



DIMENSIONAMENTO DE UMA UNIDADE HIDRÁULICA APLICADA EM UMA MOLDADORA DE BOLOS DE AREIA

Autor – Silvano Bernardi

148142@upf.br

Orientador – Prof. Dr. Charles Leonardo Israel / Projeto mecânico

israel@upf.br

Comissão Examinadora – Prof. Dr. William Haupt , Prof. Dr. Leandro Dóro Tagliari

RESUMO

Neste trabalho foi realizado o projeto e construção de uma unidade hidráulica e atuadores utilizados em uma máquina moldadora de bolos de areia sem partições horizontais, fabricada por uma empresa de Joinville-SC. Este equipamento é adequado para fundições onde a moldagem é manual e pretende-se otimizar para moldagem automática, sendo a principal vantagem o aproveitamento dos ferramentais das antigas máquinas manuais, onde a mesma realiza a moldagem total em apenas 40 segundos. Após o entendimento das solicitações relevantes para o projeto é realizado o dimensionamento dos cilindros hidráulicos, válvulas direcionais, bomba propulsora e outros itens necessários para o referido equipamento, seguindo da elaboração do diagrama hidráulico por meio de *software* FluidSim da empresa Festo Didactic e simulação do mesmo, sendo assim possível realizar um dimensionamento rápido e preciso, posteriormente realiza-se a fabricação do equipamento e testes para verificação do seu funcionamento. Este estudo mostrou a rapidez e confiabilidade do uso de *softwares* em projetos, facilitando o dimensionamento de sistemas hidráulicos. Concluindo que se pode obter um bom resultado e um dimensionamento rápido e preciso atendendo todas as solicitações de qualquer projeto. O projeto hidráulico deste equipamento custou dez por cento do valor do equipamento completo que está avaliado em um milhão e duzentos mil.

Palavras chave: bombas hidráulicas; *software*; simulação; atuadores; dimensionamento.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Fialho (2019), a hidráulica é uma palavra derivada da união de *hydra* + *aulos* que vem do grego, significando basicamente condução de água em um tubo. A hidráulica industrial que se popularizou após a revolução no Século XVIII, utiliza suas propriedades físicas para converter a matéria no estado líquido em movimento mecânico. Sendo que esses artificios realizam trabalhos mecânicos de qualquer escala, desde a maior até a menor, lentos ou não. Com estes recursos, o homem pode multiplicar sua força, velocidade, acurácia e confiabilidade de seus equipamentos. Com o avanço da tecnologia no século XX, tornou-se possível controlar esses sistemas eletronicamente, calcular ou simular seu funcionamento. Atualmente a hidráulica industrial segue no mesmo propósito inicial, realizando grandes ou pequenos trabalhos, com precisão ou movimentos simples, lentos ou rápidos. Pode-se dizer que os mecanismos hidráulicos poderiam atender uma demanda para realização de quase todos os trabalhos que necessitam de

muitos homens durante muito tempo. Devido os sistemas hidráulicos é possível gerar grandes esforços com equipamentos relativamente pequenos, sendo que o emprego destas tecnologias está substituindo cada vez mais os mecanismos meramente mecânicos devido que não há nenhum mecanismo seja elétrico, mecânico ou magnético que consiga desenvolver uma relação peso/potência tão baixo quanto sistemas hidráulicos.

Segundo Fialho (2015), as principais vantagens de um sistema hidráulico está em proporcionar uma elevada e constante força por longos períodos com uma grande precisão de operação. Sendo que devido as suas infinidade de aplicação, os controles eletrônicos e o avanço dos *softwares*, a hidráulica industrial com a ajuda dos *softwares* passaram a possibilitar o dimensionamento de uma máquina hidráulica com mais agilidade e simular o comportamento dos mesmos, podendo assim muitas vezes pular algumas etapas do projeto.

A função dos equipamentos hidráulicos de forma simplificada é succionar o fluido, comprimi-lo e escoar de forma controlada, realizando um movimento desejado. Atualmente estão presentes em quase todos os equipamentos que demandem de uma grande força, sendo que na parte de construção, móbil ou agrícola podem ser encontrados em guindastes, caminhão betoneira, máquinas agrícolas, equipamentos utilizados para pavimentação em geral desde a escavação até o acabamento depende destes equipamentos hidráulicos. Na manufatura de produtos os equipamentos hidráulicos trabalham em conjunto com outro equipamento, movimentando, prendendo, entre outros movimentos que auxiliam o equipamento.

De acordo com Soares (2000 apud BALDAN, 2014), a areia de moldagem é constituída por um elemento granular refratário sendo normalmente areia silicosa e um aglomerante. Na fundição por areia verde consiste na prensagem dos mesmos em formas de bolos com diferentes tipos de canais internos, onde será depositado o metal de forma líquida, originando assim a peça bruta. O processo consiste na prensagem de uma caixa superior e uma inferior, onde é colocado o macho com o formato da peça desejada entre as duas caixas e prensado, originando assim o molde pronto para a fundição. podendo ser de forma manual ou de forma automatizada, com partições horizontais ou não. Sendo que a forma automatizada vem crescendo muito em fundições mais antigas onde se pode aproveitar o ferramental antigo em um equipamento moderno.

Entretanto este trabalho abordará o dimensionamento e fabricação de um unidade hidráulica, atuadores e comandos utilizado no equipamento moldador de bolos de areia para fundição, moldando um bolo completo em apenas 40 segundos, sendo totalmente automático desde o abastecimento com areia verde até a remoção do bolo pronto. Utilizando *software* para simulação do funcionamento dos componentes, seguido da verificação dos resultados por meio de bibliografia específica. Posteriormente se inicia a escolha do modelo das válvulas direcionais, bomba propulsora e motor elétrico necessário, fabricação dos atuadores e reservatório de óleo hidráulico para em seguida realizar a montagem e testes do sistema completo.

1.1 Objetivos Gerais e Específicos

Realizar o dimensionamento e execução de um equipamento hidráulico pra uma máquina moldadora de bolos de areia para fundição. Tendo como objetivo específico analisar o funcionamento do *software*, elaborar um roteiro para execução do projeto e dimensionamento, projeto completo dos atuadores e reservatório seguido da fabricação e testes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentado o embasamento teórico que fornece a base deste trabalho, sendo necessário para fundamentar as escolhas dos equipamentos e permitem o dimensionamento

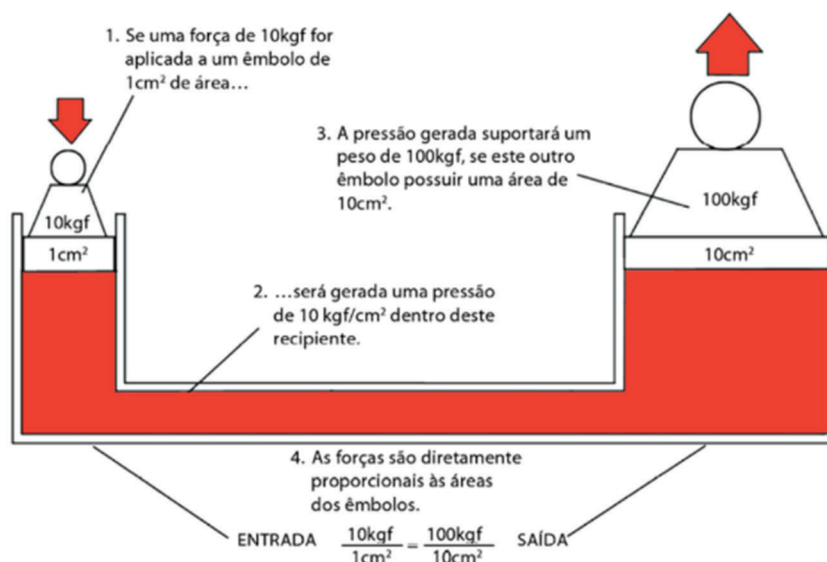
correto de cada um dos componentes que compõe um sistema hidráulico. Onde inicialmente será realizado um estudo direcionado a sistemas hidráulicos completos com todos os equipamentos necessários para o funcionamento do projeto.

2.1 Princípios físicos da mecânica dos fluidos

Segundo Pascal, a pressão exercida em um ponto qualquer de um líquido estático é o mesmo em todas as direções, e exerce forças iguais em áreas iguais. Onde a pressão aplicada a uma unidade de área é transmitida em todos os sentidos e direções através de um líquido confinado. No princípio da revolução industrial um mecânico, Joseph Bramah utilizou da descoberta de Pascal para desenvolver a primeira prensa hidráulica.

Bramah percebeu que se uma força fosse aplicada em uma pequena área isso gerava uma força proporcionalmente grande em uma área maior. A figura 1 mostra como funciona a prensa hidráulica.

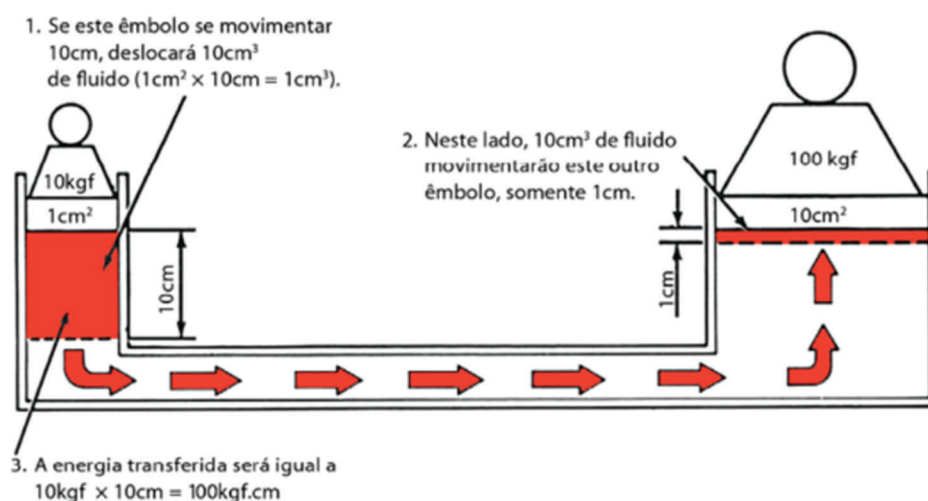
Figura 1 – Princípio de funcionamento de uma prensa hidráulica.



Fonte: Moreira (2012).

Podendo visualizar então que se aplicarmos uma força de 10 kgf em uma área de 1 cm² é possível gerar uma força de 100 kgf em uma área de 10 cm². Também é possível afirmar que para deslocar 1 cm onde se tem área de 10 cm² é necessário movimentar 10 cm na área que se tem 1 cm². Portanto com o aumento da força se perde movimento e velocidade como mostra a figura 2.

Figura 2 – Diferenças de movimentos da prensa hidráulica.

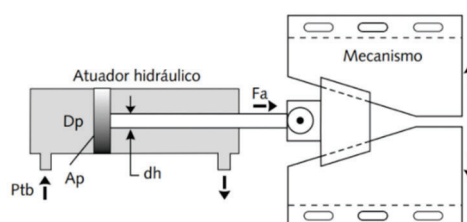


Fonte: Moreira (2012).

