



PROJETO DE UM SISTEMA DE ENVASE E SELAGEM DE BISNAGAS DE ALUMÍNIO

Autor 1 – Cristian Costella

154607@upf.br

Autor 2 – Prof. Dr. Márcio Walber

mwalber@upf.br

Comissão Examinadora – Dr. Leandro Dóro Tagliari, Ms. Guilherme Reschke do Nascimento

RESUMO

Uma indústria brasileira voltada para a produção de pneus para competições *off-road* (fora de estrada), trouxe ao Brasil a tecnologia do “Mousse”, uma borracha expansiva que tem como finalidade a substituição da câmara de ar. Este produto possibilitará para o piloto maior conforto, segurança e performance nas competições, além de garantir que o pneu não venha a esvaziar por possíveis danos. Para facilitar a montagem do “Mousse” se faz necessário um gel, que além de lubrificar tem a finalidade de elevar a sua vida útil. O problema enfrentado pela indústria é o envasamento deste lubrificante em bisnagas de alumínio, onde o fornecimento do produto acabado deixa o custo elevado, visto que a fabricação do gel e o envasamento são realizados através de fornecedores diferentes. O objetivo deste trabalho é apresentar o projeto de uma máquina que tenha por finalidade realizar o envase e a selagem de bisnagas de alumínio, tendo em vista a redução de custos de terceirização, além da agilidade no processo de envase. Para tal fim, foi realizado um estudo para avaliar os sistemas de desenvolvimento de máquinas. Após isso, com etapas delineadas de planejamento, conceito, projeto definitivo e detalhamento, é estabelecido um sistema semiautomático capaz de envasar e selar bisnagas de alumínio, de fácil manuseio e de baixo custo. O resultado deste estudo é apresentar a elaboração do projeto, contemplando todas as etapas para seu pleno funcionamento e operação, além da viabilidade financeira para sua construção em geral.

Palavras chave: envasadora pneumática; projeto mecânico; viabilidade econômica, selagem de tubetes.

1 INTRODUÇÃO

Diante de um cenário voltado para o setor de pneus para competições fora de estrada, no Brasil, surge uma inovação tecnológica chamada “Mousse”, o qual está prestes a revolucionar tal ramo. O Mousse, uma borracha expansiva que substitui a tradicional câmara de ar dos pneus, de tecnologia italiana, promete oferecer aos pilotos maior conforto, segurança e desempenho nas competições, ao mesmo tempo em que elimina o risco de esvaziamento por possíveis danos, ajudando também na performance devido a sua grande absorção de impacto. Até então, o Mousse era um produto bastante distinto e um certo tanto desconhecido pelos pilotos brasileiros,

100% importado, gerava altos custos para quem fosse fazer sua aquisição, chegando a custar doze vezes o valor de uma câmara de ar convencional.

Devido a empresa brasileira Borilli Racing situada no estado do Rio Grande do Sul estar fabricando atualmente o produto 100% com matérias primas nacionais, o custo desse produto diminuiu consideravelmente para o consumidor, chegando a custar até 4 vezes menos o valor do produto anteriormente importado, facilitando a sua aquisição para também os pilotos amadores. Com estratégias de vendas, diretamente para com clientes e lojistas, hoje o Mousse vem conquistando maior aceitação e credibilidade perante os motociclistas da gama *off-road*.

No entanto, um desafio considerável surge para a indústria: o envase em bisnagas de alumínio do gel lubrificante, o qual é um produto vendido juntamente com o Mousse, sendo indispensável a sua utilização, tanto para facilitar a instalação e a montagem do Mousse no pneu, quanto para aumentar a sua vida útil. Atualmente o processo de envase é terceirizado, o que acaba encarecendo o produto, uma vez em que a fabricação do gel silicone e o envase são realizados por fornecedores diferentes, gerando longas malhas logísticas e atrasos de entrega.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver o projeto de uma máquina que seja capaz de realizar o envase e a selagem das bisnagas de gel lubrificante dentro da própria empresa, visando a redução dos custos com a terceirização desse material pronto, aumentando a eficácia perante o processo produtivo e qualificando ainda mais o envase e a selagem do produto.

Para alcançar esse objetivo, o trabalho propõe a avaliar os diferentes sistemas de desenvolvimento de máquinas, considerando etapas previamente definidas. A ideia é conceber um sistema semiautomático de fácil manuseio e de baixo custo, capaz de realizar o envase e a selagem das bisnagas de alumínio de forma eficaz. O resultado desse estudo não se limita apenas ao projeto da máquina; ele também aborda a viabilidade financeira desse novo sistema de envase. Segundo R. Parkinson, Alan (2013), um bom projeto de máquinas combina a engenharia com a arte de encontrar soluções eficientes para desafios complexos.

Assim, este trabalho surge como uma resposta inovadora ao desafio enfrentado pela indústria brasileira de pneus *off-road*, mostrando o potencial de melhorar a eficiência e a economia no setor ao mesmo tempo em que introduz um aprimoramento do processo interno. A inovação é a chave para avançar na engenharia de máquinas; projetar com eficiência e eficácia requer uma mente com pensamentos abertos e muita criatividade (BEJAN, 2016).

1.1 Justificativa e descrição do problema

Deseja-se desenvolver esse projeto com principal foco na redução de custos e na agilidade com que o processo de envase será executado, sendo que o silicone é um composto exclusivo, desenvolvido também pela própria indústria, tendo em vista que hoje a produção do gel e o envase são realizados em locais distintos, gerando altos custos de terceirização e acarretando, muitas vezes, em longos prazos de entrega.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo geral desenvolver um equipamento semiautomático para envasar e selar bisnagas de gel lubrificante.

Para auxiliar o atendimento do objetivo geral, relacionam-se os seguintes objetivos específicos:

- Estudar o processo de envasamento de bisnagas;

- Avaliar os equipamentos disponíveis no mercado;
- Desenvolver o sistema utilizando uma metodologia de projeto de engenharia, provendo as etapas de planejamento, projeto conceitual, projeto definitivo e projeto detalhado;
- Realizar uma avaliação de custos e avaliar o *payback* do equipamento a ser desenvolvido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta etapa é apresentado um estudo sobre os assuntos importantes como prática do esporte no Brasil, sistemas de envase, sistemas elétricos, sistemas pneumáticos, normas técnicas e sistemas equivalentes. Demonstrando assim os requisitos principais para a realização e desenvolvimento do sistema de envase de bisnagas, elaborando a fundamentação teórica necessária para os cálculos, projetos e análises.

2.1 O que é *off-road* – Tipos de esportes

O motociclismo se divide em dois grandes grupos *on-road* e o *off-road* que são distinguidas de acordo com o lugar onde são disputadas. O grupo *on-road*, nas quais as competições são realizadas sobre o asfalto, autódromos, Moto GP por exemplo e o grupo *off-road* onde as provas são realizadas fora das estradas, em circuitos de terra, terrenos “acidentados”, dispendo de diferentes modalidades e para quem as não conhece, acaba gerando um certo desentendimento.

O *motocross*, segundo Motul Expert (2021), é a modalidade mais famosa, surgiu na Inglaterra, por volta dos anos 20, tornando-se popular nos anos 50 e 60. As provas são disputadas em circuitos fechados com terrenos de terra gradeada geralmente molhados com extensão de em média 1,5 km. O percurso normalmente possui saltos, onde o motociclista chega a saltar 20 metros de distância e chegando a atingir até 10 metros de altura. Tradicionalmente nessa modalidade as corridas contam com no máximo 40 pilotos e chegam a durar até 45 minutos. A Figura 1 (a), mostra detalhes de um salto no *motocross*.

O *velocross* se assemelha muito com a modalidade citada anteriormente, diferenciando principalmente por não possuir saltos, fazendo com que os pilotos possam atingir maiores velocidades durante o percurso da pista, conforme Figura 1 (b).

Figura 1 – *Motocross* e *velocross*.



(a)



(b)

Fonte: Balasso motorsport, (2019).

O *Freestyle Motocross*, conforme Motul Expert (2021), popularmente conhecida como FMX, é uma categoria que se destaca pela plasticidade. Nela, os pilotos não disputam por serem os mais rápidos e sim, para fazerem manobras radicais mais difíceis de serem executadas. Dessa forma, as provas contam com rampas mais íngremes construídas de metal ou de terra, para proporcionar aos competidores sequências de manobras que são cronometradas. O *Black Flip*, uma das mais difíceis e perigosas manobras de ser executada é mundialmente conhecida pelo piloto executar um giro de 360 graus para trás no ar. Ao final, os juízes dão nota considerando o nível de dificuldade da manobra e a sua execução, o melhor uso da pista e a reação do público. É preciso perícia e muito treino para fazer alguns movimentos. Uma falha pequena pode significar um sério acidente segundo (NORONHA, 2013).

Na Figura 2 (a), é possível perceber a complexidade de uma manobra do *Freestyle Motocross*.

Enduro FIM e de Regularidade, as provas de enduro se dividem entre velocidade (FIM) e regularidade. No Enduro FIM, o percurso é criado dentro de trilhas sinalizadas e é cronometrado, o mais veloz é o vencedor. Já em regularidade, o piloto que conseguir se manter dentro da média horária estabelecida no percurso que varia entre terra e asfalto, vence. Para isso, na categoria enduro, a resistência do piloto é fundamental (MOTUL EXPERT, 2021), conforme Figura 2 (b).

Figura 2 – *Freestyle Motocross* e Enduro FIM e regularidade.



(a)



(b)

Fonte: Balasso motorsport, (2019).

Por final a trilha, a qual não é considerada uma competição e sim uma prática de lazer. Conforme Motul Expert (2021), muitos dos amantes por motocicletas desfrutam desse esporte, seja para se divertir com amigos, para se distrair ou até mesmo para desligar-se da rotina do dia a dia. Normalmente essa modalidade é realizada nos mesmos terrenos onde é realizado o enduro, percorrendo circuitos devidamente demarcados em direto contato com a natureza como gramados, travessias de rios, deslocamentos em estradas de terra, matas com pedras, dentre outros, com percursos de em média 120 km de distância.

Na Figura 3, é possível analisar como essa modalidade tem envolvimento com a natureza.

Figura 3 – Trilha, modalidade de lazer.



Fonte: Balasso motorsport, (2019).

Diante de todas as modalidades citadas e perante as dificuldades de realizá-las a qual surgiu o mousse, perante a necessidade de um produto ao qual eliminasse a probabilidade de danos por eventuais furos causados aos pneus.

Santos (2022), considera que só quem é motociclista sabe o aperto que é ter um pneu furado. Significa o fim do passeio, atraso no trabalho, cancelamento da entrega ou, no pior dos casos, queda. Aos que ainda não estão familiarizados com o mousse, o item nada mais é que uma espécie de borracha expandida. A grosso modo, uma espécie de “câmara maciça” que não é preenchida por ar e, assim, resistente a furos. Essa solução preenche todo o espaço normalmente ocupado pelo ar. Foi uma tecnologia criada para motos *off-road*, onde é instalada no lugar da câmara convencional que além de não murchar, ajuda na absorção de impacto.

No entanto, para a rotina diária de uma moto em uso urbano, o pneu acaba atingindo altas temperaturas em contato com o asfalto, sendo um fator prejudicial a estrutura dessa borracha expansiva, podendo causar um eventual esfarelamento ou até mesmo seu derretimento, reduzindo, portanto, sua vida útil ou até mesmo acarretando a invalidação do produto.

2.2 Sensores

Na eletrônica, um sensor é conhecido como qualquer componente ou circuito eletrônico que permita a análise de uma determinada condição do ambiente, podendo ela ser algo simples como temperatura ou luminosidade; uma medida um pouco mais complexa como a rotação de um motor ou a distância de um carro até algum obstáculo próximo ou até mesmo eventos distantes do nosso cotidiano, como a detecção de partículas subatômicas e radiações cósmicas (PATSKO, 2006).

Os modelos são muitos, dentre eles os indutivos, capacitivos, fotoelétricos, magnéticos, infravermelho. Dentro de cada modelo existem variações, como exemplo o seu alcance, forma de alimentação, tipo do sinal de saída, tamanho e formato de corpo do sensor.

Esses sensores desempenham um papel fundamental no monitoramento e controle de processos industriais, garantindo a qualidade, eficiência e segurança das operações realizadas.

2.2.1 Sensores de proximidade

Segundo Bonacorso e Noll (2013), os sensores de proximidade são formados por um circuito eletrônico capaz de detectar a aproximação de peças, fluidos, componentes, elementos de máquinas, entre outros. O acionamento ocorre sem que haja o contato físico entre o acionador e o sensor aumentando, portanto, a vida útil do sensor. Os sensores de proximidade são constituídos por duas principais gamas, podendo ser indutivo ou capacitativo.

2.2.2 Sensor indutivo

Esses sensores são dispositivos eletrônicos projetados para detectarem objetos metálicos. A natureza sem contato da tecnologia, aliada à ausência de partes móveis, significa que, com a instalação adequada, os sensores de proximidade indutivos não estão sujeitos a desgaste mecânico. Além disso, eles funcionam bem em ambientes hostis e não são afetados pelo acúmulo de contaminantes na face sensitiva, como pó, graxa, óleo ou fuligem. Isso transforma a tecnologia indutiva em um candidato ideal para utilização nas aplicações industriais pesadas (CAMARGO, 2014).

Esse tipo de sensor detecta a aproximação de metais. O seu princípio de funcionamento baseia-se na detecção da variação do campo magnético de alta frequência devido à aproximação de materiais metálicos, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 – Princípio de funcionamento do sensor indutivo e seu *design*.



Fonte: Figura 4 (a): Bonacorso e Noll, (2013); Figura 4 (b): Camargo, (2014).

2.2.3 Sensor capacitativo

Camargo (2014), afirma que esses sensores podem detectar praticamente qualquer tipo de material: metais, não metais, sólidos, líquidos, plásticos, madeiras, papéis. Embora possa detectar metais, normalmente não são utilizados para essa finalidade, porque os sensores indutivos são mais adequados para esse fim, principalmente por custarem menos. Os sensores de proximidade capacitivos são semelhantes aos sensores de proximidade indutivos, em tamanho, forma e conceito, mas há uma diferença essencial: enquanto os sensores indutivos utilizam um campo magnético para detectar objetos, os capacitivos usam um campo elétrico.

Esse sensor detecta a aproximação de materiais orgânicos e o seu princípio de funcionamento baseia-se na detecção da variação do campo elétrico de alta frequência devido à aproximação de um objeto, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Princípio de funcionamento do sensor capacitivo e seu *design*.

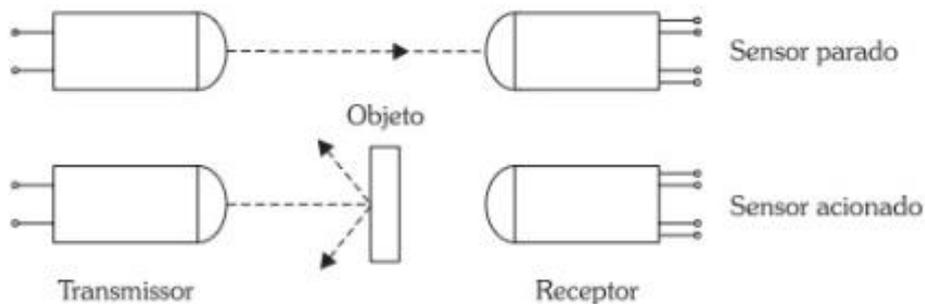


Fonte: Figura 5 (a): Bonacorso e Noll, (2013); Figura 5 (b): Camargo, (2014).

2.2.4 Sensor fotoelétrico

O sensor fotoelétrico é conhecido também como sensor ótico, e baseia-se na transmissão e recepção de luz infravermelha, que pode ser refletida ou interrompida pelo objeto a ser detectado. Conforme Bonacorso e Noll (2013), esse sensor é composto por dois circuitos básicos, sendo um transmissor LED (diodo emissor de luz), responsável pela emissão do feixe de luz, e o receptor (fototransistor ou fotodiodo), responsável pela recepção do feixe de luz. Os circuitos transmissor e receptor são encapsulados em unidades distintas e devem ser colocados um em frente ao outro, de modo que o receptor possa receber a luz do transmissor. Conforme mostra a Figura 6, o sensor é acionado quando o objeto a ser detectado interrompe o feixe de luz.

Figura 6 – Funcionamento do sensor fotoelétrico.



Fonte: Bonacorso e Noll, (2013).

