

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Nicolas Abrahão de Azambuja

**Estudo de caso de uma automação das
máquinas de sopro Bekum HBV 121 e HBD
111**

Projeto de Graduação

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da PUC-Rio

Orientador: Mauro Speranza Neto
Coorientador: Jorge Luiz Fontanella

Rio de Janeiro
Julho 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por sempre acreditarem em mim, em todos os meus passos acadêmicos e futuro profissional.

Gostaria de agradecer também ao Diretor geral da empresa Vibração, Roberto Ávila, onde depositou toda confiança e me disponibilizou funcionários e toda ajuda necessária para realizar o estudo além de depositar toda sua confiança em mim para pô-lo em prática no futuro. Dentro da empresa gostaria também de agradecer ao gerente de fábrica Roberto Araújo que me tirou diversas dúvidas e me ajudou no desenvolvimento da ideia.

Agradeço também aos meus orientadores Mauro Speranza e Jorge Luiz Fontanella, por toda a ajuda técnica e conhecimento passado.

RESUMO

Estudo de caso de uma automação das máquinas de sopro Bekum HBV 121 e HBD 111

As embalagens rígidas de plástico são utilizadas em larga escala como objetos para envase, seja na área alimentícia, estética ou de saúde, além de muitas outras, isso se deve as capacidades de produção, resistência, suas propriedades químicas além de se possuir um baixo custo de produção.

Este projeto irá apresentar uma possível automação para uma máquina de sopro por extrusão, a fim de aumentar a eficiência das máquinas utilizadas na empresa. Para realizar esse projeto foi acompanhado o dia-a-dia na empresa para que fosse possível analisar e entender o funcionamento de uma máquina de extrusão por sopro (EBM) e descobrir os problemas e ineficiências no processo que poderiam ser melhoradas através do projeto. Durante a descrição será explicitado melhor como funciona o processo de extrusão-sopro, os problemas encontrados, e as vantagens da automação.

Palavras chaves: Automação, extrusão-sopro, embalagens rígidas de plástico, indústria plástica, máquinas EBM

ABSTRACT

A Case study of an automation for blow molding machines Bekum HBV 121 and HBD 111

The rigid plastic containers are used in large scale as objects for packaging, whether in the food, aesthetic or health area, in addition to many others, this is due to production capacities, resistance, its chemical properties in addition to having a low cost of production.

This project will present a possible automation for an extrusion blowing machine in order to increase the efficiency of the machines used in the company. To achieve this project, the company was monitored daily so that it was possible to analyze and understand the operation of a blow extrusion machine (EBM), to discover the problems and inefficiencies in the process that could be improved through the project. During the description will be explained better how the extrusion-blowing process works, the problems encountered, and the advantages of automation.

Key-Words: Automation, extrusion-blowing, rigid plastic packaging, plastic industry, EBM machines

Sumário

1 Introdução	1
1.1. Automação	1
1.2. Processo de Sopro	3
1.3. Empresa	8
1.4. O problema	9
2 Metodologia	10
2.1. Objetivo	10
2.2. Introdução das máquinas	11
2.3. Soluções	12
3 Solução	15
3.1. Escopo	15
3.2. Desenvolvimento	16
3.3. Especificação	19
3.3.1. Atuadores	20
3.3.2. Sensores	22
3.3.3. Ventosa	23
3.3.4. Esteira	24
3.3.5. Destacador	31
3.3.6. Compressor	33
3.3.7. CLP	33
4 Conclusão	34
5 Referências Bibliográficas	35

Lista de figuras

Figura 1- Processo de controle de uma automação.....	2
Figura 2– Simbolização do funcionamento do CLP. Fonte: [2].....	3
Figura 3 – Processo EBM.....	4
Figura 4- Processo IBM.....	4
Figura 5– Mangueiras aquecidas(parison) pós extrusão.....	5
Figura 6- Molde aberto já montado na máquina.....	6
Figura 7- "Facas" do molde.....	6
Figura 8- Detalhe da parte mais fina da rebarba, facilitando o destaque.....	7
Figura 9 - (a) Furos para refrigeração a ar do frasco, (b) Rebarba sendo destacada na parte superior do frasco.....	8
Figura 10 - Embalagem com e sem rebarba da esquerda para a direita.....	10
Figura 11- Máquina Bekum HBV- 121 [3].....	11
Figura 12 - Máquina Bekum HBD- 111.....	12
Figura 13- Em vermelho onde caem os frascos na máquina HBV-121, no caso uma esteira.....	13
Figura 14- Reservatório da máquina HBD-111 na parte inferior da imagem.....	13
Figura 15– Croquis da ideia inicial.....	15
Figura 16- Manifold na esquerda da imagem, onde as mangueiras de refrigeração se encontram.....	16
Figura 17- Desenho da automação junto com uma das máquinas no <i>SolidWorks</i> ...	18
Figura 18- Desenho no software da esteira.....	18
Figura 19- Máquina Instron para ensaios de compressão e tração do laboratório de ensaios mecânicos da Puc-Rio (LEM).....	21
Figura 20- Realização do teste com a embalagem fixada sofrendo uma força de compressão da máquina.....	21
Figura 21- Gráfico obtido do ensaio de compressão.....	21
Figura 22- Sequência do cisalhamento.....	22
Figura 23- Sistema da ventosa.....	24

Figura 24- Visualização da esteira no software.....	25
Figura 25- Rolete.....	26
Figura 26 - Vista de seção do rolete.....	26
Figura 27- Eixo antigo utilizado na fábrica	27
Figura 28 - Transportador	28
Figura 29 - Características do motorreductor.....	31
Figura 30 - Destacadores fixados na placa ao fundo	32
Figura 31 - Furos de refrigeração nos destacadores.....	32
Figura 32 - Custos.....	34

1 Introdução

1.1. Automação

A automação é um sistema que emprega processos automáticos, uma palavra que vem do grego *autómatos*, que significa mover-se por si ou que se move sozinho, é utilizado na indústria substituindo trabalho muscular e mental humano através de diversos equipamentos. Pode ser aplicado em uma única máquina ou processo, ou em toda a indústria, com a competição do mercado atual a automação tem sido empregada cada vez mais buscando uma melhor eficiência de máquinas e um menor custo. Segundo Silveira (2009) relata que: “automação é um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com alta eficiência através do uso de informações recebidas do processo que atuam”. Porém uma discussão sempre ocorre em relação a automatizar um processo principalmente a respeito dos operadores, por um lado tem a controversa de que automação reduz empregos devido a utilização de máquinas no lugar dos funcionários, por outro lado a automação traz o benefício de tirar o homem-máquina de funções repetitivas que causam acidentes por cansaço ou fadiga, um exemplo disso é a LER (lesão por exercício repetitivo), que acaba afastando o trabalhador. Além disso a automação influencia uma melhor capacitação e desenvolvimento do funcionário, para que continue empregado.

Os sistemas normalmente são formados por sensores para monitorar os pontos do processo, atuadores que irão realizar o movimento desejado para automação e um controlador onde irá receber e enviar todas as informações e sinais necessários, na Figura 1 é possível ver o diagrama de como funciona o processo de controle.

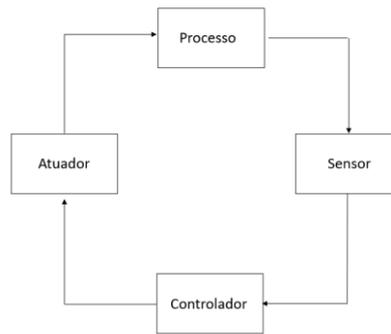


Figura 1- Processo de controle de uma automação

- **Sensores:** é um elemento sensível a uma forma de energia do ambiente, que relaciona informações sobre uma grandeza que deseja ser medida, como temperatura, pressão, vazão, posição e corrente. Eles podem ser digitais ou analógicos [2].
- **Atuadores:** Atendem a comandos que podem ser elétricos, mecânicos ou manuais, um atuador nada mais é do que um elemento que produz movimento, existem diversos modelos no mercado como cilindros hidráulicos e pneumáticos, além de motores elétricos, hidráulicos e pneumáticos [2].
- **Controlador (CLP):** é um aparelho eletrônico digital que pode ser programado através de uma linguagem de programação de maneira a executar funções aritméticas, lógicas, de temporização, de contagem, entre outras. Possui entradas para aquisição de dados e saídas para acionar diversos tipos de dispositivos ou processos. A Figura 2 ilustra atuação de um CLP para controlar um processo [2].