2.2 Cilindros hidráulicos

Os cilindros hidráulicos são automatismos destinados a transformar a energia hidráulica em uma força linear. Neste capítulo abordará o dimensionamento pelo critério de Euler, que aborda a flambagem em função de seu diâmetro, carga, comprimento e modo de fixação. Os cilindros hidráulicos ou atuadores lineares são dimensionados através da força de avanço necessária do projeto, e seguindo o critério de Euler é verificado o diâmetro da haste para que não haja flambagem, a figura 3 mostra um equipamento que utiliza um atuador linear para deslocar simultaneamente 2 guias (Fialho, 2019).

Figura 3 – Componentes de um atuador linear.



Fonte: Fialho (2019).

Onde D_p é o diâmetro do pistão, dh é o diâmetro da haste, P_{tb} é a pressão hidrostática de trabalho, A_p é a área do pistão, η é o rendimento do cilindro e F_a é a força de avanço do pistão, sendo que os diâmetros são em centímetros, a pressão em bar, a área em centímetros quadrados e a força de avanço em newton. A equação 2.1 mostra como é calculada a força de avanço em relação com a pressão e a área do cilindro

$$F_a = P_{tb} \cdot A_p \quad (2.1)$$

a equação 2.2 mostra como é calculada a área do cilindro levando em conta o rendimento do mesmo, sendo que o rendimento dos cilindros hidráulicos é da ordem de 90%.

$$A_p = \frac{\pi}{4 \cdot \eta} (D_p)^2 \quad (2.2)$$

Segundo Fialho (2019), a flambagem ocorre em peças que a sua área de seção transversal é muito pequena em relação ao seu comprimento, quando submetidas a um esforço de compressão axial, sendo que a peça perde sua estabilidade e ultrapassa a tensão de escoamento do material, resultando assim em uma deformação permanente. O critério de Euler trata do diâmetro mínimo possível sem que haja flambagem da haste do cilindro, a equação 2.3 trata do critério de flambagem de Euler identificada com a letra K .

$$K = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{\lambda^2} \quad (2.3)$$

Em que, E é o módulo de elasticidade do aço que é $2,1 \times 10^7$ N/cm², J é o momento de inércia axial para seção circular (cm⁴) e λ é o comprimento livre de flambagem (cm). Sendo que a máxima força de avanço Fa segura permitida se dá pela equação 2.4, sendo que o fator de segurança S nos cilindros hidráulicos é de 3,5

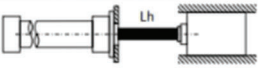
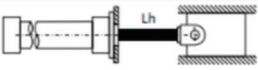
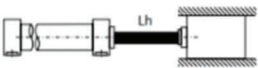
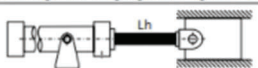
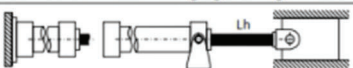
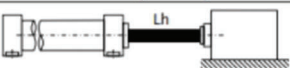
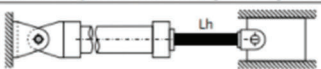
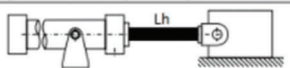
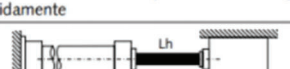
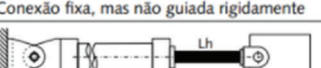
$$Fa = \frac{K}{S} \quad (2.4)$$

agrupando as equações 2.2, 2.3 e 2.4 junto com o momento de inércia axial para seção circular colocando em função de dh é obtida a equação 2.5 capaz de calcular o diâmetro mínimo admissível da haste em cm,

$$dh = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot S \cdot \lambda^2 \cdot Fa}{\pi^3 \cdot E}} \quad (2.5)$$

onde o comprimento livre de flambagem é em função do comprimento da haste e em relação a sua fixação, identificados como caso 1 até o caso 10 no quadro 1.

Quadro 1– Fator de comprimento livre de flambagem.

Cargas de Euler	Representação da condição funcional da haste	Comprimento livre de flambagem λ
	 Caso 1 – Conexão rígida e carga guiada rigidamente	$\lambda = \frac{Lh}{2}$
	 Caso 2 – Conexão articulada e carga guiada rigidamente	$\lambda = 0,707 \cdot Lh$
	 Caso 3 – Conexão rígida e carga guiada rigidamente	$\lambda = Lh$
	 Caso 4 – Conexão articulada e carga guiada rigidamente	
	 Caso 5 – Conexão articulada e guiada rigidamente	$\lambda = 1,5 \cdot Lh$
	 Caso 6 – Conexão suportada, mas não guiada rigidamente	$\lambda = 2 \cdot Lh$
	 Caso 7 – Carga articulada e guiada rigidamente	
	 Caso 8 – Conexão articulada e suportada, mas não guiada rigidamente	$\lambda = 3 \cdot Lh$
	 Caso 9 – Conexão fixa, mas não guiada rigidamente	$\lambda = 4 \cdot Lh$
	 Caso 10 – Conexão articulada, mas não guiada rigidamente	

Fonte: Fialho (2019).

Com os dados calculados acima é possível escolher cilindros hidráulicos comerciais prontos, onde o custo dos mesmos é menor devido a sua produção ser em grande escala. Mas para projetos especiais onde os cilindros comerciais não atendem é necessário calcular o diâmetro da camisa do cilindro e a espessura do fundo, podendo ser obtida pela equação e critério de Bach, calculando a espessura da parede do tubo dado pela equação 2.6,

$$e_{pd} = \frac{1}{2} Dp \left[\sqrt{\frac{\sigma_{ad} + 0,4 Ptb}{\sigma_{ad} - 1,3 Ptb}} - 1 \right] \quad (2.6)$$

sendo que:

$$Ptb < \sigma_{ad} = \frac{\sigma_e}{S} \quad (2.7)$$

onde o coeficiente de segurança (S) neste caso será 1.3, σ_e é a tensão de escoamento do material que no aço usado em camisas de cilindros hidráulicos é de 3450 bar. Para calcular a espessura do fundo do cilindro (e_{fd}) é utilizado a equação 2.8, onde D é o diâmetro interno do fundo.

$$e_{fd} = 0,45 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P_{tb}}{\sigma_{ad}}} \quad (2.8)$$

As vazões induzidas, segundo Fialho (2019), é o fluxo de óleo que ocorre na câmara oposta a entrada de fluxo de óleo que vem da bomba, sendo calculado pelas equações 2.9 e 2.10. onde Q_{ia} é a vazão induzida gerada pelo avanço do cilindro (L/min), Q_{ir} é a vazão induzida gerada pelo recuo do cilindro (L/min), A_e é a área transversal líquida interna do avanço do atuador (cm²), A_s é a área transversal líquida interna do recuo do atuador descontando o diâmetro da haste (cm²) e Q_b é a vazão da bomba (L/min),

$$Q_{ia} = Q_b \cdot \left(\frac{A_s}{A_e}\right) \quad (2.9)$$

$$Q_{ir} = Q_b \cdot \left(\frac{A_e}{A_s}\right) \quad (2.10)$$

para calcular as vazões necessária de acionamento dos atuadores nos tempos requeridos é obtido pela equação 2.11, onde Q_a é vazão necessária para o avanço do atuador, Q_r a vazão necessária do retorno do atuador, L_h o comprimento da haste e ΔT_a e ΔT_r os tempos de avanço e retorno respectivamente.

$$Q_a = \pi \cdot \frac{L_h \cdot D_p^2}{4 \cdot \Delta T_a} \quad Q_r = \pi \cdot \frac{L_h \cdot (D_p^2 - d_h^2)}{4 \cdot \Delta T_r} \quad (2.11)$$

2.3 Bombas hidráulicas

A bomba hidráulica é um dos mais importantes componentes em um sistema hidráulico, sendo ela de pistão, engrenagem, palheta, lóbulos, etc., pois é responsável pelo deslocamento e pressurização do fluido garantindo uma vazão regular. Segundo Linsigen (2008), um dos principais requisitos na hora de escolher a bomba hidráulica seja ela de qualquer mecanismo, é a sua vazão de fluido, após selecionar a vazão, segue para a determinação da pressão de trabalho incluindo a perda de carga pela tubulação e acessórios. A cilindrada da bomba (V_g) é obtida pela equação 2.12,

$$V_g = \frac{1000 \cdot Q_b}{n \cdot \eta_v} \quad (2.12)$$

sendo n a rotação do motor onde a bomba está acoplada e η_v o rendimento volumétrico que neste caso é de (0,91 – 0,93). O momento de torção (M_t) e a potência (N) absorvido pela bomba é obtido através da equação 2.13 e 2.14 respectivamente, onde ΔP é a perda de carga do sistema e η_{mh} o rendimento mecânico-hidráulico sendo nesta aplicação de (0,75 – 0,90), onde o momento de torção é obtido em N.m e a potência em cv.

$$M_t = \frac{Q_b \cdot \Delta P}{100 \cdot \eta_{mh}} \quad (2.13)$$

$$N = \frac{M_t \cdot n}{9549} \cdot 1,35962 \quad (2.14)$$

2.4 Tubulações

Segundo Fialho (2019), os tipos de tubulações que compõem o sistema hidráulico geralmente são divididos em três grupos, sendo eles: tubulações de sucção, tubulações de pressão e tubulações de retorno. Podendo ser tubulações flexíveis ou rígidas, sendo que para um bom funcionamento se deve manter o número de Reynolds (Re) inferior a 2000, sendo calculado pela equação 2.15,

$$Re = \frac{V \cdot dt}{\nu} \quad (2.15)$$

onde V é a velocidade do fluido, dt o diâmetro interno da tubulação em centímetros e ν a viscosidade cinemática do fluido em stokes.

Sendo que quando o comprimento da tubulação não for superior a 10 metros, as vazões do sistema estão entre 20 a 200 l/min e se tem variações moderadas de temperatura, é possível utilizar a tabela 1 para dimensionamento das tubulações.

Tabela 1– Velocidades recomendadas.

Tubulação	Pressão (bar)				Velocidade (cm/s)
	20	50	100	>200	
Tubulação de pressão	300	400	500	600	
Tubulação de retorno	300				
Tubulação de sucção	100				

Fonte: Fialho (2019).

Para calcular as velocidades utiliza-se a equação 2.16, sendo que a pressão (P) em bar e a velocidade é obtida em cm/s.

$$Veloc = 121,65 \cdot P^{\left(\frac{1}{3,3}\right)} \quad (2.16)$$

Os diâmetros mínimos são obtidos através da equação 2.17, onde Q é a vazão máxima do sistema (l/min), v é a velocidade recomendada para a tubulação sendo calculado pela equação 2.16 e di é o diâmetro interno da tubulação.

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015 \cdot \pi \cdot v}} \quad (2.17)$$

Sempre que se tem um fluido escoando em uma tubulação é necessário levar em conta a perda de carga do mesmo devido o atrito do fluido com as paredes do tubo e singularidades. A quadro 2 apresenta três equações possíveis para a obtenção do fator de atrito (f) para diferentes tipos de tubulação e temperatura.

Quadro 2 – Fator de atrito.

$f =$	$\frac{64}{Re}$	Para tubos rígidos e temperatura constante
	$\frac{75}{Re}$	Para tubos rígidos e temperatura variável ou para tubos flexíveis e temperatura constante
	$\frac{90}{Re}$	Para tubos flexíveis e temperatura variável

Fonte: Fialho (2019).

