



Fernando Jaskoviak

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA VÁLVULA HIDRÁULICA
DIGITAL PARA ACIONAMENTO DE MOTORES HIDRÁULICOS**

Horizontina - RS

2020

Fernando Jaskoviak

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA VÁLVULA HIDRÁULICA
DIGITAL PARA ACIONAMENTO DE MOTORES HIDRÁULICOS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Luis Carlos Wachholz.

Horizontina - RS

2020

FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECANICA

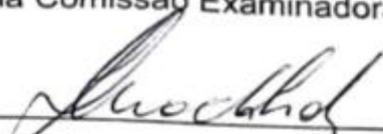
A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UMA VÁLVULA HIDRÁULICA
DIGITAL PARA ACIONAMENTO DE MOTORES HIDRÁULICOS

Elaborada por:
Fernando Jaskoviak

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 04/12/2020
Pela Comissão Examinadora



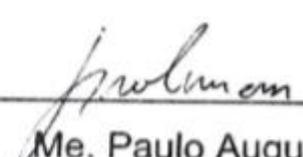
Me. Luis Carlos Wachholz

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



Me. Adalberto Lovato

FAHOR – Faculdade Horizontina



Me. Paulo Augusto Soliman

FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontalina - RS
2020

À todos meus amigos que estiveram comigo junto nesta trajetória e principalmente a toda minha família que sempre me apoiaram de maneira irrestrita, meu muito obrigado.

“Se, a princípio a idéia não é absurda, então não há esperança para ela”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Os sistemas hidráulicos são sistemas bastante versáteis amplamente utilizando em máquinas industriais e equipamentos móveis. Porém possuem uma eficiência baixa quando comparado com outros sistemas similares. Dentro deste contexto a hidráulica digital surge como uma alternativa para melhorar a eficiência dos sistemas hidráulicos. Este trabalho buscou desenvolver um bloco de válvulas com diversas válvulas *ON/OFF* que fossem capazes de fornecer vazões variáveis para um motor hidráulico. Foram empregados para o desenvolvimento deste projeto ferramentas como diagrama de Mudge, *QFD* para realizar a priorização tanto dos requisitos de cliente quanto os requisitos de engenharia. Além disso foi empregado o método de Munari que estabelece uma sequência de etapas para chegar a solução de um problema. Em seguida foi realizado o projeto 3D do bloco das válvulas e realizado simulações computacionais utilizando os métodos de elementos finitos para verificar a resistência dos componentes que compõe o bloco a sua pressão de trabalho.

Palavras-chave: Hidráulica. Projeto. Válvulas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de um sistema hidráulico básico	18
Figura 2 –Classificação da viscosidade.....	20
Figura 3 – Índice de viscosidade.....	20
Figura 4 – Relação da vazão com o número de válvulas.....	24
Figura 5 – Simbologia de uma válvula proporcional.....	25
Figura 6 – Válvula proporcional com acionamento elétrico.....	25
Figura 7 – Bloco manifold.....	27
Figura 8 – Diagrama de Mudge.....	30
Figura 9 – Representação da matriz QFD.....	31
Figura 10 – Método de Munari.....	32
Figura 11 – Aplicação do diagrama de Mudge.....	36
Figura 12 – Aplicação do QFD.....	39
Figura 13 – Tampa interna limitadora de vazão.....	41
Figura 14 – Esquema hidráulico e elétrico do bloco de válvula hidráulico.....	51
Figura 15 – Carretel.....	52
Figura 16 – Carretel de acionamento.....	53
Figura 17 – Bloco de válvula hidráulica digital.....	54
Figura 18 – Tampa de entrada.....	55
Figura 19 – Vista da tampa de entrada em corte.....	56
Figura 20 – Válvula solenoide ON/OFF.....	57
Figura 21 – Vista em corte da válvula solenoide ON/OFF.....	58
Figura 22 – Tampa de saída.....	59
Figura 23 – Vista em corte da tampa de saída.....	59

