

LUCCA MERIZIO CINQUAROLLI

Projeto mecânico de uma máquina de fabricação de velas de metro

Lucca Merizio Cinquarolli

Projeto mecânico de uma máquina de fabricação de velas de metro

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini

C575p	Cinquarolli, Lucca Merizio Projeto mecânico de uma máquina de fabricação de velas de metro / Lucca Merizio Cinquarolli – Guaratinguetá, 2018. 48 f : il. Bibliografia: f. 48 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018. Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini 1. Projetos de engenharia. 2. Máquinas – Indústria. 3. Análise estrutural (Engenharia). I. Título. CDU 62.001.63
-------	---

Luciana Máximo

Bibliotecária CRB-8/3595

LUCCA MERIZIO CINQUAROLLI

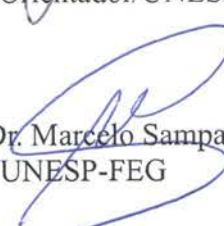
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. José Elias Tomazini
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
UNESP-FEG


Prof. Dr. João Zangrandi Filho
Membro Externo

Dezembro de 2018

Em especial, a equipe do projeto que resultou esse trabalho de conclusão de curso, que se dedicou tanto quanto eu para essa causa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, meus pais, que me incentivaram e me apoiaram todos esses anos que estive na faculdade.

Agradeço a minha equipe de projeto, pois sem eles, nada disso seria possível.

A Empresa Sacrum pela confiança na Jr. Eng.

A Jr. Eng. pela oportunidade de coordenar esse projeto que envolvem muitas das áreas apresentadas no decorrer do curso.

Ao meu orientador José Elias Tomazini pelo apoio durante todo o trabalho de conclusão de curso.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que colaboraram nessa etapa tão importante da minha vida.

“Escreva algo que valha a pena ler ou faça algo que valha a pena escrever.”

Benjamin Franklin

RESUMO

O mercado de velas é bastante pulverizado e competitivo, fazendo com que as empresas desse nicho busquem sempre otimizar seus processos, reduzir custos de matéria-prima e/ou mão de obra e aumentar a capacidade produtiva de suas fábricas. Para isso, em algumas situações, é necessário adquirir novos equipamentos, uma vez que o maquinário atual esteja obsoleto. Nesta linha, a presente tese tem como objetivo apresentar uma visão ampla do processo de desenvolvimento de uma máquina de fabricação de velas de metro com capacidade produtiva no mínimo duas vezes maior que a máquina atual do solicitante do projeto. Para desenvolvimento do projeto foi utilizado a metodologia ágil Scrum, por se tratar de um projeto complexo. Para modelagem do equipamento foi utilizado o *software SolidWorks* e para dimensionamento dos componentes mecânicos e estruturais, foi utilizado, o *software Ansys* de análises estruturais por elementos finitos. O trabalho foi dividido em grupos funcionais e desenvolvido de forma incremental, ou seja, as funcionalidades da máquina foram sendo incrementadas uma a uma. Por fim, oportunidades de melhoria foram pontuadas e serão incrementadas ao equipamento no futuro. Todas as decisões foram tomadas em conjunto com o solicitante do projeto que fabricará a máquina por conta própria.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento de máquina. Projeto mecânico. Modelagem 3D. Análise estrutural. Projeto de máquina.

ABSTRACT

The candle market is very diversified and competitive, so that companies in this niche always seek to optimize their processes, reduce raw material costs, labor and increase the productive capacity of their factories. For this, in some situations, it is necessary to acquire new equipments, once the current machinery is obsolete. On this thought, the present thesis aims to present a broad view of the development process of a metric candles making a machine with productive capacity at least twice as large as the current machine. For the development of the project, the agile Scrum methodology was used, considering the complexity of the project. For the modeling of the equipment was used the software SolidWorks and for dimensioning of the mechanical and structural components, was used, Ansys software of structural analyzes by finite elements. The work was divided into functional groups and developed in an incremental way, that is, the functionalities of the machine were being increased one by one. Finally, improvement opportunities have been scored and will be increased in the future. All decisions were taken in conjunction with the client who will build the machine on its own.

KEY WORDS: Machine development. Mechanical project. 3D modeling. Structural analysis. Machine design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Máquina atual de fabricação de velas de metro	18
Figura 2 – Exemplo de Quadro Kanban	20
Figura 3 – Fluxo da metodologia <i>Scrum</i>	21
Figura 4 – Conceito inicial da nova máquina	23
Figura 5 – Gaiola com fixação das velas nas duas extremidades	23
Figura 6 – Sistema de rotação	24
Figura 7 – Pista para as gaiolas se movimentarem internamente.	25
Figura 8 – Estrutura para a pista	25
Figura 9 – Análise da estrutura	26
Figura 10 – Pás para rotação das gaiolas	27
Figura 11 – Análise das tensões do cilindro das pás	28
Figura 12 – Gráfico de Momento de tombamento x Carga axial equivalente	29
Figura 13 – Dimensões da mesa giratória escolhida	29
Figura 14 – Sistema de transmissão por engrenagem	30
Figura 15 – Plataforma	30
Figura 16 – Análise dos esforços da mesa	31
Figura 17 – Conjunto de fixação superior do cilindro das pás	32
Figura 18 – Sistema de Imersão	32
Figura 19 – Tabela 1 da NBR 8400 - Classes de utilização	33
Figura 20 – Tabela 2 da NBR 8400 - Estados da carga	33
Figura 21 – Tabela 4 da NBR 8400 - Classificação da estrutura dos equipamentos (ou elementos da estrutura) em grupos	34
Figura 22 – Tabela 20 da NBR 8400 - Classe de funcionamento	34
Figura 23 – Tabela 21 da NBR 8400 - Estado de solicitação dos mecanismos	35
Figura 24 – Tabela 23 da NBR 8400 - Grupos dos mecanismos	35
Figura 25 – Tabela 27 da NBR 8400 - Valores mínimos de Q	35
Figura 26 – Tabela 5 da NBR - Valores do coeficiente dinâmico	36
Figura 27 – Coeficiente de segurança do cabo de aço	37
Figura 28 – Seleção do cabo de aço 6x25F	38
Figura 29 – Análise de tensão da viga de imersão	38
Figura 30 – Gaiola para fixação dos pavios nas duas extremidades	39
Figura 31 – Desenho de comparação da gaiola com o tanque	41
Figura 32 – Resistência Tubular de imersão	42
Figura 33 – Esquema de abastecimento do tanque	43
Figura 34 – Algoritmo do abastecimento do tanque	43
Figura 35 – Diâmetro de saída da válvula solenoide	44
Figura 36 – Máquina Completa	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esforços aplicados na estrutura	26
Tabela 2 – Massas dos componentes suportados pela mesa	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas

LISTA DE SÍMBOLOS

CRM	Carga máxima de ruptura
d_c	Diâmetro externo mínimo
f_a	Fator de aplicação
F_{ax}	Força axial
F_{radD}	Carga radial equivalente
F_{rad}	Força radial horizontal
F	Força na pá
FS	Fator de segurança
L	Comprimento da pá
M_c	Momento no cilindro
M_{kD}	Momento de tombamento equivalente
M_k	Momento de tombamento
M_r	Momento resultante
μ	Coefficiente de atrito
n_{cabos}	Rendimento dos cabos
n_{man}	Rendimento do mancal
n_{polias}	Rendimento das polias
n_{rend}	Rendimento das polias e mancal
n	Número de pás
P_g	Peso da gaiola
ψ	Coefficiente dinâmico
P	Força peso
P_{tv}	Peso das velas
Q	Fator de dimensionamento
r_t	Raio do tambor

S_l	Carga de içamento
T_q	Torque necessário
T	Esforço máximo de tração

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO	16
2.1	HISTÓRIA DA VELA	16
2.2	MERCADO DE VELAS	16
2.3	SACRARIUM INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE VELAS E HÓSTIAS . . .	17
2.4	VELA DE METRO	17
2.5	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE VELAS DE METRO	17
3	METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO	19
3.1	EQUIPE DO PROJETO	19
3.2	FERRAMENTAS	19
3.3	ESTÓRIAS DO CLIENTE	21
3.4	IDÉIA INICIAL	22
4	RESULTADOS	24
4.1	SISTEMA DE ROTAÇÃO	24
4.1.1	Pista	24
4.1.2	Estrutura	25
4.1.3	Pás de rotação	26
4.1.4	Mesa giratória	28
4.1.5	Motorreductor do sistema de rotação	29
4.1.6	Conjunto de fixação superior do cilindro das pás	31
4.2	SISTEMA DE IMERSÃO	32
4.2.1	Cabo de aço	32
4.2.2	Viga de imersão	38
4.2.3	Motor de imersão	39
4.3	GAIOLA	39
4.4	TANQUE DE CERA	40
4.4.1	Forma	40
4.4.2	Método de aquecimento	41
4.4.3	Isolamento térmico	42
4.4.4	Abastecimento do tanque	42
4.5	CORTE DAS VELAS	44
4.6	PROGRAMAÇÃO	44
5	DISCUSSÕES	46
5.1	PRÓXIMOS PASSOS	46

5.1.1	Fixação dos pavios na gaiola	46
5.1.2	Resfriamento das velas	47
5.1.3	Segurança	47
5.1.4	Manutenção	47
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto de máquina que aumente a capacidade de produção de velas de metro em pelo menos 200%, garantindo a qualidade do produto.

Através do auxílio da Jr. Eng., empresa júnior de consultoria em engenharia, a Sacrum busca se tornar cada vez mais competitiva por meio de estudos de *layout*, desenvolvimento de dispositivos para otimizar a produção e/ou melhorar a ergonomia dos funcionários, etc.

Seguindo essa linha, evidenciou-se a oportunidade de desenvolvimento de um projeto de uma máquina de fabricação de velas de metro para que a mesma atendesse a demanda desse tipo de vela nas épocas de alta, diminuísse o tempo de atividades sem valor agregado e reduzisse o trabalho dos operadores baseado na máquina de fabricação de velas de metro atual.

Mesmo com duas placas, o tempo de trabalho sem valor agregado é muito grande. Além disso, os barbantes são presos somente na parte superior, então quando os pavios saem do tanque, é necessário desembaraça-los manualmente. O programa desenvolvido para tornar automático os ciclos de subida e descida das placas não é mais aplicável a realidade, forçando a máquina a operar no modo manual e por fim, no período de alta, é necessário operar em três turnos para acompanhar a demanda desse tipo de vela.

2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 HISTÓRIA DA VELA

A busca pela melhoria contínua da qualidade de vida sempre esteve presente na humanidade e uma dessas formas é o prolongamento da iluminação. Durante o dia, a iluminação é proveniente da luz solar (com exceção de ambientes internos, onde os raios de sol não conseguem entrar), porém depois do pôr do sol, existe a necessidade de utilizar outras fontes de iluminação. Um grande avanço nessa vertente foi a descoberta do fogo e a partir disso, outras formas de iluminação artificial foram sendo criadas.

Segundo a Associação Brasileira de Fabricantes de Velas (2018), a história da vela começou por volta de 50.000 a.C., onde eram utilizados pratos ou cubas com gorda animal realizando a função da parafina, enquanto fibras vegetais funcionavam como pavio. Uma diferença entre essa forma e a vela atual é que a gordura animal ficava em estado líquido, enquanto a parafina em estado sólido.

Outras descobertas foram feitas no Egito e na Grécia, bastões para iluminação artificial eram utilizados em 3.000 a.C., o que pode ter influenciado o formato da vela atual.

Já na Idade média, a demanda por velas cresceu, principalmente em salões, monastérios e igrejas. Esse tipo de iluminação artificial era utilizado basicamente em ambientes fechados, porém, as velas produziam um odor desagradável por ter como principal matéria-prima a gordura animal (sebo). A parafina na qual utilizamos com o matéria-prima nas velas atuais, só surgiu em 1854. Outra matéria-prima para substituição do sebo, é a cera da colmeia de abelhas, no entanto, era insuficiente para toda a demanda da época.

A forma tradicional da vela consiste em um cilindro sólido de parafina tendo um pavio envolvido pelo material combustível que em contato com o fogo se torna liquefeito e absorvido pela combustão.

Atualmente a vela é composta principalmente por parafina, porém ainda existem uma pequena produção com matéria-prima de cera da colmeia de abelhas, geralmente utilizada para velas artesanais.

Mesmo com o desenvolvimento de outras fontes de iluminação artificial, as velas ainda ocupam um lugar de destaque junto à sociedade, seja para fins religiosos, bolos de aniversário, casamento ou outras comemorações ou mesmo para dar um ar de nostalgia para o ambiente.