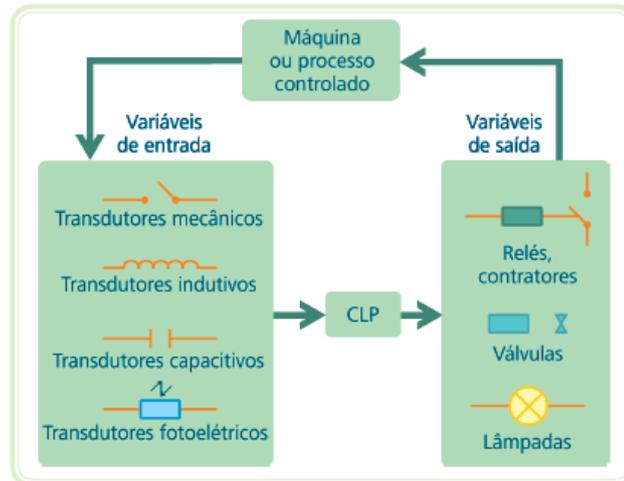


Figura 2– Simbolização do funcionamento do controlador (CLP). Fonte: [2]

O sucesso de um sistema ou projeto de automação está fortemente vinculado à elaboração de uma metodologia de desenvolvimento de todo o projeto. O planejamento deve ser o mais completo e detalhado possível, sem perder de vista que o objetivo final é a obtenção de um resultado concreto que traga benefícios a todos os envolvidos no processo [2].

1.2. Processo de Sopro

Moldagem por sopro é um processo para produzir artigos ocós fechados. Este processo foi originalmente para a indústria de vidro, mas hoje em dia é utilizado extensamente na indústria de plásticos, porém limitado a materiais termoplásticos, como por exemplo, PE(Polietileno), PVC (Policloreto de Vinila), e etc. Os dois principais processos para produzir componentes plásticos são a moldagem por extrusão (EBM) e a moldagem por injeção (IBM) [1]. Nas Figuras 3 e 4, a seguir, os processos são ilustrados, respectivamente.

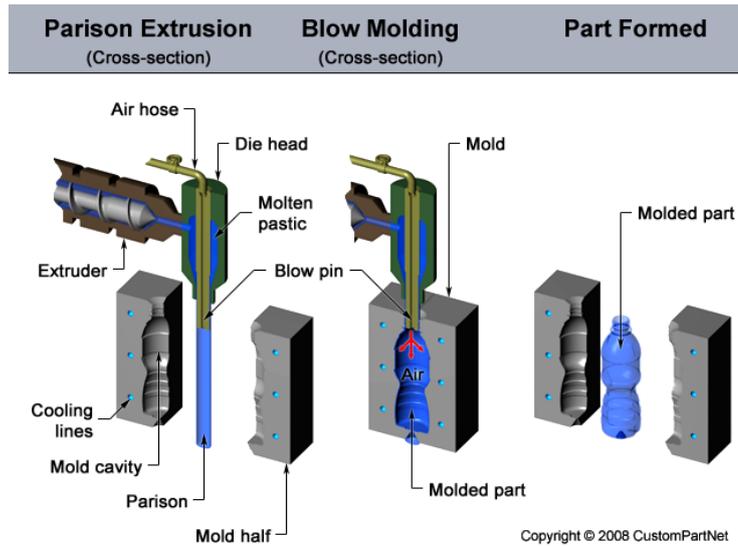


Figura 3 – Processo EBM.

Adaptado de [19]

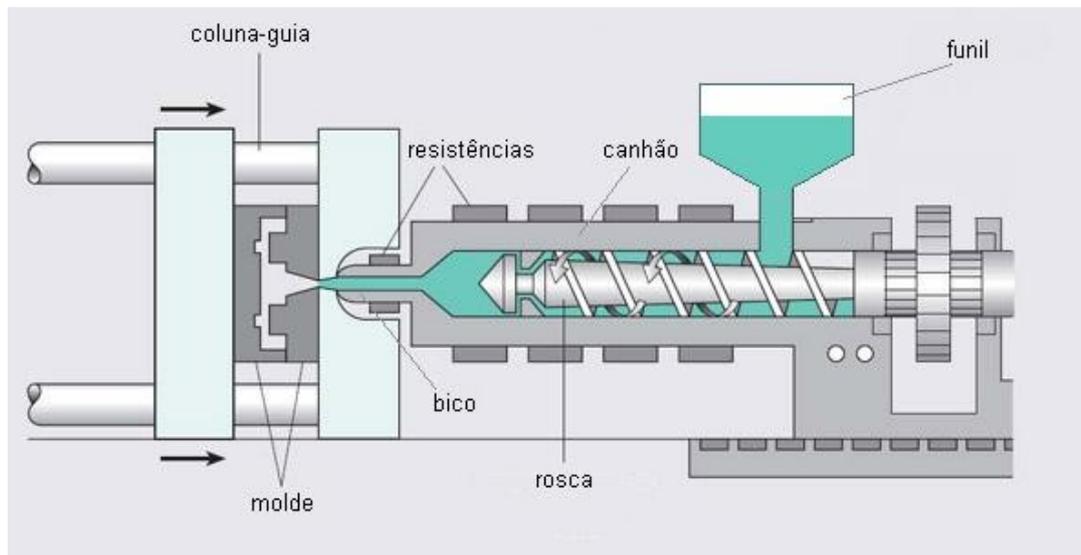


Figura 4- Processo IBM

Adaptado de [20]

O processo de interesse no dado projeto será o EBM, portanto o aprofundamento do conceito será dado no mesmo. A moldagem por extrusão consiste:

- **Extrusora**: é a máquina que produz o plástico fundido. A extrusão por rosca única é definida como a extrusão de um material através de um orifício ou de uma ferramenta. O produto gerado é uma mangueira simétrica (*parison*), pode também ser assimétrica para alcançar uma distribuição determinada na parede do produto. Para extrudar o material é necessário amolece-lo para que a moldagem seja possível, isto normalmente é feito através de calor por resistências térmicas além do próprio calor produzido pela ferramenta extrudando o plástico, esse processo é chamado de plastificação ou amolecimento térmico. O movimento relativo entre a rosca e o canhão, força o material em direção ao ferramental (cabecote e bocal). O acionamento da rosca é feito por um motor elétrico com uma rotação pré-determinada, sendo normalmente uma alta utilizada para PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e baixa para PVC.
- **Cabecote ou bocal**: é o sistema que forma o *parison*, que possui um comprimento pré-determinado de acordo com as configurações de cada embalagem, como representado na Figura 5.



Figura 5– Mangueiras aquecidas (*parison*) pós extrusão

Adaptado de [21]

- **Molde:** é onde ocorre a geração da forma do *parison*, o molde (Figura 6) é fechado e apertado, isso causa uma solda nas extremidades da mangueira aquecida, nessa parte inferior do molde é necessário haver uma usinagem afiada, chamada de “faca” (Figura 7). Ela é necessária para facilitar o destacamento da rebarba após plastificada, já que com o aperto do molde essa faca deixará uma espessura bem fina que liga a rebarba ao fundo da embalagem (Figura 8). Após a solda ocorre o sopro onde a mangueira aquecida é soprada contra as paredes para alcançar a forma desejada, durante esse processo o molde é refrigerado antes de ejetar a embalagem, para estabilizar a forma do recipiente.