Figura 24 – Simulação do corpo da válvula.....	60
Figura 25 – Resultado da simulação do corpo da válvula.....	61
Figura 26 – Simulação da tampa de entrada.....	61
Figura 27 – Simulação da tampa de saída.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Número de Reynolds para cada tipo de escoamento.....	22
Quadro 2 – Velocidades recomendadas.....	23
Quadro 3 – Relação da pressão, vazão e deslocamento no funcionamento de motores hidráulicos.....	26
Quadro 4 – Aplicação do método de Munari.....	34
Quadro 5 – Requisitos do cliente.....	35
Quadro 6 – Resultados dos requisitos de cliente.....	37
Quadro 7 – Requisitos de engenharia.....	37
Quadro 8 – Vazão por válvula.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

ISO – International Organization for Standardization

QFD - Quality Function Deployment

QUADRO DE EQUAÇÕES

#	Equação	Descrição
1	$Re = \frac{v * d_i}{\nu}$	Equação utilizada para determinar o número de Reynolds.
2	$Veloc = 121,65 * P^{\left(\frac{1}{3,3}\right)}$	Utilizada para determinar a velocidade de escoamento do fluido para a linha de pressão.
3	$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015 * \pi * Veloc}}$	Diâmetro da tubulação mínimo para a tubulação de pressão, sucção e retorno.
4	$A = \frac{Q}{V}$	Determinação de uma área a partir do escoamento de fluido.
5	$Q = VA$	Determinação da vazão para tubulações
6	$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$	Diâmetro de uma seção cilíndrica.
7	$F = kx$	Lei de Hooke

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 TEMA	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.4 HIPÓTESES	15
1.5 JUSTIFICATIVA.....	15
1.6 OBJETIVOS.....	16
1.6.1 Objetivo Geral.....	16
1.6.2 Objetivos Específicos	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 SISTEMAS HIDRÁULICO.....	17
2.1.1. Fluidos hidráulicos.....	17
2.1.1.1. Viscosidade	17
2.1.1.2. Número de Reynolds.....	21
2.1.2. Velocidades recomendadas	22
2.2.3. Válvula ON/OFF digital.....	23
2.2.4. Válvula proporcional	24
2.2.5. Motor hidráulica.....	25
2.2.6. Bomba hidráulico	26
2.2.7. Bloco Manifold.....	27
2.2.8. Material.....	27
2.4. VÁLVULA SOLENOIDE	28
2.5. CÁLCULOS COMPLEMENTARES	28
2.5.1. Vazão em tubulações	28
2.5.2. Diâmetro de uma seção cilíndrica.....	29
2.5.3. Lei de Hooke	29
2.6. PROJETO DE PRODUTO	30
2.6.1. Diagrama de Mudge	30
2.6.2. QFD.....	30
3 METODOLOGIA	32
3.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	32
3.2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	32
3.3. COLETA DE DADOS.....	33
3.4. PROJETO E DETALHAMENTO	33
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
4.1. MÉTODO DE MUNARI	34
4.2. REQUISITOS DE CLIENTE	34
4.2.1. Diagrama de Mudge	36
4.2.2. Requisitos de engenharia.....	37
4.2.3. QFD.....	38
4.3. DEFINIÇÃO DO MATERIAL.....	39
4.4. FLUIDO HIDRÁULICO.....	40
4.5. MEMORIAL DE CÁLCULO	40
4.5.1. Vazão por válvula	40
4.5.2. Dimensionamento da tubulação de sucção	47
4.5.3. Dimensionamento da tubulação de retorno.....	48

4.5.4. Dimensionamento da tubulação de pressão	49
4.5.5. Sistema hidráulico.....	50
4.5.6. Dimensionamento das molas	51
4.6. MODELAGEM DA SOLUÇÃO.....	53
4.6.1. Tampa de entrada.....	53
4.6.2. Válvula solenoide <i>ON/OFF</i>	56
4.6.3. Tampa de saída.....	57
4.7. VERIFICAÇÃO.....	60
5 CONSIDERAÇÃO FINAL	63
REFERÊNCIAS	64
ANEXO A- DIAMETROS COMERCIAIS DE BROCAS	67
ANEXO B- DADOS TÉCNICOS DE MANGUEIRAS HIDRÁULICAS (1)	68
ANEXO C- DADOS TÉCNICOS DE MANGUEIRAS HIDRÁULICAS (2)	69
ANEXO D- PROPRIEDADES DO ALUMÍNIO 6061-T6	70
ANEXO E- PROPRIEDADES DO ÓLEO AW HLP	71
APÊNDICE A-	72

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas hidráulicos são sistemas vitais em máquinas e implementos agrícolas devido a sua grande versatilidade e capacidade de transmissão de força e com um custo relativamente barato se comparado a outros sistemas.