2.2.5 Sensor magnético

Os sensores magnéticos possuem uma chave elétrica acionada pelo campo magnético de um ímã. Conforme Bonacorso e Noll (2013), esse tipo de sensor é utilizado quando se necessita de um grande número de comutações, quando as condições ambientais são adversas (poeira, umidade etc.) e quando não há espaço suficiente para montagens de sensores com acionamento mecânico. Geralmente esse sensor é encontrado nos cilindros com êmbolo magnético, o sensor é fixado sobre o seu corpo, deixando sua haste completamente livre. O sensor magnético apresenta dois terminais acessíveis, podendo ser, no seu modo de construção, normalmente aberto ou normalmente fechado, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Sensor magnético, funcionamento.

Chave Impulso	Parado	Acionado
NA		
NF		

Fonte: Bonacorso e Noll (2013).

2.3 Automação

Segundo Groover (2010), o início da automação historicamente é atribuído ao desenvolvimento de aparato mecânicos, como a roda por volta de 3200 a.C., a alavanca e o guincho que surgiram em meados de 600 a.C. e o parafuso no ano 1405, além de engrenagens nos tempos antigos. Estes dispositivos passaram por uma refinação e foram usados na elaboração de máquinas para geração de energia como na composição de rodas hidráulicas, moinhos de vento em torno de 650 e máquinas a vapor no ano de 1765. Esses foram os primeiros dos elementos relevantes para os sistemas automatizados.

De acordo com Groover (2010), James Watt e Matthew Boulton aprimoraram a máquina a vapor após sua criação em 1765, introduzindo um controlador centrífugo que regulava a válvula da máquina. Esse controlador, composto por uma esfera em uma alavanca conectada a um eixo rotativo, ajustava a válvula de acordo com a velocidade do motor. Esse mecanismo representou um dos primeiros exemplos de engenharia de realimentação, um elemento crucial em sistemas de controle automatizado.

Em 1800, o sistema automatizado de tecelagem já exibia os três elementos fundamentais, conforme destacado por Groover (2010): o programa de instruções, exemplificado pelo tear de Jacquard para fabricação de tecidos a partir de fios. Embora rudimentares para os padrões atuais, esses elementos básicos da automação estavam presentes, demandando um longo processo de evolução até os padrões atuais de automação.

A partir de 1945, pós Segunda Guerra Mundial, de acordo com Groover (2010), surgiram inventos e avanços que contribuíram com a tecnologia da automação. O termo automação foi evidenciado em 1946 por Del Harder que o associou aos maquinários automáticos nas linhas de produção da *Ford Compay*. Com este evento o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de computadores, o surgimento da robótica, além da criação de softwares e hardwares, continua a surgir de forma ininterrupta.

Conforme Fialho (2011), a automação é um termo popularmente utilizado na indústria, contudo a maiorias dos profissionais que fazem o uso de tais termos desconhecem seus sentidos. Ela é a combinação de uma forma otimizada e direcionada para o sucesso do progresso humano. Entretanto ele não busca a substituição do elemento humano nos processos da indústria e sim garantir que grande produtividade com eficiência e qualidade superior, a fim de reduzir custo do produto.

Automação, segundo Frank Lamb (2015), é o uso de comandos lógicos programáveis e de equipamentos mecanizados para substituir as atividades manuais que envolvem tomadas de decisão e comandos-resposta de seres humanos. Historicamente, a mecanização – como o uso dos mecanismos de temporização para disparar a lingueta da alavanca de uma catraca – ajudou os humanos na realização de tarefas com exigências físicas. A automação, porém, vai além da

mecanização, pois reduz a necessidade de requisitos sensoriais e mentais humanos, além de otimizar a produtividade.

2.4 Controladores lógicos programados – CLP

Segundo Frank Lamb (2015), os controladores lógicos programáveis (CLPs) são usados para controlar sistemas de automação em fábricas. Esses computadores digitais são projetados com várias entradas e saídas, e são resistentes a temperaturas extremas, ruídos elétricos, vibrações e impactos. Os programas que controlam as operações das máquinas são armazenados em memórias específicas. CLPs são sistemas em tempo real, pois suas respostas devem ocorrer dentro de um tempo específico para evitar operações indesejadas.

Segundo Franchi e Camargo (2009), o CLP (Controlador Lógico Programável) é um tipo de computador utilizado em ambientes industriais. A IEC define o CLP como um sistema eletrônico digital que armazena informações em uma memória programável e executa funções como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética. Ele opera diversos equipamentos ou processos por meio de entradas e saídas digitais ou analógicas e é facilmente integrado em sistemas de controle.

Conforme Frank Lamb (2015), os CLPs fazem a leitura das chaves de fim de curso e se conectam também aos sensores e atuadores, como uma determinada posição de um cilindro pneumático por exemplo. Além de realizar o controle de motores elétricos, cilindros pneumáticos ou hidráulicos, relés magnéticos ou válvulas solenoides. Os principais fabricantes também vendem e oferecem softwares para que os seus CLPs só possam ser programados dentro de suas próprias plataformas, não sendo possível a utilização em hardwares de outras empresas. Recursos adicionais são necessários para configurar as comunicações de rede e programar as IHMs (interface homem máquina).

2.5 Interface homem-máquina – IHM

A interface homem-máquina corresponde basicamente a um visor multitarefas de elevada versatilidade. É composto por uma tela, geralmente de cristal líquido sensível ao toque (*touch screen*), e um hardware industrial, capaz de se comunicar digitalmente por meio de diferentes protocolos de redes industriais com o controlador lógico programável (CLP). Segundo Moraes (2007), a interface IHM representa o corpo de todo sistema supervisor, possibilitando monitorar e operar toda uma planta em uma única tela, controlando processos e recebendo feedbacks e históricos. A Figura 7, mostra uma IHM.

Figura 7 – Interface homem máquina – IHM.



Fonte: Schneider Electric. Disponível em: <<https://loja.se.com>> Acesso em: 12 out. 2023.

2.6 Inversores de frequência

Existem inúmeras razões para o uso de dispositivos para controle de velocidade. Um dos equipamentos mais comuns na automação industrial é o inversor de frequência o qual possibilita o controle da velocidade e torque dos motores de corrente alternada, inclusive a rampa de aceleração e de desaceleração deles. Conforme Capelli (2013), os acionamentos de motores elétricos em corrente alternada ocupam mais de 80% dos sistemas de controle de motores elétricos atualmente. Devido ao seu baixo custo e à flexibilidade da tecnologia do controle em corrente alternada, hoje os motores de corrente contínua e seus acionamentos são considerados obsoletos, e destinados às aplicações muito específicas.

Quase todos os inversores disponíveis no mercado possuem parâmetros programáveis similares. Esses parâmetros são acessíveis por uma interface composta por um mostrador digital (display) e um teclado, observa-se a Figura 8.

Figura 8 – Inversor de frequência.



Fonte: Adaptado de Capelli, (2013).

2.7 Motores elétricos

Segundo Capelli (2013), O motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica. Dentre as vantagens de utilizar o motor elétrico em vez de qualquer outro, podem ser citadas as principais: baixo custo, simplicidade, facilidade de transporte, limpeza, alto rendimento e fácil adaptação às condições adversas.

2.7.1 Motor elétrico de indução – Corrente Alternada

É chamado de motor de indução pelo fato de as correntes de CA serem induzidas no circuito do rotor pelo campo magnético rotativo do estator. É conhecido também como motor assíncrono de corrente alternada, e é o mais empregado na indústria por ser de construção simples, forte e de baixo custo. Torna-se adequado a quase todos os tipos de máquina. O rotor desse tipo de motor não necessita de conexões externas (CAPELLI, 2013).

Esse tipo de motor é constituído basicamente de rotor e estator. O rotor é a parte móvel do motor e o estator constitui a parte fixa, Figura 9.

Figura 9 – Motor de indução - Corrente alternada.



Fonte: Adaptado de Capelli, (2013).

2.8 Introdução a pneumática

Segundo Silveira Filho (2018), a pneumática estuda o comportamento dos gases e sua aplicação na transmissão de energia, sendo crucial na automação industrial. Devido às propriedades do ar comprimido, como abundância, facilidade de transporte e armazenagem, flexibilidade, segurança, limpeza, alta velocidade, resistência a sobrecarga, baixo custo e fácil manutenção, a pneumática tornou-se um método simples e econômico. O ar comprimido é conduzido por tubulações até o ponto de aplicação, onde realiza o trabalho útil, e depois é expulso para a atmosfera.

2.9 Controle pneumático

O controlador pneumático é responsável por regular a pressão do ar entre os vários postos de trabalho em uma fábrica. Ligado a uma linha de ar principal de um compressor de ar, o controlador pneumático possibilita ao operador ajustar o controlador e variar a pressão de ar, permitindo que a pressão de ar principal possa permanecer em um alto nível operacional. O principal benefício de se ajustar a pressão do ar por meio de um controlador pneumático é que a condensação do compressor com velocidade variável é eliminada, reduzindo assim a quantidade de água no sistema de ar (SILVEIRA FILHO, 2018).

2.10 Atuadores pneumáticos

Os atuadores conforme Silveira Filho (2018), são componentes indispensáveis na pneumática, com uma vasta gama de aplicação. Eles são os responsáveis por executar as atividades de movimentação do sistema de ar comprimido e são cada vez mais empregados nas atividades em que a automação dos processos é necessária para garantir competitividade e produtividade. O atuador tem como função aplicar energia mecânica sobre uma máquina, ou seja, realizar determinado trabalho.

Os atuadores podem ser classificados de acordo com o movimento que realizam. Esse movimento, por sua vez, pode ser linear (quando o movimento realizado é simples e direto) ou rotativo (quando o movimento realizado é giratório). Como os cilindros realizam operações repetitivas, deslocando-se em ambos os sentidos, devem ser projetados e construídos de forma cuidadosa para minimizar o desgaste de componentes e evitar vazamento de fluidos, aumentando sua vida útil.

Na Figura 10, é possível observar atuadores pneumáticos.

Figura 10 – Atuadores pneumáticos.

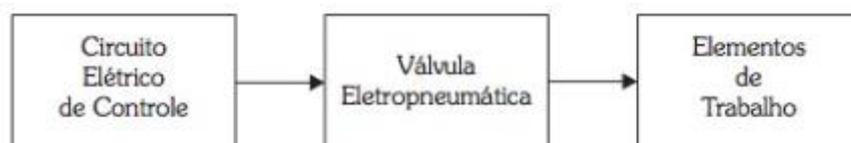


Fonte: Silveira Filho, (2018).

2.11 Válvulas eletropneumáticas

As válvulas eletropneumáticas conforme Bonacorso e Noll (2013), são os componentes do sistema eletropneumático automatizado que recebem comandos do circuito elétrico de controle, acionando os elementos de trabalho pneumáticos, conforme demonstra a Figura 11, a seguir.

Figura 11 – Diagrama de funcionamento do sistema eletropneumático.



Fonte: Bonacorso e Noll, (2013).

Normalmente nesse sistema, os atuadores pneumáticos são acionados por meio de um circuito elétrico, ao qual serão acionadas as válvulas solenoides, que por sua vez irão transformar o sistema elétrico em sistema mecânico. Assim que acionada a válvula solenoide, o ar comprimido do sistema é direcionado para o atuador pneumático, gerando, portanto, o trabalho útil referente ao atuador acionado.

Segundo Bonacorso e Noll (2013), o funcionamento da válvula solenoide baseia-se no deslocamento de um núcleo metálico mediante a ação de um campo magnético, determinando a trajetória do fluxo de ar. A força magnética, por sua vez, é criada pela circulação da corrente elétrica no solenoide da válvula. Abaixo, a Figura 12, ilustra uma válvula solenoide.

Figura 12 – Válvula solenoide.



Fonte: Festo. Disponível em: <https://www.festo.com/br/pt/p/valvula-solenoides-id_VUVS/?tab=HIGHLIGHTS> Acesso em 14 out. 2023.

2.12 Processo de desenvolvimento de produtos - PDP

Ghelen (2018) destaca a importância do desenvolvimento de produtos, enfatizando que lançar novos produtos envolve um processo multidisciplinar complexo, onde as necessidades são convertidas em produtos ou processos. Ressalta também a necessidade de envolvimento de todas as áreas da empresa para otimizar o processo de desenvolvimento, visando menor custo e maior eficácia. Ainda alerta para a possibilidade de retrabalhos e ajustes onerosos, além da gestão significativa de informações ao longo do ciclo de vida do produto, enfatizando a importância do acompanhamento detalhado do projeto em qualquer iniciativa de PDP.

Pahl et al. (2005) destaca a importância de quatro fases essenciais no desenvolvimento de projetos: explanação teórica da tarefa, concepção, metodologia para projeto preliminar e métodos para projeto detalhado. Seguir essas etapas aumenta significativamente a probabilidade de alcançar as metas do projeto. A utilização de um procedimento é crucial para criar um produto eficiente, planejado, flexível, otimizável e verificável, garantindo a entrega no prazo e atendimento às expectativas estabelecidas.

Pahl et al. (2005) aborda a metodologia de projeto, destacando as quatro fases distintas descritas a seguir:

- Na primeira fase, o foco é na definição de requisitos, incluindo funções, prazos e custos.
- A segunda fase envolve a identificação do problema, a criação de uma lista de funções e subfunções, bem como a proposição de soluções avaliadas por critérios técnicos e econômicos.
- A terceira fase concentra-se na definição da estrutura do equipamento, escolha de materiais, processos de fabricação e dimensões, com atenção a fatores como durabilidade e custos.
- A última fase, a quarta, destaca o detalhamento técnico, abrangendo materiais, forma, acabamento, tolerâncias e componentes, utilizando desenhos para documentar a estrutura e execução do projeto.

No Quadro 2, é ilustrado as quatro fases descritas por Pahl et al. (2005), as quais auxiliam no desenvolvimento do projeto de um produto.

Quadro 2 – Fases para o desenvolvimento do produto.

TAREFAS	RESULTADOS	FASES
Esclarecimento e detalhamento na proposição da tarefa	Lista de requisitos	FASE I
Elaboração de funções e suas estruturas	Estrutura de funções	FASE II
Procura de princípios de solução	Soluções em princípio	
Divisão em módulos realizáveis	Estruturas modulares	FASE III
Conformação dos módulos determinados	Anteprojetos	
Conformação completa do produto	Projeto completo	FASE IV
Preparação da documentação para execução e utilização	Documentação do produto	

Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005).

O PDP pode ser utilizado tanto para a criação de um novo produto quanto para a melhoria de produtos já existentes. Em grande parte, o que vai determinar qual tipo de projeto que será realizado, é o grau de inovação que se busca (ROZENFELD et al., 2006).

Rozenfeld et al. (2006, p. 6), apresentam as principais características do PDP:

- Decisões importantes devem ser tomadas no início, quando as incertezas são ainda maiores.
- As atividades básicas seguem um ciclo: projetar (gerar alternativas), construir, testar e otimizar.
- Manipulação e geração de alto volume de informações.
- As informações e atividades provêm de diversas fontes e áreas da empresa, incluindo a cadeia de suprimentos.
- Elevado grau de incertezas e riscos das atividades e resultados.

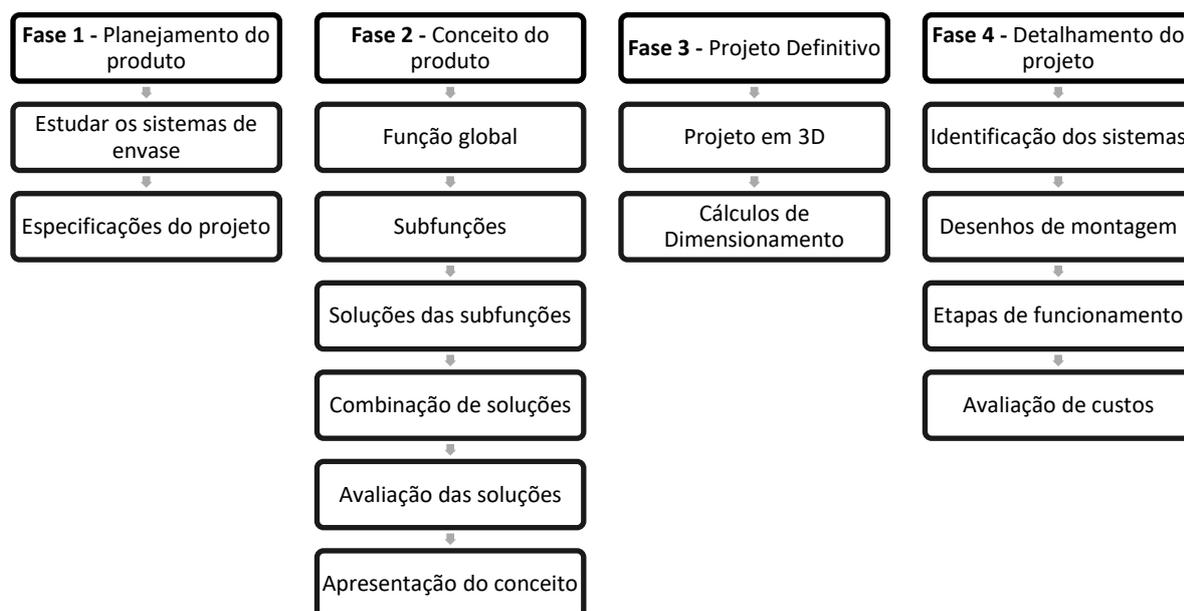
2.13 Considerações sobre a revisão bibliográfica

Ao concluir o capítulo é possível verificar que existem diversas formas e equipamentos disponíveis no mercado para que seja possível realizar o envase e selagem das bisnagas. Além da obtenção de conhecimentos técnicos sobre o problema a ser resolvido, como também uma vasta linha de dispositivos e componentes para agregar ao projeto, possibilitando assim, a criação de um equipamento capaz de realizar tal função, além de trazer novas ideias e metodologias eficazes para empregar no seu desenvolvimento.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do sistema de envase e selagem de bisnagas de alumínio, será feito uma divisão em quatro fases. Com essa divisão, busca-se a determinação correta para desenvolvimento da tarefa e a garantia do atendimento do conceito proposto. A sequência de desenvolvimento obedecerá ao método de desenvolvimento proposto por Pahl et al. (2005), através de 4 fases propostas para realização de projeto de produtos. A Figura 13 mostra as etapas de desenvolvimento do trabalho, apresentadas nos capítulos 3 e 4.