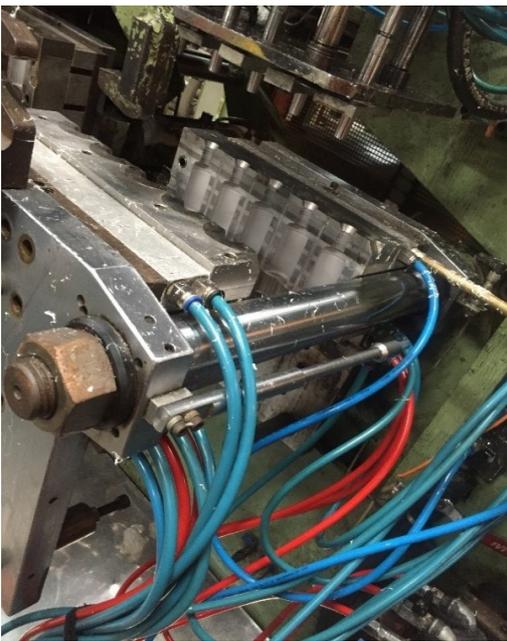


Figura 6- Molde aberto já montado na máquina

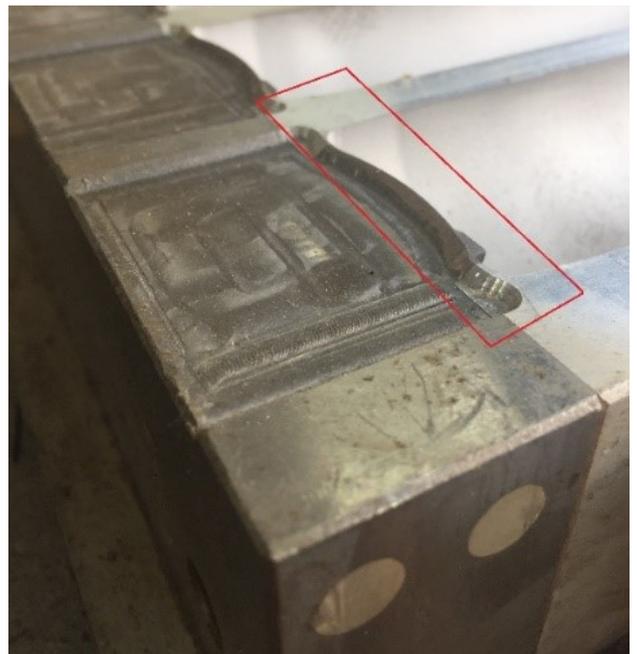


Figura 7- "Facas" do molde



Figura 8- Detalhe da parte mais fina da rebarba, facilitando o destaque

- **Destacadores:** Nas máquinas mais modernas os destacadores (Figura 9) já vem acoplados juntos. Eles são normalmente chapas de aço ou alumínio que são atuados hidráulicamente para a retirada das rebarbas que é feita internamente nas máquinas e necessitam de refrigeração à ar para que haja a plastificação do material, após esse processo o produto é finalizado. Caso não existam destacadores acoplados na máquina o processo é feito externamente por funcionários que realizam manualmente ou através de facas a retirada.



(a)

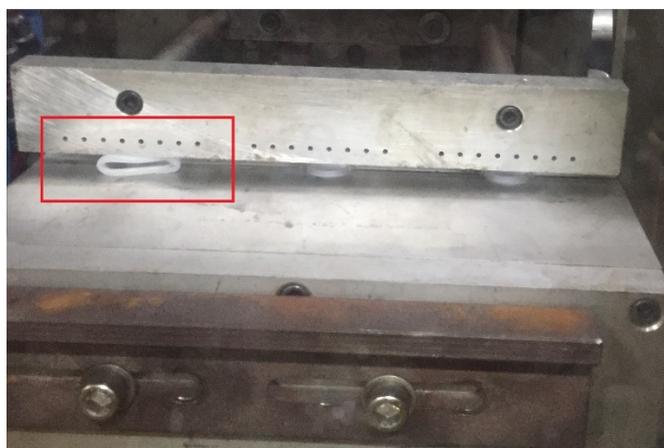


Figura 9 - (a) Furos para refrigeração a ar do frasco, (b) Rebarba sendo destacada na parte superior do frasco

1.3. Empresa

A Vibração é uma empresa fundada em 1960 e tinha como principal atividade a produção de tampas de baquelite, batoques, opérculos e cânulas para a indústria farmacêutica. Hoje a empresa conta com duas unidades de produção, o sopro e a injeção. Frascos Plásticos, Tampas Plásticas, Moldes de Injeção e Moldes de Sopro, são exemplos dos produtos. Os processos produtivos englobam o Sopro de PE / PP / PET G / PVC, a Injeção – Sopro PP, a Injeção – Estiramento – Sopro PET e a Injeção de PE /PP/ PS. Além disso, possuem uma ferramentaria com capacidade de fabricação de moldes de sopro, moldes de injeção com sistema automáticos de fechamento para tampas flip top, moldes IB e moldes de ISB para PET.

Nos últimos anos a empresa sofreu com a forte crise que o Brasil vinha sofrendo e teve que dispensar quase metade dos funcionários, além de reduzir custos como na área de manutenção e investimento em tecnologias. O objetivo da empresa era substituir as máquinas gradativamente e modernizar a empresa, porém com essas reduções de custo algumas máquinas ficaram um pouco ultrapassadas e não estão mais rendendo o esperado, assim ficando menos competitivo para mercado dos dias atuais. Diversos problemas vêm ocorrendo com as máquinas devido à falta de manutenção causada ao longo dos últimos anos, além disso por serem máquinas menos tecnológicas muitas delas ainda dependem de muitos funcionários para realizar a operação, muitas vezes repetitivas e cansativas que podem pela fadiga, causar acidentes.

Mas como no último ano a empresa tem voltado a crescer, a busca pela tecnologia, modernidade e uma manutenção periódica para manter as máquinas com uma boa produção voltam as prioridades da empresa. Algumas automações tem sido realizadas, além de *retrofit* em máquinas, que é o processo de modernização de algum equipamento ultrapassado ou fora das normas.

1.4. O problema

A empresa possui 3 turnos de funcionários, ao analisa-la foi possível constatar que existe uma grande quantidade de funcionários da categoria auxiliar de produção exercendo funções muito repetitivas e mecânicas como o destacamento das rebarbas do produto e o ensacamento dos mesmos. Criando um custo fixo mensal alto devido a necessidade da mão de obra, porém isso se deve a máquinas ultrapassadas no quesito de rebarbagem. Com isso foi optado por criar um projeto que englobe uma redução de funcionários com funções repetitivas e que possa aumentar a produção, através da modernização do maquinário, podendo postergar a troca das mesmas e reduzindo custos.

2 Metodologia

2.1. Objetivo

Em busca de melhorar os processos e eficiência das máquinas da empresa esse projeto final em Engenharia Mecânica tem como objetivo desenvolver uma automação para um processo. Essa automação consistirá em automatizar o destacamento de rebarbas do processo após o molde, com isso podendo aumentar a produção, modernizando as máquinas e assim aumentando a sua vida útil, na Figura 10 pode-se ver embalagens antes e depois do processo de rebarbagem.



Figura 10 - Embalagem com e sem rebarba da esquerda para a direita

2.2.Introdução das máquinas

Como a empresa visa reduzir custos e modernizar suas máquinas, dentre as máquinas observadas, foi visto uma menor produção (quantidade de embalagens produzidas por hora) nas máquinas BEKUM HBV-121 e HBD-111, por não possuírem destacadores automáticos e saídas direcionadas, com isso necessitando de funcionários para retirar as rebarbas e ensacar embalagem por embalagem, assim foi determinado que essas seriam as automatizadas. As duas máquinas possuem uma configuração e design muito parecido podendo assim o projeto ser intercambiável. A máquina HBV-121 possui um porte maior podendo fabricar até 5 embalagens a cada abertura e fechamento do molde, além de maiores dimensões que a HBD-111 que produz até 4 recipientes, elas podem ser vistas nas Figuras 11 e 12 a seguir.



Figura 11- Máquina Bekum HBV- 121 [3]



HBD-111



Figura 12 - Máquina Bekum HBD- 111

Apesar de dimensões maiores as máquinas possuem uma mesma largura onde depositam os produtos, devido a isso o projeto de destacamento poderá ser utilizado nas duas máquinas. Isso permite movimentar a automação para outra máquina, não sendo necessário ter uma automação para cada máquina. Isso ajuda a reduzir custos já que na fábrica existem 8 máquinas HBD-111 e 4 HBV-121, e nem sempre todas estão funcionando ao mesmo tempo.

2.3.Soluções

Algumas soluções foram avaliadas até se encontrar a solução ideal para a automatização do processo. Após o sopro a máquina solta os frascos e todos caem ou em uma esteira ou em um reservatório como pode ser visto nas Figuras 13 e 14 as máquinas.