Dentro deste contexto as válvulas são componentes fundamentais, na qual permitem através de controles elétricos ou mecânicos, direcionar o fluxo hidráulico para diferentes caminhos. Em específico as válvulas proporcionais utilizadas para regular tanto a vazão como pressão do óleo apresentam baixa eficiência e possuem custos elevados.

A hidráulica digital tem como objetivo criar oportunidades de melhoria na eficiência dos sistemas hidráulicos através da redução da perda de carga. Apesar dos sistemas hidráulicos serem amplamente utilizados em máquinas e equipamentos, eles apresentam baixa eficiência devido ao uso de “estrangulamento” para regular o fluxo de óleo.

O desenvolvimento de bloco de válvulas surge como uma solução para isso com a criação de um sistema alternativo de variação do fluxo de óleo, mais simples e com um custo mais acessível. Um conjunto de válvulas *ON/OFF* realizam o mesmo papel das válvulas proporcionais, porém custam menos e possuem uma confiabilidade maior.

Com a combinação de múltiplas válvulas *ON/OFF*, mais simples, baratas e resistentes que as válvulas proporcionais são capazes de desempenhar a mesma função.

1.1 TEMA

O desenvolvimento deste trabalho visa o projeto de uma válvula de controle de vazão para acionamento de motores hidráulicos

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho se delimita a criação de um bloco de válvula hidráulico capaz de realizar a variação da vazão para acionamento de motores hidráulicos. Além do projeto e do dimensionamento do bloco o foco deste trabalho também é abrir espaço

também para trabalhos futuros sobre este tema. Não estará sendo dada ênfase na modelagem matemática, na confecção, testes e validação desta válvula.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Atualmente podemos afirmar que os sistemas hidráulicos chegaram ao seu limite de eficiência. Os sistemas controle de pressão e vazão são por válvulas que possuem orifícios que restringem a passagem do óleo gerando uma grande perda de carga reduzindo o rendimento do sistema.

Com base no exposto, o problema de pesquisa caracteriza-se com a seguinte pergunta: A hidráulica digital seria a melhor opção e que apresenta maior eficiência durante a atuação com redução na dissipação de energia ocasionado pelo uso de elementos restritivos do sistema?

1.4 HIPÓTESES

As hipóteses são as suposições plausíveis e provisórias para o problema desta pesquisa.

a) É possível desenvolver uma solução alternativa de baixo custo para substituir as válvulas proporcionais.

b) O bloco de válvulas hidráulica digital é uma solução alternativa para as válvulas proporcionais.

Essas hipóteses acima conforme os desenvolvimentos serão confirmados ou refutados.

1.5 JUSTIFICATIVA

Atualmente não há uma definição clara para o conceito de hidráulica digital este trabalho irá mostrar de maneira prática como a hidráulica digital se aplica em um sistema hidráulico e as suas vantagens e desvantagens.

Além disso o foco da utilização da hidráulica digital é aumentar a eficiência dos sistemas hidráulicos que atualmente já chegaram no seu limite de eficiência. Com sistemas hidráulicos mais eficientes se reduz o desperdício de energia, portanto em máquinas móveis isso representaria redução no consumo de combustível.

A hidráulica digital é um assunto relativamente novo, o desenvolvimento deste trabalho servirá como base para outros trabalhos futuros já que a hidráulica digital com o passar dos anos irá estar cada vez mais presente em máquinas de construção e equipamentos agrícolas.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo desenvolver um bloco de válvulas hidráulicas utilizando válvulas *ON/OFF* capaz de melhorar a eficiência de acionamento em relação as válvulas hidráulicas proporcionais de motores hidráulicos reduzindo assim a perda de carga e custos.