Figura 13 – Etapas para o desenvolvimento do projeto.



Fonte: Autor.

Na primeira etapa, após a compreensão do problema do envase de bisnagas, será feito o planejamento do produto criando as especificações de projeto e elaborado uma lista de requisitos.

A segunda etapa, que pode ser considerada como uma das mais importantes para elaboração de um projeto, tem como objetivo apresentar o conceito do produto desenvolvido, observando os requisitos de projeto estabelecidos na etapa anterior. O conceito deverá ser apresentado de forma que seja provido o embasamento necessário para a sequência do projeto definitivo, realizada na terceira etapa.

Na terceira fase é realizada a evolução da modelagem do projeto em CAD 3D, a partir do conceito estabelecido na fase anterior, com cálculos de dimensionamento de materiais e equipamentos que serão utilizados para a criação do sistema de envase de bisnagas.

Na quarta e última fase do desenvolvimento do projeto será feito o detalhamento dos componentes do projeto, com desenhos de montagem acompanhados de suas respectivas vistas e será elaborado a avaliação de custos do equipamento, para um melhor entendimento de funcionamento e viabilidade financeira do equipamento projetado.

3.1 Estudo do problema de envase de bisnagas

As bisnagas de alumínio são muito utilizadas para armazenamento de cremes, pomadas, filtros solares, loções, emulsões, tintas, colas, graxas, alimentos, formulações farmacêuticas e cosméticas de médias e altas viscosidades, além de serem impermeável à água e a umidade.

Elas garantem a integridade do conteúdo interno, mesmo com um tempo de uso. Possuem um método de fechamento extremamente eficiente e são deformáveis, o que evita a entrada de ar dentro do recipiente, assegurando a blindagem contra a oxidação e também a segurança de produtos semissólidos, na medida em que possuem barreira à luz, umidade e oxigênio.

Dispõem de uma estrutura flexível, que proporciona a retirada do produto interno de forma higiênica, com dosagem precisa, inclusive podem ser produzidas com selo, o que as tornam invioláveis antes do seu consumo final. Disponibilizadas a seguir, a Figura 14 (a), demonstra bisnagas de alumínio em diferentes ângulos e Figura 14 (b), onde ao retirar a sua tampa, é possível observar o selo anteriormente descrito.

Figura 14 – Bisnagas de alumínio em seus diferentes ângulos.



(a)



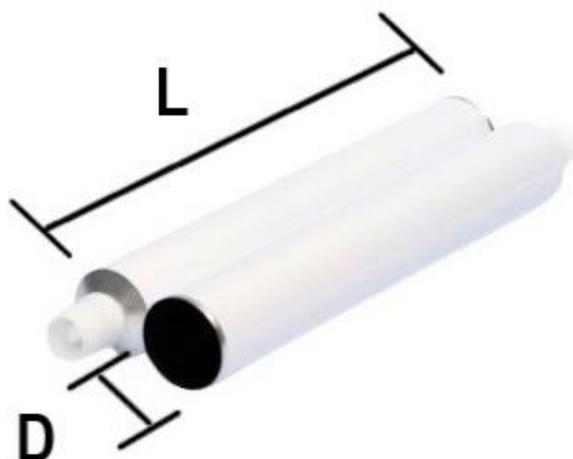
(b)

Fonte: Autor.

O processo de envase de bisnagas de alumínio é extremamente sensível, principalmente devido à fina espessura de suas paredes. Este fator torna o envase suscetível a problemas, como amassamentos, que podem resultar na perda do silicone a ser envasado. Além disso, o amassamento da bisnaga a expõe a possíveis colisões com os demais componentes da máquina, afetando negativamente tanto a integridade do produto quanto a sua estética.

A Figura 15 a seguir exibe mais detalhes das bisnagas de alumínio a serem utilizadas e suas devidas dimensões: comprimento “L” = 150 mm, diâmetro “D” = 28 mm e sua espessura de parede que normalmente é de 0,12 mm.

Figura 15 – Dimensões da bisnaga.



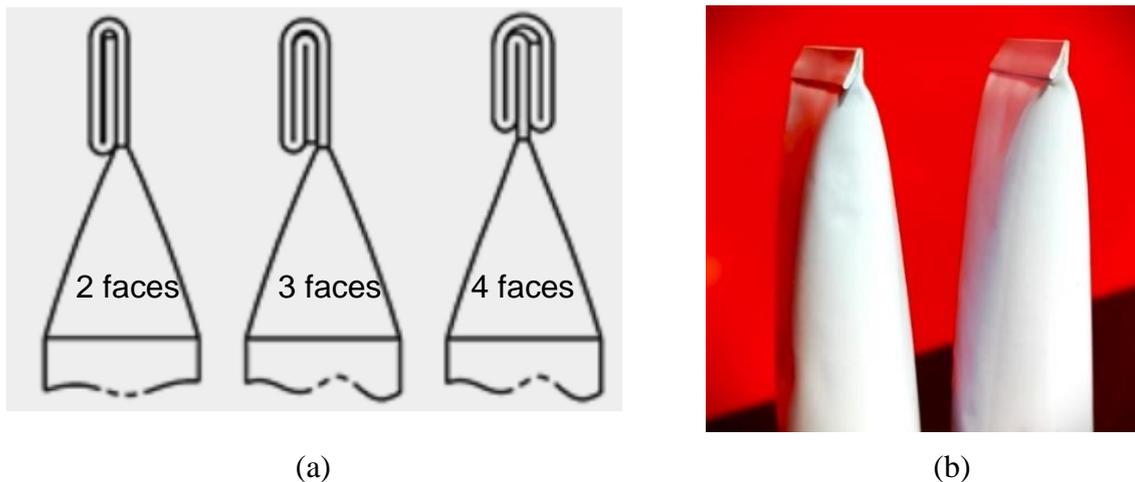
Fonte: Autor.

Outro desafio frequentemente encontrado no processo de envase de bisnagas pode variar consideravelmente de acordo com o tipo de produto a ser envasado, sua consistência e viscosidade. No caso do silicone, a alta viscosidade do produto pode resultar na formação de bolsas de ar dentro da bisnaga, sendo um problema que deve ser prevenido, uma vez que pode levar a variações no peso líquido final da bisnaga, o qual deve ser mantido constante em 50 gramas. Dessa forma, a asseguuração da dosagem do produto se torna essencial e requer atenção cuidadosa a fim de garantir uma uniformidade tanto na textura quanto na qualidade do item fabricado. Erros na dosagem podem culminar na produção de lotes inapropriados.

Um outro ponto que deve ser analisado: o selamento correto da bisnaga, nessa etapa é realizado o fechamento do tubete, que é composto por uma ou mais dobras dispostas em uma das extremidades da embalagem após o envase do silicone, isso tudo deverá ser muito bem executado para garantir que de fato não haja possíveis vazamentos e avarias que podem ser ocasionadas com o excesso de pressão na realização desta etapa. Caso não executada da forma correta pode ocasionar perdas e retrabalhos no processo.

É possível visualizar na Figura 16 (a), os diferentes tipos de dobras possíveis para o selamento das bisnagas de alumínio, sendo elas de 2, 3 e 4 faces, e enquanto na Figura 16 (b), observa-se um exemplo de bisnagas seladas a partir do método de 2 faces.

Figura 16 – Diferentes tipos de selamento (dobras).



Fonte: Autor.

Desta forma, é possível perceber a importância do projeto em desenvolvimento, uma vez em que terá que realizar a tarefa de envase e posteriormente a selagem do tubete de alumínio em uma sequência pré-determinada de procedimentos. No qual se confere o referido problema enfrentado pela indústria de pneus, onde até então, o fornecimento do produto já envasado e selado, gera atrasos de logística e deixa o seu custo elevado.

3.2 Fase 1: Planejamento do produto

A elaboração do projeto para um sistema de envase e selamento de bisnagas de alumínio, se dá principalmente pela redução do custo de terceirização, tendo em vista que até então a bisnaga é envasada e selada em outras empresas e também pela diminuição de tempo entre a solicitação do material e tê-lo pronto dentro da empresa, deixando de existir orçamentos, tempo da terceirização, transportes, entre outros. Assim, possibilitando economias e ganho em agilidade no processo.

O equipamento deve ser capaz de realizar o envasamento e a selagem das bisnagas de alumínio, além de realizar a sucção no reservatório e bombear o silicone para um ponto no qual estará posicionada a bisnaga que deseja ser preenchida. Para isso é necessário a realização de um projeto de baixo custo, seguro, e de boa eficiência.

Além das características propostas no parágrafo anterior, buscou-se acrescentar na lista de requisitos mais alguns tópicos que são associados ao sistema, mas que não são tão óbvios no desenvolvimento de um novo produto, mas que podem ajudar o projetista a desenvolver um sistema mais durável e de qualidade. Para isso, utiliza-se a “linha mestra” composta por alguns itens propostos por Pahl et al. (2005), detalhados a seguir.

A linha mestra utilizada no projeto, contempla 13 características das 17 propostas pelos autores Pahl et al. (2005), que devem ser considerados na criação da lista de requisitos, isto é, as especificações do projeto, sendo que o objetivo de cada item é exposto a seguir:

- **Geometria:** Este tópico tratará quais serão as dimensões máximas do equipamento a ser desenvolvido, considerando que o equipamento será manuseado por diferentes pessoas;
- **Forças:** Determina as variáveis como peso, forças e propriedade dos materiais.
- **Energia:** Será apresentado quais as principais fontes de energia para que o sistema possa funcionar;
- **Material:** Determina características essenciais dos materiais a serem utilizados nas mais variadas partes do equipamento;
- **Sinal:** Determina qual será a forma de acionamento do sistema;
- **Segurança:** Apresenta quais os sistemas de segurança devem ser utilizados para que o produto esteja adequado para utilização;
- **Ergonomia:** Neste tópico será apresentado características sobre o produto para que seja de fácil utilização aos operadores e atendendo os objetivos proposto no início do projeto;
- **Produção:** Através da produção busca-se custo e tempos de produção mínimos, bem como a observâncias das exigências apropriadas com relação as características de qualidade ligadas a produção;
- **Montagem:** Descreve como deverá ser feito a montagem do sistema com equipamentos comuns em empresas do ramo rodoviário.
- **Operação:** Apresenta quais as formas de operações do sistema e como ele pode ser operado, atendendo a lista de objetivos;
- **Manutenção:** Demonstra as principais características que o equipamento deve possuir para garantir uma boa manutenção;
- **Custos:** Prevê um desejo de custo máximo para a construção do sistema atendendo os objetivos do projeto;
- **Prazos:** Prevê prazos para o projeto e o produto.

Utilizando os tópicos da metodologia aplicada na Figura 15, e as informações obtidas na revisão bibliográfica, montou-se a lista de requisitos do produto, que está exposta no Quadro 3. Ao lado esquerdo o quadro apresenta os tópicos abordados na linha mestra citados anteriormente, e para cada um dos itens foram desenvolvidos alguns requisitos, sendo eles classificados em:

- **“E”** – Exigência (o que realmente deve ser cumprido);
- **“D”** – Desejável (não significando uma obrigação), mas almejando que o também seja efetivado.

No Quadro 3, é possível observar detalhadamente os principais requisitos para o projeto de envase e selagem de bisnagas de alumínio.

Quadro 3 – Lista de requisitos para o projeto.

Lista de requisitos para o projeto de envase e selamento de bisnagas		
1 - Geometria	Comprimento de 1500 a 2000 mm	E
	Largura de 1000 mm	D
	Altura entre 1300 e 1800 mm	E
	Deslocamento sobre rodas	E
2 - Forças	Peso líquido de envase de 50 g.	E
3 - Energia	Uso de energia elétrica e pressão pneumática (6 ~ 8 bar).	E
	Reservatório de produto para 20 Kg.	E
4 - Material	Produção em aço e materiais que apresentem uma boa resistência estrutural.	E
	Aproveitar os materiais já disponíveis na empresa.	D
5 - Sinal	Acionamento elétrico, através de botoeiras, controle com IHM e CLP.	E
	Controle de movimentos por meio de sensores indutivos e capacitivos.	D
6 - Segurança	Proteção ao acesso do operador a sistemas vulneráveis.	E
7 - Ergonomia	Deve exigir o mínimo esforço e postura adequada para os movimentos do operador.	E
8 - Produção	Capacidade mínima de envase de 150 bisnagas por hora.	E
9 - Montagem	Componentes mecânicos estrategicamente posicionados.	D
10 - Operação	Operação de fácil manuseio.	E
	Operação com baixo ruído.	D
11 - Manutenção	Manutenções periódicas a cada 6 meses.	E
12 - Custos	Custo de até R\$ 20.000,00	E
13 - Prazos	Entrega do projeto 01/07/2024	D

Fonte: Autor.

Após formulada a lista de requisitos, tem-se dados importantes para que seja dada a continuidade do projeto, através da lista de requisitos os tópicos gerais da linha mestra de Pahl et al. (2005) foram aprofundados com características que o sistema deve possuir, para que seja um equipamento seguro, de fácil manuseio e que atenda o objetivo desejado.

3.3 Fase 2: Conceito do produto

Após determinado os requisitos, inicia-se a fase de concepção a qual determina-se a estrutura de funções, estabelecendo a função global e as subfunções principais e secundárias. Para Pahl et al. (2005), a função global é a relação entre as entradas e as saídas para/do sistema com a finalidade da realização de uma determinada tarefa. Para um processo técnico, energia, material e sinal são os principais meios transferidos e/ou modificados. Na sequência, o conceito é estabelecido através de variantes de solução, obtidas através da combinação de princípios de solução estabelecidos para cada subfunção formulada.

3.3.1 Estabelecimento da função global e subfunções

Nesta fase de elaboração do conceito deve-se determinar a variante de solução, que será utilizada para realização do projeto definitivo do produto.

Neste caso, onde o problema de envase e selamento das bisnagas está bem delineado, esta será a função global utilizada para determinação do conceito, não sendo necessária a utilização de outras técnicas, como a abstração.

Na Figura 17, é apresentada a função global, sendo que esta é a função que representa o que o equipamento deverá ser capaz de realizar ao final do projeto. Como também, em função da energia, força e sinal, demonstra a condição em que a bisnaga se encontra antes da operação do equipamento, e a condição que se espera após a operação.

Figura 17 – Função Global



Fonte: Autor.

Segundo Pahl et al. (2005), quando o projeto apresenta certa complexidade é necessário desdobrar a função global em subfunções principais com grau de complexidade menor. Desta maneira, é possível resolver os problemas encontrados de uma forma mais simples, e com menor chance de erro. Para isso, é elaborado uma lista contendo as subfunções principais e secundárias.

O Quadro 4, apresenta as 5 subfunções principais, juntamente com suas funções secundárias que posteriormente serão descritas e classificadas para elencar uma possível solução do projeto.

Quadro 4 – Funções principais e secundárias.

SUBFUNÇÕES PRINCIPAIS E SECUNDÁRIAS				
1 - Projeto da estrutura	2 - Controles	3 - Processo de envase	4 - Processo de selagem	5 - Extração
Estrutura do Chassi	Velocidade	Material do reservatório	Sistema de fechamento	Extrator
Local de operação	Posicionamento e fixação	Sucção do reservatório	Acionamento dos atuadores	
Geometria do reservatório	Movimentação dos eixos	Bico de injeção		

Fonte: Autor.