2.2 MERCADO DE VELAS

A vela é um produto que, com o passar do tempo, vem somando diferentes formas de utilização. Como são produtos de consumo contínuo, uma vez que se acabam na medida em que são utilizadas, a produção de velas é reconhecida como uma oportunidade de negócio para os

empreendedores.

É progressiva a demanda por velas decorativas e votivas e as velas simples têm demanda constante com picos de venda em determinados momentos do ano.

O SEBRAE (2018) aponta que a concorrência no mercado de fabricantes de velas é muito expressiva. Por isso, é importante que o empreendedor avalie o campo de produção em que irá trabalhar, com a produção de velas simples e/ou de velas diferenciadas.

Entende-se como velas simples as velas lisas, em diferentes tamanhos. E como velas diferenciadas considera-se as velas que buscam atender um segmento mais específico de mercado como velas votivas, velas aromáticas, velas decorativas, velas coloridas, velas exotéricas, entre outras.

Outra variação do tipo de velas é aquela feita de reciclada, ou seja, além de atender a necessidade dos clientes, reduzir a demanda de parafina, matéria-prima advinda do petróleo.

2.3 SACRARIUM INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE VELAS E HÓSTIAS

A Sacarium foi fundada em setembro de 2003 na cidade de Aparecida-SP e, com muito trabalho, a partir de grande investimento, compromisso, qualidade e reconhecimento, a indústria se expandiu e atualmente localiza-se na cidade de Roseira-SP.

Inovadora, a Sacarium busca conquistar novos mercados e novas ideias. Para isso, conta com uma grande amplitude de clientes e ótimas relações comerciais o que propicia a excelência no atendimento. A busca por parcerias sólidas e duradouras com corporações brasileiras é contínua e já conta com importantes parceiros como o Santuário Nacional de Aparecida, a Rede Condor Supermercados e Hipermercados, a Rede Simpatia, além de outros também importantes em diversas regiões do Brasil.

2.4 VELA DE METRO

Vela de metro ou de altura, é simples, cilíndrica, feito de cera reciclada e que varia de quarenta centímetros até dois metros de altura.

Existe um costume de acender uma vela do tamanho da pessoa que gostaria de pedir a graça, isso explica a variação no tamanho desse tipo de vela.

2.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE VELAS DE METRO

O processo de fabricação de velas de metro na Sacarium é realizado por três operadores e uma máquina.

Resumidamente, o processo consiste em imergir o pavio, feito de barbante, em um tanque com cera reciclada em estado líquido a 60 °C, emergi-lo e resfria-lo. Deve ser repetido esse ciclo

até que a vela atinja a espessura desejada, geralmente entre oito a dez ciclos de quatro minutos e meio, em média.

Na máquina atual, mostrada na Figura 1, os pavios são cortados com o dobro do tamanho desejado da vela e pendurados pelo ponto médio nos ganchos localizados na placa da máquina. A capacidade por placa é de trezentas velas, depois disso essa placa é alinhada com o tanque que está posicionado no nível abaixo ao solo e então iniciam-se os ciclos, sendo 10 segundos para imersão, 40 segundos de permanência no tanque de cera, 10 segundos de emersão e 3 minutos e 30 segundos de resfriamento. Para auxiliar no resfriamento, um ventilador de chão é utilizado.

Figura 1 – Máquina atual de fabricação de velas de metro



Fonte: Próprio Autor

Posteriormente, quando as velas já atingiram a espessura desejada, a placa é movida para a lateral e enquanto outras trezentas velas são fabricadas, essas que já estão secas, têm a base cortada manualmente por uma tesoura com auxílio de um gabarito e finalmente são etiquetadas e estocadas.

3 METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO

A metodologia escolhida para esse projeto de desenvolvimento de uma máquina de fabricação de velas de metro foi o *Scrum*, por ser um *framework* simples para gerenciamento de projetos complexos.

3.1 EQUIPE DO PROJETO

Segundo o site MindMaster (2014), a equipe do projeto é dividida da seguinte forma:

Product Owner: Líder do projeto e responsável por definir os recursos e finalidades assim como suas prioridades. O *Product Owner* deve ser capaz de manter uma boa comunicação com o *Scrum Master* e o *Time Scrum*

Scrum Master: Especialista na metodologia Scrum, ele deve orientar o *Product Owner* e o *Time Scrum* envolvendo todos nos princípios e valores dessa metodologia. O *Scrum Master* também tem o papel de facilitador, ele deve resolver problemas e propor melhorias para a melhor utilização do *Scrum* e resolver eventuais problemas protegendo a equipe de interferências externas.

Time Scrum: Equipe multidisciplinar de desenvolvimento é responsável pela concepção, construção e teste do produto ou projeto em questão. O time deve ser auto gerenciável para garantir o cumprimento das funcionalidades definidas pelo *Product Owner*

3.2 FERRAMENTAS

As Ferramentas da metodologia estão descritas abaixo e foram realizadas com base dos conhecimentos apresentados no site do MindMaster (2014) .

Estórias: Descrição simples e curta da necessidade do cliente contada geralmente da perspectiva do cliente contendo a resposta para três perguntas, para quem, o que e porquê. É comum escrever as estórias dos clientes em *papel adesivo* para realizar o acompanhamento por *Kanban*.

Exemplo de estória: **SENDO** um vendedor eu **QUERO** consultar os meus clientes pelo CNPJ **PARA** conseguir negociar com ele estando melhor informado.

Product Backlog: Atua como uma espécie de banco de dados das estórias do cliente organizada pela prioridade definida pelo *Product Owner* com auxílio da equipe. A priorização, também chamada de *Grooming*, pode ser definida pelo valor, custo, conhecimento ou risco. Além disso, durante a priorização deve ser estimado o esforço de cada estória.

Sprint: Período de tempo de ciclo pré-determinado com duração de duas a quatro semanas. Portanto, a metodologia Scrum é composta de *sprints* e no final de cada uma delas,

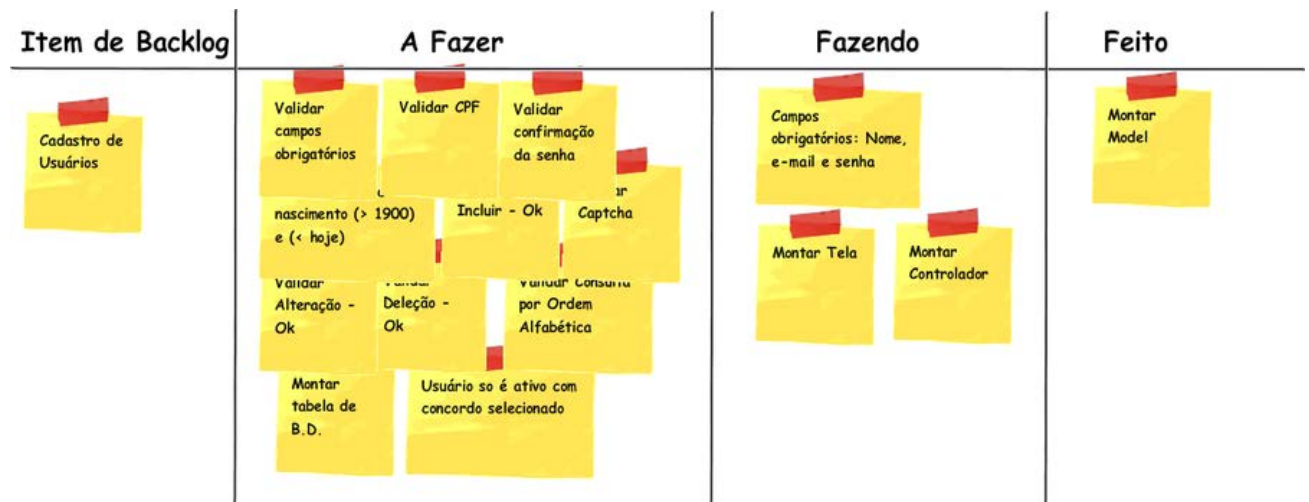
funcionalidades para o produto são adicionadas de forma incremental.

Sprint Planning: O projeto costuma durar semanas e até meses, por consequência, é necessário várias sprints para completar todas as histórias. Existe a necessidade do Product Owner planejar o objetivo da *sprint* com auxílio do *Scrum Master* e do time Scrum e assim, definir quais histórias deveram ser cumpridas naquele período de tempo, compondo o *Sprint Backlog*.

Sprint Backlog: Semelhante ao *Product Backlog*, esse termo é utilizado para denominar o conjunto de histórias que deveram ser realizadas no período da *sprint* específica.

Quadro Kanban: Ferramenta que complementa a metodologia Scrum. O quadro *Kanban*, ilustrado na Figura 2 e retirado do Semeru Blog (2011) , é dividido geralmente em 4 seções sendo elas, “item do *backlog*”, “a fazer”, “fazendo” e “feito” e os papel adesivo com as histórias da *sprint* são posicionas nessas seções de acordo com o seu *status*.

Figura 2 – Exemplo de Quadro Kanban



Fonte: Semeru Blog (2018)

Daily Scrum: Reunião rápida em torno de quinze minutos, geralmente feita de pé, onde os participantes do projeto respondem a três perguntas:

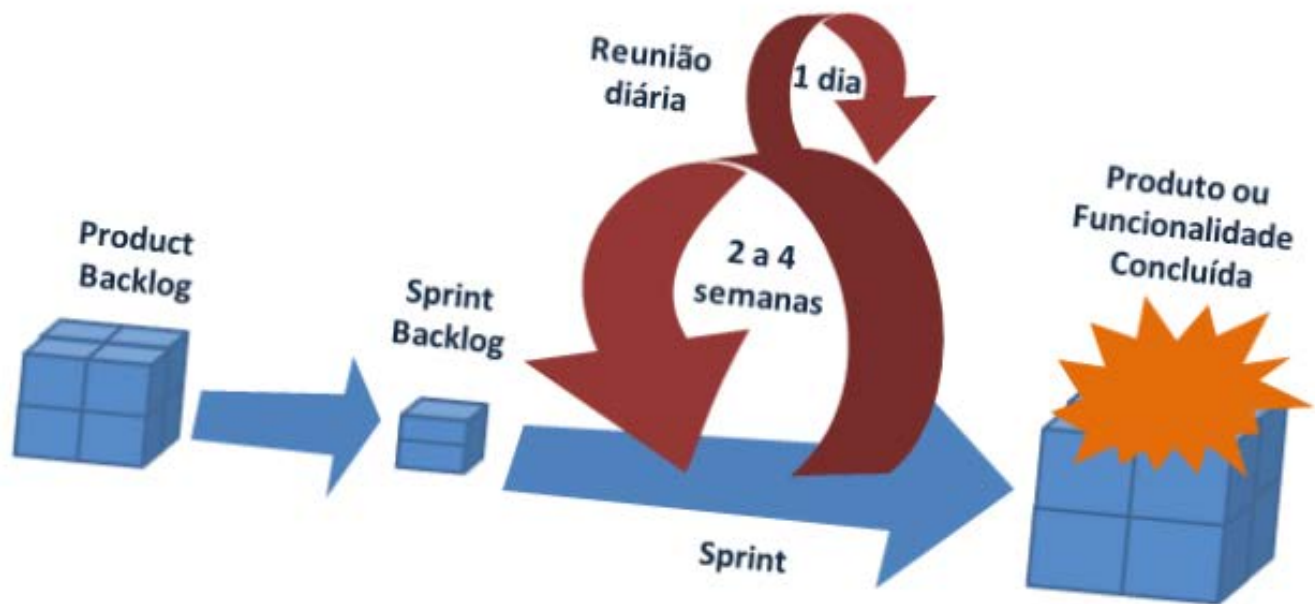
- O que eu fiz ontem para ajudar a equipe;
- O que eu vou fazer hoje para ajudar a equipe;
- Existe algum impedimento que não permita a mim ou ao time atingir a meta da sprint?

Revisão da Sprint: Reunião informal onde são apresentados os avanços da *sprint* e tem como objetivo motivar, obter comentários, verificar a necessidade de adaptações e promover a colaboração.

Retrospectiva da Sprint: Reunião que ocorre após a *Sprint Review* e tem como objetivo identificar o que funcionou bem, o que pode ser melhorado e que ações serão tomadas para melhorar na próxima *sprint*.