1.6.2 Objetivos Específicos

Os objetivos deste trabalho consistem em:

- a) Definir os requisitos para o desenvolvimento do bloco.
- b) Projetar um sistema de acionamento para motores hidráulico utilizando válvulas *ON/OFF*.
- c) Verificar a resistência da válvula a pressão através de simulações computacionais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção tem o objetivo de apresentar os conceitos para a realização deste trabalho assim como ferramentas e equações para realizar levantamento de dados e dimensionamento.

2.1. SISTEMAS HIDRÁULICOS

Segundo Luberquip (2017), a hidráulica possui tecnologias que permite uma ampla variedade de aplicações sendo utilizadas para a geração controle transmissão de energia por meio de líquidos pressurizados.

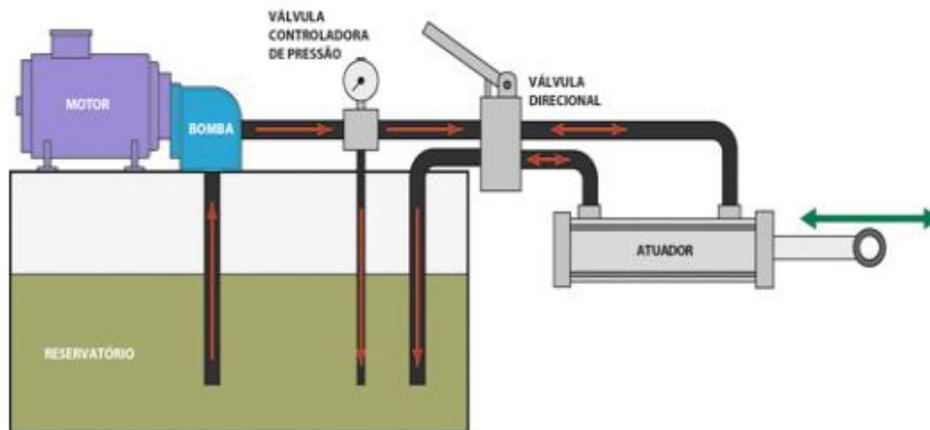
Um sistema hidráulico básico é composto por um sistema fechado onde uma bomba hidráulica cria vazão de um fluido. A pressão é gerada devidos as restrições à sua passagem. Válvulas direcionam o fluxo de óleo para atuadores além de proteger todo o circuito de sobre pressões (SILVEIRA FILHO; SANTOS, 2018).

Os sistemas hidráulicos podem com a mesma quantidade de energia produzirem fluxos diferentes onde dois sistemas hidráulicos iguais podem operar tanto com baixo quanto com alto fluxo sendo ideal assim para aplicações que necessitem de precisão aliada a alta força mecânica (LUBERQUIP, 2017).

De acordo com Jefferson (s/a) o sistema hidráulico tem como vantagens de possuir controles fáceis e precisos controles podendo ser operado por simples alavancas ou botões. Além disso são capazes de transmitir força e torque de maneira constante independente das mudanças de velocidades.

Os sistemas hidráulicos são compostos basicamente por: motor, reservatório, bomba, válvula controladora de pressão, válvula de controle direcional e atuador como mostrado na Figura 1.

Figura 1: Representação de um sistema hidráulico básico



Fonte: Henning, 2018

Um dispositivo elétrico é responsável por movimentar a bomba que produz vazão bombeando o óleo do reservatório para as válvulas controladoras de pressão que mantêm a pressão do sistema constante além de evitar sobre carga no sistema permitindo que o óleo retorne a tanque. A válvula direcional é responsável por direcionar o óleo para os atuadores onde a energia hidráulica é convertida novamente em energia mecânica que pode ser um cilindro ou um motor hidráulico (HENNING, 2018).

Porém os sistemas hidráulicos também possuem algumas limitações quando comparadas a sistemas elétricos e pneumáticos compatíveis como alto custo, perda de potência devido a dissipação de energia por atrito e viscosidade, elevada dependência da temperatura. Todas essas limitações devem ser consideradas na hora da escolha do tipo de sistema (LINSINGEN, 2003).