Os tópicos a seguir apresentam explicações sobre as subfunções principais planejadas para este projeto.

- **Projeto da estrutura:** Para que o equipamento funcione de maneira adequada, é necessária uma estrutura compacta e rígida, que seja capaz de envolver todos seus componentes, que permita suportar os esforços submetidos durante o processo de envase e selagem e que ao mesmo tempo transmita ergonomia ao operador.
- **Controles:** No campo de controles, entra em questão as variáveis da operação, para que isso seja possível, se faz necessário a implementação de sensores, controles de velocidade e a possibilidade de realizar ajustes através de controladores (CLP e IHM).
- **Processo de envase:** Este mecanismo deve ser projetado de modo com que absorva o e direcione o gel silicone do reservatório para dentro da bisnaga a ser envasada.
- **Processo de selagem:** Nesta etapa, deve ser estruturada a fim de realizar o fechamento das bisnagas já envasadas de modo que seja possível escolher a quantidade de dobras, através da seleção pela IHM.
- **Extração:** Ao final do ciclo, deve possuir um sistema de extração da bisnaga já envasada e selada para fora do mecanismo de posicionamento e fixação das bisnagas.

A partir do estabelecimento das subfunções principais, é necessário criar funções secundárias para cada uma das subfunções principais, de acordo com sua necessidade e complexidade, desta forma, o projeto se torna cada vez mais detalhado. A seguir são caracterizadas cada uma das funções secundárias definidas para a busca do conceito:

- **Estrutura do chassi:** Para acomodar os componentes da máquina, é essencial que o chassi seja projetado de modo a incluir espaços para todos os sistemas secundários mencionados, como o reservatório de gel, os sistemas de envase, selagem e extração, além de fornecer estruturas para fixar o quadro elétrico, válvulas solenoides e atuadores pneumáticos.
- **Local de operação:** É importante que possua um painel de controle onde seja posicionado pensando em facilitar o acesso na IHM e que na mesma posição o operador possa realizar também o trabalho de abastecimento e retirada das bisnagas, de forma ergonômica.
- **Velocidade:** Se faz indispensável agregar ao processo o controle de velocidade de envase, sendo possível aumentá-la ou diminuí-la, conforme a demanda solicitada pela operação.
- **Posicionamento e fixação:** O projeto deve incluir uma base para fixar as bisnagas, assegurando sua estabilidade durante a operação da máquina. Essa base móvel possibilita o deslocamento e posicionamento das bisnagas entre os pontos de envase, selagem e extração.
- **Movimentação dos eixos:** Para um envase de qualidade é importante que a bisnaga seja posicionada exatamente sob o bico de injeção, para isso é necessário um controle de parada da mesa de fixação das bisnagas.
- **Sucção do reservatório:** Deve-se observar que para deslocar o gel silicone para dentro da bisnaga se faz necessário estudar como sugar o produto do reservatório.
- **Material do reservatório:** Para adequar um bom custo aliado com a qualidade é necessário avaliar qual o melhor material a ser usado para compor o reservatório do gel a ser envasado.
- **Bico de injeção:** O formato do bico de injeção deve ser adaptado ao diâmetro da bisnaga, deve possuir uma boa vazão do produto e que ao mesmo tempo retenha possíveis gotejamentos.
- **Sistema de fechamento:** O sistema de selagem é uma etapa que exige muita precisão nos seus componentes, pois a bisnaga de alumínio é um material altamente deformável e sua parede chega medir 0,10 mm de espessura.
- **Acionamento dos atuadores:** É necessário avaliar de qual forma se dará o acionamento dos atuadores (cilindros).
- **Extrator:** Se faz útil a implementação desse componente, para que ao final do ciclo seja possível retirar a bisnaga pronta da base de fixação.

3.3.2 Determinação de variantes de solução

As variantes na solução são analisadas através das principais subfunções e funções secundárias. Com base nisso, é possível desenvolver combinações de soluções alternativas para o projeto. Posteriormente, essas alternativas serão integradas para a criação da estrutura final de operação, a qual deve incorporar as soluções mais eficazes para o problema.

Para ilustrar, é utilizado o método sistemático de busca com auxílio de matrizes ordenadoras, onde apresenta possíveis variações para o desenvolvimento de cada função do projeto. O Quadro 5, apresenta a matriz ordenadora de soluções alternativas para o projeto.

Quadro 5 – Soluções alternativas para o equipamento.

Funções Secundárias	Solução 1	Solução 2
A - Estrutura do chassi	Cantoneiras	Tubo Quadrado
B - Local de operação	Próximo ao painel de controle	Próximo ao reservatório do gel
C - Geometria do reservatório	Quadrado	Afunilado
D - Velocidade	Motorreductor	Motor Pneumático
E - Posicionamento e fixação	Mesa giratória com fixação das bisnagas	Envase e selagem móveis
F - Movimentação dos eixos	Inversor de frequência	Sem inversor de frequência
G - Material do reservatório	Aço inoxidável	Polietileno
H - Sucção do reservatório	Gravitacional	Sucção e Bombeamento
I - Bico de injeção	Com válvula de retenção	Sem válvula de retenção
J - Sistema de fechamento	Atuador com pinças móveis	Atuadores com guias lineares
K - Acionamento dos atuadores	Hidráulico	Pneumático
L - Extrator	Extrator automática	Extração manual

Fonte: Autor.

Com a utilização deste método sistemático, se faz visível que a cada função secundária apresenta duas possíveis combinações de soluções, tornando assim notório a criação de variáveis para o projeto. A partir do quadro 5, é elencado duas alternativas que atendam aos requisitos de projeto, isto é, que mais se aproximem do resultado esperado (função global). No Quadro 6, é possível analisar as duas alternativas que são criadas (alternativa 1 e 2).

Quadro 6 – Possíveis variáveis de solução para o equipamento.

Funções Secundárias	Solução 1	Solução 2
A - Estrutura do chassi	Cantoneiras	Tubo Quadrado
B - Local de operação	Próximo ao painel de controle	Próximo ao reservatório do gel
C - Geometria do reservatório	Quadrado	Afunilado
D - Velocidade	Motorreductor	Motor Pneumático
E - Posicionamento e fixação	Mesa giratória com fixação das bisnagas	Envase e selagem móveis
F - Movimentação dos eixos	Inversor de frequência	Sem inversor de frequência
G - Material do reservatório	Aço inoxidável	Polietileno
H - Sucção do reservatório	Gravitacional	Sucção e Bombeamento
I - Bico de injeção	Com válvula de retenção	Sem válvula de retenção
J - Sistema de fechamento	Atuador com pinças móveis	Atuadores com guias lineares
K - Acionamento dos atuadores	Hidráulico	Pneumático
L - Extrator	Extrator automática	Extração manual

 Alternativa 1
 Alternativa 2

Fonte: Autor.

Dessa forma, com as duas alternativas destacadas, no próximo passo se faz necessário a avaliação das soluções. Posteriormente a isso, descarta-se a de menor relevância, a fim de definir aquela que melhor se adequa ao resultado desejado. Para a execução desse processo, é empregada uma lista de critérios que priorizam a qualidade, compatibilidade e, principalmente o atendimento à função global. Esse método segue a metodologia proposta por Pahl et al. (2005).

As duas diferentes alternativas apresentadas anteriormente no Quadro 6, em seguida, são avaliadas com base nos seguintes requisitos específicos:

- Atendimento aos critérios essenciais da função global.
- Eficácia em aplicações semelhantes;
- Viabilidade prática;
- Custo em comparação com aplicações similares.

Cada critério é representado por um símbolo: “+” (sim), “-” (não). A seleção é justificada e apenas a alternativa compatível segue adiante.

Do mesmo modo, na coluna da direita do Quadro 7, é feita a seleção para escolher a variante que servirá de base para o desenvolvimento do projeto. O sinal positivo representa a solução que atendeu aos requisitos e o sinal negativo representa a solução que não é eficaz; caso haja um ponto de interrogação significa a necessidade de buscar mais informações sobre o assunto.

Quadro 7 – Lista de seleção das variantes de solução

PROJETO DE UM SISTEMA DE ENVASE E SELAGEM DE BISNAGAS					Campo de decisão para as alternativas apresentadas	
	Avaliar as alternativas de solução de acordo com os critérios de solução:				Simbologia das alternativas de solução: (+) Prosseguir como desenvolvimento de solução (-) Descartar solução	
	(+ Sim					
	(-) Não					
	(?) Escassez de informações					
	Atendimento da lista de requisitos					
		Eficácia em aplicações semelhantes				
		O conjunto é realizável em princípio				
		comparação em níveis de custos				
		Observações (sugestões e justificativas)				
ALTERNATIVA 1	+	+	+	+	Satisfaz as exigências	+
ALTERNATIVA 2	+	-	+	+	Menor precisão e controle	-

Fonte: Autor.

A análise das duas hipóteses evidencia que a alternativa 1 se destaca em relação à alternativa 2 devido às soluções apresentadas, as quais tornam o equipamento mais completo e preciso. Isso se evidencia na inclusão de características como o controle de velocidade e um sistema com motorreductor controlado pelo inversor de frequência, o que ressalta a precisão necessária. Considerando a natureza frágil e altamente deformável da bisnaga, é crucial garantir uma precisão excepcional durante a aceleração, desaceleração e parada do sistema giratório de fixação. Além disso, a utilização de cantoneiras na estrutura principal facilita a fixação dos componentes externos e contribui para a fabricação do equipamento como um todo.

Com a conclusão desta fase, encerra-se o desenvolvimento do conceito, que buscou avaliar diversas possibilidades de solução em conformidade com o procedimento metodológico estabelecido para o projeto conceitual. Esse processo possibilitou a criação de uma estrutura de funcionamento adequada por meio da combinação de princípios e avaliações.

No próximo capítulo, será apresentado o esboço, elaborado a partir dessa variante selecionada, que servirá como ponto de partida para um projeto definitivo, incluindo dimensões e funções específicas. O objetivo é atender os requisitos de projeto para garantir a eficácia do produto, mantendo um baixo custo de produção.

3.3.3 Apresentação do Conceito

Com base na lista de requisitos algumas possíveis soluções apresentam desempenho parecido, porém, algumas foram descartadas como é o caso da escolha da utilização de cantoneiras, ao invés de tubos quadrados de aço a construção do chassi, sendo que ambos seriam realizáveis em princípio. Porém, os perfis de cantoneiras apresentam uma certa facilidade em sua fabricação além de facilitar a fixação de certos componentes, também apresentam uma excelente resistência estrutural.

Quanto ao local de operação, próximo ao painel de controle, facilita muito a operação, sendo que ao mesmo tempo em que consegue fazer o manuseio dos controles do painel e IHM, ainda consegue realizar o abastecimento das bisnagas vazias na mesa giratória com praticidade e ergonomia e além do mais, fica próximo ao botão de parada do processo e de emergência, se necessário.

A geometria do reservatório, foi escolhida afunilada tendo em vista que o gel lubrificante possui uma viscosidade alta e sendo assim, não necessitando de um sistema de bombeamento extra para o envio do material até a próxima etapa do processo que é a sucção do material para posterior envase das bisnagas, onde a própria gravidade se encarrega dessa função.

Para o material do reservatório, foi escolhido o aço inoxidável, para evitar possíveis corrosões em uma hipótese de troca do material a ser envasado e ficando esteticamente mais agradável.

Para a função da rotação da mesa giratória, havia duas possibilidades principais que eram elas: motorreductor e motor pneumático, onde o motorreductor foi escolhido como opção principal, pois com ele é possível ter um controle mais preciso de giro, até pelo fato de que a mesa giratória possui paradas em pontos específicos que devem ser precisas para que seja efetuado o envase a principalmente a selagem das bisnagas com perfeição e extrema qualidade.

Já frisando que para o controle de giro do motorreductor foi escolhido o inversor de frequência, onde é possível suavizar as arrancadas e paradas do sistema por meio da rampa de aceleração e desaceleração do motor e também se faz possível aumentar e diminuir a velocidade geral, modificando o tempo total de envase por meio da mudança de programação do inversor de frequência alterando na própria IHM.

Após abastecido o reservatório com o gel lubrificante, o material tende e permanecer no fundo do funil com o auxílio da gravidade, a próxima etapa é direcionar esse gel para dentro da bisnaga, sem perder o controle da quantidade de produto que nesse caso é de 50 gramas por bisnaga. Para isso, foi pensado em um sistema de sucção por vácuo, onde o produto do funil é direcionado para uma câmara secundária onde será possível realizar o ajuste da quantidade de produto e em seguida será enviado por bombeamento para dentro da bisnaga, com uma simples mudança da válvula de controle direcional situada abaixo do reservatório e um atuador pneumático que fará tal sucção e bombeamento.

No bico de injeção, se faz necessário acrescentar uma válvula de retenção afim de evitar possível pingos de material em locais indesejados, servindo como um sistema antigotejo.

Quanto ao local de selagem das bisnagas, uma das partes mais delicadas do projeto, onde é realizado uma ou duas dobras para selagem da bisnaga já envasada. Foi projetado um sistema onde é possível realizar as dobras com precisão, sem desperdício de material envasado por meio de um sistema automatizado que através da IHM é possível selecionar a quantidade de dobras desejadas.

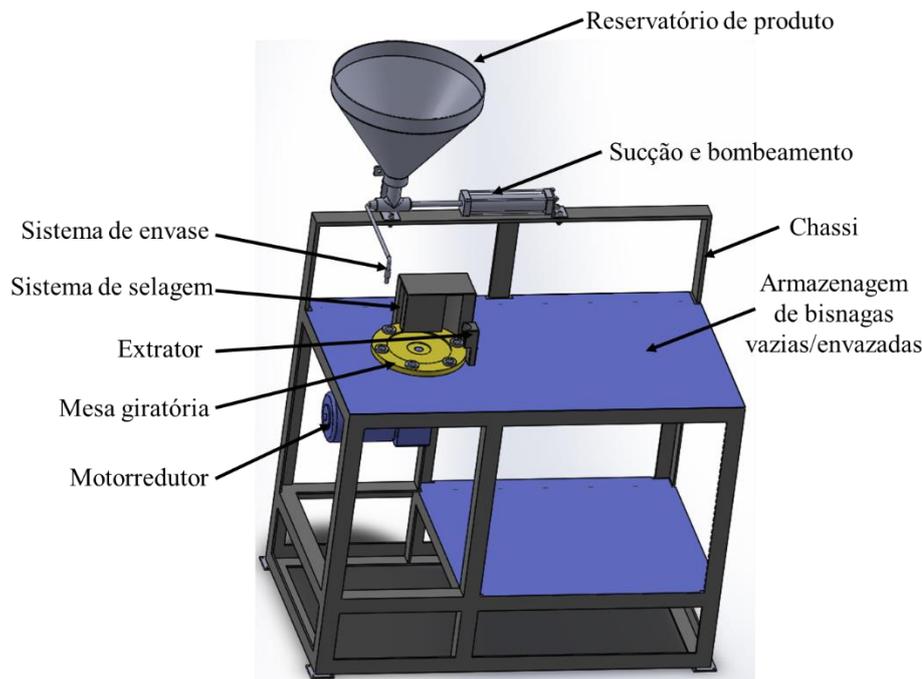
Para o sistema em geral serão necessários 8 atuadores, sendo que estes serão acionados pneumaticamente pelo fato de que o sistema hidráulico depende de uma central hidráulica para

bombeamento do óleo e as peças de reposição normalmente são com um custo mais elevado se comparadas com atuadores pneumáticos.

E ao final do processo, após a bisnaga já envasada, é realizada a última etapa do circuito, que é a extração da bisnaga. A extração automática faz com que reduza os movimentos do operador da máquina, visto que não será necessário a extração manual, somente o abastecimento das bisnagas vazias.

Diante disso, se tornou possível a criação de um esboço do conceito, com a intenção de facilitar a visualização do resultado obtido. A Figura 18 apresenta os principais componentes do equipamento, através de uma vista isométrica.

Figura 18 - Esboço 3D do conceito desenvolvido.



Fonte: Autor.

3.4 Fase 3: Projeto Definitivo

Com base no conceito do produto estabelecido, iniciou-se o projeto definitivo, onde são apresentados os detalhamentos, as principais etapas para o funcionamento do equipamento e cálculos de dimensionamento.

O propósito do sistema de envase é aspirar o gel lubrificante de um reservatório de forma controlada, evitando contaminações e mantendo a qualidade do produto. Além disso, o sistema de envase também é responsável por garantir a precisão na quantidade de gel lubrificante aspirado, assegurando que cada embalagem receba a quantidade correta do produto.