De uma forma resumida, como mostra a Figura 3, a metodologia ágil *Scrum* é composto por uma série de ciclos em que vão sendo realizados incrementos no produto e possíveis adaptações podem ser implementadas. Abaixo é mostrado um esquema do gerenciamento.

Figura 3 – Fluxo da metodologia *Scrum*



Fonte: MindMaster (2018)

3.3 ESTÓRIAS DO CLIENTE

A coleta das histórias servem para determinar as funções esperadas pelos *stakeholder* e a partir delas, o projeto é guiado. Dessa forma, foram coletadas, a partir de conversas com o dono da empresa, o responsável pela qualidade, o responsável pela produção e os operadores da máquina, para construir as seguintes histórias:

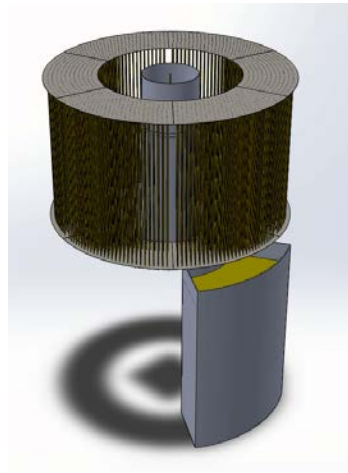
- COMO dono da empresa, QUERO que enquanto algumas velas sequem, outras estejam sendo imergidas PARA podermos produzir mais.
- SENDO o responsável pela qualidade, QUERO que a subida e descida das velas sejam feitas de forma suave PARA evitar defeitos nas velas.
- SENDO o dono da empresa, GOSTARIA que o aquecimento do tanque não fosse feito por maçarico PARA diminuir o risco de acidentes.

- COMO responsável pela produção, QUERO que a temperatura da cera seja controlada e uniforme PARA que o processo seja mais controlado.
- COMO operador da máquina, QUERO que o tanque seja abastecido de cera automaticamente PARA poder focar minha atenção em outras atividades.
- COMO operador da máquina, QUERO que os pavios sejam presos nas duas pontas PARA evitar que os pavios embarrassem.
- COMO dono da Sacarium, GOSTARIA que a máquina pudesse fabricar todos os tamanhos de vela de metro PARA que utilizemos somente essa máquina.
- COMO operador da máquina, GOSTARIA que houvesse um jeito mais fácil de fixação dos barbantes nas duas extremidades PARA não acrescentarmos tempo ao processo.
- SENDO responsável pelo corte, GOSTARIA de uma forma de corte da base das velas mais eficiente PARA melhorar minha ergonomia.
- SENDO operador da máquina, QUERO que o ciclo da máquina seja automático e que seja possível mudar parâmetros no painel PARA adaptar o ciclo a realidade.
- SENDO operador da máquina, QUERO que o acabamento do topo das velas seja feito automático PARA poder focar minha atenção em outras atividades.
- SENDO responsável pela produção, QUERO que o resfriamento das velas seja mais eficiente PARA reduzir o tempo de ciclos.

3.4 IDÉIA INICIAL

A partir das histórias, foi possível conceber a ideia inicial, ilustrada na Figura 4, de como a máquina seria e a partir das *sprints*, trabalhar em cada uma dessas funções de forma incremental.

Figura 4 – Conceito inicial da nova máquina



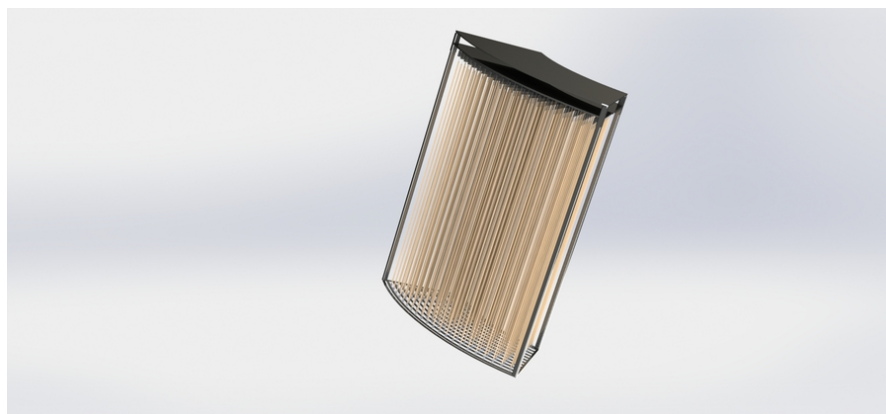
Fonte: Próprio autor

Como um dos problemas era muito tempo do processo gasto com atividades que não agregavam valor ao produto, ou seja, com tempo de resfriamento, foi pensado em uma máquina com seções que se revezavam para serem imergidas eliminando a necessidade de um tanque para cada seção, pois o mesmo seria compartilhado com todas as seções.

O número de seções pensadas foi de seis, um número razoável que sem muitos cálculos, seria possível ter a certeza de que quando chegasse a vez da seção imergir, ela estaria seca.

Cada seção, ilustrada na Figura 5, onde são fabricadas as velas, chamada de gaiola, tem uma capacidade de 250 velas, ou seja, para cada ciclo da máquina, serão produzidas 1500 velas, cinco vezes mais do que capacidade máquina atual do cliente.

Figura 5 – Gaiola com fixação das velas nas duas extremidades



Fonte: Próprio autor

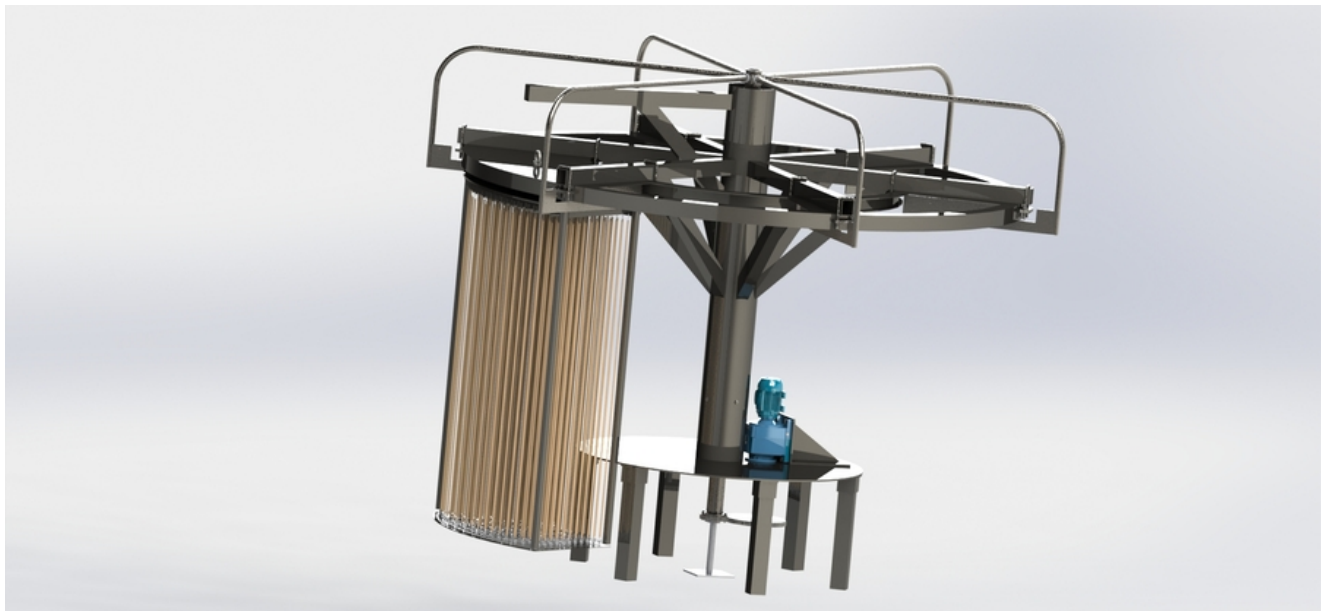
Com as estórias definidas e o conceito inicial da máquina, foi possível trabalhar nas funções da máquina definidas para cada *sprint*.

4 RESULTADOS

4.1 SISTEMA DE ROTAÇÃO

Baseado na primeira estória, “COMO dono da empresa, QUERO que enquanto algumas velas sequem, outras estejam sendo imergidas PARA podermos produzir mais.”, foi desenvolvido um sistema que rotacionasse as gaiolas, porém com algumas particularidades, ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Sistema de rotação

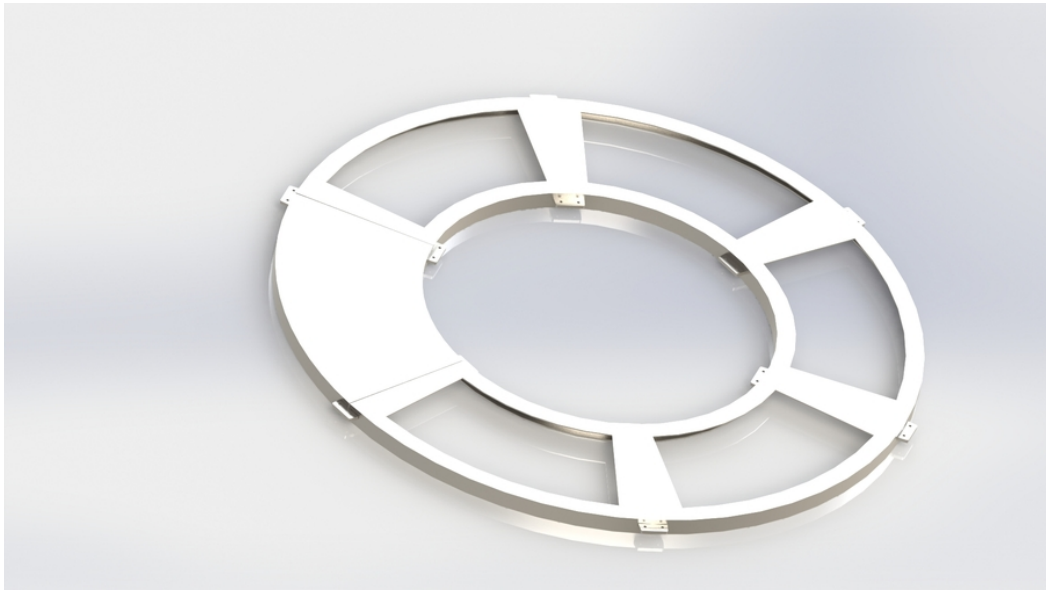


Fonte: Próprio autor

4.1.1 Pista

Primeiro, foi desenvolvido uma espécie de pista, mostrada na Figura 7, para que as seções rotacionem internamente e dessa forma o cabo de aço responsável pela imersão, permanecesse preso a somente uma seção da pista, eliminando a necessidade de fixar e desafixar cada seção na hora da imersão ou a necessidade de mais de um motor para a imersão.

Figura 7 – Pista para as gaiolas se movimentarem internamente.



Fonte: Próprio autor

4.1.2 Estrutura

Uma estrutura para suportar o peso da pista e das seções com as velas e, ao mesmo tempo ser compacta, foi pensada, modelada no SolidWorks (2016), analisada pelo *software Ansys* de análises estruturais e ilustrada na Figura 8.

Figura 8 – Estrutura para a pista



Fonte: Próprio autor

Os pesos dos componentes a considerar foram retirados do *software* de modelagem, tanto da pista quanto da estrutura da gaiola e o peso das velas foi considerado 470 gramas, peso da maior vela, informado pelos responsáveis da fábrica. Os cálculos dos esforços na estrutura foram calculados pela Tabela 1.