A perda de carga distribuída (ΔP_D) é obtida através da equação 2.18, sendo que f é o fator de atrito, γ é o peso específico do fluido, v é a velocidade de escoamento do tubo, dt é o diâmetro interno do tubo e L é o comprimento da tubulação.

$$\Delta P_D = f \cdot \frac{\gamma \cdot L \cdot v^2}{g \cdot dt} \cdot 10^{-5} \quad (2.18)$$

2.5 Reservatório

O reservatório não consiste somente em armazenar o fluido, segundo Fialho (2019), o reservatório deve possuir uma área e volume necessário para que haja uma troca de calor por condução e convecção para que antes da bomba succionar o fluido ele esteja na temperatura adequada. As chicanas são dispositivos em formas de aletas que servem para separar as linhas de sucção das linhas do retorno, fazendo com que o óleo circule por mais tempo dentro do reservatório antes de ser succionado novamente, reduzindo assim sua temperatura. Em geral o cálculo do volume do reservatório (VR) é dado pela equação 2.19, salvo em casos especiais.

$$VR = 3 \cdot Q_b \quad (2.19)$$

2.6 Válvulas direcionais

As válvulas direcionais ou também conhecidas como distribuidoras, são responsáveis por direcionar o fluido no sistema, possibilitando avançar e retrain os cilindros atuadores linear e acionamento para ambos os lados em atuadores rotativos, ou seja, direcionam o fluxo de fluido para onde ele seja necessário. As válvulas direcionais podem ter acionamento manual, elétrico, hidráulico ou podendo ser misto, com detente ou não. A escolha das válvulas primeiramente é pelo tipo do seu direcionamento, número de vias e conexões úteis, após é escolhido a vazão volumétrica utilizando a vazão máxima do sistema. Sendo que uma má escolha pode resultar em aquecimento do sistema e desgaste prematuro da mesma (FIALHO, 2019).

2.7 Válvulas controladoras de pressão

As válvulas controladoras de pressão ou muito conhecidas como válvulas de alívio, regulam, limitam ou interrompem a elevação da pressão de um circuito ou do sistema inteiro, podendo ser diretamente operada, pilotada de 1 ou 2 estágios, com descarga por solenoide, entre outras.

2.8 Válvula de bloqueio

Segundo Fialho (2019), são elementos que impedem um fluxo de fluido em determinado sentido e permitem o livre fluxo no sentido contrário. As válvulas de retenção são conhecidas também como válvulas de segurança, pois se colocada no atuador irá bloquear a passagem de óleo caso alguma tubulação se rompa, evitando assim acidentes com atuadores se retraindo ou avançando de forma acidental. As válvulas de retenção podem ser simples, com desbloqueio hidráulico, pilotada geminada, de sucção e preenchimento.

2.9 Válvula reguladora de vazão

De acordo com Fialho (2019), são muito utilizadas para regular a velocidade dos atuadores lineares e rotativos em pequenos pontos do sistema, onde restringem a passagem de óleo em uma direção e deixam a passagem livre no sentido oposto. Deve-se atentar para o aquecimento do fluido devido a resistência do mesmo ao passar por a válvula.

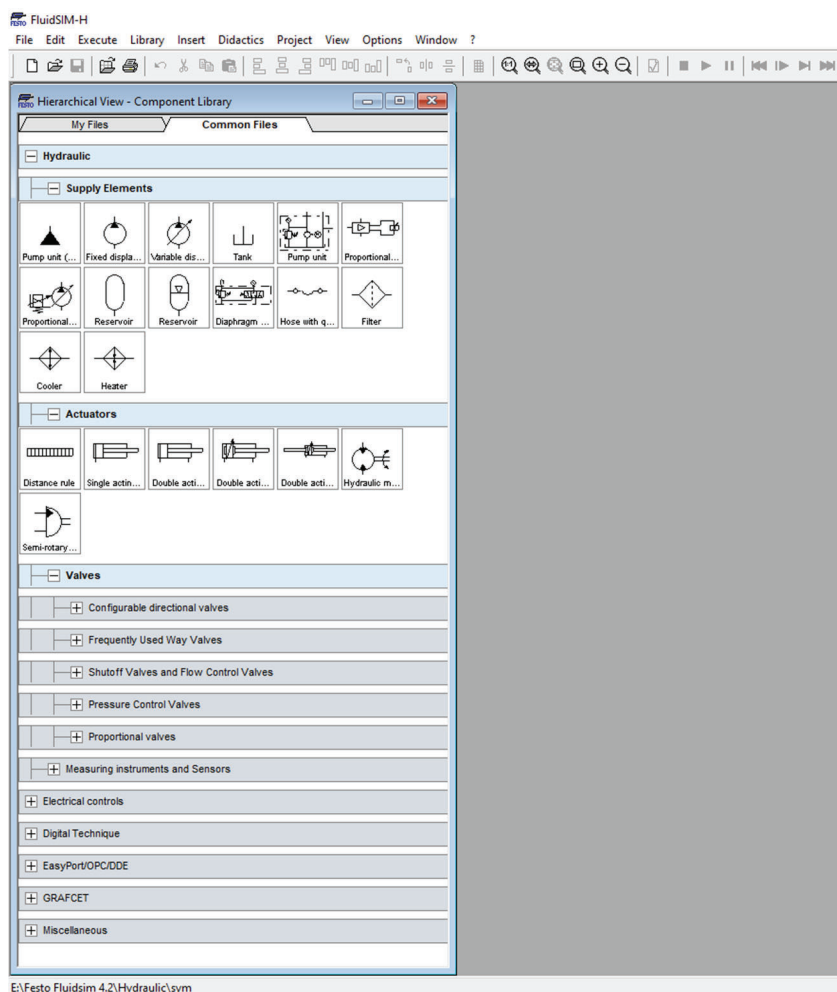
2.10 Método passo a passo

No desenvolvimento de pequenos diagramas não é necessário a utilização do método passo a passo, pois é possível realizar de forma analítica, mas para o dimensionamento de mais de dois atuadores se torna necessário o uso do mesmo. Esse método consiste em todos os passos dos componentes seja um diagrama elétrico, hidráulico ou pneumático através de uma tabela. Sendo que nesta tabela, são apresentados separadamente os passos para que seja executado um de cada vez, de maneira que ao final do último passo o trabalho seja realizado.

2.11 Software

O *Software* utilizado para desenvolvimento deste trabalho é o FluidSim 4.2. Ele foi desenvolvido pela Festo Didactic GmbH & Co. da Alemanha. Onde é encontrado de forma *free*, a qual é possível fazer o diagrama hidráulico seguindo a norma NBR 8897, possibilita a simulação e funcionamento do sistema, estimando os tempos, velocidades e podendo identificar possíveis irregularidades no sistema. Este *software* tem uma interface simples e fácil de utilizar comparado com os demais disponíveis no mercado, além da simplicidade é um dos mais completos *softwares* obtido de forma gratuita, contendo versões aplicadas para a hidráulica e pneumática. A figura 4 mostra a interface do *software* FluidSim na versão 4.2, contendo o módulo de componentes da versão aplicada na hidráulica.

Figura 4 – Interface FluidSim 4.2.



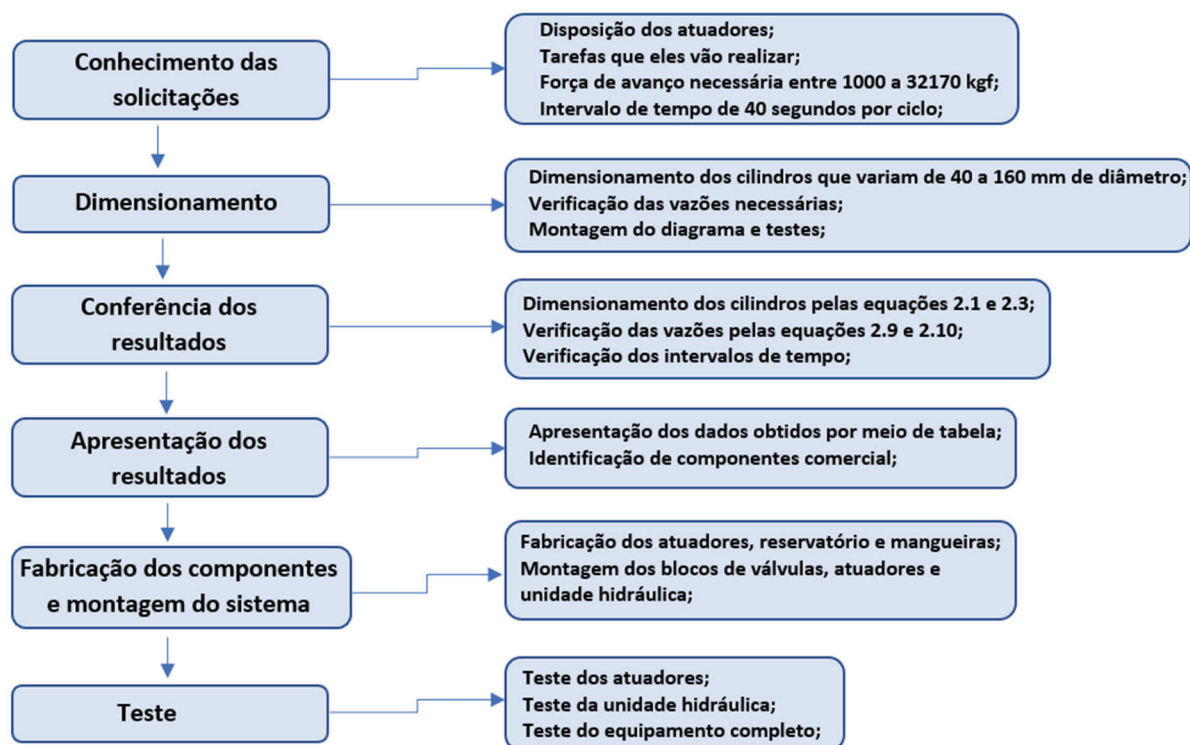
Fonte: Autor (2022).

É possível observar na coluna a esquerda todos os componentes relacionados a parte hidráulica do *software*, possibilitando escolher bombas, reservatórios, filtros, resfriadores de óleo, acumuladores de pressão, atuadores lineares e rotativos, válvulas direcionais, válvulas controladoras de fluxo e pressão, válvulas proporcionais, controles elétricos, gerar gráficos, entre outras ferramentas.

3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo, será descrito o método que vai ser realizado para a execução do projeto do sistema hidráulico, onde será utilizado o *software* FluidSim. Primeiramente vai ser realizado o conhecimento das solicitações, dimensionamento, conferência dos resultados, apresentação dos resultados, fabricação dos componentes e montagem do sistema finalizando com os testes dos atuadores e unidade hidráulica. O fluxograma a seguir mostra as etapas do método passo a passo.

Figura 5 – Fluxograma passo a passo.