Para a base giratória que posiciona e garante a fixação das bisnagas vazias, é necessário integrar componentes mecânicos e eletrônicos, incluindo uma estrutura funcional, motorreductor confiável e inversor de frequência para controlar a velocidade de rotação. Sensores para posicionamento são essenciais para garantir a precisão e o controle das etapas.

No sistema de selagem de bisnagas, a automação e controle por IHM permitem ajustar as quantidades de dobras, garantindo selagens herméticas e consistentes. Por fim, o método

automatizado para extração das bisnagas otimiza a função do operador e possibilita a inspeção visual das peças prontas, melhorando a eficiência e qualidade do processo.

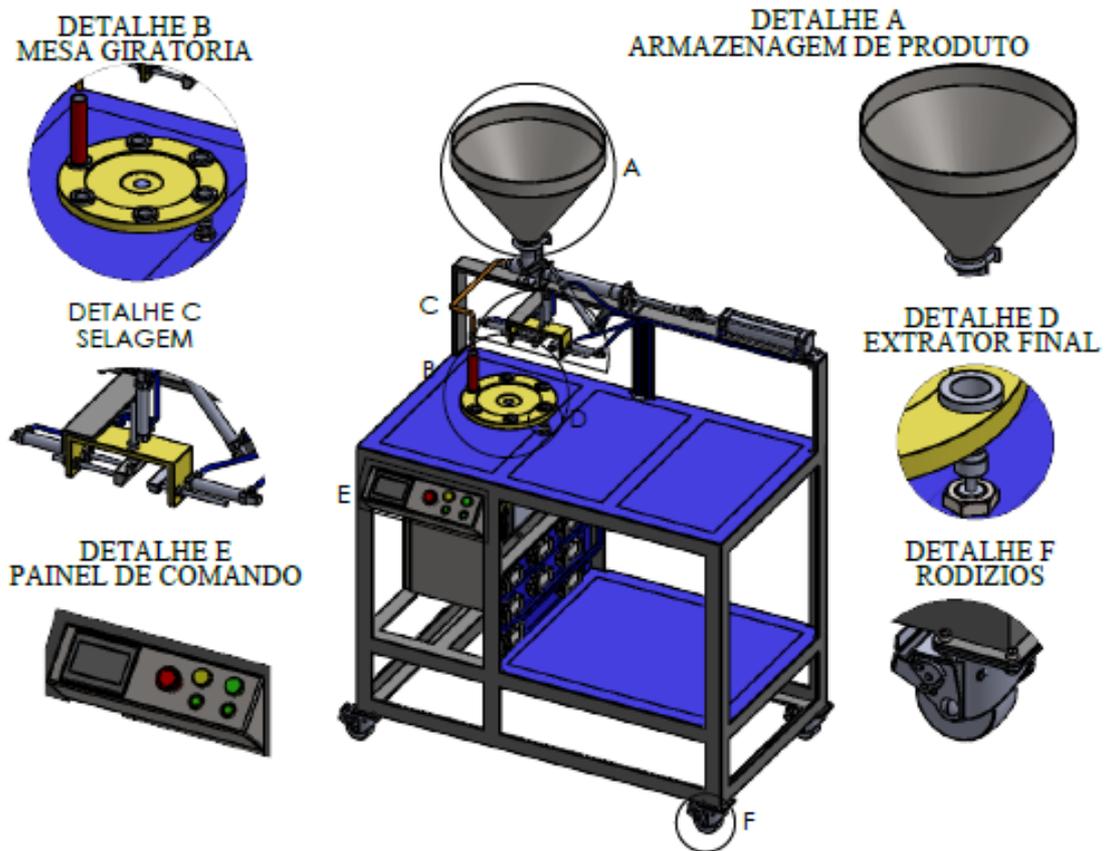
3.4.1 Desenho definitivo

Após estabelecer o conceito do produto, foi necessário refinar o projeto através de um desenho em CAD 3D, onde melhor possibilita a compreensão do funcionamento do sistema. A Figura 19, apresenta alguns detalhes dos principais componentes do equipamento, que são:

- Sistema da selagem;
- Sistema de envase;
- Sistema de extração.

O Detalhe A mostra o reservatório de produto, o Detalhe B a mesa giratória, o Detalhe C mostra o sistema de selagem, o Detalhe D o sistema de extração final e o Detalhe F, os rodízios para locomoção da máquina em geral. A explicações do funcionamento dos sistemas serão apresentadas no próximo tópico.

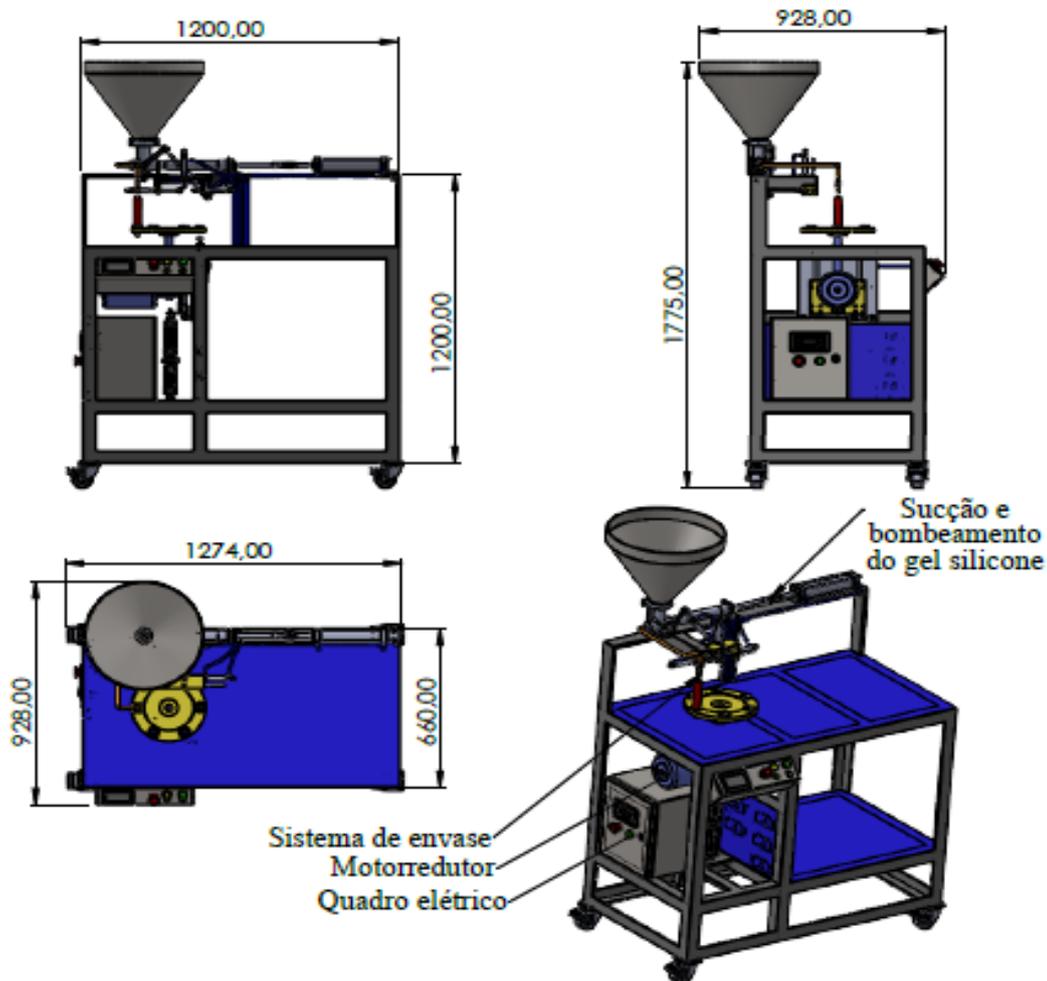
Figura 19 - Principais componentes



Fonte: Autor.

Na Figura 20, é possível visualizar as principais vistas do equipamento com suas principais dimensões, além de ilustrar mais alguns dos principais componentes do projeto ainda não apresentados.

Figura 20 – Projeto em diferentes vistas e principais dimensões.



Fonte: Autor.

3.4.2 Principais componentes e funcionamento do equipamento

O funcionamento do equipamento consiste na execução de 3 principais sistemas: envase, selagem e extração, que serão apresentadas a seguir.

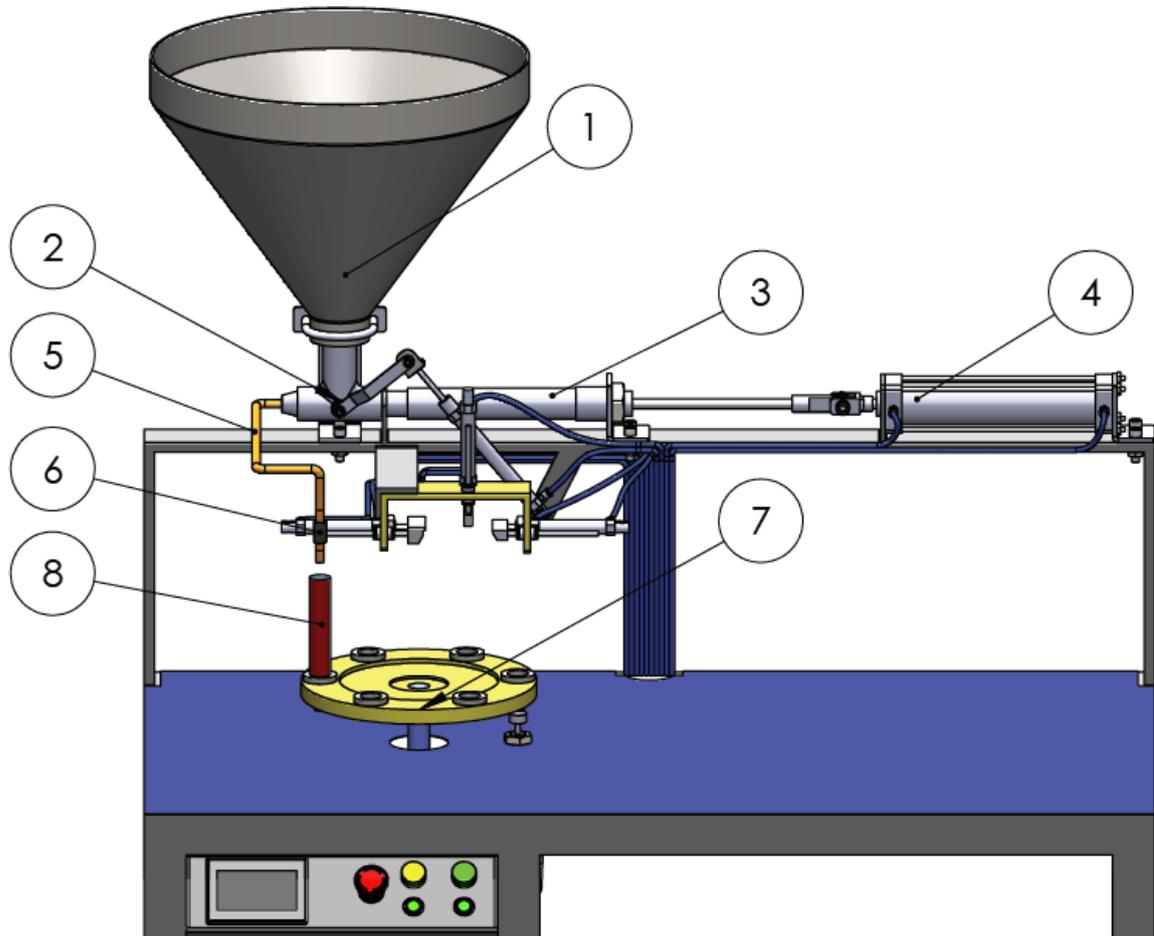
O sistema de envase é a primeira etapa para o funcionamento do equipamento, ela se dá através da sucção do gel lubrificante do reservatório principal que deve inicialmente ser abastecido pelo operador (a), com o gel lubrificante, onde ele é direcionado para um reservatório secundário e posteriormente bombeado para dentro da bisnaga a ser envasada, com o controle do peso líquido de envase, que deve ser mantido em 50 gramas.

O sistema de envase é composto pelos seguintes componentes:

1. Armazenamento principal;
2. Válvula de 3 vias;
3. Armazenamento secundário;
4. Atuadores pneumáticos;
5. Canal de envase;
6. Válvula de retenção;
7. Mesa giratória;
8. Bisnaga vazia.

É possível visualizar a disposição dos componentes citados acima, na Figura 21 a seguir.

Figura 21 – Sistema de envase.

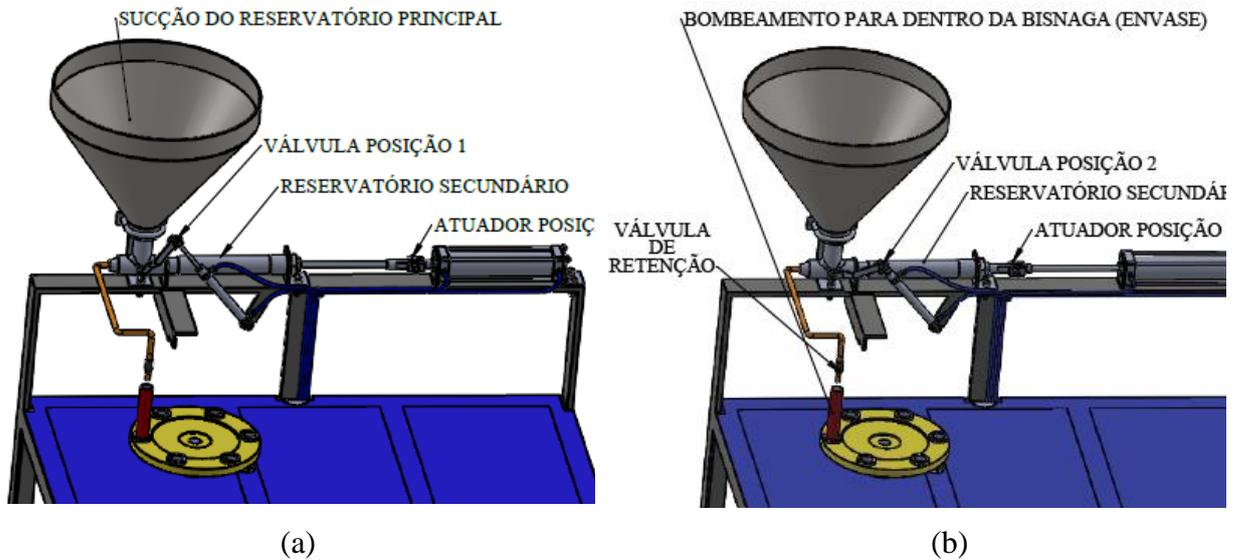


Fonte: Autor.

Para a execução do envase, foi utilizado uma válvula de 3 vias, sendo possível realizar o direcionamento do gel lubrificante para dois locais distintos, conforme mostra a Figura 22 (a). No momento em que a válvula de 3 vias se encontra na posição 1, o atuador pneumático é contraído até a posição 1, onde gera um vácuo dentro do reservatório principal, sugando o produto para dentro do reservatório secundário, além disso, é possível fazer o controle do peso líquido de envase, regulando o curso do atuador pneumático.

No passo seguinte, demonstrada através da Figura 22 (b), a válvula de 3 vias passa para a posição 2 e o atuador pneumático avança para seu segundo estágio, bombeando o gel lubrificante por meio do canal de envase, para dentro da bisnaga vazia, realizando, portanto, o envase da bisnaga de alumínio. A válvula de retenção impede o gotejamento do produto em locais indesejados.

Figura 22 – Sistema de sucção e bombeamento.



Fonte: Autor.