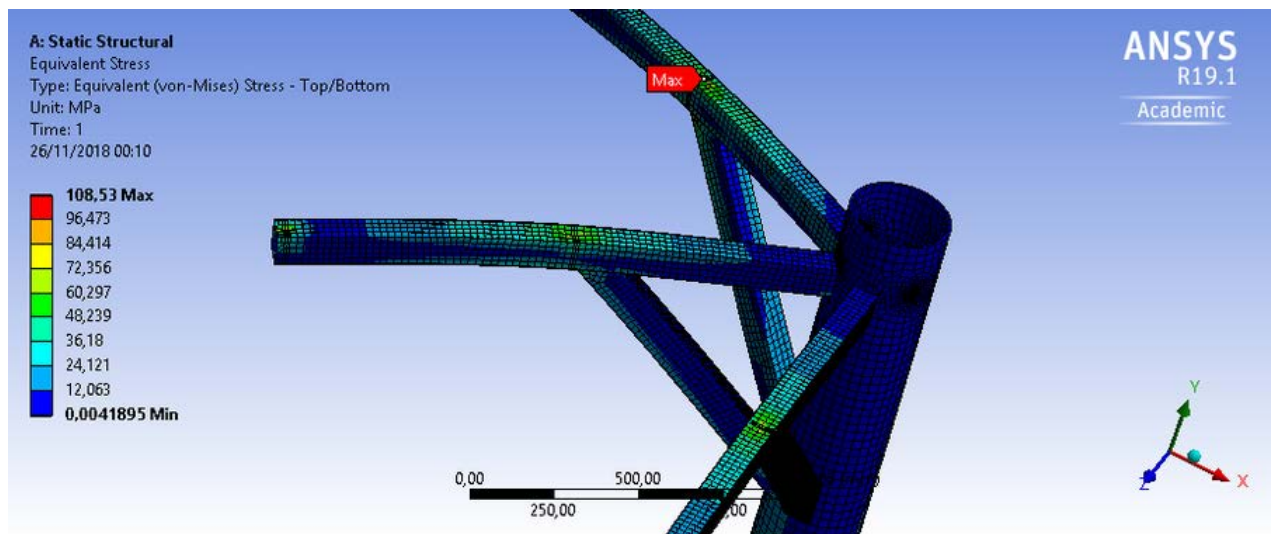
Tabela 1 – Esforços aplicados na estrutura

Componente	Peso(kg)	Quantidade (un)	Peso Total (kg)
Velas	0,47	1500	705
Gaiola	170	6	1020
Pista	360	1	360
Total	-	-	2085

Fonte: Próprio autor

A partir dos cálculos dos esforços aplicados na estrutura, foi realizado a análise estrutural no *software* ANSYS® 19.1 Student (2018) e o resultado está ilustrado na Figura 9.

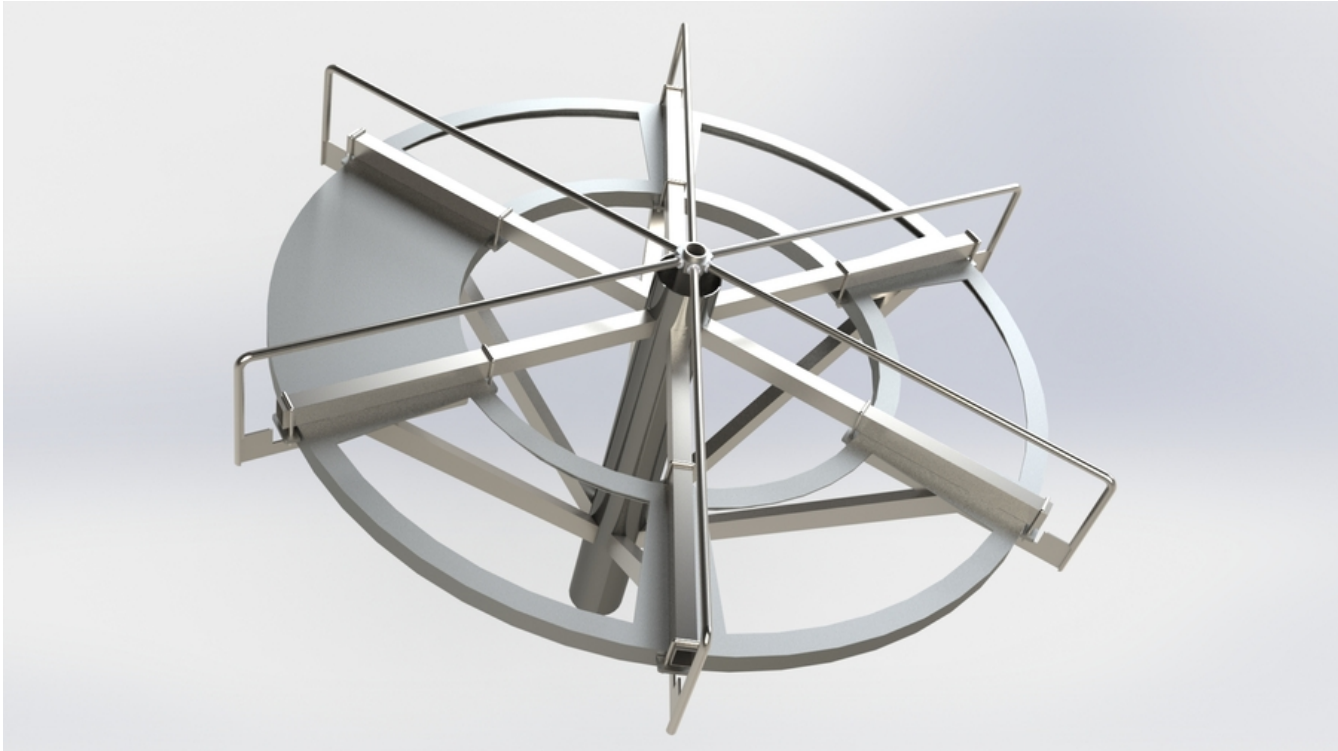
Figura 9 – Análise da estrutura



Fonte: Próprio autor

4.1.3 Pás de rotação

Para rotacionar as gaiolas no interior da pista, foram desenvolvidas pás ligadas por um cilindro concêntrico com o cilindro da estrutura, mostrada na Figura 10.

Figura 10 – Pás para rotação das gaiolas

Fonte: Próprio autor

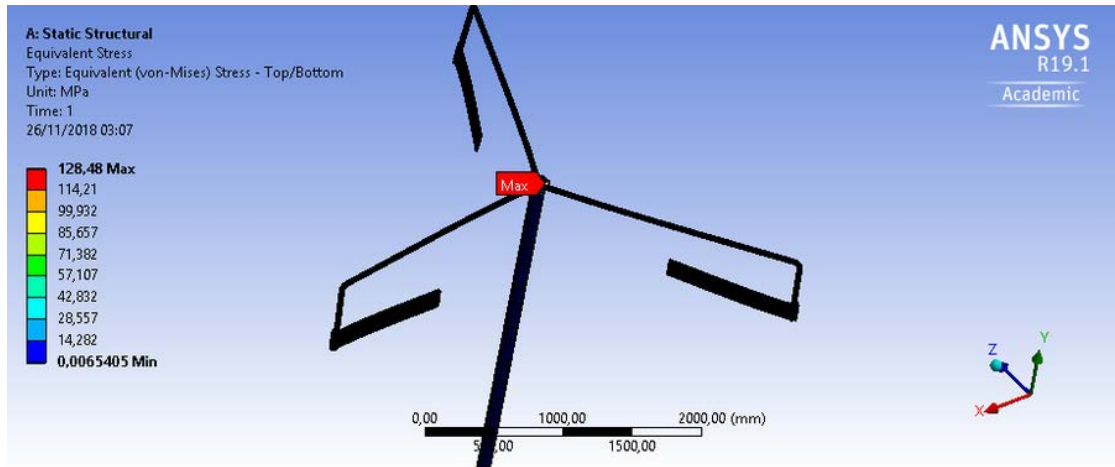
Como realizado na estrutura, as pás foram dimensionadas e analisadas no ANSYS® 19.1 Student (2018), onde o resultado das tensões foi exibido na Figura 11, a partir dos esforços calculados abaixo.

$$F = (P_g + P_{tv}) \times \mu = 14,1N \quad (4.1)$$

$$M_c = F \times L = 14,1 \times 1,36 = 19,18N.m \quad (4.2)$$

$$M_r = M_c \times n = 19,18 \times 6 = 115N.m \quad (4.3)$$

Figura 11 – Análise das tensões do cilindro das pás



Fonte: Próprio autor

4.1.4 Mesa giratória

O cilindro foi fixado, na parte inferior, a uma mesa giratória dimensionada com base na força axial (peso do cilindro) e no momento de tombamento (momento crítico onde metade das pás estão carregadas). O dimensionamento foi feito com base no catálogo do fornecedor de rolamentos de mesas giratórias IMO Group (2018) foram utilizadas as equações abaixo e o gráfico de Momento de tombamento vezes a carga axial equivalente da Figura 12:

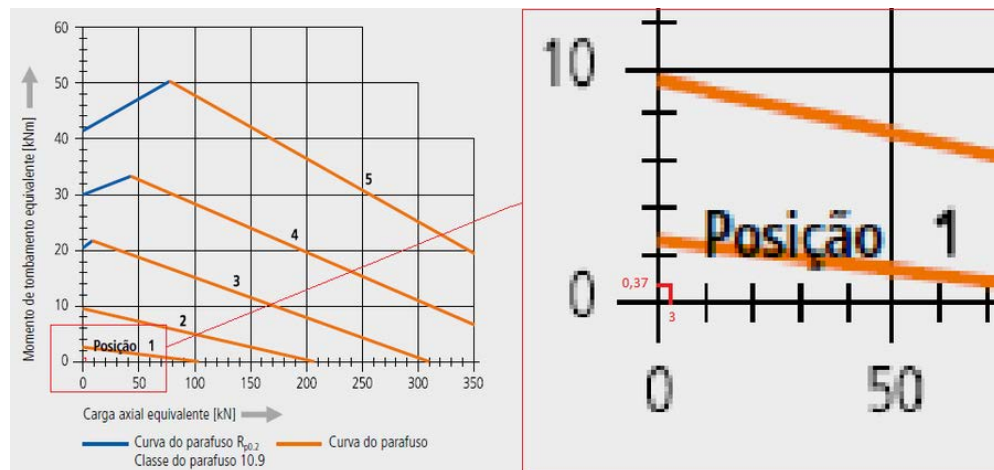
$$F_{ax} = P \times f_a = 2305N \times 1,3 = 2997N = 3kN \quad (4.4)$$

$$F_{radD} = F_{rad} \times f_a = 14,1N \times 1,3 = 18,33N = 0,01833kN \quad (4.5)$$

$$M_{kD} = (M_k \times f_a) + 1,73 \times F_{radD} \times \frac{D_L}{1000} \quad (4.6)$$

$$M_{kD} = (3 \times 0,01918kN.m) + 1,73 \times 0,01833 \times \frac{100}{1000} = 0,37kN.m \quad (4.7)$$

Figura 12 – Gráfico de Momento de tombamento x Carga axial equivalente



Fonte: IMO Group (2018)

Dessa forma, a Posição 1 da série 116 com engrenagem externa, mostrada pela Figura 13, atende os requisitos.

Figura 13 – Dimensões da mesa giratória escolhida

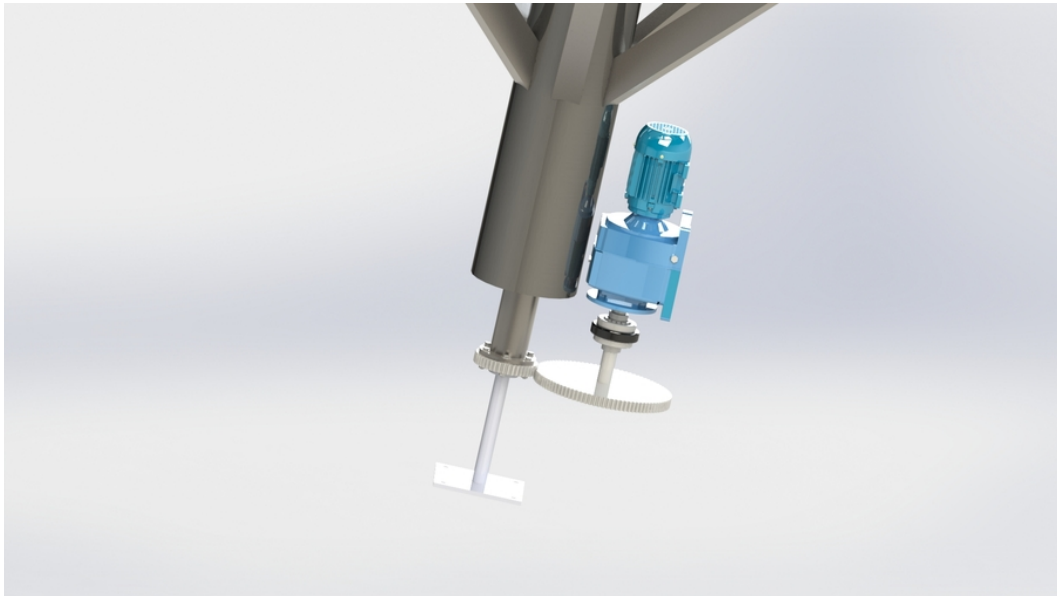
Número de desenho	Numeração	Dimensões e peso					Perfurações de fixação				Engrenagem e cargas de engrenagem					Índices de carga			
		D ₃	d ₁	D ₁	d ₂	G	D ₃	n ₂	L ₁	n ₁	d ₀	m	z ₂	f _z norm	f _z max	C ₀ rad	C ₀ ax	C _{rad}	C _{ax}
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[mm]	[-]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
11-16 0100/1-08100	1	180	40	103	97	140	6	6	60	6	172	4	43	9.0	16.0	51	103	71	61

Fonte: IMO Group (2018)

4.1.5 Motorreductor do sistema de rotação

A velocidade de rotação definida foi de 1rpm, ou seja, cada troca de posição das gaiolas que correspondem a 60°, dura 10 segundos. A partir da definição da velocidade saída e do torque do cilindro, foi dimensionado o motorreductor de rotação com base no nos produtos da Lilo Redutores (2018a): Motorreductor de 1 CV com redução de 1:190 com torque de saída de 717 kN.m e rotação de saída nominal de 9 rpm. Por questões de interferência, a engrenagem escolhida foi de diâmetro externo de 388 mm e módulo 4, ilustrados na Figura 14. Dessa forma, a velocidade do cilindro atingida seria de 18 rpm, porém existe a necessidade de utilizar um inversor de frequência para reduzir a rotação do motor.