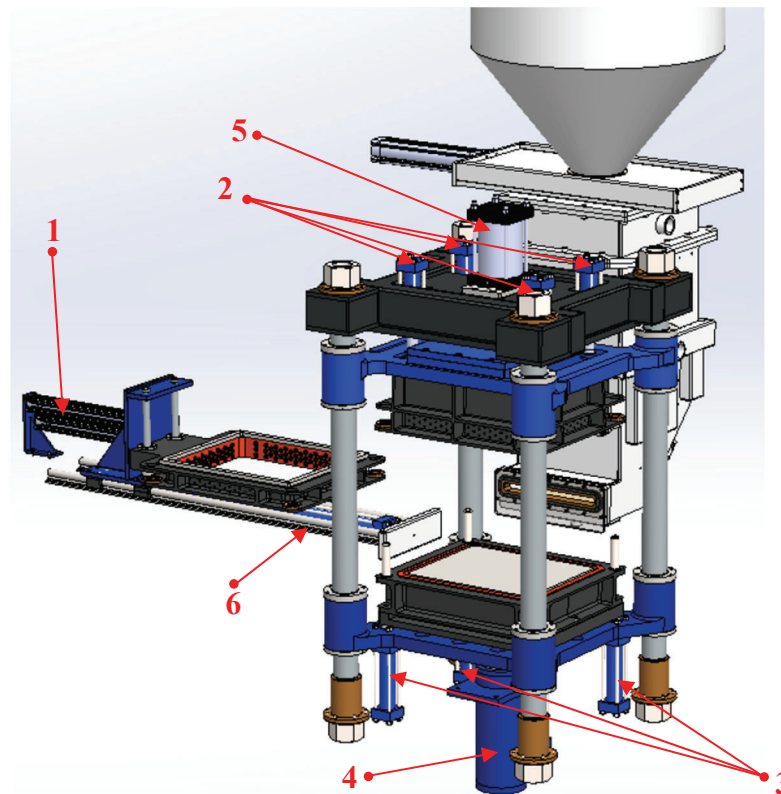
Fonte: Autor (2022).

3.1 Condições iniciais

Para que o projeto hidráulico do equipamento seja realizado, é necessário que o fabricante do equipamento forneça os dados requeridos que são: a força que cada cilindro hidráulico deve exercer no seu avanço e retorno, o tempo desejado que cada cilindro hidráulico faça o avanço e o retorno, o curso que cada cilindro hidráulico deve ter e o tipo de fixação dos mesmos. Na sequência estão listados os passos onde cada cilindro irá atuar com seus tempos e cursos:

- No 1º passo o equipamento deve estar com todos os seu atuadores recuados.

Figura 6 – Equipamento com todos os atuadores recuados.



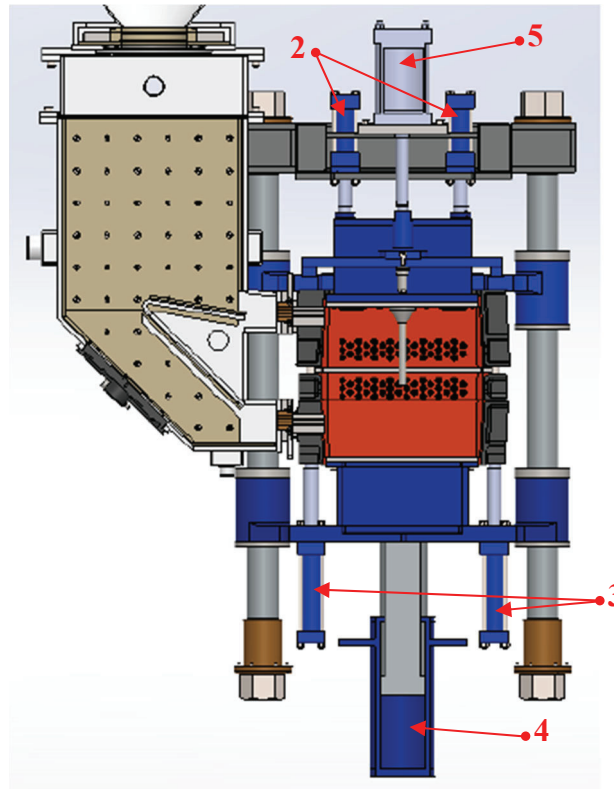
Fonte: Vick (2022).

O atuador de número 1 é responsável pelo carro porta ferramentas, os atuadores de número 2 são responsáveis pela caixa superior, os atuadores de número 3 são responsáveis pela caixa inferior, o atuador de número 4 é responsável pela prensa inferior, o atuador de número 5 é responsável pela prensa superior e o atuador de número 6 é responsável pelo empurrador de moldes como mostra a figura 6.

- O 2º passo, o cilindro hidráulico do carro porta ferramenta (1) que está recuado, avança até seu final de curso que é de 1300mm, com um tempo de 2 segundos e também exercendo uma força de 1200 kg com um aumento previsto de 60% em possíveis aprimoramentos ou até mesmo pelo desgaste dos mecanismos ocasionando atrito.
- O 3º passo, os dois cilindros hidráulicos da caixa superior (2) avançam até seu fim de curso que é de 200mm, com um tempo de 2 segundos exercendo uma força de 3000 kg cada um. Os dois cilindros hidráulicos da caixa inferior (3) avançam até seu fim de curso que é de 200mm com o mesmo tempo e força. Nos quatro cilindros hidráulicos se deve considerar um aumento previsto de 60% da força em possíveis aprimoramentos ou desgaste gerando atrito.
- O 4º passo, o cilindro hidráulico da prensa inferior (4) avança até parte do seu curso que é de 350mm, com um tempo de 4 segundos exercendo uma força de 30000 kg. O cilindro hidráulico da prensa superior (5) avança até seu final de curso que é de 250mm, com um tempo de 4 segundos com uma força de 12000 kg. Nos dois cilindros se deve considerar um aumento previsto de 40% da força em possíveis aprimoramentos ou até mesmo pelo desgaste dos mecanismos ocasionando atrito.

- O 5º passo é para enchimento das caixas de areia, sendo que não tem nenhuma movimentação hidráulica por 3 segundos, ilustrado na figura 7.

Figura 7 – Enchimento das caixas com areia verde.

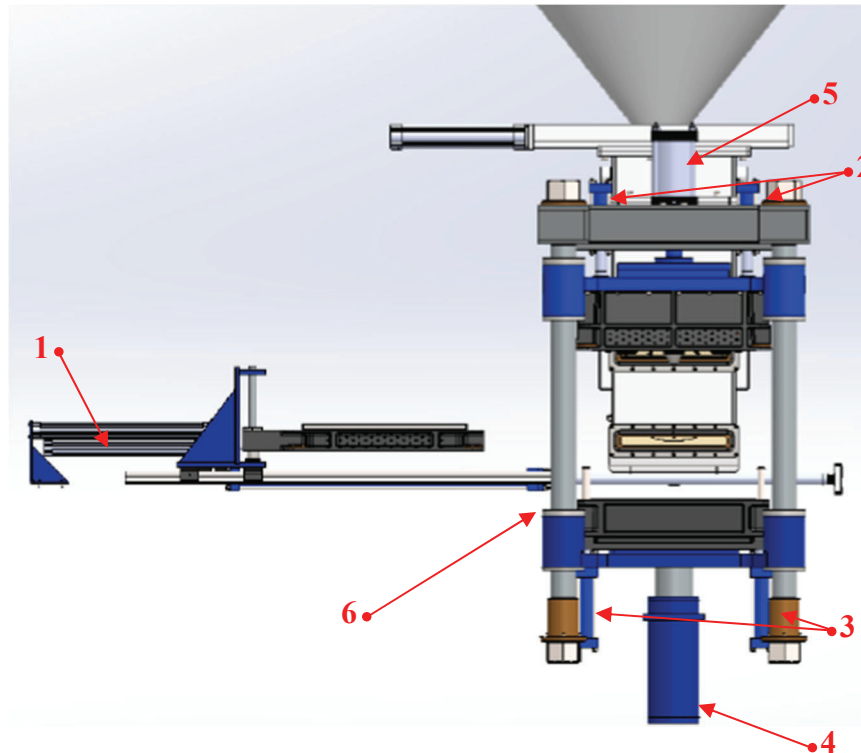


Fonte: Vick (2022).

- O 6º passo, o cilindro hidráulico da prensa inferior (4) avança da posição que se encontra no passo 3 até seu fim de curso que é de 600mm, com um tempo de 4 segundos, exercendo a mesma força de 30000 kg. O cilindro hidráulico da prensa superior (5) entra em modo de regeneração sendo empurrado pela prensa inferior até sua posição original, ou seja, todo recuado.
- O 7º passo, o cilindro hidráulico da prensa inferior (4) recua até seu ponto inicial com um tempo de 4 segundos. Os cilindros hidráulicos da caixa inferior (3) recuam 50mm.
- O 8º passo, o cilindro hidráulico do caro porta ferramenta (1) retorna a sua posição original em 3 segundos.
- O 9º passo, o cilindro hidráulico da prensa inferior (4) avança até seu fim de curso que é de 600mm, com um tempo de 4 segundo e com uma força de 30000kg.
- O 10º passo, o cilindro hidráulico da prensa superior (5) avança 50mm em um tempo de 2 segundos. Os cilindros hidráulicos da caixa superior (2) recuam 200mm com um tempo de 2 segundos.
- O 11º passo, o cilindro hidráulico da prensa inferior (4) recua até sua posição original, ou seja, recua 600mm, com um tempo de 4 segundos. Os cilindros hidráulicos da caixa inferior (3) recuam 150mm com um tempo de 4 segundos.

- O 12º passo, o cilindro hidráulico do empurrador de moldes (6) avança até seu final de curso que é de 1300mm com uma força de 1250kg com um tempo de 3 segundos empurrando assim o bolo de areia pronto para fora do equipamento. Considerar um aumento de 60% da força para possíveis aprimoramentos ou até mesmo pelo desgaste dos mecanismos ocasionando atrito, ilustrado na figura 8.

Figura 8 – Movimento do empurrador de moldes.



Fonte: Vick (2022).

- O 13º o cilindro hidráulico do empurrador de moldes (6) recua até sua posição inicial em 2 segundos. Após o recuo inicia-se um novo ciclo.

A tabela 2 mostra de forma simplificada o movimento dos atuadores, contendo o tempo, curso e força que cada um deve fazer, sendo que os valores mostrados foram retirados a partir das solicitações do cliente.

Tabela 2 – Movimentos dos atuadores simplificado.

Passo	Cilindro hidráulico	Movimento	Distância (mm)	Tempo (s)	Força (kg)
1	Todos	0	0	0	0
2	Carro porta ferramenta	Avança	1300	2	1200+60%
3	Caixa superior	Avança	200	2	3000+60%
3	Caixa inferior	Avança	200	2	3000+60%
4	Prensa superior	Avança	250	4	12000+40%
4	Prensa inferior	Avança	350	4	30000+40%
5	Todos	0	0	3	0
6	Prensa inferior	Avança	250	4	30000+40%
6	Prensa superior	Recua	250	4	6400+40%
7	Prensa inferior	Recua	600	4	17000+40%
7	Caixa inferior	Recua	50	4	1615+60%
8	Carro porta ferramenta	Recua	1300	3	640+60%
9	Prensa inferior	Avança	600	4	30000+40%
10	Prensa superior	Avança	50	2	12000+40%
10	Caixa superior	Recua	200	2	1615+60%
11	Prensa inferior	Recua	600	4	17000+40%
11	Caixa inferior	Recua	150	4	1615+60%
12	Empurrador de moldes	Avança	1300	3	1250+60%
13	Empurrador de moldes	Recua	1300	2	640+60%

Fonte: Autor (2022).