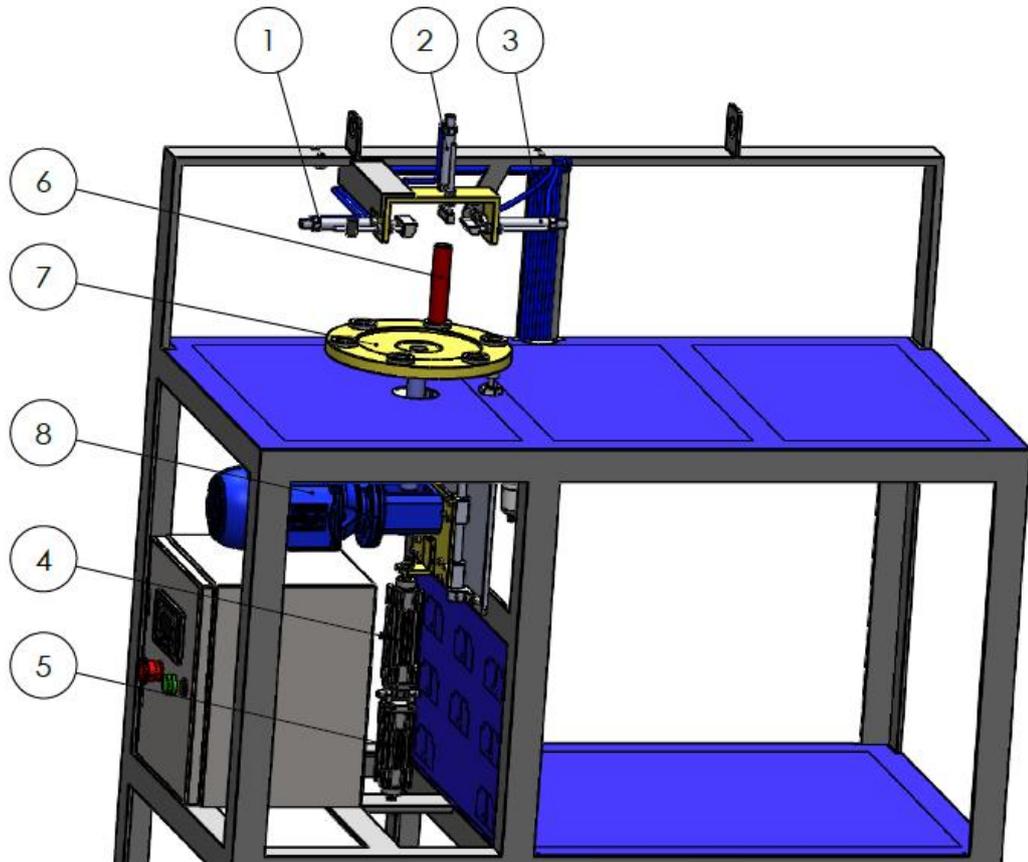
O sistema de selagem é a segunda etapa do funcionamento do equipamento, consiste inicialmente na rotação da mesa giratória através do motorreductor. Este mecanismo é responsável por mover a mesa giratória da posição de envase para a posição de selagem, onde ocorrerá o fechamento das bisnagas já envasadas. Além disso, é possível selecionar a quantidade de dobras desejadas para a selagem, para exemplificar o procedimento, é utilizado a opção de 2 dobras.

O sistema de selagem engloba os seguintes componentes:

1. Atuador pneumático 1;
2. Atuador pneumático 2;
3. Atuador pneumático 3;
4. Atuador auxiliar 1;
5. Atuador auxiliar 2;
6. Bisnaga envasada;
7. Mesa giratória;
8. Motorreductor;

É possível visualizar a disposição dos componentes citados acima, na Figura 23 a seguir.

Figura 23 – Sistema de selagem.

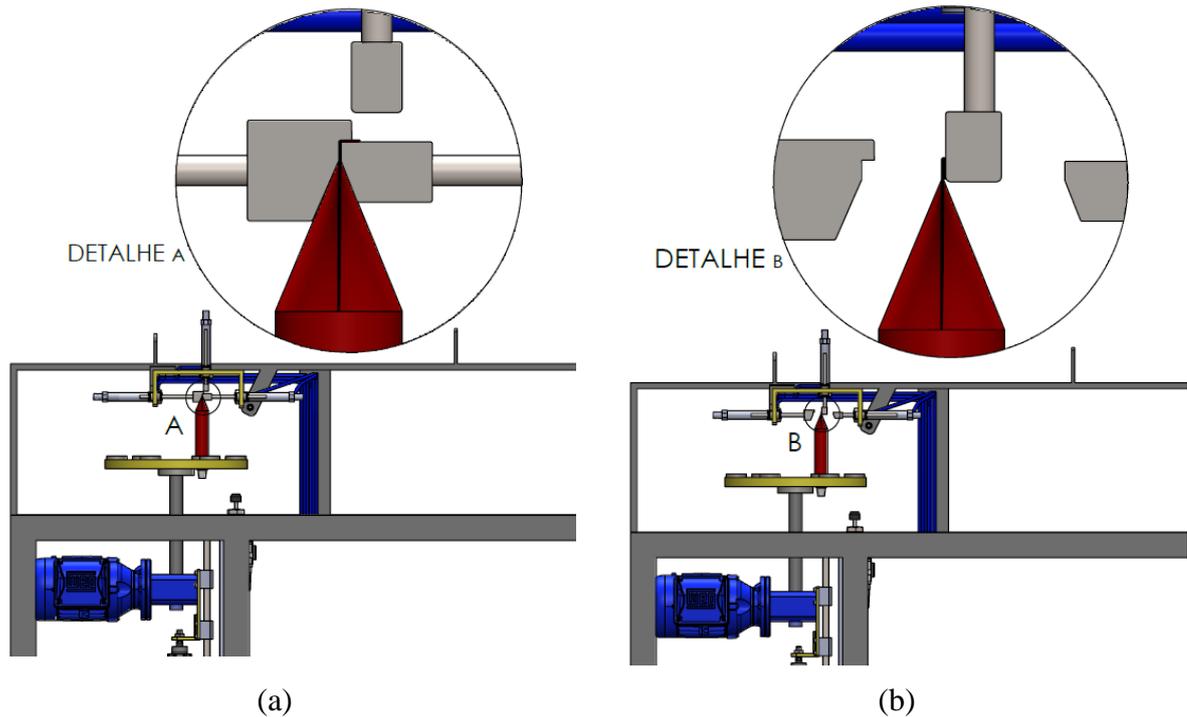


Fonte: Autor.

Para sua execução, foi criado um sistema contendo três atuadores pneumáticos e dois atuadores auxiliares, divididos em duas principais etapas. Quando o motorredutor rotaciona a mesa giratória do local de envase para o local de selagem, é acionado inicialmente o atuador auxiliar 1, elevando o conjunto mesa giratória verticalmente em 30 mm, garantindo o correto posicionamento da bisnaga no local de selagem.

Nesse momento ocorre a primeira etapa da selagem, que se dá quando a bisnaga é “amassada” horizontalmente pelos atuadores 1 e 2, como mostra a Figura 24 (a) e posteriormente a segunda etapa, quando é acionado o atuador 3, Figura 24 (b), finalizando então a primeira dobra.

Figura 24 - Etapas da selagem.



Fonte: Autor.

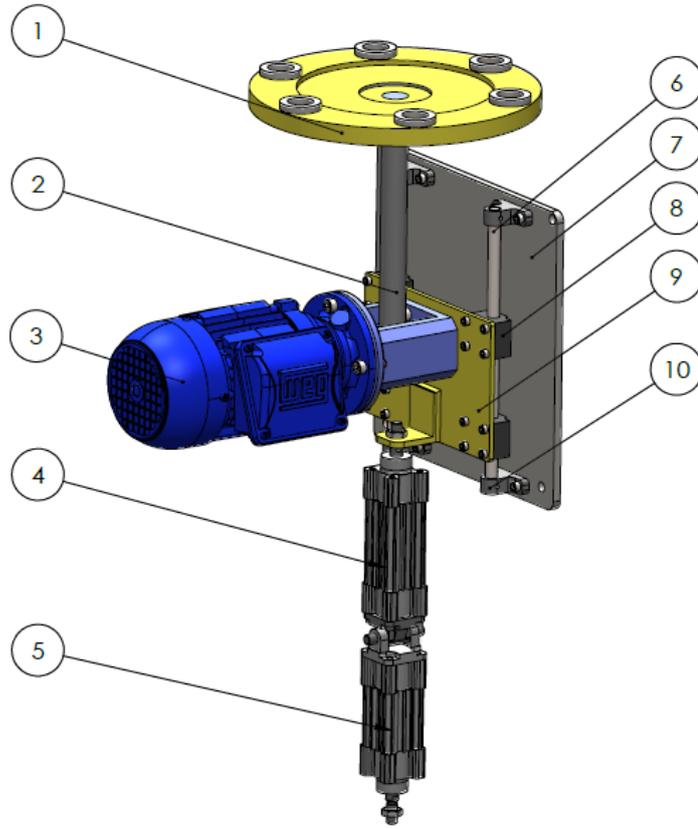
Para a realização da segunda dobra, primeiramente é acionado o atuador auxiliar 2, onde o conjunto mesa giratória é novamente elevado verticalmente, por mais 7 mm (comprimento total da dobra), em seguida, todo o ciclo da primeira dobra é repetido, finalizando a segunda dobra. Realizando, portanto, a selagem completa da bisnaga.

O conjunto mesa giratória é composto pelos componentes responsáveis pela rotação e elevação vertical da mesa. Esses elementos permitem com que a bisnaga de alumínio passe por todas as etapas do processo, desde o envase até a sua extração. A Figura 25, ilustra em detalhes todo o conjunto, facilitando a visualização da fixação do motorredutor e do mecanismo de elevação vertical.

Os componentes que compõem o conjunto mesa giratória são:

1. Mesa giratória;
2. Eixo de rotação;
3. Motorredutor;
4. Atuador auxiliar 1;
5. Atuador auxiliar 2;
6. Eixo do guia linear;
7. Base principal de fixação;
8. Guia linear;
9. Base de fixação secundária;
10. Mancal de fixação do guia linear;

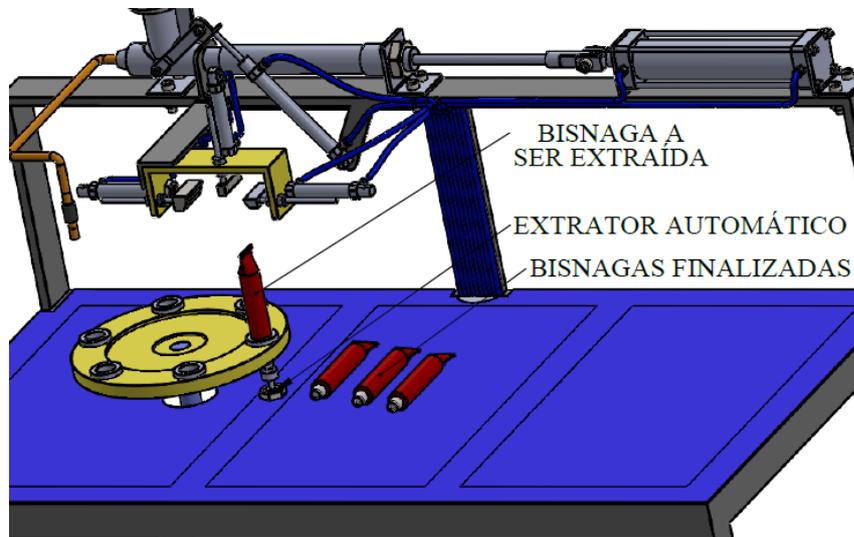
Figura 25 – Conjunto mesa giratória.



Fonte: Autor.

A terceira e última etapa do processo, consiste na extração da bisnaga. Essa etapa consiste na retirada automática da bisnaga de alumínio já envasada e selada da mesa giratória, através do sistema de extração automática, conforme mostra a Figura 26, onde o operador(a) da máquina poderá realizar uma inspeção visual e seguir para armazenagem.

Figura 26 – Sistema de extração.



Fonte: Autor

Sintetizando o que foi descrito sobre os três principais sistemas, tem-se:

1. **Envase:** O gel lubrificante é transferido do reservatório principal para um secundário e depois bombeado para dentro da bisnaga, controlando o peso líquido de 50 gramas;
2. **Selagem:** A mesa giratória move a bisnaga envasada para a posição de selagem, onde atuadores pneumáticos realizam a selagem com possível escolha da quantidade de dobras;
3. **Extração:** A bisnaga selada é automaticamente removida da mesa giratória, permitindo inspeção visual pelo operador antes da armazenagem.

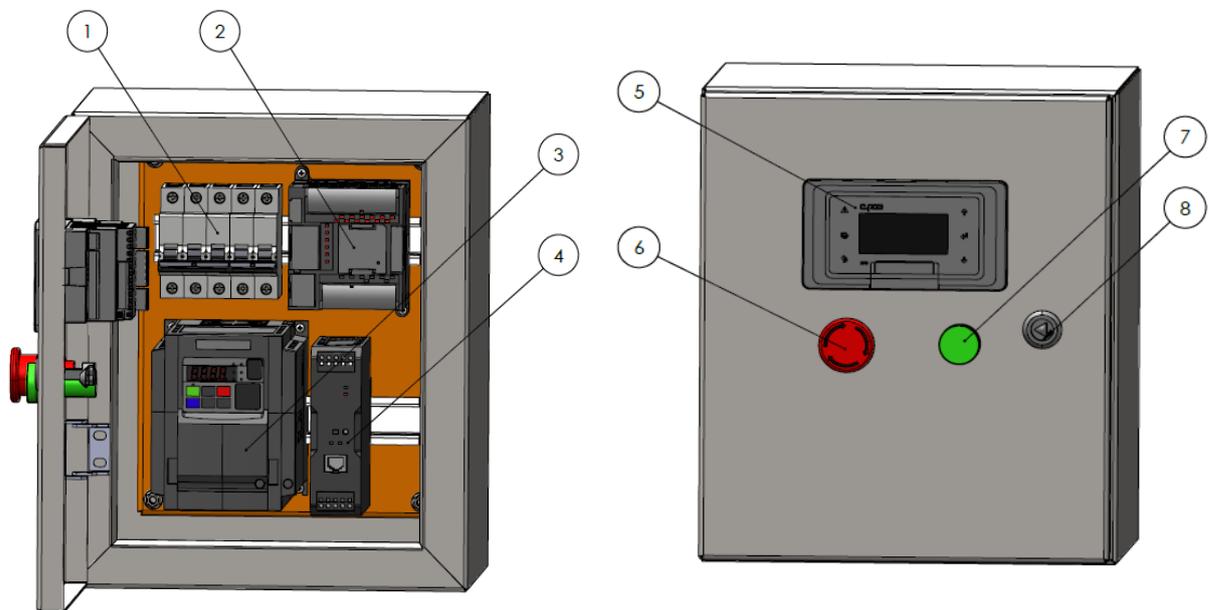
O equipamento realiza de maneira eficiente e automatizada as etapas de envase, selagem e extração de bisnagas de alumínio. A integração desses sistemas permite um controle preciso e uma operação contínua, garantindo qualidade e consistência no produto final.

3.4.3 Componentes essenciais de funcionamento

Além dos componentes principais, o projeto dispõe de outros equipamentos demonstrados a seguir:

O quadro elétrico, onde fica localizado os principais componentes elétricos do projeto como CLP (controlador lógico programável), disjuntores e o inversor de frequência que possibilita realizar diferentes configurações na rotação motorreductor, a Figura 27, ilustra os detalhes do quadro elétrico.

Figura 27 – Quadro elétrico.

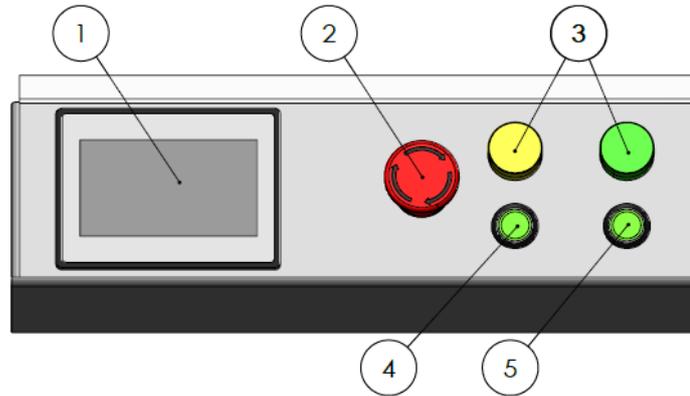


Fonte: Autor.

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Disjuntores; | 5. Visor do quadro elétrico; |
| 2. CLP (Controlador lógico programável); | 6. Botão de emergência; |
| 3. Inversor de frequência; | 7. LED indicador de energia; |
| 4. Fonte 220v/24vcc; | 8. Fecho abertura/fechamento; |

O painel de comando, conforme mostra a Figura 28, contém alguns componentes como a IHM (interface homem-máquina), onde nela é possível definir facilmente diversas configurações do processo, por exemplo, definir a quantidade de dobras a realizar ou ajustar a velocidade de rotação da mesa giratória. Além disso, possui os botões de início de ciclo, parada de ciclo e de emergência.

Figura 28 – Painel de comando.