Figura 13- Em vermelho onde caem os frascos na máquina HBV-121, no caso uma esteira



Figura 14- Reservatório da máquina HBD-111 na parte inferior da imagem

Portanto para que haja uma saída direcionada dos frascos é necessário que os mesmos sejam retirados do molde e colocados em uma posição onde as rebarbas inferiores e superiores não encostem e nem esbarrem em nenhum objeto. Foi, portanto, inicialmente pensado em se colocar dentro da própria máquina um destacador, porém caso sejam produzidos até 5 recipientes ao mesmo tempo na máquina por exemplo, será necessário haver um espaço que internamente na máquina não existe, para se executar a operação. Dessa maneira foi proposto que o destacamento fosse feito externamente a máquina, e assim ficou definido para o projeto.

Uma das soluções pensadas também seria uma saída direcionada juntando as embalagens e um sensor que identificasse cada frasco, assim seriam movidos para uma baia de destacamento de acordo com seu destacamento, porém por existirem muitos moldes (mais de 30 em uma e mais de 20 na outra) por máquina, acabaria sendo muito complicado para identificação de todos os recipientes. Com isso foi

considerado que o ideal seria cada máquina possuir sua saída direcionada com um destacador ao sair da máquina.

3 Solução

3.1. Escopo

A solução então consiste em uma esteira movida por um motor elétrico que transporta as embalagens até um sistema de destacamento alimentado pneumaticamente. A embalagem é retirada do molde através de um atuador linear utilizando ventosas em um braço que o posiciona na esteira.

Primeiramente foi desenhado junto ao gerente da fábrica, como pode ser visto na Figura 15 para se ter a primeira ideia inicial do projeto e depois a ideia foi consolidada e modelado em 3D no *SolidWorks* [22] em tamanho real.

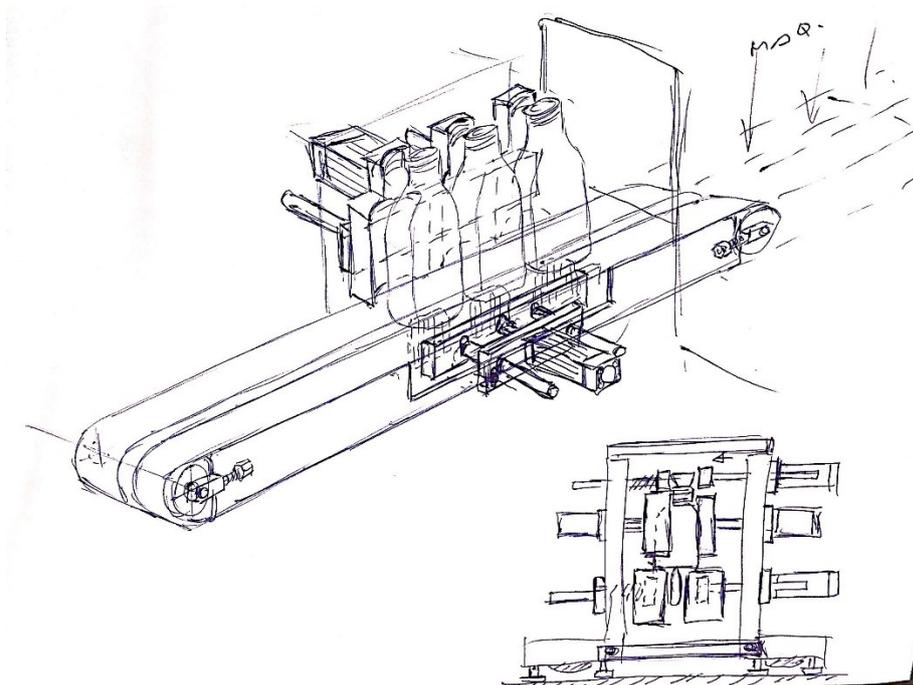


Figura 15– Croquis da ideia inicial

3.2.Desenvolvimento

Foi então determinado que para a retirada das embalagens seria utilizado um atuador linear pneumático, na lateral da máquina, para isso é necessário um reposicionamento do manifold (Figura 16), onde se encontra as entradas e saídas da refrigeração do molde. Ele seria então posicionado na parte frontal e não mais na lateral da máquina.



Figura 16- Manifold na esquerda da imagem, onde as mangueiras de refrigeração se encontram

O atuador possuirá um braço que retirará as embalagens através de ventosas a vácuo, com isso será necessário um gerador de vácuo, e assim levará os recipientes até a esteira na mesma posição que foram retirados do molde.

Na esteira é necessário que haja um espaço no centro onde passará a rebarba inferior da embalagem. Isso necessitou um maior cuidado ao se definir, foi pensado em se utilizar 2 esteiras, mas o espaçamento entre elas acabaria sendo muito

grande além do custo ser maior devido ao maior número de componentes. Optou-se por utilizar uma esteira de rolo com 2 correias e assim separa-las com uma distância de 20mm de distância entre elas. Isso foi pensado utilizando o catalogo das máquinas e vendo as dimensões máximas e mínimas das embalagens fabricadas. Desse modo também se definiu a largura de 450 mm. Esticadores de cada lado garantem a pressão necessária para mover as correias e para as mesmas não se moverem lateralmente.

Os destacadores foram projetados seguindo os modelos da empresa que utilizam placas para fixa-los através de diversos furos, com isso possibilitando utilizar diversas configurações, isso trará a possibilidade de utilizar os destacadores já existentes. As diferenças são que eles são atuados pneumaticamente e seus blocos de alinhamento são de nylon, e não de alumínio como os utilizados em máquinas modernas da fábrica, além da sustentação feita que possibilita o movimento do sistema como um todo, assim podendo ser utilizados nas outras máquinas especificadas.

A utilização do software *SolidWorks* [22] para modelar o projeto garante uma melhor visualização por ser em 3D. Foi definido que seria desenhado em uma escala real, com isso foi possível ao longo de sua execução identificar erros nas dimensões dos componentes e até posicionamentos de peças que poderiam acabar ficando próximas demais ou que não caberiam, além de não ser necessário ficar testando medições na fábrica de novas ideias e assim aumentando o tempo de projeto. Portanto com sua utilização ocorre uma diminuição das chances de erro ao projetar componentes, além de facilitar a fabricação utilizando os desenhos em 2D. Nas Figuras 17 e 18 é possível ver o desenho esquemático da máquina junto com a esteira e a esteira separada.

