0 m$ $\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta < 0.1$
N76/N77	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 4.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.3$	$\eta < 0.1$	$x: 0.45 m$ $\eta = 0.4$	$x: 0 m$ $\eta = 5.4$	$\eta = 2.7$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 6.3$	VERIFICA $\eta = 6.3$
N77/N75	N.P.(1)	N.P.(4)	N.P.(2)	$x: 0 m$ $\eta = 0.3$	N.P.(5)	N.P.(6)	$\eta < 0.1$	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	VERIFICA $\eta = 0.3$
N78/N77	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 17.9$	$x: 1.51 m$ $\eta = 5.4$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.2$	$x: 1.51 m$ $\eta = 24.4$	$\eta = 1.3$	N.P.(3)	$x: 1.51 m$ $\eta = 59.2$	VERIFICA $\eta = 59.2$
N80/N12	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0.2 m$ $\eta = 1.4$	$x: 0.2 m$ $\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$x: 0.2 m$ $\eta = 0.2$	$x: 0.2 m$ $\eta = 1.9$	$\eta = 28.5$	N.P.(3)	$x: 0.2 m$ $\eta = 28.7$	VERIFICA $\eta = 28.7$
N12/N18	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 4.8$	$x: 0 m$ $\eta = 0.9$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.6$	$x: 0 m$ $\eta = 5.0$	$\eta = 0.2$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 8.9$	VERIFICA $\eta = 8.9$
N18/N79	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 2.0$	$x: 0.2 m$ $\eta = 0.6$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.3$	$x: 0 m$ $\eta = 2.6$	$\eta = 28.5$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 28.9$	VERIFICA $\eta = 28.9$
N81/N7	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0.1 m$ $\eta = 1.9$	$x: 0.1 m$ $\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	$x: 0.1 m$ $\eta = 0.3$	$x: 0.1 m$ $\eta = 2.4$	$\eta = 22.2$	N.P.(3)	$x: 0.1 m$ $\eta = 22.5$	VERIFICA $\eta = 22.5$
N7/N21	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 7.3$	$x: 1 m$ $\eta = 1.2$	$\eta < 0.1$	$x: 1 m$ $\eta = 0.8$	$x: 1 m$ $\eta = 8.1$	$\eta = 0.4$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 15.3$	VERIFICA $\eta = 15.3$
N21/N82	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 2.6$	$x: 0.1 m$ $\eta = 0.9$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.5$	$x: 0 m$ $\eta = 3.5$	$\eta = 18.8$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 19.3$	VERIFICA $\eta = 19.3$
N4/N10	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 4.4$	$x: 0 m$ $\eta = 0.5$	$\eta < 0.1$	$x: 0.1 m$ $\eta = 1.2$	$x: 0 m$ $\eta = 4.9$	$\eta = 87.7$	N.P.(3)	$x: 0.1 m$ $\eta = 88.8$	VERIFICA $\eta = 88.8$
N10/N16	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	$x: 0.8 m$ $\eta = 0.8$	$x: 0 m$ $\eta = 1.5$	$\eta < 0.1$	$x: 0.8 m$ $\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.9$	$\eta = 0.2$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 2.2$	VERIFICA $\eta = 2.2$
N16/N20	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 6.2$	$x: 0.1 m$ $\eta = 1.0$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.4$	$x: 0 m$ $\eta = 7.0$	$\eta = 93.1$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 94.5$	VERIFICA $\eta = 94.5$
N04/N11	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 6.2$	$x: 0.1 m$ $\eta = 0.2$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.4$	$x: 0 m$ $\eta = 6.3$	$\eta = 13.1$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 15.0$	VERIFICA $\eta = 15.0$
N11/N17	N.P.(1)	$\eta < 0.1$	N.P.(2)	$x: 0.8 m$ $\eta = 0.9$	$x: 1.2 m$ $\eta = 1.1$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.7$	$\eta = 0.2$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 1.9$	VERIFICA $\eta = 1.9$
N17/N83	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 7.3$	$x: 0.1 m$ $\eta = 1.1$	$\eta < 0.1$	$x: 0.1 m$ $\eta = 1.6$	$x: 0 m$ $\eta = 8.4$	$\eta = 7.4$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 12.3$	VERIFICA $\eta = 12.3$
N86/N9	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0.2 m$ $\eta = 1.4$	$x: 0.2 m$ $\eta = 0.4$	$\eta < 0.1$	$x: 0.2 m$ $\eta = 0.2$	$x: 0.2 m$ $\eta = 1.9$	$\eta = 28.5$	N.P.(3)	$x: 0.2 m$ $\eta = 28.7$	VERIFICA $\eta = 28.7$
N9/N15	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 3.1$	$x: 0.8 m$ $\eta = 0.7$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 3.6$	$\eta = 0.1$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 5.9$	VERIFICA $\eta = 5.9$
N15/N85	$\lambda \leq 200.0$	N.P.(4)	$\eta < 0.1$	$x: 0.1 m$ $\eta = 6.1$	$x: 0.1 m$ $\eta = 3.4$	$\eta < 0.1$	$x: 0 m$ $\eta = 1.7$	$x: 0.1 m$ $\eta = 5.7$	$\eta = 2.7$	N.P.(3)	$x: 0 m$ $\eta = 6.3$	VERIFICA $\eta = 6.3$