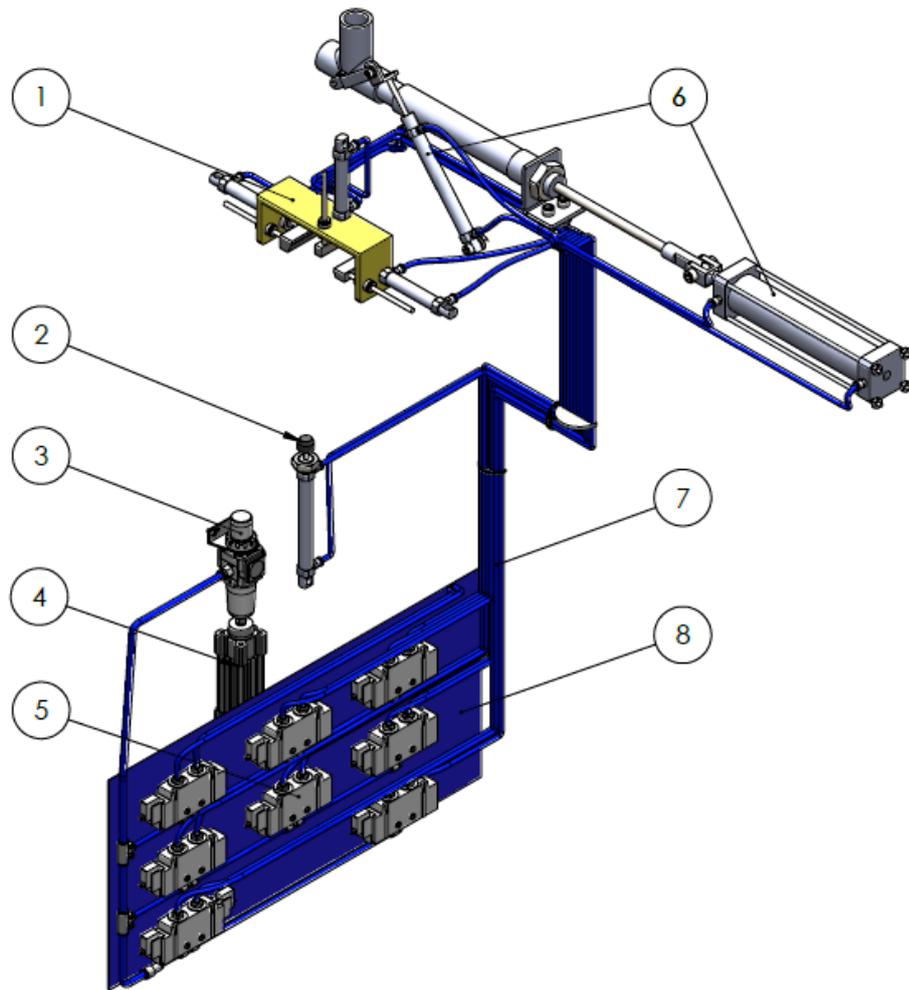
Fonte: Autor.

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1. IHM (interface homem-máquina); | 4. Botão parada de ciclo; |
| 2. Botão de emergência; | 5. Botão início de ciclo; |
| 3. Indicadores visuais; | |

Possui também, um sistema pneumático, o qual é responsável por realizar os movimentos mecânicos, através das válvulas solenoides, as quais são responsáveis por transformar o sinal elétrico vindo do CLP em fluxo de ar, acionando os atuadores pneumáticos. A pressão pneumática entra no sistema pneumático, através de um regulador de pressão, que é responsável por fazer o controle da entrada da pressão (6~8 bar), abastecendo o módulo onde dispõe de 8 válvulas solenoides, que posteriormente enviarão pressão para realizar as funções dos sistemas de envase, selagem, extração e também pela elevação vertical do conjunto mesa giratória.

Na Figura 29, é possível observar isoladamente o sistema pneumático, facilitando a visualização com mais detalhes.

Figura 29 – Sistema pneumático.



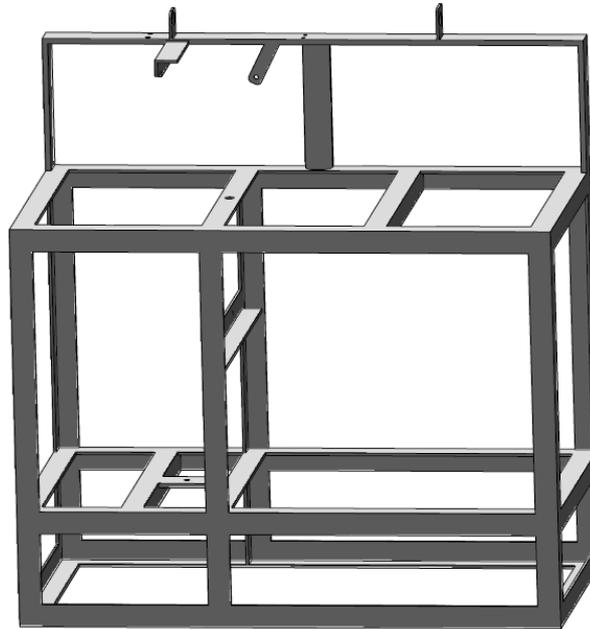
Fonte: Autor.

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. Sistema de selagem; | 5. Válvulas solenoides; |
| 2. Sistema de extração; | 6. Sistema de envase; |
| 3. Regulador de pressão; | 7. Mangueiras pneumáticas 6mm; |
| 4. Elevação vertical da mesa giratória; | 8. Suporte das válvulas solenoides; |

Todos os componentes citados até então, são fixados e suportados pelo chassi do equipamento, sendo que para sua construção foi utilizado como principal material a cantoneira 50 x 50 x 6,35 mm, em aço 1020, além da chapa de 60 x 12,7 mm para fixação dos atuadores pneumáticos que realizam a sucção e bombeamento e a fixação do reservatório principal do gel lubrificante. É possível visualizar o chassi através da Figura 30.

O desenho 2D com detalhes das dimensões do chassi e suas respectivas vistas projetadas, estão demonstradas no Apêndice A.

Figura 30 – Chassi.



Fonte: Autor.

3.4.4 Dimensionamento de componentes

Neste tópico, serão realizados cálculos detalhados para a seleção do motorreductor, do inversor de frequência, bem como, a determinação do volume ideal do reservatório principal. Esses cálculos são cruciais para assegurar a eficiência, a segurança e a confiabilidade do sistema, levando em consideração todas as especificações técnicas e operacionais necessárias. A escolha correta dos componentes do projeto é fundamental para otimizar o desempenho e minimizar possíveis falhas, garantindo um funcionamento contínuo e eficaz.

3.4.4.1 Dimensionamento do reservatório principal

Para o cálculo do dimensionamento do reservatório principal do gel lubrificante, foi devidamente adequado para que fosse possível comportar 20 Kg de produto, o qual é o peso da quantidade total de uma embalagem original adquirida do fornecedor.

O gel lubrificante tem uma densidade aproximada em $1,08 \text{ g/cm}^3$, ou seja, para suportar 20 Kg (20.000 gramas) de produto mais um coeficiente de segurança de 3%, necessariamente o reservatório deve ter o volume apresentado na Equação 1:

$$\frac{20.000 \text{ g}}{1,08 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} * 1,03 \cong 19.000 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

Onde: g: massa a ser adequada no reservatório (gramas); cm^3 : volume (centímetros cúbicos).

Convertendo para de cm^3 para mm^3 temos, $19,0 \times 10^6 \text{ mm}^3$ (milímetros cúbicos).

Para dimensionar o reservatório que por sua vez é cônico, foi mantido a altura fixa em 350 mm e calculado o valor do raio do reservatório, onde o seu volume se dá pela Equação 2 a seguir:

$$v = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$$

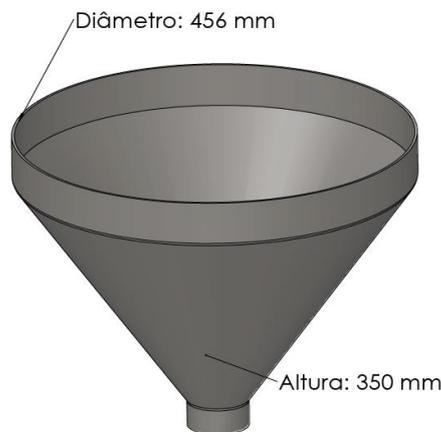
$$19,0 \times 10^6 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot 350 \quad (2)$$

$$r = 228 \text{ mm}$$

Onde: v: volume (mm³); r²: raio do maior diâmetro do reservatório (mm); h: altura do reservatório (mm).

Portanto, o reservatório terá 350 mm de altura por 456 mm de diâmetro, para abrigar os 20 Kg de gel silicone. Conforme ilustra a Figura 31.

Figura 31 – Reservatório principal de produto.



Fonte: Autor.

3.4.4.2 Dimensionamento do motorreductor

Para o dimensionamento do motorreductor, são necessárias algumas informações da mesa giratória como a sua massa que pesa aproximadamente 7,5 Kg, o seu raio de 0,14 m, sua rotação por minuto (rpm) desejada que é de 10 rpm e 0,5 s como o tempo de aceleração necessário para a mesa atingir a velocidade angular desejada.

É calculado inicialmente a velocidade angular em rad/s, a partir do rpm desejado, para isso utiliza-se a Equação 3:

$$\omega = \frac{rpm \cdot 2\pi}{60}$$

$$\omega = \frac{10 \cdot 2\pi}{60} \quad (3)$$

$$\omega = 1,047 \frac{rad}{s}$$

Onde: ω : velocidade angular (rad/s); rpm: rotação por minuto (rpm).

Posteriormente é calculado o momento de inércia conforme a Equação 4:

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot 7,5 \cdot 0,14^2$$

$$I = 0,0735 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$
(4)

Onde: I: momento de inércia (Kg.m²); m: massa da mesa giratória (Kg); r: raio da mesa giratória em metros (m).

Para calcular o torque necessário de aceleração da mesa até que ela atinja a velocidade angular desejada citada anteriormente é utilizada a Equação 5:

$$T = I \cdot \alpha$$
(5)

Onde: T: torque (N.m); I: momento de inércia (Kg.m²); α : aceleração angular (rad) que é calculada a partir da Equação 6:

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = \frac{1,047 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\alpha = \frac{1,047 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\alpha = 2,094 \text{ rad}$$
(6)

Onde: α : aceleração angular (rad); ω : velocidade angular (rad/s); t: tempo necessário para a mesa giratória atingir a velocidade angular desejada (s).

Voltando para a Equação 5 obtém-se o seguinte resultado para o torque:

$$T = 0,0735 \cdot 2,094$$

$$T = 0,154 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$
(5)

Calculando agora a potência requerida necessária a partir da Equação 7:

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = 0,154 \cdot 1,047$$

$$P = 0,161 \text{ W}$$
(7)

Onde: P: potência requerida (watts); T: torque (N.m); ω : velocidade angular (rad/s).

Para finalizar deve-se calcular a potência final (P_{final}) considerando um fator de serviço (FS) para cobrir condições adversas e garantir que o motor não opere no limite de sua capacidade, é utilizado o fator FS de 2,0, como mostra a Equação 8:

$$P_{\text{Final}} = P \cdot FS$$

$$P_{\text{Final}} = 0,161 \cdot 2,0$$

$$P_{\text{Final}} = 0,322 \text{ W}$$
(8)

Onde: P_{Final} : potência final (watts); P: potência requerida (watts); FS: fator de segurança.

Portanto, um motorreductor com uma potência de aproximadamente 0,322 W seria suficiente para rotacionar a mesa giratória com os parâmetros fornecidos. Como é importante escolher um motor com uma potência ligeiramente maior para garantir a durabilidade e

eficiência do sistema, foi escolhido o motorreductor mais próximo que é de 0,16 CV (0,1177 kW).

3.4.4.3 Dimensionamento do inversor de frequência:

Para dimensionar o inversor de frequência para um motor de 0,16 CV (0,1177 kW) necessário aplicar um fator de segurança de 1,25 comum para esse tipo de aplicação, a Equação 9 mostra:

$$\begin{aligned} P_{\text{Inicial}} \cdot FS &= P_{\text{Final}} \\ 0,1177 \text{ kW} \cdot 1,25 &= 0,147 \text{ kW} \end{aligned} \quad (9)$$

Onde: P_{Inicial} : potência inicial (kW); FS: fator de segurança; P_{Final} : potência final (kW).

Para a corrente nominal de motores com baixa potência, a tensão de alimentação normalmente é de 220 volts trifásico e assumindo um fator de potência ($\cos \varphi$) de 0,85 (típico para motores pequenos). Usa-se a Equação 10 da potência elétrica a seguir:

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos(\varphi) \\ I &= \frac{0,147}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot \cos(\varphi)} \\ I &= 0,45 \text{ A} \end{aligned} \quad (10)$$

Onde: P: potência (kW); V: voltagem da rede de energia (volts); I: corrente (amperes); $\cos \varphi$: fator de potência.

Devido que, para determinar o inversor de frequência, deve-se escolher um que possua uma corrente nominal ligeiramente superior à corrente calculada. Considerando os valores calculados, um inversor com corrente nominal de 1 ampere (A) é adequado para o projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

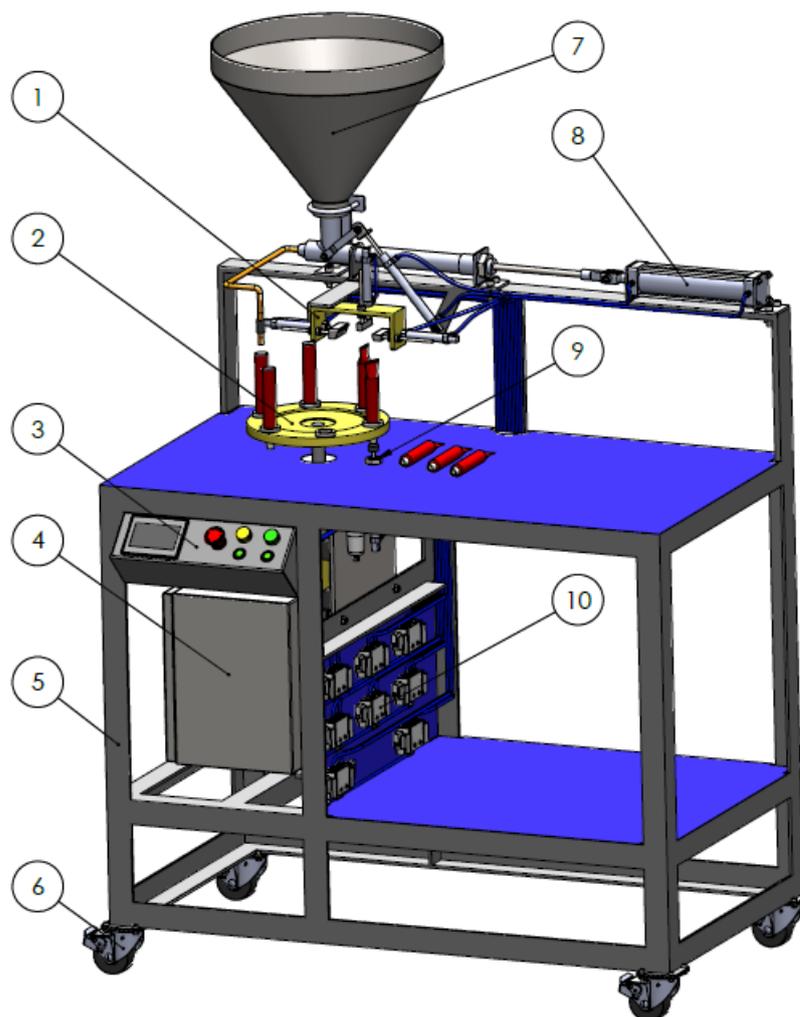
Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos durante os estudos para desenvolvimento do sistema de envase e selagem de bisnagas de alumínio além de apresentar o esboço 3D final do projeto em diferentes vistas e a descrição passo a passo do funcionamento do equipamento. Por fim, fez-se uma avaliação sobre a viabilidade técnica e econômica do projeto desenvolvido.

4.1 Fase 4: Detalhamento do projeto

Este tópico tem por objetivo principal, mostrar uma visão geral do projeto de envase e selagem de bisnagas de alumínio, ilustrando os principais sistemas que o compõem.

É possível observar na Figura 32, uma visão geral do projeto, bem como a compactes da máquina ficou compacta, e seus componentes rigorosamente posicionados, para que o operador (a), possa trabalhar no equipamento com ergonomia, segurança e agilidade.

Figura 32 – Esboço geral do projeto.



Fonte: Autor.

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1. Sistema de selagem; | 7. Reservatório principal; |
| 2. Mesa giratória; | 8. Sistema de envase; |
| 3. Painel de controle; | 9. Sistema de extração; |
| 4. Quadro elétrico; | 10. Sistema Pneumático; |
| 5. Chassi; | |
| 6. Rodízios; | |

Toda a máquina foi projetada com foco no ganho de produtividade, na facilidade de operação e com base nisso a ergonomia e segurança entram em cena, onde por sua vez, a máquina proporciona um ambiente de trabalho seguro e confortável tanto para o operador quanto para as pessoas próximas. Com interfaces intuitivas e ajustáveis, a máquina minimiza o esforço físico e reduz o risco de lesões por movimentos repetitivos. Além disso, sistemas de segurança garantem que a operação seja interrompida pelo operador na detecção de anomalias, prevenindo acidentes.