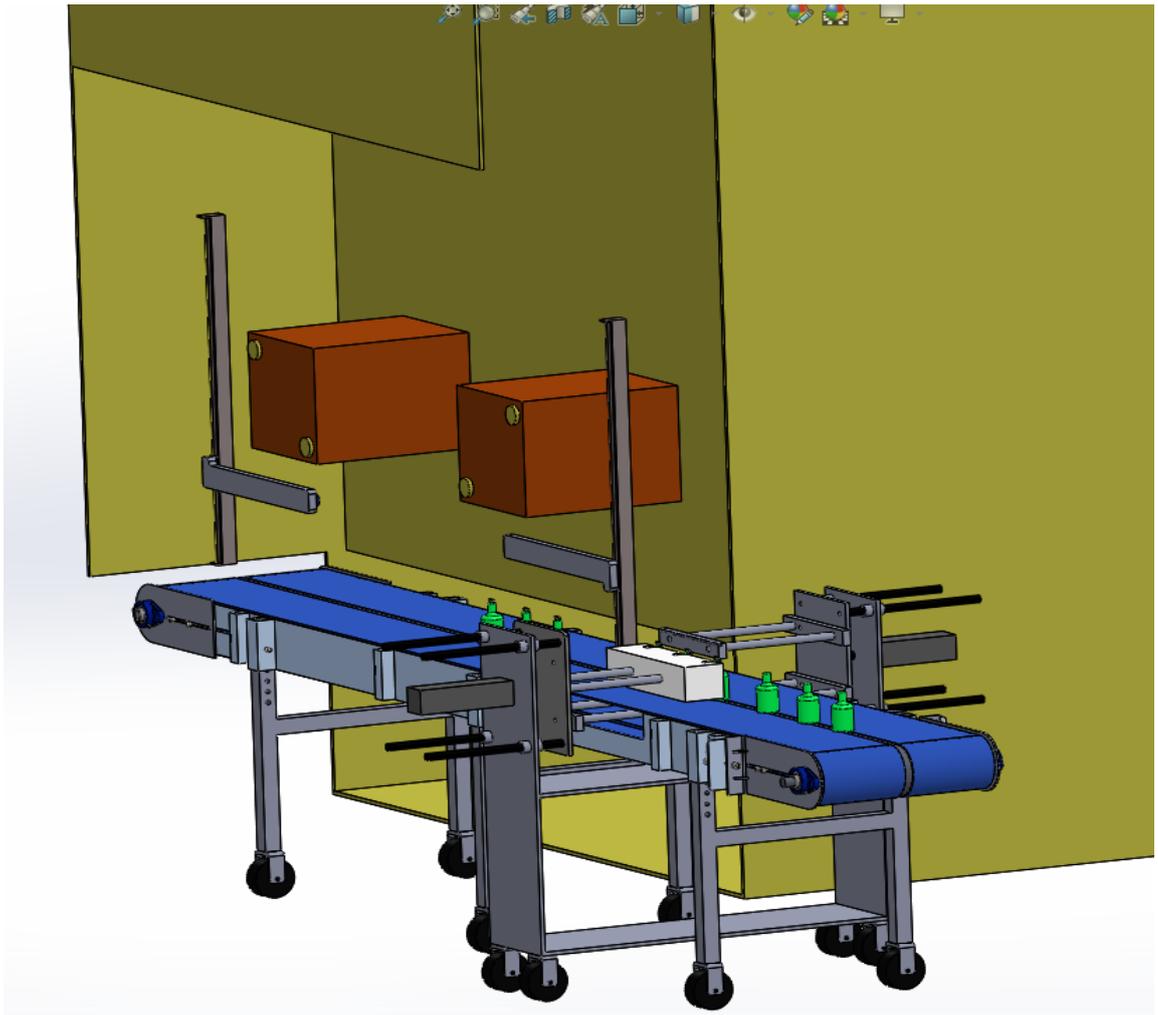


Figura 17- Desenho da automação junto com uma das máquinas no *SolidWorks*

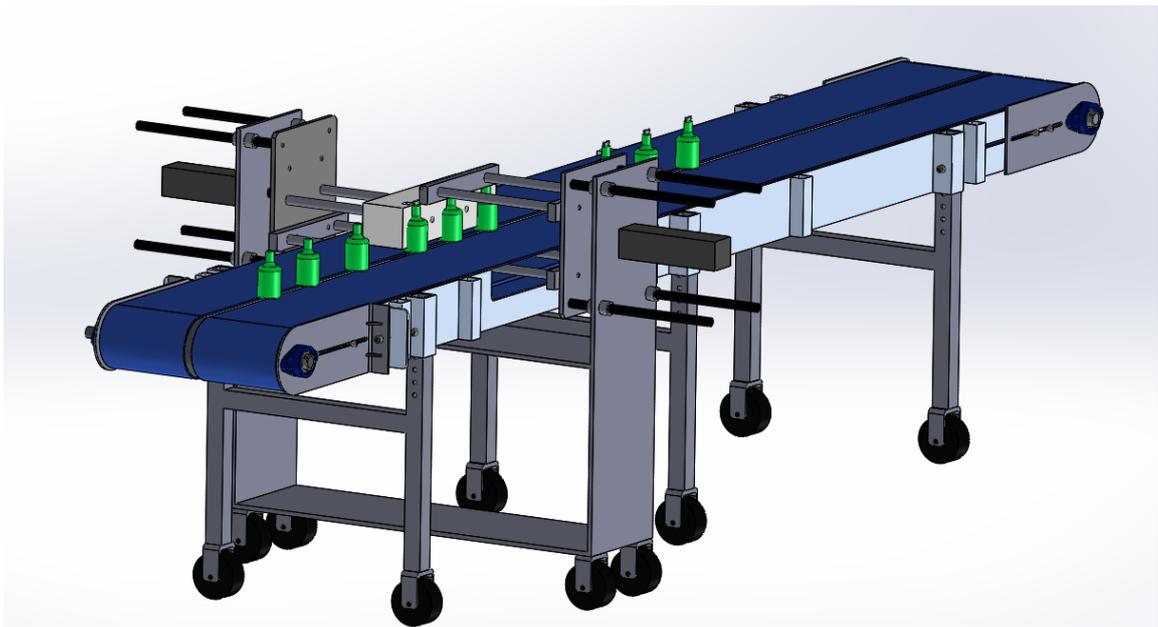


Figura 18- Desenho no software da esteira

O sistema então funcionará basicamente da seguinte forma:

- **Retirada:** A extração das embalagens será feita através de um atuador pneumático linear sem haste, nele será aparafusado um braço extrator que será explicado melhor posteriormente, ele receberá o sinal de um temporizador que será ajustado junto com a máquina. Quando a máquina fechar o molde o temporizador é acionado através de um sensor indutivo (captando o molde), quando a embalagem estiver pronta e o molde abrir de acordo com o tempo definido, o atuador receberá o sinal do temporizador para subir e retirar os recipientes. A ventosa pegará as embalagens e o atuador voltará para a posição inicial, liberando-as na esteira.
- **Movimentação:** Os recipientes serão transportados por uma esteira até chegar nos destacadores, antes deles sensores capacitivos farão a leitura da primeira embalagem até a terceira.
- **Destacamento:** Ao contabilizar a terceira embalagem um contador receberá sinal do sensor e dentro de 1 s o temporizador emitirá sinal de parada da esteira e acionará o atuador dos blocos de alinhamento. Ao chegar no fim do avanço um sensor indutivo na parte de trás dos eixos guias desligará e com isso liberará o sinal para o atuador do destacadador avançar e retirar as rebarbas superiores e inferiores. Os atuadores voltarão para posição inicial e assim o sensor indutivo nos guias emitirá o sinal para esteira voltar ao funcionamento.
- **Saída:** Ao sair do destacadador as embalagens se direcionarão ao fim da esteira onde possuirá um cesto com um saco plástico para armazenar as embalagens onde um operador depois irá retirar e levar para o estoque.

3.3.Especificação

Para a fabricação do projeto seriam necessários diversos componentes como sensores, atuadores, ventosas, além de todos os componentes da esteira, portanto os componentes foram descritos abaixo.

3.3.1. Atuadores

Serão utilizados 4 atuadores pneumáticos para exercer as funções já descritas no desenvolvimento da solução. A utilização de fontes pneumáticas são mais vantajosas, em relação a outros atuadores já que possuem a facilidade de obtenção (volume ilimitado), não apresentam riscos de faísca em atmosfera explosiva, fácil armazenamento, não contaminam o ambiente (limpo e atóxico), não necessitam de linhas de retorno (escape para a atmosfera), ao contrário de sistemas elétricos e hidráulicos e os acionamentos podem ser sobrecarregados até a parada [4].

No interior da máquina será utilizado 2 atuadores pneumáticos lineares sem haste, 1 de cada lado da máquina para realizar a retirada de cada molde, portanto foi escolhido o DGC-K-18-1000-PPV-A-GK da marca Festo [5] com um curso de 1000 mm que suporta até 100 N. Uma carga de trabalho com um bom fator de segurança já que o braço de alumínio tem um peso em torno de 2 kg (dado obtido através do *SolidWorks* [22] definindo o material como alumínio) e a soma das embalagens raramente passará de 1,5 kg. Quando o molde abrir os recipientes ficarão pendurados pelos bicos calibradores que realizam o sopro, o atuador subirá extrairá através das ventosas e descera novamente e depositará na esteira.

Nos destacadores serão usados dois tipos de atuadores da família DSBC da marca Festo. Foi definido para o movimento do bloco de alinhamento um DSBC-32-125-PPVA-N3 [6], um atuador que tem uma capacidade de avanço de até 483 N e terá um curso de 125 mm. Para esse atuador não será necessária uma grande força já que sua função é o movimento do bloco feito de nylon que irá alinhar e segurar as embalagens para o destacador, assim essas especificações atendem o propósito.

Para se definir o atuador que irá realizar o destacamento foi feito um experimento no Laboratório de Ensaio Mecânicos da PUC, já que nos catálogos das máquinas e os funcionários não possuíam informação da força. A máquina Instron (Figura 19) realiza testes de tração e compressão, o teste consiste em realizar uma compressão na embalagem até o limite do cisalhamento (Figura 20), um software que adquire os dados gera uma planilha no software *Excel* onde é possível realizar um gráfico e obter a força máxima.



Figura 19- Máquina Instron para ensaios de compressão e tração do laboratório de ensaios mecânicos da PUC-Rio (LEM)



Figura 20- Realização do teste com a embalagem fixada sofrendo uma força de compressão da máquina

A força exigida foi de 410,3595 N (quilograma-força) para cisalhar a rebarba, o gráfico pode ser visto na Figura 21, e as imagens feitas durante o cisalhamento pode ser visto na figura 22.