Fonte: O autor

Com todos os elementos da tesoura definidos obtém-se o valor real de seu peso estrutural, sendo de 640 kg.

Como para o cálculo do acionador utilizou como peso estrutural da tesoura 675,33 kg, não foi necessário realizar um recálculo para o acionador.

Assim a estrutura da plataforma elevatória ficará da seguinte forma:

Figura 25: Estrutura de elevação da plataforma elevatória



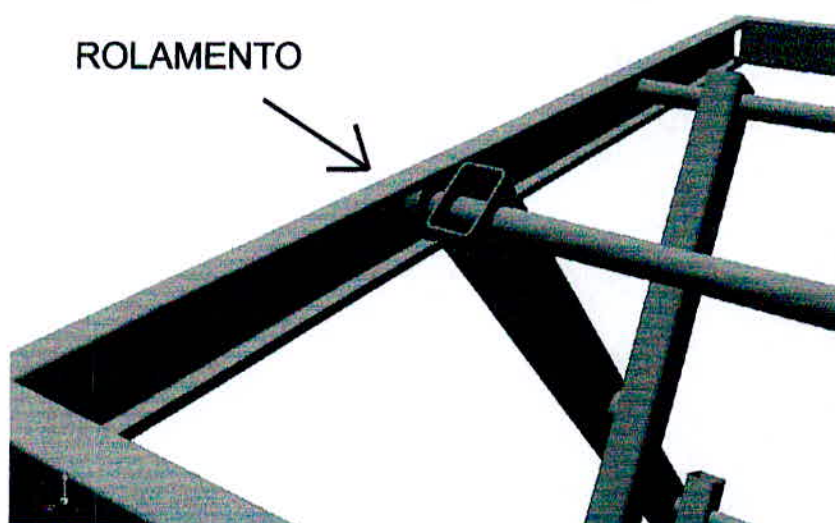
Fonte: O autor

4.3.1 Apoio da tesoura

Para que a tesoura possa efetuar sua suspensão e recolhimento sem que se tenha uma grande quantidade de atrito entre os braços e as bases superiores e inferiores da plataforma, será utilizado um rolamento nas extremidades dos braços, onde são encontrados os apoios.

A disposição desse rolamento se demonstra na figura a seguir:

Figura 26: Disposição do rolamento na estrutura



Fonte: O autor

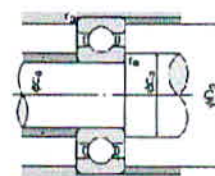
Esses rolamentos estarão presos em barras de 2" como foi estabelecido anteriormente e a viga onde será acoplado tem uma dimensão de $h = 93,16$ mm e $l = 43,16$. A carga máxima a que esse rolamento estará sujeito será de 4145,45 N para os braços superiores como foi demonstrado na figura 9 e de 4687 N para os braços inferiores, conhecidos na verificação de esforços anterior.

Assim o rolamento escolhido será o rolamento fixo de esferas 6310ZE, apresentado na imagem abaixo:

Figura 27: Tabela de rolamentos

Dimensões principais (mm)				Identificação do rolamento							
d	D	B	r (mín.)	Identificação do rolamento							
				Aberto	Bilindado		Vedação com contato		Vedação sem contato		
50	65	7	0,3	6810	6010ZE	6010ZZE	6010NSE	6010-2NSE	6010NKE	6010-2NKE	
	72	12	0,8	6910	6910ZE	6910ZZE	6910NSE	6910-2NSE	6910NKE	6910-2NKE	
	80	10	0,6	18010	—	—	—	—	—	—	
	80	16	1	6010	6010ZE	6010ZZE	6010NSE	6010-2NSE	6010NKE	6010-2NKE	
	90	20	1,1	6210	6210ZE	6210ZZE	6210NSE	6210-2NSE	6210NKE	6210-2NKE	
	110	27	2	6310	6310ZE	6310ZZE	6310NSE	6310-2NSE	6310NKE	6310-2NKE	