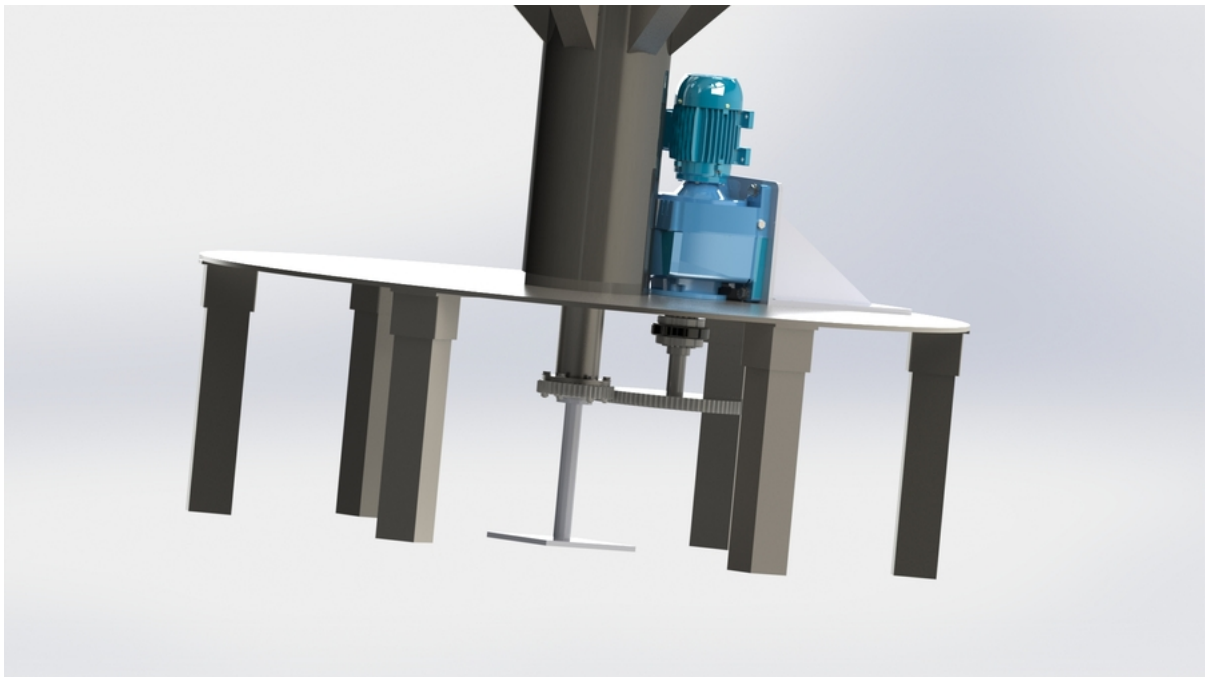
Figura 14 – Sistema de transmissão por engrenagem



Fonte: Próprio autor

Foi projetado uma plataforma para isolar as engrenagens, mostrado na Figura 15, evitando acidentes e, ao mesmo tempo posicionar o motor de rotação na vertical. A altura da superfície da mesa em relação ao solo é de 0,5 m espaço deixado para manutenção das engrenagens.

Figura 15 – Plataforma



Fonte: Próprio autor

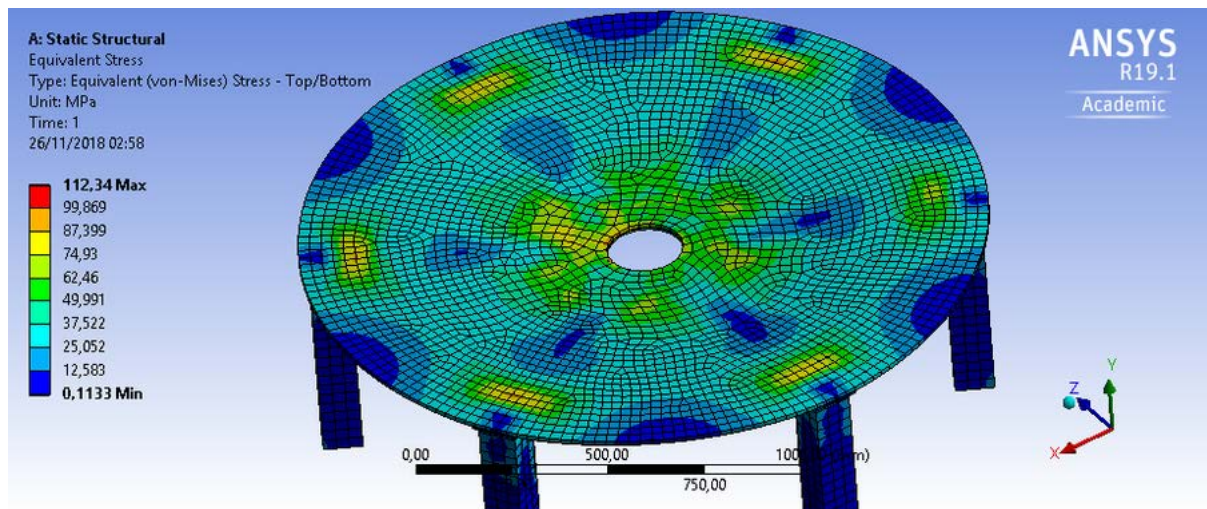
Além disso, essa plataforma deve ser capaz de suportar todo o peso da estrutura, da pista, das gaiolas, do motorreductor e os suportes, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Massas dos componentes suportados pela mesa

Componente	Peso (kg)	Quantidade	Peso Total (kg)
Vela	0,47	1500	705
Gaiola	170	6	1020
Pista	360	1	360
Estrutura	450	1	450
Motorreductor rotação	50	1	50
Motorreductor de imersão	50	1	50
Tambor	60	1	60
Total (kg)	-	-	2695

Fonte: Próprio autor

Posteriormente, foi realizado a modelagem e análise estrutural da mesa no *software* Ansys, e o resultado pode ser visto na Figura 16.

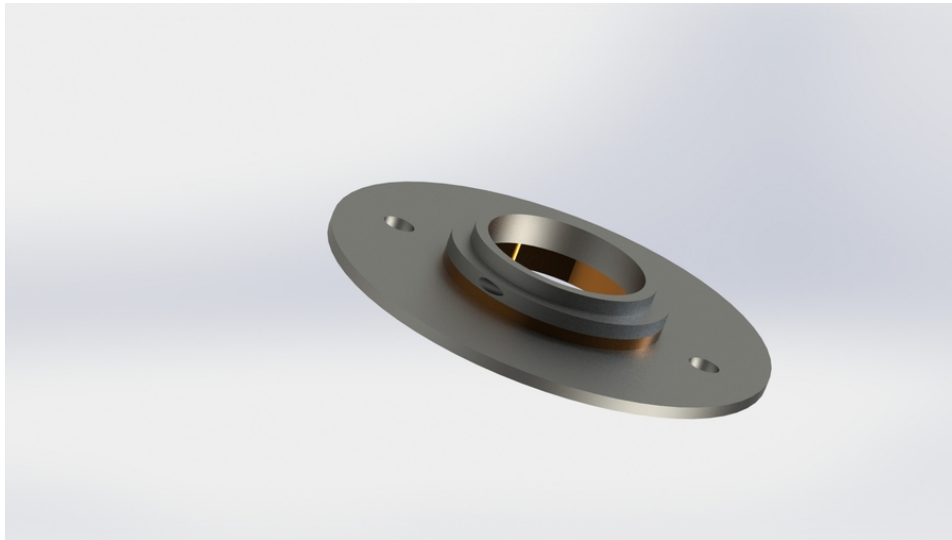
Figura 16 – Análise dos esforços da mesa

Fonte: Próprio autor

4.1.6 Conjunto de fixação superior do cilindro das pás

Para finalizar o sistema de rotação, a fixação superior do cilindro das pás foi projetada a partir de uma bolacha de aço bipartida acoplada na parede interna do cilindro da estrutura por parafusos; em contato com essa peça, uma bucha de bronze bipartida acoplada no diâmetro interno do cilindro das pás e, como batente, evitando que a bucha de bronze suba, uma outra bucha de aço também bipartida. Os planos de separação desses componentes são defasados em 90°, como ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Conjunto de fixação superior do cilindro das pás

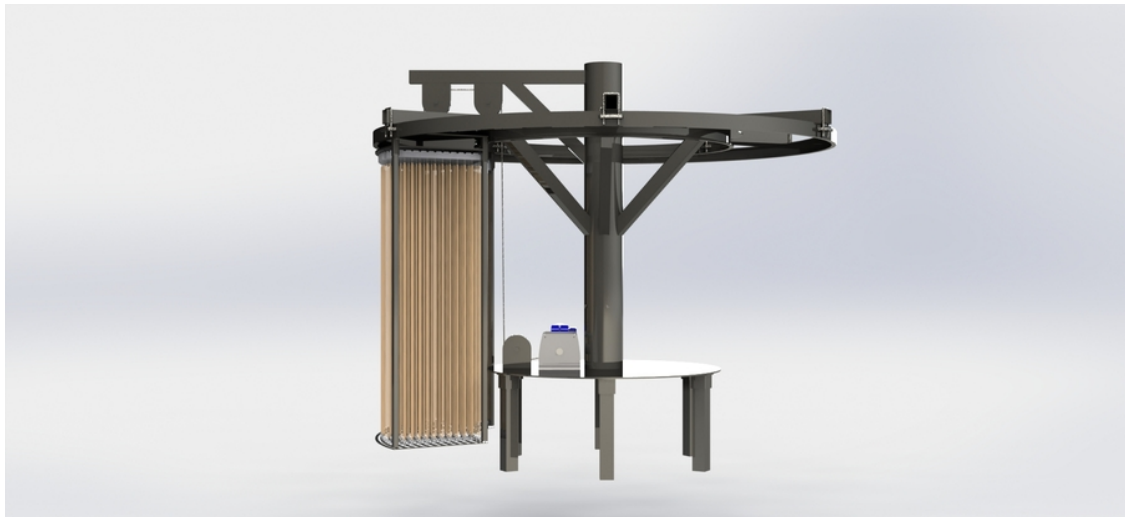


Fonte: Próprio autor

4.2 SISTEMA DE IMERSÃO

A seção da pista de imersão, foi projetada para ser abaixada e elevada por cabo de aço fixo. O cabo é enrolado e desenrolado no tambor por meio de um motorreductor e então o mesmo passa por polias e é fixo na parte superior da seção da pista, conforme Figura 18.

Figura 18 – Sistema de Imersão



Fonte: Próprio autor

4.2.1 Cabo de aço

Com auxílio da NBR 8400 da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984), foi possível dimensionar o cabo de aço do sistema de imersão.

Inicialmente, na Tabela 1 - Classes de utilização, da NBR 8400 da ASSOCIAÇÃO

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984) , conforme Figura 19. Então, foi selecionado a classe de utilização B, por se tratar de um serviço intermitente.