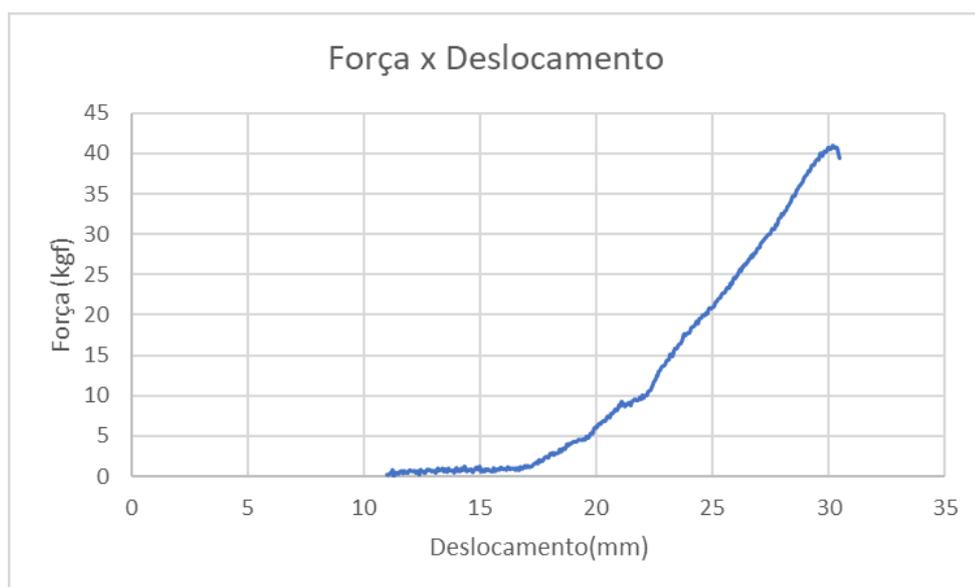


Figura 21- Gráfico obtido do ensaio de compressão



Figura 22- Sequência do cisalhamento

Como a força para o cisalhamento é de 410 N de uma embalagem, e considerando que podem ser até 5 embalagens produzidas pelas máquinas consideramos que a mínima força necessária é aproximadamente de 2000N, para realizar o destacamento. Portanto assim se determinou o atuador DSBC-80-250-PPVA-N3 [7], com um curso de 250 mm e com capacidade de avanço de 3016 N, através do catalogo da empresa Festo, e assim tendo força suficiente para destacar a rebarba e ainda possuir uma boa folga.

3.3.2.Sensores

Como foi descrito no desenvolvimento serão necessários 3 sensores indutivos.

Os sensores indutivos são emissores de sinal que detectam, sem contato direto, elementos metálicos que atravessam o seu campo magnético convertendo em um sinal elétrico inteligível. Esses sensores consistem basicamente numa bobina em torno de um núcleo [8]. Nesse projeto serão utilizados 2 sensores indutivos que realizarão a leitura de abertura e fechamento do molde que será um SIEN-M30NB-PS-K-L (sensor da festo) [9], não embutido que é capaz de fazer a leitura até 15 mm de distância. E um outro sensor indutivo SIEN-M18NB-PS-K-L [9] com capacidade

de leitura de até 8mm que fará a leitura no eixo do destacadador, quando o deslocamento do eixo for completo o sensor desligará e enviará o sinal garantindo o momento certo para o atuador dos destacadadores ser ativado.

Na esteira será utilizado um sensor capacitivo para a contagem das embalagens. Os sensores capacitivos são projetados para operar gerando um campo eletrostático e detectando mudanças nesse campo, que acontecem quando um alvo se aproxima da face ativa. As partes internas do sensor consistem em uma ponta capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtragem e um circuito de saída [8]. A necessidade desse sensor é devido a utilização dele para contabilizar os recipientes que são plásticos, portanto o sensor indutivo não seria capaz de identificar. Assim definimos que o sensor seria o BCS M30BBM3-PPC20C-EP02 [10], este sensor tem a capacidade de ler até 20 mm de distância, haverá uma regulagem para aproximar na esteira o sensor de acordo com os diâmetros das embalagens.

3.3.3.Ventosa

As ventosas farão a retirada das embalagens do molde, ao encostar na embalagem o vácuo puxará as embalagens e as manterá seguras até chegar na esteira. Para isso determinamos os diâmetros das ventosas em 10 mm já que é um tamanho que será possível retirar frascos grandes e pequenos, o peso que a ventosa suporta é de até 470 g, um valor dentro dos pesos das embalagens. Portanto o conjunto da ventosa escolhido ficou sendo ESG-10-BS-HB-QS da festo [11], na Figura 23 o desenho em 3 D da peça. Serão necessários 10 ventosas 5 em cada braço dos atuadores lineares.

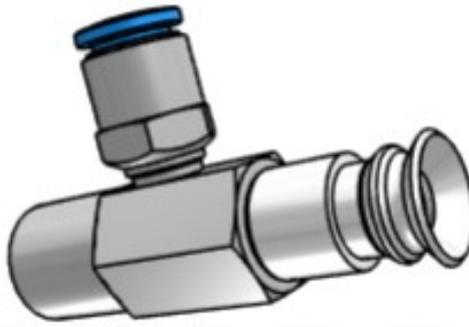


Figura 23- Sistema da ventosa

Para realizar o vácuo é necessário um gerador de vácuo, essa válvula é um dispositivo que ao ser pressurizado por ar comprimido, passa por um Venturi e gera vácuo no interior da ventosa, fazendo com que a pressão atmosférica prenda a peça à ventosa permitindo a movimentação. Foi então definida o gerador de vácuo VN-05-L-T3-PQ2-VQ2-RO1-M [12] para esse projeto.

3.3.4. Esteira

A esteira foi baseada seguindo os projetos de esteiras da fábrica com isso é possível se obter peças de reposição e realizar manutenções com facilidade. Além disso foram utilizadas rodas para que ela possa se movimentar com facilidade de uma máquina para outra. Foi seguido e projetado utilizando a norma Nr12 para transportadores de materiais [13], assim garantindo a segurança dos funcionários, na Figura 24, a seguir, pode-se ver a esteira.

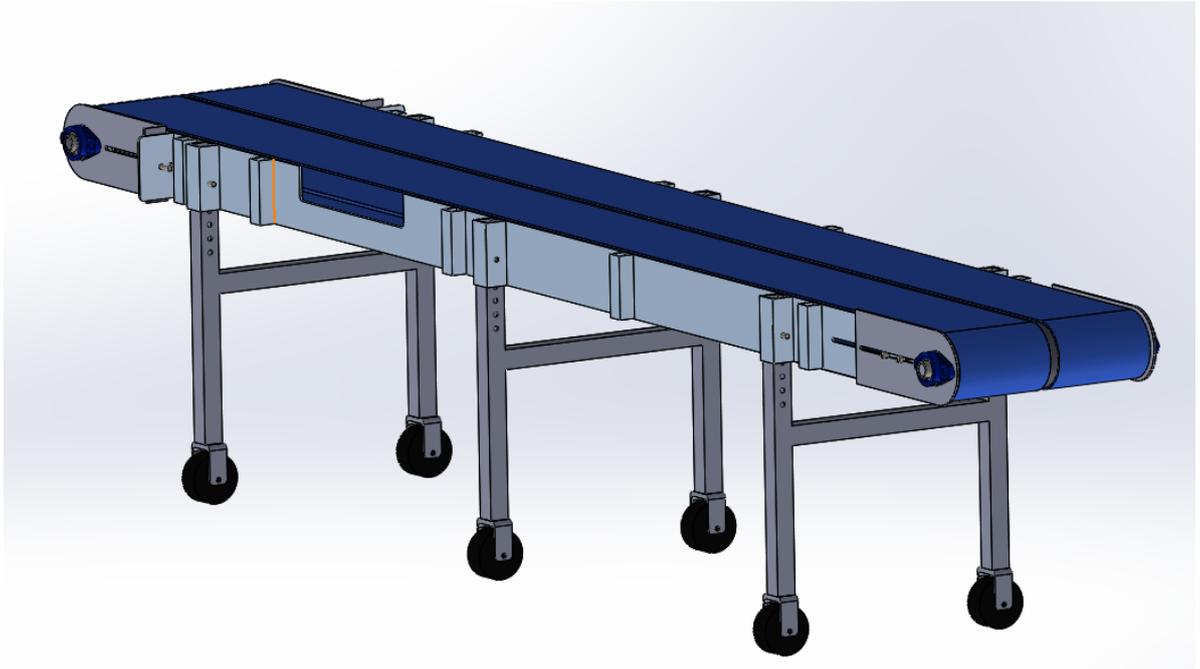


Figura 24- Visualização da esteira no software

3.3.4.1. Mancal

Foi utilizado um mancal do tipo flange como é usado em muitas esteiras da fábrica assim podendo ser intercambiável e de maior facilidade para troca de peças. Foi escolhido o FL205 da marca FRM [14], que possui um eixo de 25 mm.