3.2 Dimensionamento do sistema hidráulico

O sistema hidráulico é composto por vários componentes como: bomba, filtros, reservatório, válvulas direcionadoras, válvulas limitadoras de pressão, válvulas de retenção, atuadores, etc. que na maioria do tempo trabalham de forma síncrona, fazendo assim que os cálculos de dimensionamento sejam de forma sequencial, onde o item seguinte vai depender da escolha do anterior.

Inicialmente é definida a vazão de óleo da bomba propulsora, partindo da maior demanda de óleo necessária para movimentar o maior ou os atuadores que estão em funcionamento no mesmo tempo, sendo o movimento dos mesmo realizado no tempo solicitado, e conferindo se a vazão é suficiente em todo o sistema com os tempos solicitados. Após é definido a pressão necessária para exercer a força solicitada, sabendo a pressão é definida o tipo de bomba que será usada no sistema.

Sabendo a vazão da bomba, é definido o volume do reservatório pela equação 2.19, seguindo as dimensões comerciais a fim de viabilizar a fabricação ou até mesmo a compra de um reservatório já pronto. Após definido o reservatório é calculado as dimensões das tubulações, seguindo as equações de 2.15 a 2.18 abordadas na revisão bibliográfica, e posteriormente é escolhido as válvulas direcionais, válvulas de alívio e válvulas de retenção a partir da vazão induzida dos cilindros hidráulicos.

Após inseridos os dados de entrada no *software*, é possível visualizar a movimentação dos cilindros, funcionabilidade do sistema, direcionamento do fluido e cronometragem do tempo. A partir da conferência dos dados obtidos pelo *software* e revisão bibliográfica é dado início a fabricação e montagem do equipamento para posteriores testes.

3.3 Conferência dos resultados

A conferência dos resultados foi feita através dos tempos obtidos no *software* quando simulado os movimentos dos atuadores e através da bibliografia específica. Após realizado o dimensionamento dos componentes é introduzido os dados de tempos, diâmetro dos atuadores, vazões de óleo e forças necessárias para realizar a simulação.

3.4 Apresentação dos resultados

A apresentação dos resultados se dá por meio de tabelas para melhor visualização e melhor comparação dos resultados.

3.5 Testes

Os testes serão realizados primeiramente com os componentes separados, como os atuadores e unidade hidráulica para posteriormente serem acoplados no equipamento completo e realizar os testes na linha de produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresenta-se a demonstração dos resultados obtidos nos cálculos e dados de saída do *software*, seguido da discussão com confronto entre as solicitações iniciais com os resultados obtidos na bibliografia. Após este confronto será possível definir se irá prosseguir a fabricação do equipamento. A tabela 3 a seguir mostra as solicitações das forças necessárias, a pressão de trabalho, o aumento de força previsto feito pelo solicitante do equipamento, forças calculadas com aumento de carga e a pressão calculada para garantir o aumento de força solicitada.

Para os cilindros hidráulicos da caixa superior, caixa inferior e prensa superior opta-se pelo sistema construtivo de tirantes, ou seja, o mesmo deve ser manufaturado e montado sem solda, pois a solicitação do equipamento, é de que o mesmo realizará 90 ciclos por hora, em jornadas de trabalho maiores que 8,8 horas por dia, aumentando a probabilidade e tornando precoce a trinca das regiões soldadas.

Tabela 3 – Forças calculadas do equipamento.

Cilindro	Aumento de força solicitada (%)	Força de avanço requerida pelo solicitante (kgf)	Força de avanço calculada (kgf)	Pressão de avanço requerida pelo solicitante (kg/cm ²)	Pressão de avanço calculada com aumento de força (kgf/cm ²)	Força de avanço calculada com aumento da pressão (kgf)
Carro porta ferramentas	60	1200	1280	100,00	152,80	1920
Caixa superior	60	3000	3170	100,00	151,60	4801
Caixa inferior	60	3000	3170	100,00	151,60	4801
Prensa inferior	40	30000	32170	160,00	208,90	42002
Prensa superior	40	12000	12570	160,00	213,90	16800
Empurrador de moldes	60	1200	1280	100,00	152,80	1920

Fonte: Autor (2022).

Para identificação do ponto crítico para escolha da bomba, utiliza-se dos cálculos das vazões realizados, sendo que se observa o momento que se tem o maior número de atuadores em

movimento no mesmo tempo e os atuadores que tem maior área de seção transversal para descobrir o volume de óleo necessário para movimentar estes atuadores neste referido passo. A tabela 4 mostra a vazão de óleo necessária em cada um dos atuadores nos respectivos passos que o equipamento realizará, sendo que é possível observar que no passo de número 4 é encontrado a maior vazão de avanço, sendo assim o ponto crítico.

Tabela 4– Vazão de óleo necessária em cada passo.

Passo	Cilindro hidráulico	Distância (mm)	Tempo (s)	Vazão avanço (L/min)	Vazão induzida (L/min)	Vazão de bomba necessária (L/min)	Vazão das válvulas necessária (L/min)
1	Todos	-	-	-	-	-	-
2	Carro porta ferramenta	1300	2	49,01	96,09	49,01	96,09
3	Caixa superior	200	2	19,00	37,26	38,00	74,51
3	Caixa inferior	200	2	19,00	37,26		
4	Prensa superior	250	4	29,45	57,75	135,01	257,91
4	Prensa inferior	350	4	105,56	200,16		
5	Todos	-	3	-	-	-	-
6	Prensa inferior	250	4	75,40	123,73	90,42	153,18
6	Prensa superior	250	4	15,02	29,45		
7	Prensa inferior	600	4	110,27	180,95	111,48	183,33
7	Caixa inferior	50	4	1,21	2,38		
8	Carro porta ferramenta	1300	3	16,66	32,67	16,66	32,67
9	Prensa inferior	600	4	110,27	180,95	110,27	180,95
10	Prensa superior	50	2	11,78	23,10	21,47	42,10
10	Caixa superior	200	2	9,69	19,00		
11	Prensa inferior	600	4	110,27	180,95	113,90	188,08
11	Caixa inferior	150	4	3,63	7,13		
12	Empurrador de moldes	1300	3	32,67	64,06	32,67	64,06
13	Empurrador de moldes	1300	2	24,99	49,01	24,99	49,01

Fonte: Autor (2022).

Observando o ponto crítico no passo 4 que demanda de 135,01 litros de óleo por minuto para realizar a tarefa no tempo requerido foi utilizado uma bomba de pistão axial pilotada de 85 centímetros cúbicos com um controle de vazão pilotada, onde quando atingir uma pressão pré-determinada reduz a vazão, mas mantendo a pressão constante reduzindo assim o gasto de energia elétrica e com um rendimento mais alto que as de bombas de engrenagens. A bomba vai ser acoplada em um motor elétrico trifásico de 4 polos de 40 cv com uma rotação de 1775 rotações por minuto, gerando uma vazão de 151 litros por minutos suprindo assim a demanda do sistema.

Para fim de demonstração é realizado o cálculo do atuador da prensa inferior seguindo a bibliografia proposta, onde se inicia com a equação 2.1 tendo as solicitações de força de avanço e pressão dada pelo requerente do projeto que tem uma força de avanço de 30000 kgf e uma pressão de 160kgf/cm²,

$$Ap = \frac{Fa}{Ptb} \quad Ap = \frac{30000}{160} \quad Ap = 187,5 \text{ cm}^2 \quad Ap = 18750 \text{ mm}^2 \quad (2.1)$$

seguindo para a equação 2.2 calculando o diâmetro do pistão, onde o rendimento desse sistema hidráulico é da ordem de 90%.

$$A_p = \frac{\pi}{4 \cdot \eta} (D_p)^2 \quad D_p = \sqrt{\frac{A_p}{\left(\frac{\pi}{4 \cdot \eta}\right)}} \quad D_p = \sqrt{\frac{18750}{\left(\frac{\pi}{4 \cdot 0,9}\right)}} \quad D_p = 146,7 \text{ mm}^2 \quad (2.2)$$

Para encontrar o diâmetro da haste mínimo admissível é utilizado a equação 2.5, onde o comprimento livre de flambagem (λ) é dado pelo quadro 1 no caso 9, sendo o comprimento L_h de 60 cm. O fator de segurança (s) é de 3,5 para sistemas hidráulicos e o módulo de elasticidade é de 2141404,05 kgf/cm².

$$dh = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot S \cdot \lambda^2 \cdot Fa}{\pi^3 \cdot E}} \quad dh = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 3,5 \cdot (4 \cdot 60)^2 \cdot 30000}{\pi^3 \cdot 2141404,05}} \quad dh = 8,74 \text{ cm} \quad (2.5)$$

$dh = 87,4 \text{ mm}$

Após dimensionamento dos diâmetros de camisa e haste é possível escolher atuadores com medidas comerciais, desde que os mesmos possuam medidas iguais ou superiores as calculadas. Caso não tenha atuadores comerciais com as dimensões necessitadas é preciso calcular a espessura da parede do atuador (e_{pd}) e a espessura do fundo (e_{fd}) pelas equações 2.6 a 2.8. Sendo a tensão de escoamento do material usado em camisas de pistões hidráulicos é de 3450 bar, o coeficiente de segurança 1,3 e a pressão de trabalho é de 160 bar.

$$P_{tb} < \sigma_{ad} = \frac{\sigma_e}{S} \quad \sigma_{ad} = \frac{3450}{1,3} \quad \sigma_{ad} = 2653,85 \text{ bar} \quad (2.6)$$

$$e_{pd} = \frac{1}{2} D_p \left[\sqrt{\frac{\sigma_{ad} + 0,4 P_{tb}}{\sigma_{ad} - 1,3 P_{tb}}} - 1 \right] \quad e_{pd} = \frac{1}{2} \cdot 14,67 \cdot \left[\sqrt{\frac{2653,85 + 0,4 \cdot 160}{2653,85 - 1,3 \cdot 160}} - 1 \right] \quad (2.7)$$

$e_{pd} = 0,397 \text{ cm} \quad e_{pd} = 3,97 \text{ mm}$

$$e_{fd} = 0,45 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P_{tb}}{\sigma_{ad}}} \quad e_{fd} = 0,45 \cdot 14,67 \cdot \sqrt{\frac{160}{2653,85}} \quad e_{fd} = 1,62 \text{ cm} \quad (2.8)$$

$e_{fd} = 16,62 \text{ mm}$

Para a escolha das dimensões da camisa e haste é preciso verificar as dimensões comerciais, no caso da camisa com a espessura de 4mm não tem com diâmetros acima de 146,7 mm, então a próxima será com espessura de 5mm e diâmetro de 160 mm. Para a escolha da haste a medida comercial próxima será de diâmetro de 90mm, visto ter uma com diâmetro de 110 mm em estoque e devido o fornecedor estar com falta deste material foi usado a de 110 mm de diâmetro.