Figura 19 – Tabela 1 da NBR 8400 - Classes de utilização

Tabela 1 - Classes de utilização		
Classe de utilização	Frequência de utilização do movimento de levantamento	Numero convencional de ciclos de levantamento
A	Utilização ocasional não regular, seguida de longos períodos de repouso	$6,3 \times 10^4$
B	Utilização regular em serviço intermitente	$2,0 \times 10^5$
C	Utilização regular em serviço intensivo	$6,3 \times 10^5$
D	Utilização em serviço intensivo severo, efetuado, por exemplo, em mais de um turno	$2,0 \times 10^6$

Fonte: NBR 8400 (1984)

O estado de carga definido por equipamentos regularmente carregados com a carga nominal (Estado de carga 3), como mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Tabela 2 da NBR 8400 - Estados da carga

Tabela 2 - Estados da carga		
Estado de carga	Definição	Fração mínima da carga máxima
0 (muito leve)	Equipamentos levantando excepcionalmente a carga nominal e comumente cargas muito reduzidas	$P = 0$
1 (leve)	Equipamentos que raramente levantam a carga nominal e comumente cargas de ordem de $1/3$ da carga nominal	$P = 1/3$
2 (médio)	Equipamentos que frequentemente levantam a carga nominal e comumente cargas compreendidas entre $1/3$ e $2/3$ da carga nominal	$P = 2/3$
3 (pesado)	Equipamentos regularmente carregados com a carga nominal	$P = 1$

Fonte: NBR 8400 (1984)

A partir dessas informações, foi definido a classificação da estrutura dos equipamento, mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Tabela 4 da NBR 8400 - Classificação da estrutura dos equipamentos (ou elementos da estrutura) em grupos

Tabela 4 - Classificação da estrutura dos equipamentos (ou elementos da estrutura) em grupos

Estado de cargas (ou estado de tensões para um elemento)	Classe de utilização e número convencional de ciclos de levantamento (ou de tensões para um elemento)			
	A $6,3 \times 10^4$	B $2,0 \times 10^5$	C $6,3 \times 10^5$	D $2,0 \times 10^6$
0 (muito leve) $P = 0$	1	2	3	4
1 (leve) $P = 1/3$	2	3	4	5
2 (médio) $P = 2/3$	3	4	5	6
3 (pesado) $P = 1$	4	5	6	6

Fonte: NBR 8400 (1984)

Já a classe de funcionamento foi definida pela Tabela 20 da NBR, mostrada na Figura 22.

Figura 22 – Tabela 20 da NBR 8400 - Classe de funcionamento

Tabela 20 - Classe de funcionamento

Classe de funcionamento	Tempo médio de funcionamento diário estimado (h)	Duração total teórica da utilização (h)
V0,25	$t_m \leq 0,5$	≤ 800
V0,5	$0,5 < t_m \leq 1$	1600
V1	$1 < t_m \leq 2$	3200
V2	$2 < t_m \leq 4$	6300
V3	$4 < t_m \leq 8$	12500
V4	$8 < t_m \leq 16$	25000
V5	$t_m > 16$	50000

Fonte: NBR 8400 (1984)

Já na Tabela 21 da NBR, ilustrada na Figura 23, foi definido o estado de solicitação baseado na premissa de que o cabo seria submetido a solicitações próximas as nominais na maioria das vezes.

Figura 23 – Tabela 21 da NBR 8400 - Estado de solicitação dos mecanismos

Tabela 21 - Estado de solicitação dos mecanismos		
Estados de solicitação	Definição	Fração da solicitação máxima
1	Mecanismos ou elementos de mecanismos sujeitos a solicitações reduzidas e raras vezes a solicitações máximas	$P = 0$
2	Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos, durante tempos sensivelmente iguais, a solicitações reduzidas, médias e máximas	$P = 1/3$
3	Mecanismos ou elementos de mecanismos submetidos na maioria das vezes a solicitações próximas à solicitação máxima	$P = 2/3$

Fonte: NBR 8400 (1984)

O grupo dos mecanismos foi definido a partir da união dos valores definidos para a classe de funcionamento e o estado de solicitação, obtendo a classe de funcionamento 2 m, mostrada na figura 24.

Figura 24 – Tabela 23 da NBR 8400 - Grupos dos mecanismos

Estados de solicitação	Classes de funcionamento						
	V 0,25	V 0,5	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5
1	1Bm	1Bm	1Bm	1Am	2m	3 m	4 m
2	1Bm	1Bm	1Am	2 m	3 m	4 m	5 m
3	1Bm	1Am	2 m	3 m	4 m	5 m	5 m

Fonte: NBR 8400 (1984)

Para dimensionar o cabo, foi necessário encontrar primeiramente o fator de dimensionamento, na Tabela 27 da NBR 8400, ilustrada na Figura 25.

Figura 25 – Tabela 27 da NBR 8400 - Valores mínimos de Q

Grupo de mecanismo	Valores mínimos de Q	
	Cabo normal	Cabo não rotativo
1 Bm	0,265	0,280
1 Am	0,280	0,300
2 m	0,300	0,335
3 m	0,335	0,375
4 m	0,375	0,425
5 m	0,425	0,475

Fonte: NBR 8400 (1984)

A equação do diâmetro externo mínimo é:

$$d_c = Q \times \sqrt{T} \quad (4.8)$$

Onde T é determinado pela equação abaixo.

$$T = \frac{(1,1 \times \psi \times S_l)}{n_{rend} \times n_{cabos}} \quad (4.9)$$

$$n_{rend} = n_{man}^{n_{polias}} \quad (4.10)$$

O coeficiente dinâmico é determinado com auxílio da Tabela 5 da NBR, ilustrada na Figura 26, a partir da velocidade linear da imersão.

Figura 26 – Tabela 5 da NBR - Valores do coeficiente dinâmico

Tabela 5 - Valores do coeficiente dinâmico ψ		
Equipamento	Coeficiente dinâmico ψ	Faixa de velocidade de elevação da carga (m/s)
Pontes ou pórticos rolantes	1,15	$0 < v_L \leq 0,25$
	$1 + 0,6 v_L$	$0,25 < v_L < 1$
	1,60	$v_L \geq 1$
Guindaste com lanças	1,15	$0 < v_L \leq 0,5$
	$1 + 0,3 v_L$	$0,5 < v_L < 1$
	1,3	$v_L \geq 1$

Nota: O coeficiente dinâmico é menor quando o esforço de levantamento se faz sobre um elemento de estrutura mais flexível, como no caso de guindaste com lanças.

Fonte: NBR 8400 (1984)

A partir da definição do coeficiente de atrito, foi possível determinar o esforço máximo de tração.

$$T = \frac{(1,1 \times \psi \times S_l)}{n_{rend} \times n_{cabos}} = \frac{(1,1 \times 1,15 \times (300 \times 9,81))}{0,99^3 \times 1} = 3836,9N \quad (4.11)$$

$$T = 3836,9/10 = 386,9daN \quad (4.12)$$

Com os valores do esforço máximo de tração e do fator de dimensionamento definidos, foi possível encontrar o diâmetro mínimo do cabo.

$$d_c = Q \times \sqrt{T} = 0,3 / \sqrt{386,9} = 5,9mm \quad (4.13)$$

Para determinação do cabo, foi aproximado o caso de imersão da gaiola para um elevador de obra. Segundo o catálogo da NEADE INDUSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS PARA ELEVAÇÃO E MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS (2018), é aconselhado o uso do tipo de cabo 6x25F com alma de aço (AACI) para essa situação.

O coeficiente de segurança para essa situação, determinado pela Tabela de Fatores de atrito do catálogo da NEADE INDUSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS PARA ELEVAÇÃO E MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS (2018) representado na Figura 27, está entre 8 e 10. Neste caso, foi utilizado o valor máximo.

Figura 27 – Coeficiente de segurança do cabo de aço

Aplicações	Fatores de Segurança
Cabos e cordoalhas estáticas	3 a 4
Cabo para tração no sentido horizontal	4 a 5
Guinchos, guindastes, escavadeiras	5
Pontes rolantes	6 a 8
Talhas elétricas	7
Guindaste estacionário	6 a 8
Laços	5 a 6
Elevadores de obra	8 a 10
Elevadores de passageiros	12

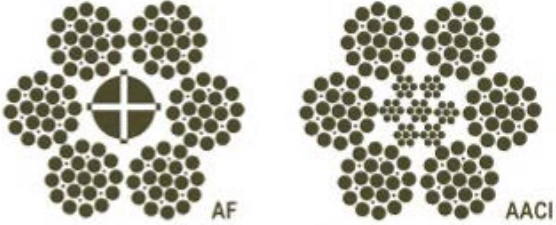
Fonte: NEADE (2018)

Portanto, para selecionar o diâmetro do cabo de aço, foi observado a carga de ruptura máxima do cabo e superior à carga encontrada na equação abaixo:

$$CRM = Q \times FS = (300 \times 9,81) \times 10 = 29400N = 29,4kN \quad (4.14)$$

Finalmente, com auxílio do Catálogo de cabo de aço 6x25F da empresa IPH SAICF (2018), foi selecionado o cabo de aço AACI de 8 mm de diâmetro nominal e 160 kgf/mm², como mostrado na Figura 28.

Figura 28 – Seleção do cabo de aço 6x25F



 Construção do cabo 6x25F
 Construção da perna 1+6/6+12

Diâm. nom. mm	Peso		160 kgf/mm ²				180 kgf/mm ²			
	AF kg/100m	AACI kg/100m	AF		AACI		AF		AACI	
			kN	kgf	kN	kgf	kN	kgf	kN	kgf
8	24,3	26,7	33,9	3640	36,6	3740	38,3	3890	41,3	4200
9,5	34,2	37,8	47,8	4480	51,6	5260	53,9	5500	58,2	5940
11	46,0	50,6	64,2	6540	69,3	7060	72,3	7360	78,1	7950
13	64,3	70,7	89,6	9130	96,8	9860	101	10300	109	11100

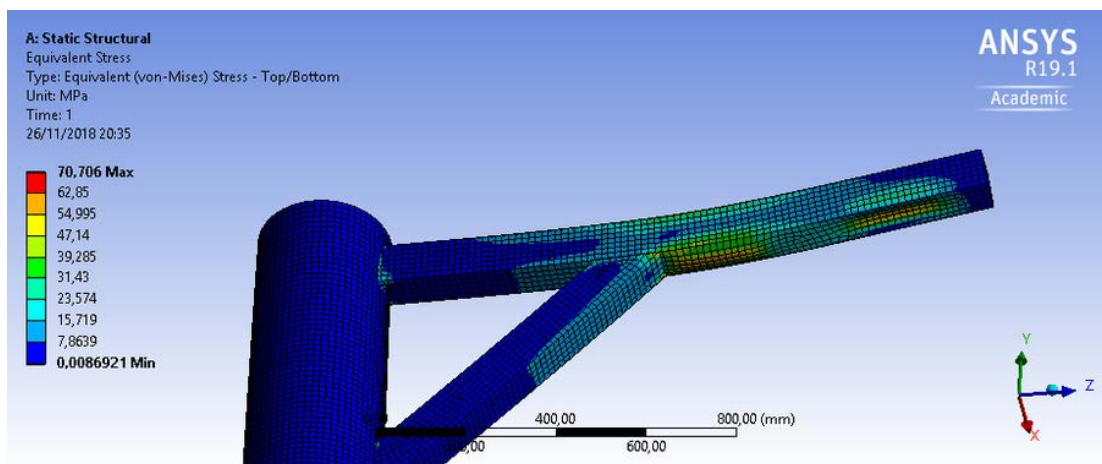
Fonte: IPH (2018)

4.2.2 Viga de imersão

Para elevar e baixar a gaiola através de cabo de aço, foi necessário projetar um suporte para as polias superiores que suportasse os esforços necessários.

A análise estrutural da viga de imersão, assim chamada, foi realizada no *software* ANSYS® 19.1 Student (2018) e os resultados apresentados na Figura 29.

Figura 29 – Análise de tensão da viga de imersão



Fonte: Próprio autor

4.2.3 Motor de imersão

O motor de imersão foi dimensionado baseado no torque necessário para rotacionar o tambor. Com auxílio das equações abaixo, foi possível encontrar o motor ideal.

$$T = P_g \times r_t = 2820N \times 0,09m = 253,8N.m \quad (4.15)$$

Portanto, o motorreductor escolhido foi de 2CV com redução de 1:60 com torque de saída de 449 N.m e 29 RPM de saída, informações retiradas do site da Lilo Redutores (2018b).

Será utilizado um inversor de frequência para o motor de imersão para cumprir a estória “SENDO o responsável pela qualidade, QUERO que a subida e descida das velas sejam feitas de forma suave PARA evitar defeitos nas velas.”.