3.3.4.2. Guia

A guia lateral é de alumínio com 10 mm de espessura, garantindo um peso menor e facilitando o transporte. Possui uma altura de 128 mm a altura necessária para que as rebarbas das embalagens possam passar sem encostar na parte inferior, um comprimento de 3350 mm para realizar todo o processo e uma largura de 450 mm para que possa transportar todas as embalagens possíveis que a máquina fabrique. Ao longo das guias foram colocados suportes de tubos de perfil quadrado para colocar os apoios da esteira e as hastes de proteção, nas imagens foram omitidas para uma melhor visualização.

3.3.4.3. Rolete

O rolete de movimento foi projetado utilizando uma nova esteira utilizada na fábrica, onde o eixo é oco e de aço com uma parede grossa (Figuras 25 e 26) e através de parafusos as pontas com os eixos que são apoiados nos mancais são fixados. Com isso é possível a utilização de cilindros maiores como era necessário nesse projeto já que possui 130 mm de diâmetro, sem utilizar grande tarugos e pesados de aço como era antigamente (Figura 27). Os eixos são fixados nos mancais através de moscas (parafusos sem cabeça) para garantir a fixação e não haver movimento axial dos mesmos.

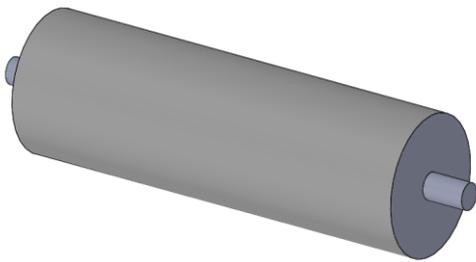


Figura 25- Rolete

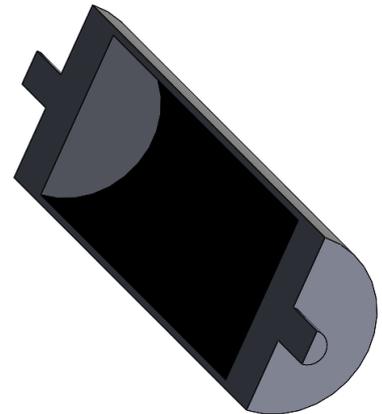


Figura 26 - Vista de seção do rolete



Figura 27- Eixo antigo utilizado na fábrica

3.3.4.4.Motor

A utilização de um motor elétrico requer um cálculo de potência para que não haja um superdimensionamento ou o contrário. Utilizando a literatura [15] é possível determinar os parâmetros necessários e as fórmulas para realizar o dimensionamento, como pode ser visto a seguir.

Transportador Horizontal

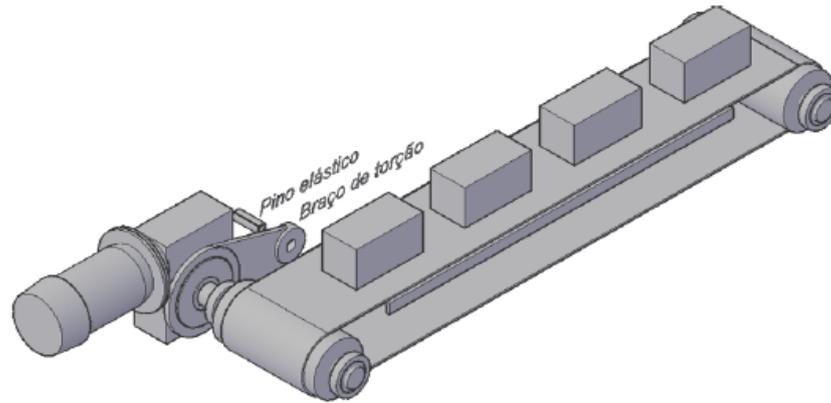


Figura 28 - Transportador

$$G_m = \frac{L \cdot Q}{v \cdot 60} = \text{kgf}$$

$$M = (G_m + G_c) \mu * \frac{D}{2 \cdot 1000} = \text{kgfm}$$

Onde:

L = comprimento do transportador (m)

Q = kg/h de material transportado

v = velocidade do transportador (m/min)

G_m = Força peso do material sobre o transportador (kgf)

G_c = força peso da correia (kgf)

D = Diâmetro do rolete (mm)

μ = 0,3 a 0,4 para correia de material sintético deslizando sobre chapa de aço

Rotação por minuto no eixo do tambor/ eixo de saída do redutor

$$n = \frac{v * 1000}{\pi * D} = \text{rpm}$$

Onde:

v = Velocidade da correia (m/min)

$D = \text{Diâmetro do rolete de acionamento}(mm)$

Para calcular a potência necessária de acionamento

$$P = \frac{(M * n)}{716,2 * \eta} = CV$$

Onde:

$M = \text{momento de torção nominal no eixo do rolete}$

$n = \text{rpm no eixo do rolete de acionamento}$

$\eta = \text{rendimento do motoredutor}$

Para este projeto os parâmetros definidos foram:

Para definir Q foi utilizado o catálogo [16], onde foi extraída a massa da correia, com esse dado é possível utilizar a massa específica no software *SolidWorks*, e assim obter o peso da correia de 8,914 kg. Além disso é necessário a definição da massa das embalagens por hora:

Considerando que são produzidas 8 embalagens em cada ciclo de 28 segundos, e que cada uma possua no pior dos casos uma parede grossa e um grande diâmetro assim chegando a uma massa 300g, pode-se calcular:

$$q_s = \frac{8}{28} = 0,29 \text{ embalagens/s}$$

$$q_h = 0,29 * 3600 = 1044 \text{ embalagens/h}$$

$$Q = 1044 * 0,300 = 313,2 \text{ kg/h}$$

Assim temos:

$$L = 3,350m$$

$$v = 5 \text{ m/min}$$

$$G_c = 8,914 \text{ kgf}$$

$$D = 130 \text{ mm}$$

$$G_m = \frac{L * Q}{v * 60} = \frac{3,350 * 313,2}{5 * 60} = 3,5 \text{ kgf}$$

Cálculo do torque necessário

$$M = (G_m + G_c)\mu * \frac{D}{2*1000} = (3,5 \text{ kgf} + 8,9 \text{ kgf}) * 0,4 * \frac{130}{2000} = 0,3224 \text{ kgfm}$$

Cálculo da rotação do eixo do rolete

$$n = \frac{v * 1000}{\pi * D} = \frac{5 * 1000}{3,14 * 130} = 12,25 \text{ rpm}$$

Utilizando o catálogo de redutores [17], é possível obter a potência nominal e eficiência do motorreductor. Foi escolhido o SITI MU30 1:100, que possui os seguintes dados:

Potência nominal= 0,12 CV

Eficiência=0,47

Torque nominal= 2,9 kgf.m

A baixa eficiência é devido ao tipo de redutor, que utiliza coroa e rosca sem fim, onde ocorre um alto atrito de escorregamento, porém este tipo de redutor é mais barato que outros no mercado assim se tornando uma boa opção para o projeto, já que não é necessário um motor de alto desempenho.

Finalmente, o cálculo da potência

$$P = \frac{(M * n)}{716,2 * \eta} = \frac{0,3224 * 12,25}{716,2 * 0,47} = 0,01 \text{ CV} * 0,736 = 0,0736 \text{ Kw}$$

Como as embalagens possuem pesos muito pequenos a potência necessária para o motor é muito baixa devido ao peso transportado por hora, assim sendo fácil encontrar um motor que se adeque ao projeto.

O motor escolhido então foi o mesmo utilizado em esteiras da fábrica, a marca é Bonfiglioli (Figura 29) e o modelo é BN63B [18] que possui um acionamento leve e assim garantindo que não haja movimentos muito rápidos nas paradas e acionamentos da esteira e que podem vir a derrubar os produtos.