O *design* ergonômico e as medidas de segurança integradas não apenas aumentam a eficiência e a produtividade, mas também asseguram um ambiente de trabalho saudável e protegido para todos os envolvidos.

O equipamento possui regulagens que são fundamentais para o controle de qualidade, sendo possível controlar a quantidade de produto envazado e a espessura das dobras. Também a produtividade que o equipamento entrega, sendo capaz de finalizar em média 200 bisnagas por hora, quantidade essa que supre a demanda mínima necessária estimada, que era de 150 bisnagas/hora.

4.2 Etapas do funcionamento do equipamento e suas operações.

Os passos a seguir apresentam o funcionamento do sistema de envase e selagem de bisnagas de alumínio:

Passo 1: O operador (a) deve certificar-se que o equipamento esteja conectado a energia elétrica 220v e a rede pneumática de 6~8 bar de pressão. Em seguida, deve abastecer o reservatório principal com o gel lubrificante a ser envasado e posicionar as bisnagas vazias próximas a mesa giratória.

Passo 2: O operador (a), deve ligar os disjuntores localizados dentro do quadro elétrico e no painel de controle, programar a máquina através da IHM com os parâmetros de trabalho desejados para o processo como velocidade, quantidade de dobras e quantidade a ser produzida. A mesa giratória possui 6 posições, deve-se realizar o abastecimento somente das duas posições mais próximas ao painel de controle, com bisnagas vazias e pressionar o botão “início de ciclo”.

Passo 3: A máquina começará a girar e irá parar somente quando a primeira bisnaga ficar posicionada no local do envase. O operador (a), a partir desse momento, deverá continuar somente realizando o abastecimento da mesa giratória com as bisnagas vazias.

Passo 4: Quando a primeira bisnaga estiver completamente envasada, a mesa continuará a girar até que a bisnaga se posicione no local de selagem, realizando a selagem da bisnaga envasada e o envase da nova embalagem vazia ao mesmo tempo.

Passo 5: Após isso, a bisnaga já envasada e selada parte para a última etapa do processo, o local de extração, onde é retirada da mesa giratória e está pronta para uma possível inspeção visual e após para armazenagem.

Passo 6: Os processos citados anteriormente continuam a se realizar formando, portanto, um ciclo onde o abastecimento, o envase, a selagem e a extração ocorrem simultaneamente, até que a máquina atinja a quantidade de bisnagas selecionadas inicialmente ou até que o operador (a) deseje pará-la.

Passo 7: O operador (a) deve ficar atento ao nível de produto no reservatório principal, abastecendo-o se necessário. Ao final do processo, deve-se deixar de realizar o abastecimento das bisnagas vazias e aguardar até que a última bisnaga seja completamente finalizada.

4.3 Viabilidade financeira do projeto

Existem vários fatores que determinam se o equipamento desenvolvido pode se tornar viável. Porém, os fatores que possuem maior relevância são o custo de fabricação, a facilidade de manuseio e a agilidade que o equipamento proporciona na entrega do produto pronto.

Desta maneira, é necessário realizar um comparativo do equipamento desenvolvido neste projeto, com um equipamento que já é aplicado para essa finalidade, ou semelhante.

Conforme pesquisas realizadas, é encontrado no mercado com maior facilidade maquinários que realizam o envase de líquidos e com maior dificuldade algum equipamento que seja específico para envase e selagem de bisnagas de alumínio com produtos que possuam alta viscosidade, como é o caso em questão.

Portanto, foi realizado um levantamento de custos conforme é possível observar no Quadro 8, para posteriormente calcular em quanto tempo a empresa terá um retorno financeiro com a fabricação e implementação do projeto dentro da indústria.

Quadro 8 – Levantamento de custos do projeto.

CUSTOS DO EQUIPAMENTO			
Descrição	Quantidade	Preço un	Preço
Cantoneira 50x50x6,35mm	19,1m	R\$ 33,56	R\$ 641,05
Chapa 60x12mm	2,1m	R\$ 48,69	R\$ 102,25
Chapa 1,2 mm	1,5m ²	R\$ 69,55	R\$ 104,33
Chapa inox	0,34m ²	R\$ 641,66	R\$ 218,16
Base giratória	1un	R\$ 260,00	R\$ 260,00
Motorreductor	1un	R\$ 920,30	R\$ 920,30
IHM	1un	R\$ 758,00	R\$ 758,00
CLP	1un	R\$ 1.820,10	R\$ 1.820,10
Inversor de frequência	1un	R\$ 774,99	R\$ 774,99
Quadro elétrico	1un	R\$ 153,87	R\$ 153,87
Componentes elétricos	1un	R\$ 900,00	R\$ 900,00
Fixação do conjunto mesa giratória	1un	R\$ 307,90	R\$ 307,90
Conjunto guias lineares	5un	R\$ 275,00	R\$ 1.375,00
Atuador pneumático 230x12mm	1un	R\$ 458,14	R\$ 458,14
Atuador pneumático 200x12mm	1un	R\$ 167,43	R\$ 167,43
Atuador pneumático 80x6mm	5un	R\$ 86,15	R\$ 430,75
Atuador pneumático 60x12mm	2un	R\$ 109,25	R\$ 218,50
Componentes de selagem	3un	R\$ 65,00	R\$ 195,00
Mangueira PU 8 mm	25m	R\$ 2,78	R\$ 69,50
Válvula solenoide simples	6un	R\$ 58,00	R\$ 348,00
Válvula solenoide dupla	2un	R\$ 90,00	R\$ 180,00
Conexões pneumáticas	1un	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Rodízios para 300 Kg	4un	R\$ 133,00	R\$ 532,00
Regulador de pressão c/ secador	1un	R\$ 46,90	R\$ 46,90
Canal de envase	1un	R\$ 130,00	R\$ 130,00
Sensores indutivo e capacitivo	2un	R\$ 138,25	R\$ 276,50
Parafusos em geral	1un	R\$ 450,00	R\$ 450,00
Válvula 3 vias	1un	R\$ 85,00	R\$ 85,00
Fabricação	1un	R\$ 5.200,00	R\$ 5.200,00
Pintura	1un	R\$ 1.300,00	R\$ 1.300,00
Outros gastos	1un	R\$ 800,00	R\$ 800,00
Custo Total			R\$ 19.373,67

Fonte: Autor.

Após realizar a soma do custo dos itens utilizados para a fabricação do projeto, chegou-se ao valor de R\$ 19.373,67 reais.

Sendo que, com a terceirização das bisnagas prontas, a empresa tem um custo de R\$ 4,28 por unidade, já incluso todos os valores e outras despesas como impostos.

Com a implementação do projeto apresentado de envase e selagem de bisnagas de alumínio, a empresa passará a ter um custo de R\$ 3,21 por unidade.

Levando-se em consideração que a demanda mensal da empresa é de 1600 unidades mensais. Para calcular o tempo de retorno do investimento em meses, tem-se inicialmente a Equação 11:

$$\begin{aligned} Rc &= V_{\text{inicial}} - V_{\text{final}} \\ Rc &= 4,28 - 3,21 \\ Rc &= R\$ 1,07 \end{aligned} \quad (11)$$

Onde: Rc: Redução de custo (R\$); V_{inicial} : Valor inicial (R\$); V_{final} : Valor Final (R\$).

Sendo que a demanda mensal é de 1600 unidades, multiplica-se o valor obtido por 1600, ou seja, R\$ 1.712,00 reais de redução mensal. Por fim, calcula-se através da Equação 12 o tempo de retorno.

$$\begin{aligned} Ri &= \frac{V_{\text{total}}}{R_{\text{mensal}}} \\ Ri &= \frac{19.373,67}{1.712,00} \\ Ri &= \mathbf{11,4 \text{ meses}} \end{aligned} \quad (12)$$

Onde: Ri: Retorno do investimento (meses); V_{total} : Valor total equipamento (R\$); R_{mensal} : Redução mensal (R\$).

Portanto, em 11,4 meses, a empresa terá o retorno do valor investido com a implementação do equipamento.

O cálculo não considerou o valor hora/homem do operador (a) durante esses 11,4 meses, pois em somente 8h de trabalho, o equipamento projetado envasa a quantidade total consumida pela empresa para o mês todo.

Conclui-se, portanto, que a fabricação interna do equipamento é financeiramente viável e melhora significativamente na agilidade do processo interno, eliminando o risco de atrasos decorrentes da terceirização das bisnagas de gel silicone, atualmente realizada por duas empresas distintas.

5 CONCLUSÕES

Este projeto teve como principal objetivo desenvolver um equipamento capaz de envasar e selar bisnagas de alumínio, com características voltadas na facilidade de manuseio, na segurança, na eficácia e no baixo custo.

O primeiro passo foi estudar, através de livros e artigos, conceitos e materiais que poderiam ser utilizados para o desenvolvimento, além dos métodos de envase e selagem, bem como suas dimensões e diferentes tipos de dobras.

Seguindo uma metodologia para desenvolvimento de projetos, desenvolveu-se uma lista de requisitos e especificações do sistema, essencial para o andamento do projeto. Através da concepção, definiu-se a função global, subfunções principais, seleção das funções secundárias, variantes de solução e seleção das variantes do projeto.

Diante da concepção das variantes de solução, o trabalho seguiu norteado no desenvolvimento do projeto CAD 3D, onde possibilito uma melhor visualização, utilização dos componentes e dos métodos estudados, bem como alocá-los de forma eficaz no equipamento.

No detalhamento dos principais sistemas do projeto, também foi apresentada as disposições definitivas dos componentes, dimensionamento e vistas de montagem, gerando documentações essenciais para sua adequação. Ao final, o projeto é finalizado com um estudo sobre a viabilidade técnica e econômica do equipamento desenvolvido.

Com o estudo sobre o projeto em geral, aliado à aplicação de uma metodologia de projeto de engenharia, onde o trabalho foi guiado por critérios técnicos e econômicos, além da realização de cálculos para o dimensionamento de componentes do sistema e a elaboração de um projeto final detalhado, demonstrando também a viabilidade econômica positiva da aplicação do projeto.

Diante disso, se dá o atendimento do objetivo do projeto do equipamento, onde o operador poderá de maneira fácil e prática, realizar o envase e a selagem de bisnagas de alumínio, não sendo mais necessário desembolsar custos com a terceirização do produto pronto. Portanto, promovendo lucratividade, qualidade e agilidade no processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALASSO, motorsport. **Entenda as diferentes modalidades do off-road:** Esportes radicais. Revista digital, out. 2019. Disponível em: <<https://balasso.com.br/esportes-radicaais/modalidades-off-road/>>. Acesso em: out. 2023.

BEJAN, Adrian. **Advanced Engineering Thermodynamics.** Editora Wiley, 4ª Edição, 2016.

BONACORSO, Nelso G.; NOLL, Valdir. **Automação Eletropneumática.** Editora Saraiva, 12ª Edição, 2013. Acesso em: 07 out. 2023.

CAMARGO, Valter Luís Arlindo. **Elementos de Automação.** Editora Saraiva, 2014.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial - Controle do Movimento e Processos Contínuos.** Editora Saraiva, 3. ed. 2013.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. **Controladores lógicos programáveis:** sistemas discretos. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

Festo. **Automação.** Disponível em: <https://www.festo.com/br/pt/p/valvula-solenoide-id_VUVS/?tab=HIGHLIGHTS>. Acesso em: 14 out. 2023.

GHELEN, Rubens Zolar da Cunha. **Desenvolvimento de produtos.** Porto Alegre, 2018.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e processos de manufatura.** 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática.** (Tekne). Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo A, 2015.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio. **Engenharia de automação industrial**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MOTUL, Expert. **Motociclismo off-road**: conheça as diferentes modalidades. Revista Digital, set. 2021. Disponível em: <<https://motulexpert.com.br/motociclismo-off-road-conheca-as-diferentes-modalidades/>>. Acesso em: set. 2023.

NORONHA, George. **A emoção de uma manobra**. Escrito por Redação, Diário do Nordeste, ago. 2013. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/>> Acesso em: set. 2023.

PAHL, G. et al. **Projeto na Engenharia**. 6ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PATSKO, Luís Fernando. **Tutorial Aplicações, funcionamento e utilização de sensores**, 2006.

R. PARKINSON, Alan; J. BALLING, Richard; D. HEDENGREN, John. **Optimization Methods for Engineering Design**: Applications and Theory. Brigham Young University. 2013. p. 1-8.

ROZENFELD, Henrique. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

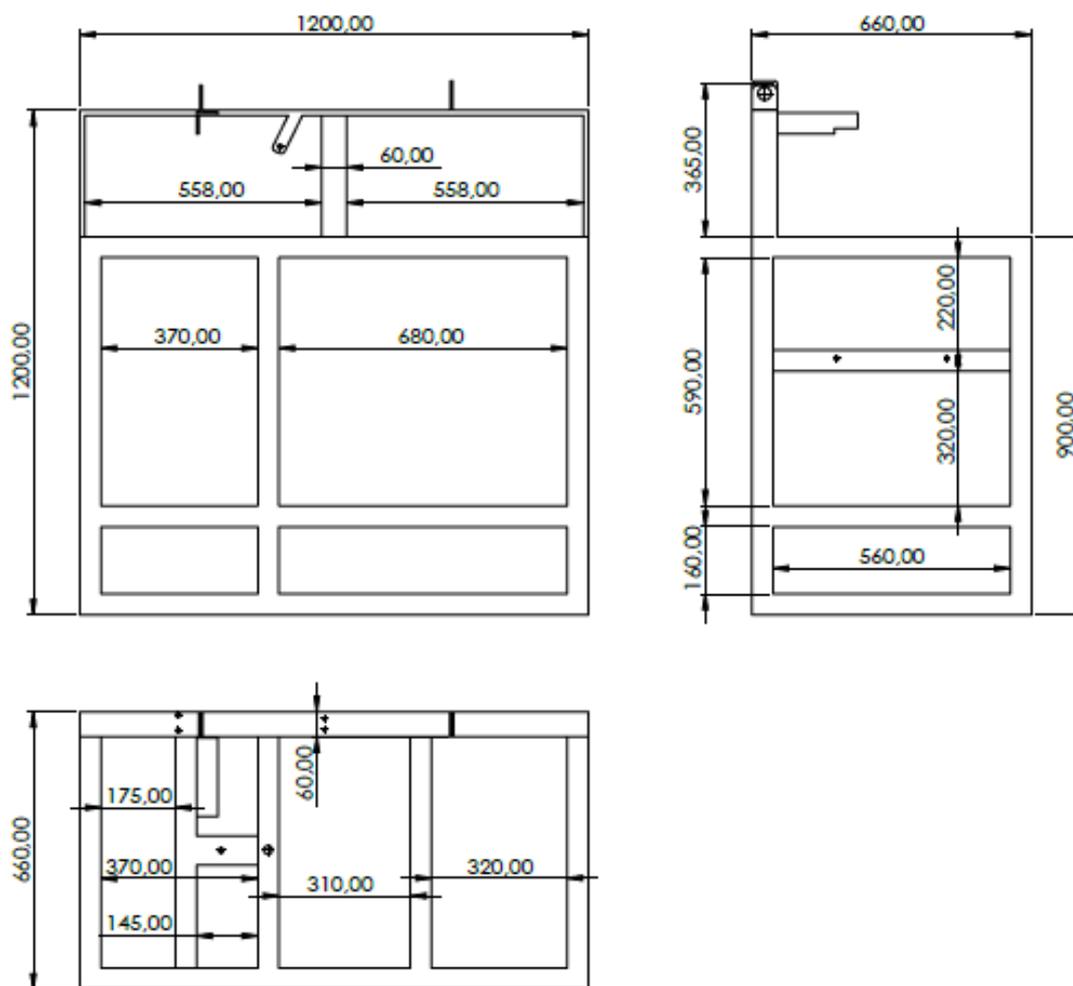
SANTOS, Fernando. **Mousse: Pneu furado na moto nunca mais**. Motonline, jan. 2022. Disponível em: <<https://www.motonline.com.br/noticia/pneu-furado-na-moto-mousse/>>. Acesso em: out. 2023.

SCHNEIDER ELECTRIC. **Automação Industrial**. Disponível em: <<https://loja.se.com>> Acesso em: 12 set. 2023. Acesso em: 12 out. 2023.

SILVEIRA FILHO, Elmo Souza Dutra da. **Sistemas hidráulicos e pneumáticos**. Porto Alegre, 2018.

APÊNDICES

Apêndice A – Vistas projetadas do Chassi e suas principais dimensões.



Fonte: Autor.