4.3 GAIOLA

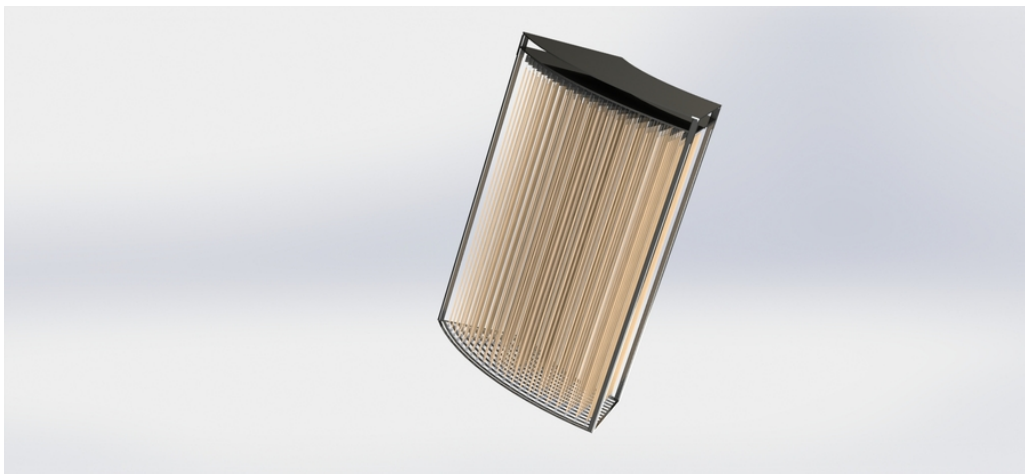
Atualmente é perdido muito tempo nos ciclos iniciais para fazer os barbantes superarem a tensão superficial da cera e afundarem. Essa dificuldade se dá pelo reduzi peso do barbante e pela grande tensão superficial da cera.

Outra grande dificuldade é na emersão das velas, majoritariamente nos ciclos iniciais, os pavios grudam entre si ou se embaraçam, havendo a necessidade de fazer a separação dos mesmos a cada elevação da gaiola.

Com o objetivo de eliminar esses dois problemas, foi solicitado que os pavios fossem fixos pelas duas extremidades, como ilustrado na Figura 30 e assim completar a seguinte estória:

“COMO operador da máquina, QUERO que os pavios sejam presos nas duas pontas PARA evitar que os pavios embarrassem.”

Figura 30 – Gaiola para fixação dos pavios nas duas extremidades



Fonte: Próprio autor

Portanto, além de evitar o embaraçamento dos pavios, a placa inferior de fixação é responsável por quebrar a tensão superficial da cera.

Outra solicitação foi que a máquina fosse capaz de produzir todos os tamanhos de velas oferecidos pelo cliente, ou seja, de 40 centímetros a 2 metros de altura.

“COMO dono da Sacrarium, GOSTARIA que a máquina pudesse fabricar todos os tamanhos de vela de metro PARA que utilizemos somente essa máquina.”

Dessa forma, foi projetado uma espécie de trilho para que a placa superior de fixação pudesse subir ou descer para se adaptar ao tamanho das velas.

Esse ajuste seria feito manual, ou seja, antes de iniciar os ciclos, o responsável ajusta o tamanho da gaiola para o tamanho de vela de desejada e fixa a placa superior. Foi escolhido o ajuste pela placa superior baseado em dois motivos. Primeiro, nas situações em que estará sendo fabricada velas menores, como é a placa superior que desce, não há a necessidade de baixar tanto a gaiola quanto para uma vela maior, ganhando tempo no processo. Segundo, a parte móvel para realizar o ajuste de altura, não entra em contato com a cera, ou seja, o operador não terá contato com a cera no ajuste da altura da gaiola.

Outro ganho é que a máquina poderá operar com 6 alturas de velas diferentes, uma para cada gaiola.

4.4 TANQUE DE CERA

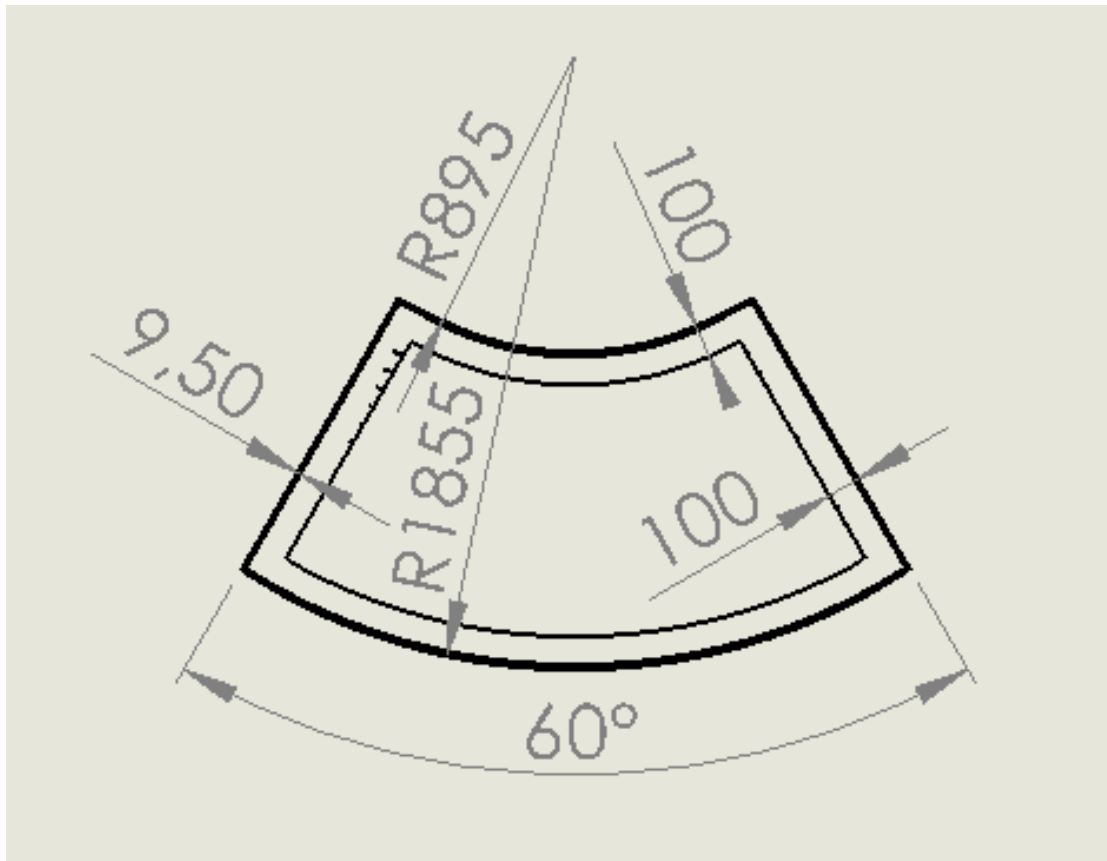
O objetivo do projeto do tanque de cera foi atingir às três estórias contatadas pelos *stakeholder*.

- “SENDO o dono da empresa, GOSTARIA que o aquecimento do tanque não fosse feito por maçarico PARA diminuir o risco de acidentes.”
- “COMO responsável pela produção, QUERO que a temperatura da cera seja controlada e uniforme PARA que o processo seja mais controlado.”
- COMO operador da máquina, QUERO que o tanque seja abastecido de cera automaticamente PARA poder focar minha atenção em outras atividades.

4.4.1 Forma

A forma do tanque foi projetada pensando na maior eficiência, sendo assim, ela tem a mesma geometria da gaiola, porém com 100 mm a mais em cada aresta para acoplar sensores e boias, conforme a Figura 31.

Figura 31 – Desenho de comparação da gaiola com o tanque



Fonte: Próprio autor

4.4.2 Método de aquecimento

O método de aquecimento do tanque também foi mudado, se comparado com a máquina atual. Uma vez que existe um risco de explosão ao utilizar o maçarico no subsolo, foi projetado um sistema de manutenção térmica por resistências elétricas tubulares fixadas na parede do tanque na parte inferior, cumprindo a estória “SENDO o dono da empresa, GOSTARIA que o aquecimento do tanque não fosse feito por maçarico PARA diminuir o risco de acidentes.”

Completando a estória “COMO responsável pela produção, QUERO que a temperatura da cera seja controlada e uniforme PARA que o processo seja mais controlado.”, termopares monitoram e enviam a temperatura do tanque para o *CLP* (Controlador Lógico Programável) que controla as resistências elétricas tubulares, mostrada na Figura 32 e retida do site da Resistências Elétricas MB (2018), mantendo a temperatura do tanque em 60 °C.

Figura 32 – Resistência Tubular de imersão



Fonte: Resistências elétricas MB (2018)

4.4.3 Isolamento térmico

O gasto energético para aquecimento e manutenção da cera no tanque pôde ser reduzido com um isolamento térmico de lã de vidro.

O cálculo da energia térmica perdida não foi realizado para determinação da espessura do isolamento, porém será feito.

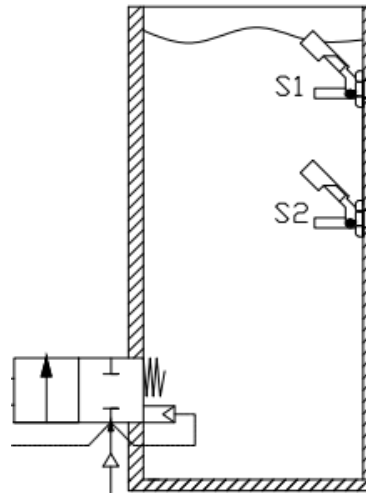
4.4.4 Abastecimento do tanque

O processo de fabricação de vela de metro consiste em aderir à cera do tanque em estado líquido no pavio e fazer com que ela solidifique, então em algum momento essa cera deve ser repostada.

Apesar de existir uma mangueira que abastece o tanque, o processo é feito manualmente. O operador verifica quando é necessário realizar o abastecimento e o faz posicionando a mangueira no tanque, abrindo o registro e fechando-o quando analisar que o nível de cera no tanque está satisfatório.

Essa atividade, apesar de ser simples, não agrega valor ao produto, portanto ela foi substituída por uma válvula solenóide que é controlada pelo CLP, abrindo e fechando a válvula para controlar o abastecimento a partir das informações recebidas pelas boias de nível representadas por S1 e S2 na Figura 33.

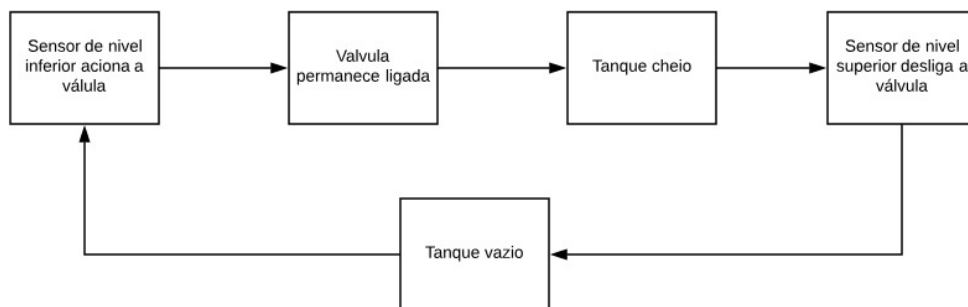
Figura 33 – Esquema de abastecimento do tanque



Fonte: Próprio autor

A abertura da válvula é acionada quando a boia de nível inferior informa ao CLP que o nível de cera do tanque está baixo, a partir disso, o tanque é abastecido até que o sensor de nível superior acuse que o abastecimento foi suficiente e então o computador lógico programável fecha a válvula, esta lógica pode ser observada no algoritmo da Figura 34.

Figura 34 – Algoritmo do abastecimento do tanque



Fonte: Próprio autor

No entanto, para determinar a válvula mais adequada de ação direta, foi necessário realizar ensaios nos laboratórios de química e de materiais para determinar o peso específico da cera reciclada e sua viscosidade dinâmica. A partir dos dados encontrados, foi possível determinar o modelo da válvula e o diâmetro de saída com auxílio do manual de dimensionamento da Ascoval Indústria e Comércio Ltda. (2018) , mostrado na Figura 35.