Hz	V	A	min ⁻¹	cos φ
50	230/400 Δ/Y	1.23 / 0.71	1320	0.67
60	265/460 Δ/Y	1.20 / 0.69	1630	0.67
50Hz	380 - 415 VY	0.72 / 0.74 A		
60Hz	440 - 480 VY	0.68 / 0.71 A		

Figura 29 - Características do motorreductor

3.3.5. Destacador

Os destacadores são retângulos de aço fixados em um tarugo e preso em placas (Figura 30) onde possuem furos para que seja possível utilizar diversas configurações na mesma chapa, assim facilitando os setups para cada embalagem. No interior da máquina os destacadores tem a necessidade de ter furos ao longo de seu comprimento, como pode ser visto na Figura 31, para refrigerar a embalagem e plastifica-la, o que a torna mais frágil facilitando para o destacamento, na esteira não será necessário porque até os recipientes chegarem ao destacador já terá tido tempo suficiente para a refrigeração do material.

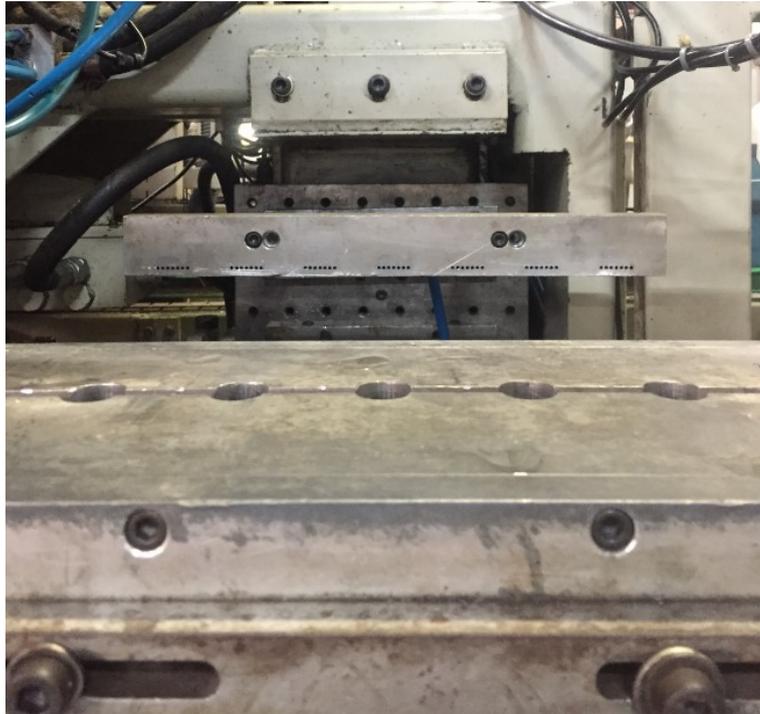


Figura 30 - Destacadores fixados na placa ao fundo



Figura 31 - Furos de refrigeração nos destacadores

3.3.6. Compressor

Será utilizado o compressor central de ar comprimido da empresa e assim uma rede secundária alimentará os atuadores que trabalham a uma pressão de 6 Bar.

3.3.7. CLP

O CLP para a automação e o programa para o funcionamento será terceirizado, portanto, não será descrito aqui.

4 Conclusão

Foi possível estimar que o custo para esse projeto deve ser em torno de R\$35.000,00, considerando o aumento de vida útil das máquinas o projeto se torna viável, já que a compra de uma nova máquina com a tecnologia implementada custa em torno de R\$800.000,00 a R\$1.000.000,00. Além disso considerando que será reduzido 1 funcionário por turno realizando os destacamentos das embalagens e sabendo que o custo desses 3 funcionários é de R\$8.000,00 por mês facilmente dentro de 4 a 5 meses o retorno para a empresa já existe. Portanto a automação projetada cumprirá o objetivo proposto e trará benefícios a empresa. Na Figura 32 a seguir, é possível ter a ideia dos custos.

Custo Total	
Estrutura	R\$8.000,00
Sensores	R\$800,00
Atuadores	R\$4.000,00
Componentes de Vácuo	R\$4.000,00
CLP	R\$15.000,00
Possíveis custos extras	R\$3.000,00
Total da automação	R\$34.800,00

Figura 32 - Custos

5 Referências Bibliográficas

[1] Whelan, T. **Manual de moldagem por sopro da Bekum**, The Bekum blow moulding handbook, 1º Edição em português 1999.

[2] Roggia, L.; Fuentes, R. C.; **Automação industrial**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016

[3] Catálogo das máquinas Bekum disponibilizado pela empresa

[4] Silva, E. C.; **Apostila de pneumática**, Escola politécnica da USP, São Paulo 2002, p.20. Disponível: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2481/pneumat2481.pdf>

[5] Catálogos da festo do atuador DGC-K. Disponível:
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/407158/DGC-K_2013-06a_8025694g1.pdf
https://www.festo.com/cat/pt-br_br/search?query=DGC-K-18-1000-PPV-A-GK.
Último acesso 26/06/2019

[6] Datasheet do Atuador DSBC-32-125-PPVA-N3. Disponível:
<https://www.festo.com/br/pt/npc/npc-datasheet-ui/datasheet.do?product=DSBC-32-125-PPVA-N3>. Último acesso 26/06/2019

[7] Datasheet do atuador DSBC-80-250-PPVA-N3. Disponível:
<https://www.festo.com/br/pt/npc/npc-datasheet-ui/datasheet.do?product=DSBC-80-250-PPVA-N3>
Último acesso 26/06/2019

[8] Wendling, M., **Sensores**, UNESP, Guaratinguetá, 2010. Disponível:
<https://paulocrgomes.com.br/wp-content/uploads/2018/11/sensores.pdf>

[9] Datasheet dos Sensores indutivos. Disponível:
https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_SEIN?CurrentIDCode1=SIEN-M30NB-PS-K-L&CurrentPartNo=150442
https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_SEIN?CurrentIDCode1=SIEN-M30NB-PS-K-L&CurrentPartNo=150442 . Último acesso 26/06/2019

[10] Datasheet Sensor Capacitivo. Disponível:
<http://publications.balluff.com/pdfengine/pdf?type=pdb&id=367256&con=pt&ws=approval> Último acesso 26/06/2019

[11] Catalogo e datasheet da Ventosa respectivamente. Disponível:
https://www.festo.com/cat/pt-br_br/data/doc_engb/PDF/EN/ESG_EN.PDF
<https://www.festo.com/br/pt/npc/npc-datasheet-ui/datasheet.do?product=ESG-10-BS-HB-QS> Último acesso 26/06/2019

[12] Datasheet Geradora de vácuo. Disponível:
https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_VN_ABM?CurrentIDCode1=VN-05-L-T3-PQ2-VQ2-RO1-M&CurrentPartNo=532619. Último acesso 26/06/2019

[13] Norma Nr12. Disponível:
http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm#Transportadores_de_materiais Último acesso 26/06/2019

[14] Catalogo do mancal. Disponível: <http://www.frm.ind.br/fl200.pdf>
Último acesso 26/06/2019

[15] Fevereiro, L. J., **Como calcular a potência do motor e selecionar o redutor no acionamento de máquinas e equipamentos**, Edição abril 2019.

Disponível:

<https://sites.google.com/view/calcular-potencia-do-motor>

[16] Catálogo de correias. Disponível:

<http://www.damatec.com.br/transportadora/tabela-de-especificacoes-tecnicas-transportadora/> Último acesso 28/06/2019

[17] Catálogo motorreductor. Disponível:

<http://www.zararedutores.com.br/site/wp-content/uploads/2016/12/Catalogo-Linha-U-MU.pdf> Último acesso 28/06/2019

[18] Catálogo motorreductor escolhido

https://www.bonfiglioli.com/DISCRETE-MANUFACTURING-%26-PROCESS-INDUSTRIES_D%26P_ENG_R02_0.pdf Último acesso 28/06/2019

[19] Fonte: <https://www.custompartnet.com/wu/blow-molding>

[20] Fonte: <https://www.tudosobreplasticos.com/processo/injecção.asp>

[21] Fonte: <https://www.rbplasticsmachinery.com/blow-molding/max-parison-control/>

[22] <https://www.solidworks.com/pt-br>