2.1.1. Fluidos hidráulicos

As finalidades básicas de qualquer fluido hidráulico é transmitir a potência que lhe é fornecida e lubrificar de maneira satisfatória os componentes internos do sistema. Essas finalidades devem ser levadas em considerações para que o sistema hidráulico tenha um bom rendimento além de pouca manutenção (PALMIERI, 1994).

Como os fluidos hidráulicos são responsáveis pela transferência de energia em qualquer sistema hidráulico deve possuir características que favoreçam a operação adequada em diversas circunstâncias de ambiente e temperatura (LINSINGEN,2003).

O surgimento de sistemas hidráulicos cada vez mais compactos tem sido possível graças a utilização de fluidos a altas pressões. Atualmente é usual a utilização de sistemas hidráulicos com pressões de 100,140 e 210 bar, porém quando surgiu os primeiros sistemas hidráulicos pressões com 70 bar ou até mesmo 35 bar eram consideradas altas pressões (LINSINGEN,2003).

A principal vantagem de sistemas com pressões elevadas é a redução de volume do fluido além da redução de tamanho de componentes do sistema hidráulico. Porém a utilização de fluidos hidráulicos a altas pressões exige também que componentes como bomba e motor hidráulico tenham boa capacidade de lubrificação para não sofrer desgaste prematuro (LINSINGEN,2003).

2.1.1.1. Viscosidade

De acordo com Lubrimport (s/a) a viscosidade é uma das propriedades mais relevantes de um fluido, ela determina a espessura e a resistência da película lubrificante. Ela é causada devido ao atrito interno das moléculas quando o fluido está em movimento.

Os fluidos hidráulicos são classificados pela ISO que desenvolveu um sistema de classificação para lubrificantes líquidos que é adotada internacionalmente onde os fluidos são classificados de acordo com a sua viscosidade para uma temperatura de 40 °C (FIALHO, 2012).

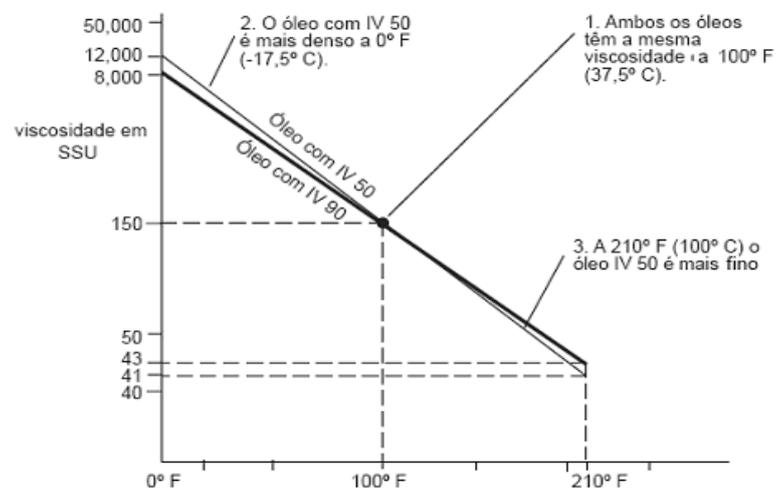
Figura 2: Classificação da viscosidade

ISO standard 3448 ASTM D-2422	Ponto médio de viscosidade cSt	Viscosidade cinemática, cSt		Equivalência aproximada SUS
		mínimo	máximo	
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42	32
ISO VG 3	3,3	2,88	3,52	36
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06	40
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48	50
ISO VG 10	10	9,00	11,0	60
ISO VG 15	15	13,5	16,5	75
ISO VG 22	22	19,8	24,2	105
ISO VG 32	32	28,8	35,2	150
ISO VG 46	46	41,4	50,6	215
ISO VG 68	68	61,2	74,8	315
ISO VG 100	100	90,0	110	465
ISO VG 150	150	135	165	700
ISO VG 220	220	198	242	1000
ISO VG 320	320	288	352	1500
ISO VG 460	460	414	506	2150
ISO VG 680	680	612	748	3150
ISO VG 1000	1000	900	1100	4650
ISO VG 1500	1500	1350	1650	7000

Fonte: Adaptado de Parker, s/a, p. 24

A variação da viscosidade em função da temperatura é dada pelo índice de viscosidade. Quanto maior o índice de viscosidade menor a sua variação em função da temperatura (PARKER, S/A).