A vazão induzida de retorno (Q_{ir}) e a vazão induzida de avanço (Q_{ia}) é dada pelas equações 2.9 e 2.10 onde a vazão da bomba (Q_b) é de 151 L/min.

$$Q_{ia} = Q_b \cdot \left(\frac{A_s}{A_e} \right) \quad Q_{ia} = 151 \cdot \left(\frac{\left(\frac{\pi \cdot 16^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot 11^2}{4} \right)}{\left(\frac{\pi \cdot 16^2}{4} \right)} \right) \quad Q_{ia} = 79,62 \text{ L/min} \quad (2.9)$$

$$Q_{ir} = Q_b \cdot \left(\frac{A_e}{A_s} \right) \quad Q_{ir} = 151 \cdot \left(\frac{\left(\frac{\pi \cdot 16^2}{4} \right)}{\left(\frac{\pi \cdot 16^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot 11^2}{4} \right)} \right) \quad Q_{ir} = 286,34 \text{ L/min} \quad (2.10)$$

Para a escolha dos blocos de válvulas direcionais, é levado em conta a maior vazão induzida no sistema e máxima pressão suportada pelas válvulas. Neste caso a máxima vazão induzida se dá no passo de número 4, onde tem aproximadamente 258 litros por minuto. Devido os 2 atuadores das prensas superior e inferior serem de dimensões maiores que os demais, será dividido o sistema de válvulas direcionais em duas partes afim de reduzir custos, sendo uma parte de maior vazão (bloco 2) para os atuadores das prensas superior e inferior e uma parte secundária de menor vazão (bloco 3) para os demais atuadores.

Contendo duas válvulas direcionais TN16 no bloco 2 para controle dos dois atuadores das prensas superior e inferior com uma vazão máxima de 300 litros por minuto controlada com uma válvula direcional TN6 de 24 volts com uma vazão máxima de 80 litros por minuto apenas para pilotamento da válvula TN16, visto que a válvula TN16 não possui acionamento elétrico e sim hidráulico. Para controle dos demais atuadores do sistema utiliza-se o bloco 3, onde será composto por 4 válvulas direcionais TN10 de 24 volts com uma vazão de 120 litros por minuto. A tabela 5 mostra os dados da bomba hidráulica, motor elétrico e os blocos de válvulas direcionais.

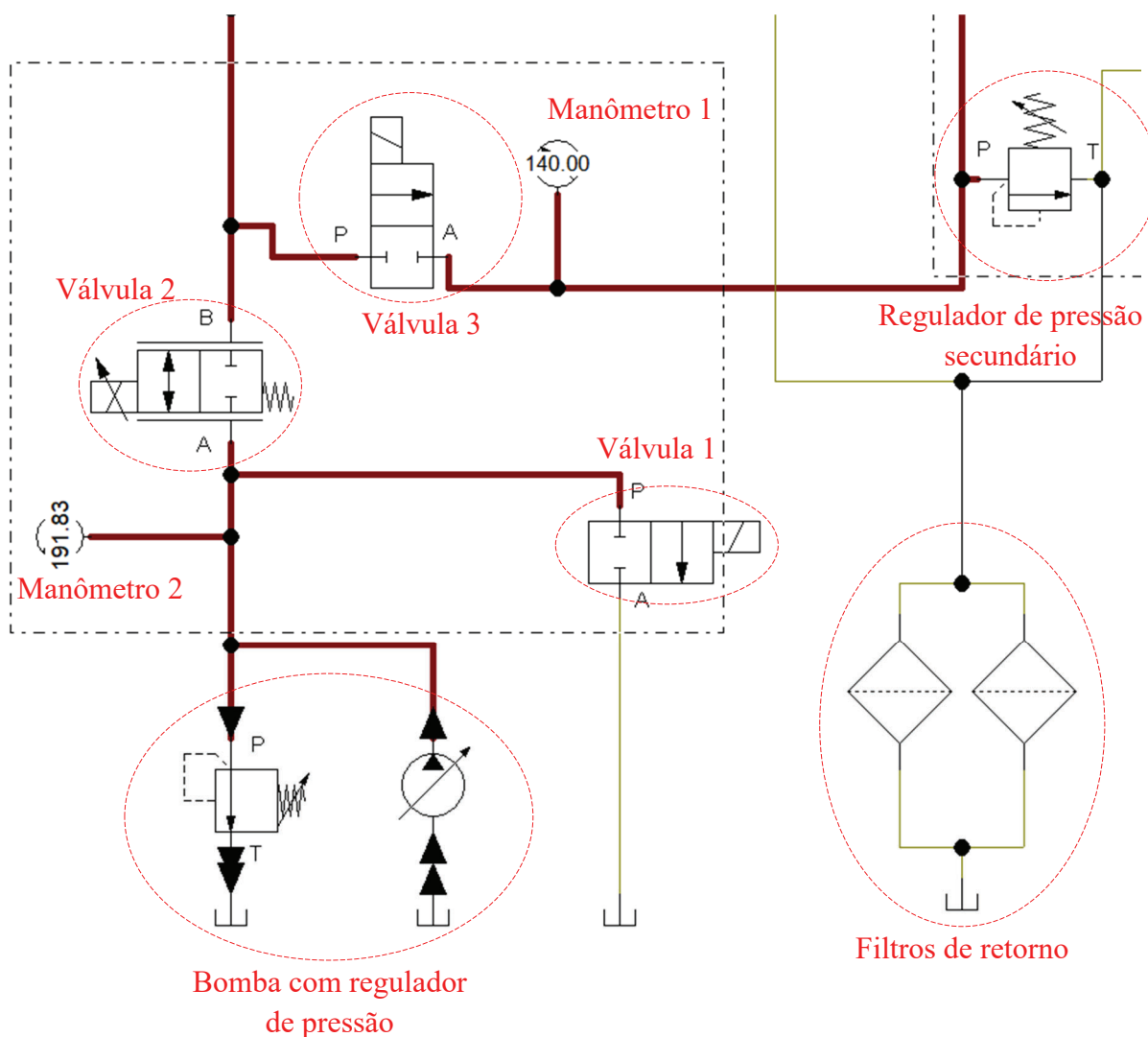
Tabela 5– Dados do motor elétrico, bomba hidráulica e blocos de válvulas direcionais.

Componente	Dados	
Motor elétrico	30 cv	1775 rpm
Bomba hidraulica	85 cm ³	151 L/min
Bloco de válvulas TN16	300 L/min	315 kgf/cm ²
Bloco de válvulas TN10	120 L/min	315 kgf/cm ²

Fonte: Autor (2022).

Para divisão do óleo oriundo da bomba para os dois blocos de válvulas direcionais será usado um terceiro bloco, este será composto por 3 válvulas e dois manômetros, sendo uma das válvulas para pressurização de todo o circuito e uma para pressurização do circuito secundário. A terceira válvula será reguladora de vazão proporcional para divisão da vazão de óleo entre os dois circuitos eletricamente de acordo com a necessidade em cada passo. A figura 9 mostra o bloco de válvulas que divide o óleo e pressuriza o sistema, onde é possível observar também a válvula de alívio do circuito secundário.

Figura 9 – Bloco de válvulas principal.

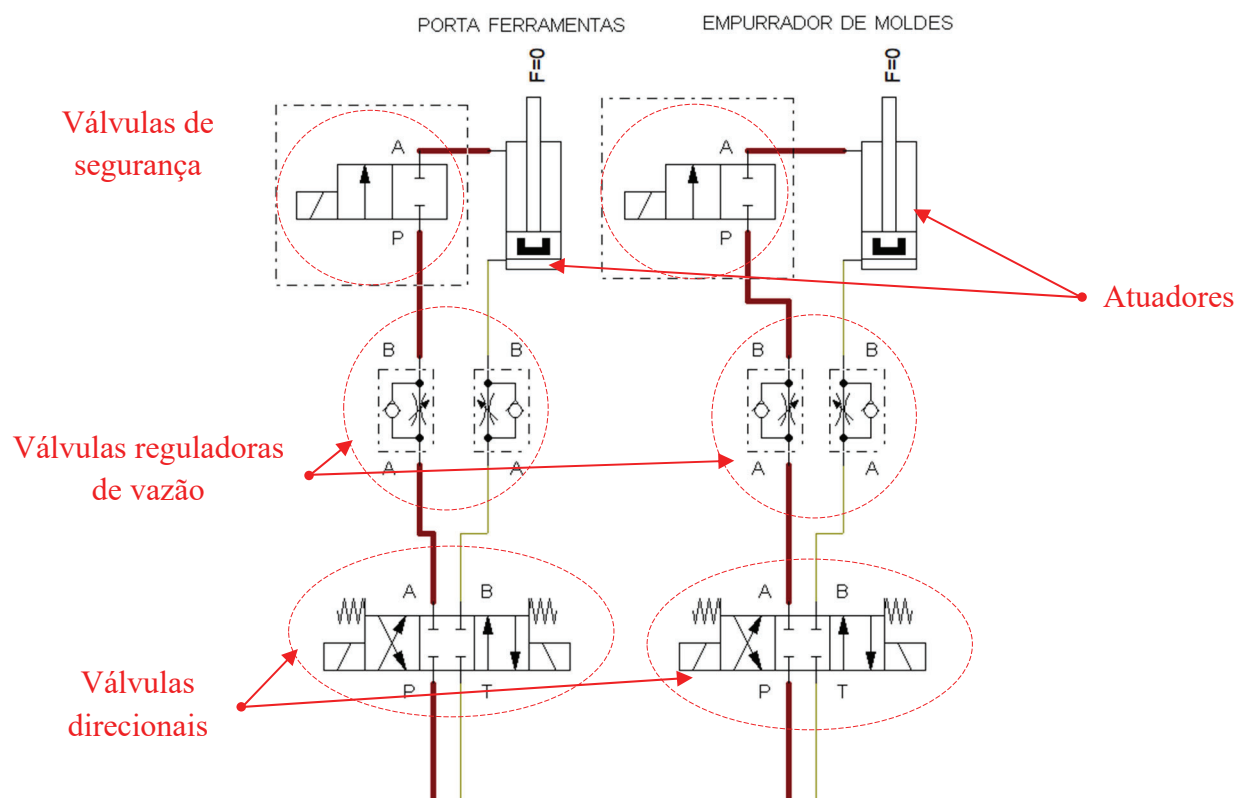


Fonte: Autor (2022).

Onde a válvula de número 1 é a responsável por pressurizar todo o sistema, a válvula de número 2 é a responsável por pressurizar o bloco secundário e a válvula de número 3 é a válvula divisora proporcional onde divide o óleo para os dois sistemas. O apêndice A mostra o sistema completo com todos os atuadores e válvulas dimensionados, onde é possível observar o bloco principal onde recebe a pressão da bomba e distribui para o sistema, o bloco de válvulas que comanda a prensa superior e inferior de maior vazão e o bloco de válvulas que comanda a parte secundária do sistema que se tem as vazões menores.

As linhas vermelhas na figura 9 mostra a linha que leva a pressão da bomba propulsora até as válvulas direcionais, onde no *software* com o cursor do mouse é possível acionar as válvulas direcionais movimentando assim os atuadores como mostra a figura 10 onde está sendo movimentado o empurrador de moldes e o cilindro porta ferramentas onde a linha vermelho escuro mostra o deslocamento do óleo para manter os cilindros fechados. Sendo possível observar as válvulas de segurança, atuadores, válvulas reguladoras de vazão e válvulas direcionais.

Figura 10 – Acionamento do empurrador de moldes.



Fonte: Autor (2022).

A tabela 6 mostra as dimensões finais dos atuadores a serem fabricados.