Capacidade de carga dinâmica Cr (N)	Capacidade de carga estática Cor (N)	Fator fs	Limite de Rotação (min ⁻¹)			Dimensões internas do rol (mm)			Massa (kg)	Rolamento
			Lubrificação com graxa desde 10.000 até 2000	NSE, 2NSE	Aberto, ZE	da (mín.)	Ds (máx.)	rs (máx.)		
6100	6800	13,1	1000	5300	12000	52	63	0,3	0,052	6810
14500	11700	13,1	950	5300	11000	54	66	0,6	0,125	6910
16100	13100	13,1	850	—	10000	57	71	0,6	0,180	18010
21800	16800	13,6	850	5000	10000	55	75	1,0	0,264	6010
35000	23200	14,4	710	4800	8500	57	80	1,0	0,463	6210
62000	38000	13,1	640	4300	7500	60	100	2,0	1,07	6310



Fonte: (Nachi)

5 RESULTADO

Com o dimensionamento da parte estrutural e de acionamento da plataforma elevatória concluídos, segue abaixo os devidos materiais necessários para a sua confecção, todos compostos de aço estrutural A-36. Sendo também necessária a posterior criação de desenhos técnicos para a montagem de seus dispositivos.

Materiais:

- 1 Chapa Xadrez de 1/8" x 1200 x 2000 mm
- Barra redonda maciça de $\varnothing 2'' \times 10342$ mm
- Barra redonda maciça de $\varnothing 3'' \times 800$ mm
- Barra redonda maciça de $\varnothing 4'' \times 800$ mm
- Metalon (#120 x 80 x 5,3) x 22432 mm
- Metalon (#10 x 10 x 1,5) x 16000 mm

- Perfil U Enrijecido (CR 100x50) x 6400 mm
- 4 Rolamentos (6310ZE)
- 1 Cilindro (CDHI MP5 80 45 600)

6 CONCLUSÃO

Através do desenvolvimento desse estudo, pode ser dimensionada uma estrutura de trabalho auto-elevatória do tipo tesoura capaz de erguer e suportar uma carga de 400 kg, necessária para a prestação de serviços da empresa VB Estruturas, e que se enquadra e atende a todas as normas regulamentadoras e de segurança vigentes referentes a essa estrutura.

Sendo necessário posteriormente, para a conclusão e fabricação da mesma, o dimensionamento do sistema hidráulico e elétrico necessários para o completo funcionamento da estrutura dimensionada, além da base de sustentação da mesma.

A utilização de uma plataforma de trabalho aéreo é uma evolução para a empresa, por se tratar de uma inovação com fins de aumento de produção e de diminuição do risco de acidentes.

A plataforma elevatória tipo tesoura é capaz de erguer uma enorme quantidade de carga a alturas elevadas, e apesar de ter uma aparência robusta necessita de uma pequena quantidade de esforço para seu içamento, devido ao sistema tipo tesoura. E apesar de ser um projeto elaborado, sua confecção é extremamente simples, e não necessita de um entendimento muito aprofundado do assunto para realizá-la.

REFERÊNCIAS

NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios: ABNT, 2008, set.

JULIANO, Victor N. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos Para Automação E Controle – Parte 1 Princípios Gerais da Hidráulica e Pneumática.** Florianópolis: Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos/UFSC, 2001. Disponível em: < <http://www.laship.ufsc.br/PDF/ApostilaPDF/SistHPContAutP1.pdf> >. Acesso em 30 de agosto de 2012.

NR 18, **Anexo IV – Plataformas De Trabalho Aéreo** (Alterado pela Portaria SIT n.º 40, de 7 de março de 2008)

ROBERTO, Jonathan Lucchini. **Processos de Fabricação e Montagem de Estruturas Metálicas na Construção Civil.** São Paulo: Eng. Civil/Universidade Anhembi Morumbi, (Trabalho de Conclusão de Curso), 2009

SCHWAAB, Marcio; PINTO, José Carlos. **Análise de Dados Experimentais I - Fundamentos de Estatística e Estimação de Parâmetros.** Editora E-Papers, 2007.

SPACKMAN, H. M. **Mathematical Analysis of Scissor Lifts.** California: Naval Ocean Systems Center, 1989

SPACKMAN, H. M. **Mathematical Analysis of Actuator Forces in a Scissor Lift.** Califórnia: Naval Ocean Systems Center, 1989

SENAI. **Auto CAD 2004:** Varginha, 2010.

SENAI. **Desenho Técnico.** Varginha, 2008.

SENAI. **Manutenção Industrial:** Varginha, 2008.

SENAI. **Sistemas de Tolerâncias e Ajustes:** Varginha, 2008.