Figura 3: Índice de viscosidade



Fonte: Adaptado de Parker, s/a, p. 23

Determinar o índice de viscosidade é importante em sistemas hidráulicos onde não há o controle da temperatura ou estão sujeitos a grande variação de temperatura (PALMIERI, 1994).

Viscosidade de um fluido hidráulico acima de seu limite máximo irá ocasionar no sistema hidráulico o aumento da resistência ao escoamento do fluido, porém quando muito baixa a viscosidade do óleo irá gerar uma lubrificação deficiente dos componentes aumentando o desgaste dos mesmos (PALMIERI, 1994).

A temperatura operacional de um sistema hidráulico é limitada pelos valores máximo e mínimos da viscosidade. Os limites máximo de viscosidade de um sistema hidráulico é de 800 cSt sendo este valor aceito para condições extremas (LINSINGEN, 2003).

2.1.1.2. Número de Reynolds

Para que um sistema hidráulico possua a mais alta eficiência possível é necessário o conhecimento das características do seu escoamento. Às forças de inércia e as forças viscosas são percebidas através do número de Reynolds (LINSINGEN,2003).

De acordo com Fialho (2012) número de Reynolds é a relação de proporcionalidade entre a força de inércia e a viscosidade. Esta relação é dada pela Equação (1).

$$Re = \frac{v d_i}{\nu} \quad (1)$$

Onde:

Re – Número de Reynolds (adimensional)

V- Velocidade do fluido (cm/s)

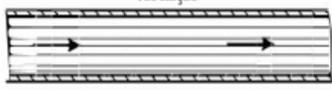
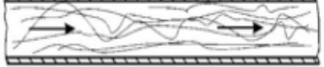
d_i- Diâmetro interno da tubulação (cm)

ν – Viscosidade do fluido (Stokes)

De acordo com Fialho (2012) para os sistemas hidráulicos é fundamental que o fluido desenvolva um comportamento laminar pois assim gera menos perda de

carga e menor atrito no interior das tubulações. O Quadro 1 mostra os tipos de escoamento e o número de Reynolds para cada tipo de escoamento.

Quadro 1- Número de Reynolds para cada tipo de escoamento

Limites de escoamento		
Escoamento Laminar	$Re \leq 2000$	
Escoamento indeterminado	$2000 < Re < 2300$	
Escoamento turbulento	$Re \geq 2300$	

Fonte: Adaptado de Fialho 2012, p. 83

Escoamentos com boa ordenação do movimento do fluido é denominado escoamento laminar. Já escoamento onde há forças de inércia e, portanto, há irregularidade de movimento são considerados formando redemoinhos e variações de velocidades se caracterizam como escoamento turbulento (LINSINGEN, 2003).

Já o escoamento indeterminado de acordo com Fialho (2012) representa um intervalo onde é impossível determinar o comportamento do fluido podendo ser tanto laminar quanto turbulento.

2.1.2. Velocidades recomendadas

Para Fialho (2013) para se obter a menor perda de carga possível e manter o escoamento dentro do regime laminar alguns critérios devem ser obedecidos como as velocidades nas tubulações.

Para se obter a maior eficiência possível de um sistema hidráulico alguns critérios empíricos devem ser considerados como o comprimento da tubulação que não deve ser superior a dez metros. Também as vazões devem estar na faixa compreendida entre 20 l/min e 200 l/min e a variação da temperatura deve ser moderada (FIALHO, 2012).

Com os requisitos citados acima devem ser selecionadas as velocidades do escoamento para tubulação de pressão, retorno e sucção de acordo com Quadro 2 (FIALHO, 2012).