Figura 35 – Diâmetro de saída da válvula solenoide

TABELA DE ESPECIFICAÇÃO

Conexão NPT	Orifício (mm)	KV	Pressão Diferencial (Kg/cm²)						Máxima Temperatura do Fluido °C		Prefixos				Número Básico de Catálogo				Potência da Bobina		
			Min.	Máxima							Áreas Classificadas				Corpo em Latão						
				Ar/gás(#)		Água (#)		Óleo(#)			Ex d m	Ex e mb	Ex d	IP-65							
			C.A.	C.C.	C.A.	C.C.	C.A.	C.C.	C.A.	C.C.	EF (EV)	EM (WSEM)	②	SC		Construção	Corpo em AISI 316	Construção	C.A.	C.C.	
2/2 vias, Normalmente Fechada																					
1/4"	8	1,3	0,7	51	27	51	27	51	27	93	65	●	●	●	●	8223A021	1	-	-	10,5	11,2
	8	1,3	0,7	102	34	102	34	102	34	93	65	●	-	●	●	8223A025	1A	-	-	16,7	19,7
3/8"	8	1,3	0,7	51	27	51	27	51	27	93	65	●	●	●	●	8223A023	1	-	-	10,5	11,2
	8	1,3	0,7	102	34	102	34	102	34	93	65	●	-	●	●	8223A027	1A	-	-	16,7	19,7
1/2"	9,5	2,7	1,7	102	34	102	34	102	34	93	65	●	-	●	●	8223A003	2	8223A010	2A	16,7	19,7
3/4"	19	6,7	1,7	51	20	51	20	51	20	93	65	●	-	●	●	8223B005	3	8223A012	4	16,7	19,7

- ① Para prefixos EF/EV, deverá ser alterado o 5º dígito do código base para "G". Ex.: EF8223G003. Sofrem pequenas variações nas potências.
 ② Para construções Ex-d, não é necessário adicionar prefixo. Somente alterar o 8º dígito do código base para o número imediatamente posterior
 Ex.: de 8223A025 para 8223A026.

Fonte: Ascoval Indústria e Comércio Ltda. (2018)

4.5 CORTE DAS VELAS

Apesar de não contemplar na máquina atual esse processo, foi identificado uma oportunidade de melhoria no processo de corte da base das velas, que hoje é feito manualmente, uma a uma, com uma tesoura e um gabarito.

O novo processo consiste em imergir a base das velas finalizadas no tanque de cera e retirar após sua fusão e só então realizar o corte dos barbantes, uma vez que a cera que seria sucateada, foi derretida e permaneceu no tanque.

Além de esse processo economizar matéria-prima e consequentemente dinheiro, fazendo com que a cera da base da vela não seja desperdiçada, o processo reduz o tempo de corte e melhora o trabalho do operador que realiza essa atividade, pois agora ele terá que cortar somente o pavio ao invés de cortar a cera também.

Existem ideias de implementar um sistema de corte simultâneo dos pavios, porém ainda não foi realizado.

4.6 PROGRAMAÇÃO

A máquina foi projetada para funcionar de forma inteligente, recebendo sinais de entrada de sensores, processando-os no CLP através de lógicas e enviando sinais de saída para que outros dispositivos executem suas funções, mas para isso, foi necessário desenvolver um algoritmo para o ciclo e realizar a programação do CPL em linguagem *Ladder*, para realizar o *upload* do programa quando a máquina for fabricada.

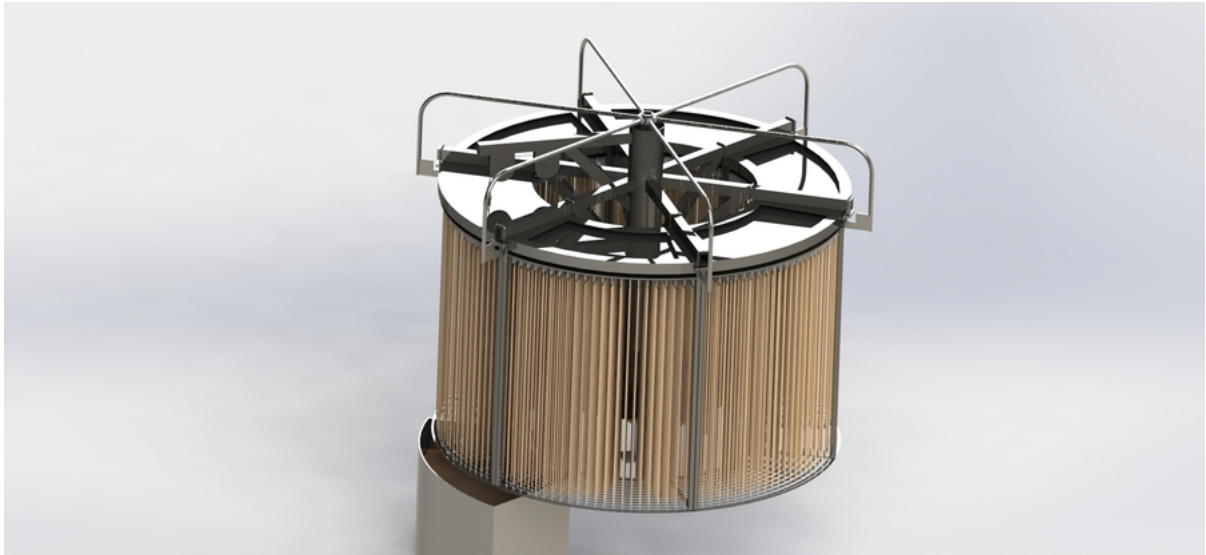
Um dos problemas da máquina antiga foi que o programa realizado, depois de um tempo, não condizia com a realidade do processo, então o ciclo automático da máquina foi deixado de lado para que os operadores controlassem a subida e descida dos pavios. Dessa forma, foi desenvolvido um programa que possibilitasse a mudança de algumas variáveis no painel, como número de banhos, tempo de imersão, número de gaiolas em funcionamento, etc. para que o

ciclo fosse ajustado conforme a necessidade do processo e a máquina sempre operasse no ciclo automático, apesar de ter a possibilidade de usar os comandos manuais.

5 DISCUSSÕES

A máquina, mostrada na Figura 37, tem como objetivo cumprir todas as estórias levantadas no capítulo de métodos, porém, mais do que isso, deve gerar valor para o cliente e os envolvidos no projeto.

Figura 36 – Máquina Completa



Fonte: Próprio autor

Além do ganho de capacidade produtivo de trezentas velas por vez para mil e quinhentas e melhora nos quesitos de qualidade como controle da temperatura do tanque e fixação do pavio pelas duas extremidades, foi pensado em soluções que facilitassem o trabalho dos operadores para que os mesmos possam focar em atividades de controle e supervisão dos produtos.

Modificações para melhorar a ergonomia enquanto a máquina está em manutenção e soluções de segurança estão sendo pensadas e serão implementadas na máquina.

O projeto não foi finalizado e outras estórias serão completadas.

5.1 PRÓXIMOS PASSOS

5.1.1 Fixação dos pavios na gaiola

Como a fixação dos pavios será feita nas duas extremidades, viu-se a oportunidade de melhoria ainda na fase de criação da funcionalidade de desenvolver um método de fixação dos pavios na gaiola, atividade que acontece antes de todo início de ciclo. Dessa forma, foi criada a estória “COMO operador da máquina, GOSTARIA que houvesse um jeito mais fácil de fixação dos barbantes nas duas extremidades PARA não acrescentarmos tempo ao processo.” e será foco das próximas *sprints*.

5.1.2 Resfriamento das velas

O processo de fabricação desenvolvido até agora cumpri com o objetivo do projeto de aumentar a capacidade produtiva da máquina em pelo menos 200%, porém posteriormente será analisado, com base em cálculos de transferência de calor, a necessidade de desenvolvimento de um sistema de resfriamento a ar, baseado na estória “SENDO responsável pela produção, QUERO que o resfriamento das velas seja mais eficiente PARA reduzir o tempo de ciclos.”

Como as gaiolas compartilham o tanque de cera, existe um tempo mínimo de espera para que todas as gaiolas sejam imergidas, permaneçam no tanque e sejam elevadas. Outros fatores a serem considerados são as velocidades de rotação, imersão e emersão da gaiola, uma vez que utilizar velocidades muito elevadas podem comprometer a qualidade das velas.

Através de cálculos aproximando a geometria das velas para matrizes tubulares, será verificado se para o tempo mínimo de processo, a convecção natural, sozinha, conseguirá solidificar as velas ou se existe a necessidade de projetar um sistema de resfriamento para a máquina.

5.1.3 Segurança

A segurança dos funcionários é de extrema importância, por isso, pequenas modificações serão feitas para evitar acidentes. Começando com a proteção das partes móveis da máquina como engrenagens e eixos.

O projeto da fundação da máquina e do tanque deve ser feito para assegurar que a máquina estará fixa do solo e o nível de vibração será o mínimo possível.

Estudos dinâmicos deverão ser realizados para minimizar ruídos e aumentar a segurança, uma vez que, as gaiolas da máquina estarão em constante movimento.

5.1.4 Manutenção

Modificações para facilitar a manutenção dos equipamentos está sendo pensada, como lubrificação dos rolamentos e substituição das peças de desgaste.

O projeto de uma plataforma com escada marinho para manutenção da parte superior da máquina será desenvolvida, em conjunto a esse projeto, deve-se projetar placas de aço entre os braços de fixação da pista para facilitar o acesso do mecânico de manutenção ao centro da máquina na parte superior.

6 CONCLUSÃO

O aumento da capacidade produtiva, eficiência e automação dos processos é de extrema importância para a indústria de velas, conhecendo-se isso, sintetizou-se nesta publicação o desenvolvimento de um projeto de máquina de fabricação de velas de metro pretendendo possibilitar a construção da máquina pelo solicitando do projeto e mais do que isso, contribuir para o embasamento de outros no desenvolvimento de seus projetos.

REFERÊNCIAS

- ANSYS® 19.1 STUDENT. **Software de análise estrutural**. 2018. Disponível em: <<https://www.ansys.com/academic/free-student-products>>. Acesso em: 5 set. 2018.
- ASCOVAL INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Informações técnicas de válvulas solenóides**. 2018. Disponível em: <<http://www.ascoval.com.br/valvulas.aspx>>. Acesso em: 23 nov. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES DE VELAS. **História da vela**. 2018. Disponível em: <<http://www.abrafave.org.br/a-historia-das-velas.html>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8400**: cálculo de equipamentos para levantamento e movimentação de cargas. [S.l.], 1984. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3838>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- IMO GROUP. **Catalogo de produtos de rolamentos de giro**. 2018. Disponível em: <<http://www.goimo.com/Downloads.1414.0.html?&CurrentDownloadLanguageId=p>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- IPH SAICF. **Catálogo de cabos de aço**. 2018. Disponível em: <<http://pt.iphglobal.com>>. Acesso em: 23 nov. 2018.
- LILO REDUTORES. **Motoredutor coaxial redução de 1:190 com motor de 1cv**. 2018. Disponível em: <https://www.liloredutores.com.br/Motoredutor_Coaxial_Reducacao_de_1_190_Com_Motor_de_1cv_B5/prod-4160244/>. Acesso em: 23 ago. 2018.
- LILO REDUTORES. **Motoredutor coaxial redução de 1:60,3 com motor de 2cv**. 2018. Disponível em: <https://www.liloredutores.com.br/Motoredutor_Coaxial_Reducacao_de_1_60_3_Com_Motor_de_2cv_B5/prod-4160268/>. Acesso em: 23 ago. 2018.
- MINDMASTER. **Scrum: a metodologia ágil**. 2014. Disponível em: <<http://www.mindmaster.com.br/scrum/>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- NEADE INDUSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS PARA ELEVAÇÃO E MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS. **Catálogo de cabos de aço - CIMAFA**. 2018. Disponível em: <<http://www.neade.com.br/index.php/catalogos/cabos-de-aco-cimaf>>. Acesso em: 23 nov. 2018.
- RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS MB. **Resistência tubular**. 2018. Disponível em: <<http://www.resistenciasmb.com.br>>. Acesso em: 23 ago. 2018.
- SEBRAE. **Fábrica de velas**. 2018. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-velas,f5a87a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>>. Acesso em: 5 set. 2018.
- SEMERU BLOG. **O quadro Kanban**. 2011. Disponível em: <<http://www.semeru.com.br/blog/o-quadro-kanban/>>. Acesso em: 4 set. 2018.
- SOLIDWORKS. **Software de modelagem 3D**. 2016. Disponível em: <http://www.solidworksbrasil.com.br/sw/purchase/product-demo.htm?mktid=8104&gclid=CjwKCAiA0ajgBRA4EiwA9gFOR-2LEZm6-q2bSqfY3KuOn1by30ElVMbODxoI_8cEFJbY8jS0QPtfHxoCI6AQAvD_BwE>. Acesso em: 10 jul. 2018.