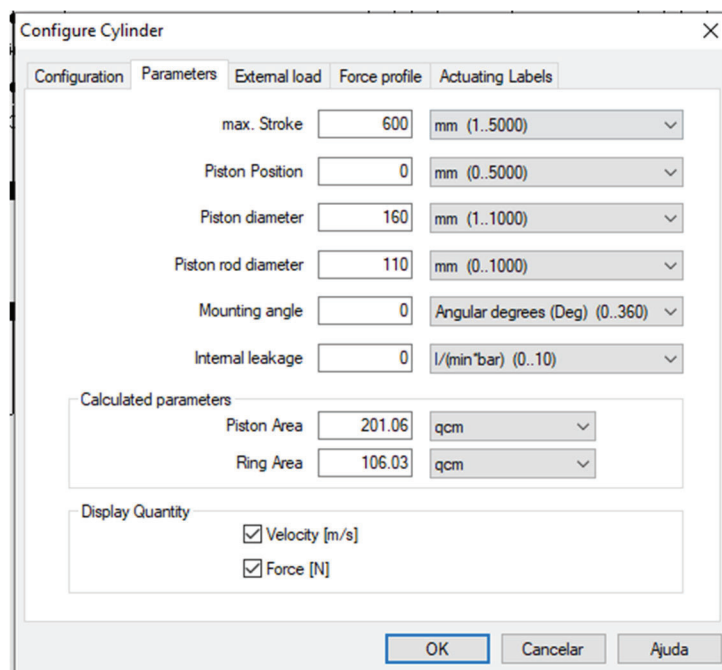
Tabela 6 – Dimensões finais dos atuadores.

Cilindro hidráulico	Diâmetro interno (mm)	Diâmetro da haste (mm)	Distância (mm)
Carro porta ferramenta	40,00	28,00	1300
Caixa superior	63,50	44,45	200
Caixa inferior	63,50	44,45	200
Prensa superior	100,00	70,00	250
Prensa inferior	160,00	110,00	600
Empurrador de moldes	40,00	28,00	1300

Fonte: Autor (2022).

A figura 11 mostra uma das janelas do *software* onde são inclusos os dados de entrada dos cilindros para que seja possível realizar a simulação dos mesmos. Na parte superior, tem-se abas onde existem campos para inserção dos diâmetros, coeficientes de atrito, cargas externas no qual serão submetidos, entre outras configurações. Na aba parâmetros é possível visualizar os dados de comprimento do atuador, posição que se encontra, diâmetro da camisa, diâmetro da haste, ângulo de montagem e vazamento interno do mesmo.

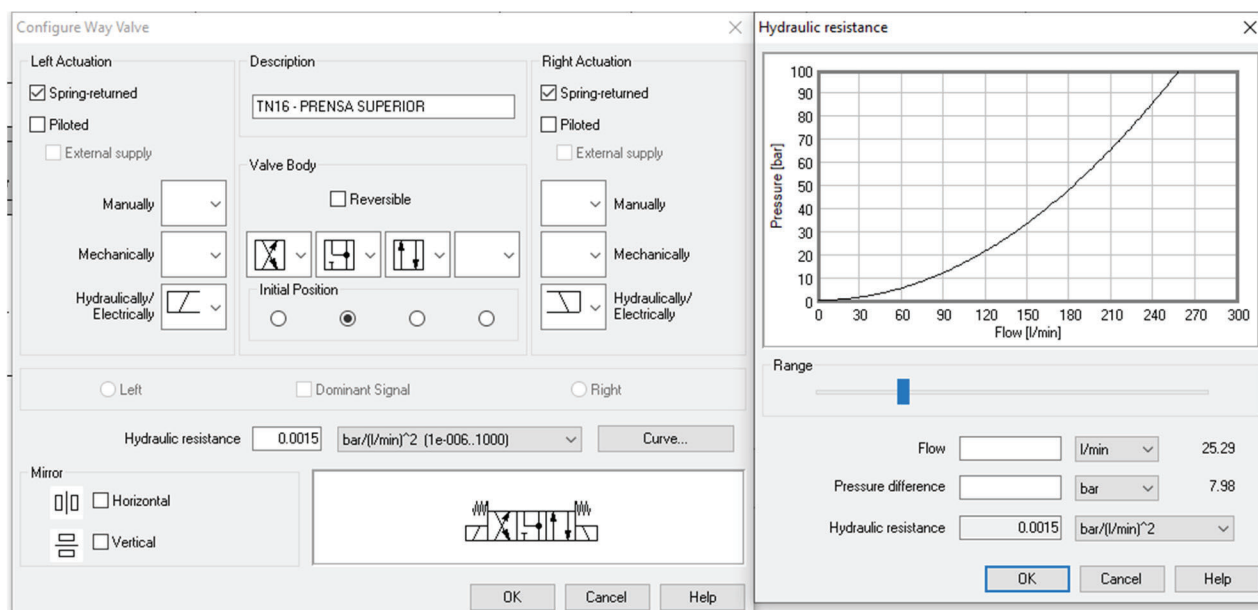
Figura 11 – Janela do *software* com dados de entrada dos atuadores.



Fonte: FluidSim (2022).

A figura 12 mostra mais um dos recursos disponíveis do *software* que é a configuração das válvulas direcionais, onde à esquerda é possível definir o centro da válvula, seu tipo de acionamento em ambos os lados da válvula, à direita é possível visualizar o gráfico de perda de carga em relação ao aumento da vazão, podendo selecionar a posição desejada do gráfico e ele relaciona diretamente a pressão com a vazão afim de facilitar os cálculos.

Figura 12 – Janela do *software* com dados de entrada e gráfico das válvulas direcionais.



Fonte: FluidSim (2022).

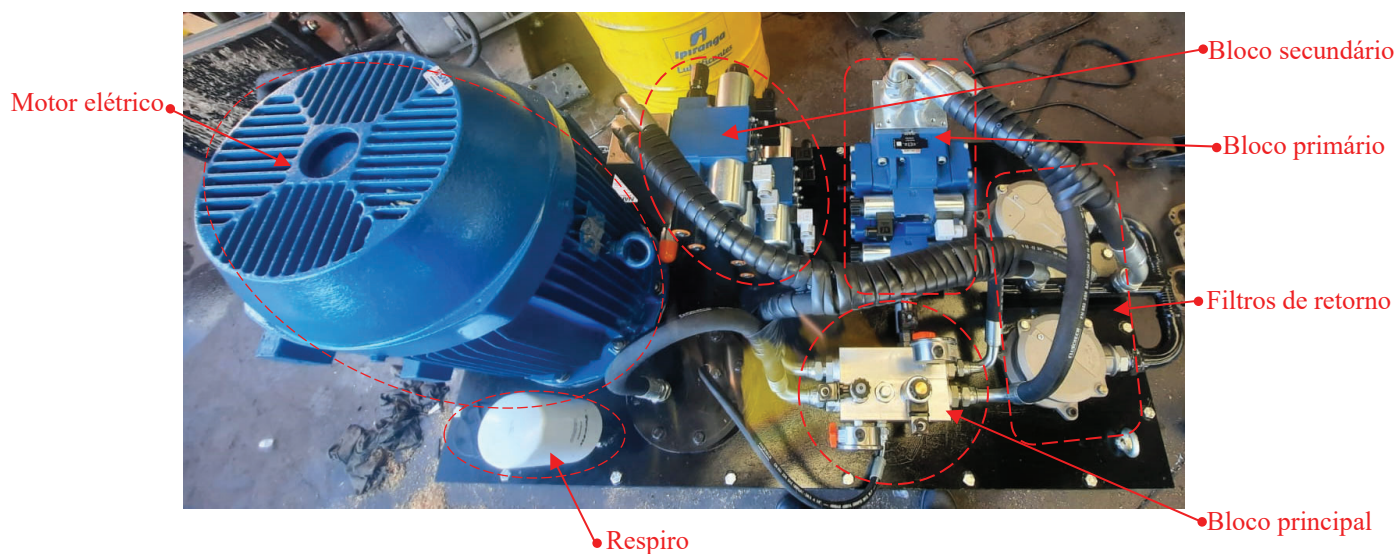
As figuras 13 e 14 mostram a unidade hidráulica com todos os componentes montados.

Figura 13 – Unidade hidráulica montada.



Fonte: Autor (2022).

Figura 14 – Unidade hidráulica montada.



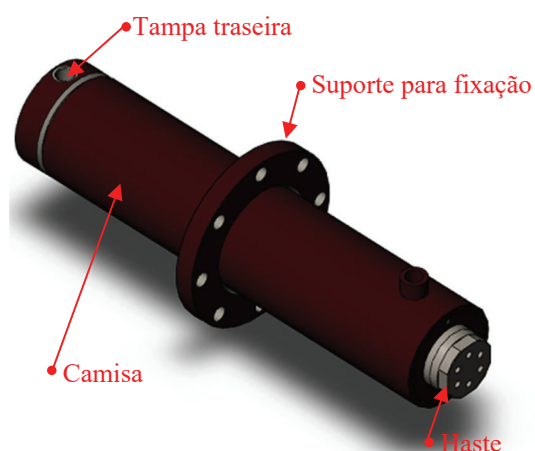
Fonte: Autor (2022).

Onde é possível visualizar na figura 13 o bloco principal, o bloco primário que é o circuito de maior vazão, o bloco secundário que é o circuito que comanda as caixas superior e inferior, extrator de moldes e porta ferramentas, filtros de retorno, respiro e a esquerda em azul observa-se o motor elétrico.

As imagens de 15 a 18 ilustra os atuadores do sistema, onde a figura 15 ilustra o atuador da prensa inferior, a imagem 16 ilustra o atuador da prensa superior, a imagem 17 ilustra os

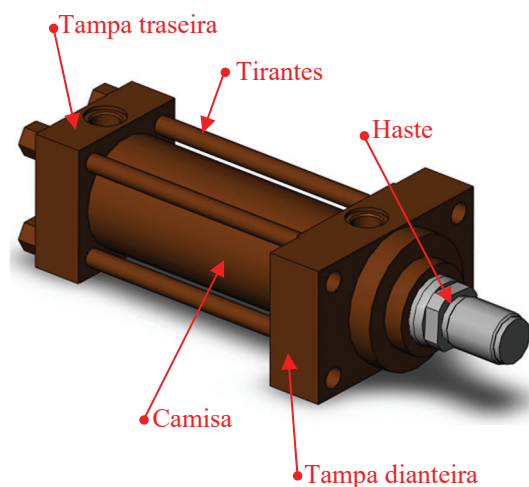
atuadores da caixa superior e inferior e a imagem 18 ilustra o atuador do extrator de moldes e carro porta fermentas.

Figura 15 – Atuador prensa inferior.



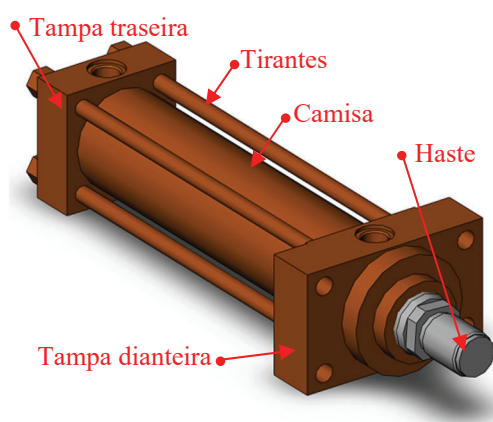
Fonte: Autor (2022).

Figura 16 – Atuador prensa superior.



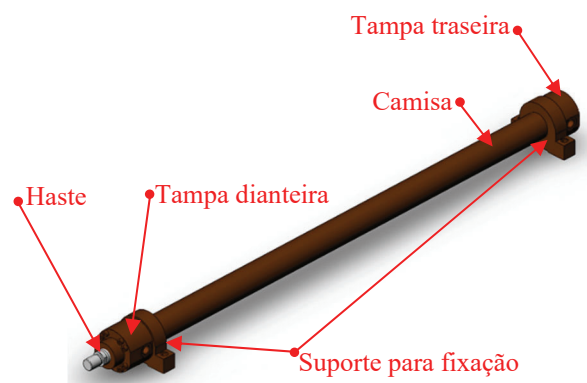
Fonte: Autor (2022).

Figura 17 – Atuadores caixa inferior e superior.



Fonte: Autor (2022).

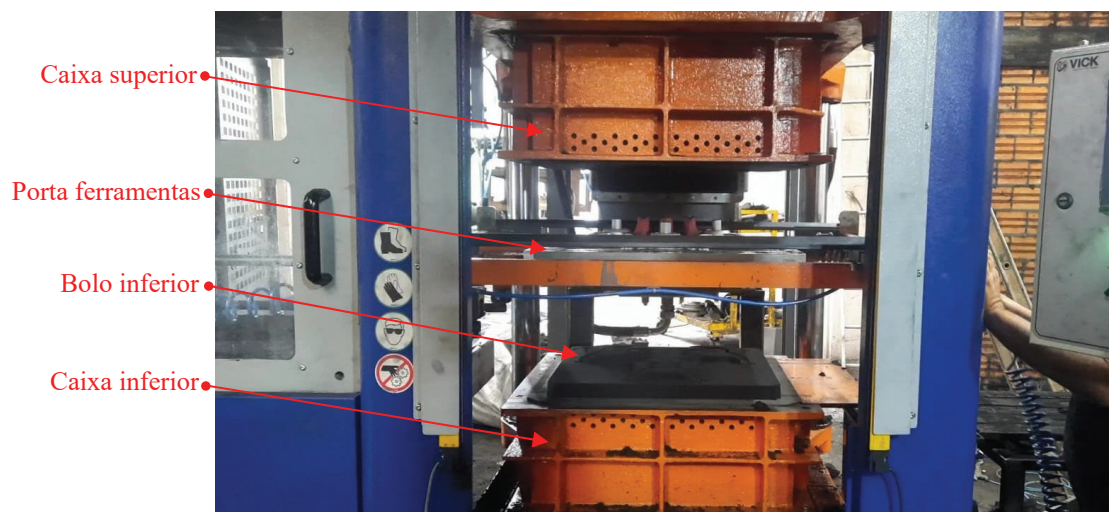
Figura 18 – Atuador do extrator de moldes.



Fonte: Autor (2022).

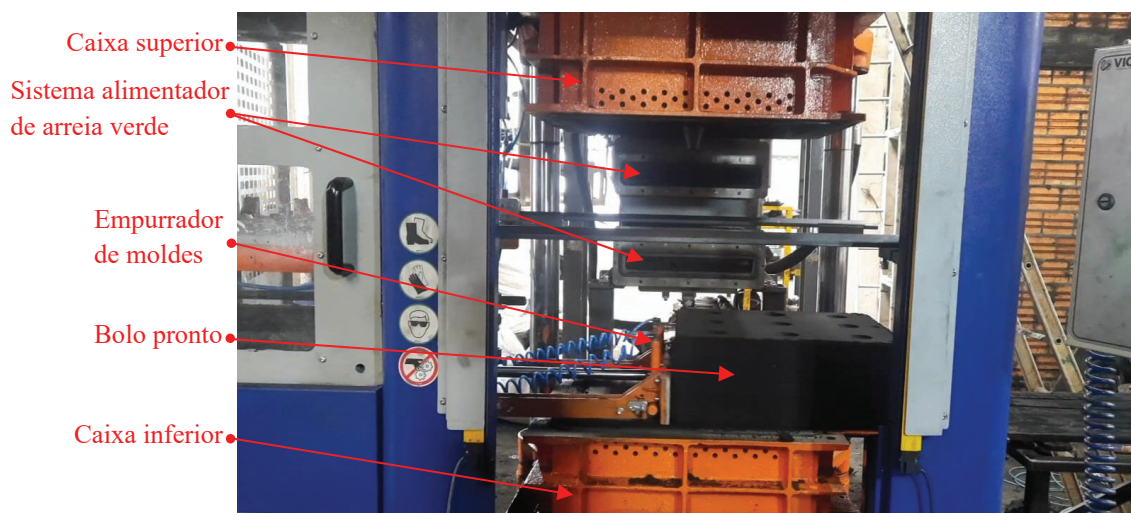
As figuras 19 e 20 mostram alguns componentes da máquina montada em funcionamento.

Figura 19 – Pós ciclo de prensagem do bolo.



Fonte: Autor (2022).

Figura 20 – Processo de extração do bolo.



Fonte: Autor (2022).

4.1 Avaliação de custos

Os custos de todo o sistema hidráulico foram estimados com os valores médios do mercado nacional visto a empresa em questão não disponibilizar seus custos e lucros, os custos estão mostrados na tabela 7.

Tabela 7 – Custos do sistema hidráulico completo.

Custos estimados do sistema hidráulico							
Componente	Quantidade	Valor unitário	Valor total	Componente	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Bomba A10VSO85	1	R\$ 12.650,00	R\$ 12.650,00	Bloco alumínio TN10 4 vias	1	R\$ 1.280,00	R\$ 1.280,00
Manômetro	2	R\$ 279,00	R\$ 558,00	Bloco alumínio TN12 2 vias	1	R\$ 3.600,00	R\$ 3.600,00
Válvula ventagem	2	R\$ 4.132,00	R\$ 8.264,00	Bloco alumínio principal	1	R\$ 2.950,00	R\$ 2.950,00
Válvula controladora de vazão elétrica	1	R\$ 3.786,00	R\$ 3.786,00	Bloco alumínio válvula de retenção	5	R\$ 389,00	R\$ 1.945,00
Válvula de alívio	2	R\$ 325,00	R\$ 650,00	Atuador prensa inferior	1	R\$ 4.480,00	R\$ 4.480,00
Cabeçote e filtro de retorno	2	R\$ 425,00	R\$ 850,00	Atuador prensa superior	1	R\$ 3.200,00	R\$ 3.200,00
Válvula direcional hidráulica TN16	2	R\$ 2.990,00	R\$ 5.980,00	Atuador caixa inferior	2	R\$ 2.700,00	R\$ 5.400,00
Válvula direcional elétrica TN10	4	R\$ 1.282,00	R\$ 5.128,00	Atuador caixa superior	2	R\$ 2.700,00	R\$ 5.400,00
Válvula direcional elétrica TN6	2	R\$ 459,00	R\$ 918,00	Atuador porta ferramentas	1	R\$ 2.100,00	R\$ 2.100,00
Válvula controladora de vazão dupla mecânica TN16	1	R\$ 3.048,00	R\$ 3.048,00	Atuador empurrador de moldes	1	R\$ 2.100,00	R\$ 2.100,00
Válvula controladora de vazão dupla mecânica TN10	4	R\$ 1.108,00	R\$ 4.432,00	Coneções e mangueiras	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
Válvula de retenção pilotada dupla TN10	2	R\$ 1.392,00	R\$ 2.784,00	Motor elétrico	1	R\$ 13.200,00	R\$ 13.200,00
Válvula de retenção de cartucho elétrica	5	R\$ 1.860,00	R\$ 9.300,00	Filtro de respiro	1	R\$ 169,00	R\$ 169,00
Transdutor de pressão	1	R\$ 409,00	R\$ 409,00	Bocal enchimento	1	R\$ 145,00	R\$ 145,00
Válvula de retenção de passagem em linha	1	R\$ 361,00	R\$ 361,00	Reservatório	1	R\$ 5.360,00	R\$ 5.360,00
Visor de nível	1	R\$ 154,00	R\$ 154,00	Protetor manômetro	2	R\$ 125,00	R\$ 250,00
Óleo hidráulico 68	220	R\$ 18,00	R\$ 3.960,00	Mão de obra estimada	1	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Filtro de sucção	1	R\$ 130,00	R\$ 130,00				
			TOTAL=	R\$ 122.941,00			

Fonte: Autor.

Concluindo então que o custo total aproximado do sistema hidráulico completo já com óleo hidráulico é de R\$123.000,00 podendo ter variação do valor visto ser apenas um valor médio de compra no mercado nacional, podendo reduzir custos realizando importações de componentes. O valor do equipamento completo instalado sem o sistema de esteiras para abastecimento de areia verde e extrator de bolos pronto no mês de novembro de 2022 é de aproximadamente R\$1.200.000,00.

5 CONCLUSÕES

Com a revisão bibliográfica juntamente com as informações prestadas pela empresa desenvolvedora da máquina, após ser compreendido o funcionamento do *software* e suas simbologias, foi possível dimensionar os componentes para que posteriormente fossem fabricados e montado no equipamento.

A simulação após a montagem do diagrama identifica de erros, mostra o tempo de atuação e com uma boa interface. Sendo necessário identificar o funcionamento do equipamento, tarefas que ele irá desempenhar, forças necessárias, tipos de atuadores, entre outros pontos. Posteriormente é realizado os cálculos dos componentes seguindo a metodologia específica e montagem do diagrama no *software* para simulação.

Conclui-se então que a metodologia usada é eficiente devido não ser necessário realizar alterações no decorrer do desenvolvimento do trabalho, onde pode ser facilmente ser aplicada diariamente para esta finalidade. O *software* é de fácil uso tornando o dimensionamento de circuitos hidráulicos rápidos, tendo uma boa visualização e simulação dos componentes. Entretanto é possível montar todo o sistema hidráulico de diversas formas e com diversos componentes diferentes onde é necessário um conhecimento médio em sistemas hidráulicos do engenheiro responsável para escolher a forma mais eficiente para o sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BALDAM, ROQUEMAR, L.; ESTÉFANO A. V. *Fundição: processos e tecnologias correlatas*. 2ª edição. São Paulo: Saraiva, 2014.
- [2] FIALHO, Arivelto B. *Automatismos Hidráulicos: Princípios Básicos, Dimensionamentos de Componentes e Aplicações Práticas*. São Paulo: Editora Saraiva, 2015.
- [3] FIALHO, Arivelto B. *Automação Hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos*. São Paulo: Editora Saraiva, 2019.
- [4] LINSINGEN, IRLAN von. *Fundamentos de Sistemas Hidráulicos*. 3ª edição. Florianópolis: UFSC, 2008.
- [5] Festo Didactic GmbH & Co. KG • Art Systems GmbH • FluidSIM
- [6] *Componentes e Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos: símbolos gráficos e diagramas de circuitos*. ABNT.
- [7] Parker Hannifin Training. *Tecnologia Eletropneumática Industrial*. Apostila M1002-2 BR, julho 2005.
- [8] FILHO, Paulo José Carvelho Mascarenhas. *Fundição em areia verde: uma abordagem experimental*. 2016. Trabalho de conclusão de curso – Bacharel em ciências exatas e tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.
- [9] COLLINS, Jack A.; BUSBY, Henry R.; STAAB, George H. *Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas*. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2006.
- [10] ASHBY, Michael. *Seleção de Materiais no Projeto Mecânico*. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018.
- [11] MOREIRA, da Silva. *Sistemas hidraulicos industriais*. São Paulo: SENAI, 2012.

APENDICE A – Diagrama hidráulico completo.