Quadro 2- Velocidades recomendadas

Tubulação	Pressão				Velocidade (cm/s)
	20	50	100	> 200	
Tubulação de Pressão	300	400	500	600	
Tubulação de Retorno	300				
Tubulação de Sucção	100				

Fonte: Fialho,2012, p. 84

Para pressões que não estão na tabela pode se usar a Equação (2) para se determinar as velocidades (FIALHO, 2012).

$$Veloc = 121,65P^{\left(\frac{1}{3,3}\right)} \quad (2)$$

A Equação (3) é utilizada para determinar os diâmetros mínimos necessário para a linha de retorno sucção e pressão (FIALHO, 2012).

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015\pi Veloc}} \quad (3)$$

Onde

di= Diâmetro mínimo da tubulação (cm);

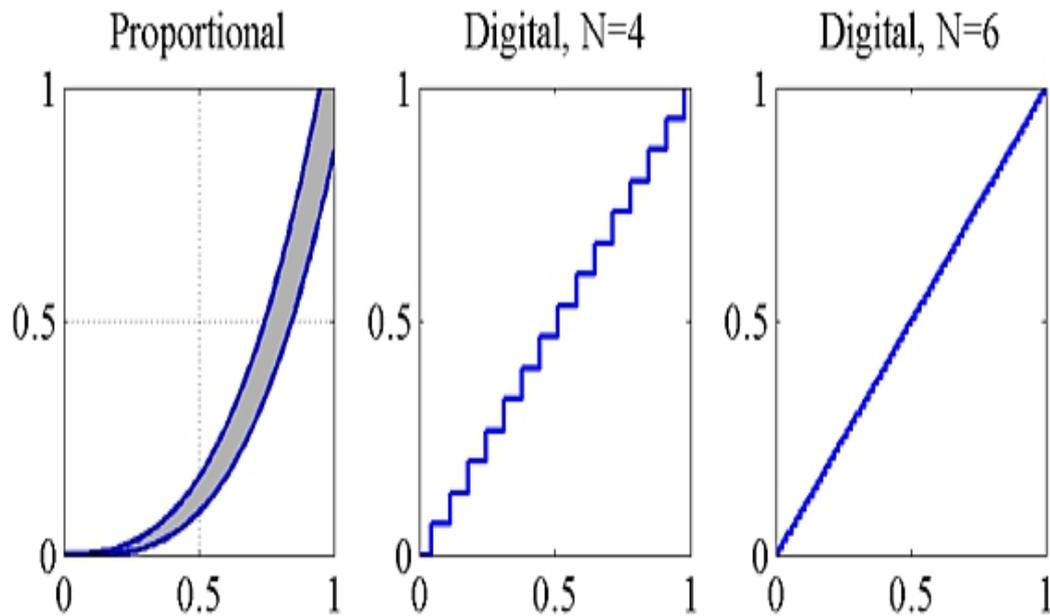
Q= Vazão (l/min);

Veloc=Velocidades recomendadas para tubulações (cm/s);

2.2.3. Válvulas *ON/OFF* digital

Para Valmet (2016) as válvulas digitais possuem umas vazões diferente. Ligando e desligando cada uma delas individualmente é possível combinar as suas vazões para formar um fluxo total. Quanto mais preciso o fluxo desejável mais válvulas podem ser adicionadas como mostrado na Figura 4.

Figura 4: Relação da vazão com o número de válvulas



Fonte: Valmet, 2016, p. 4

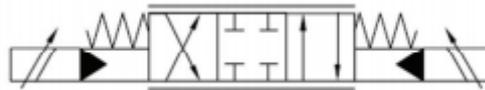
Usando a hidráulica digital, válvulas proporcionais frágeis e caras são substituídas por múltiplas válvulas *ON/OFF* robustas e baratas. Os resultados incluem maior confiabilidade, menor consumo de energia, mais precisão nos movimentos da máquina, menos paradas, menos produção perdida e menor investimento inicial e custo de transporte de peças de reposição (VALMET,2016).

2.2.4. Válvulas proporcionais

As válvulas proporcionais trabalham de forma restringindo o fluxo de um líquido. Uma torneira por exemplo pode ser considerada uma válvula proporcional pois conseguimos regular o fluxo de água de acordo com a necessidade (SOLVETRONIC, 2020).

Ainda de acordo com Solvetronic (2020) Válvulas proporcionais possuem ampla aplicação na indústria sendo usadas para o controle de vazão e pressão proporcionando o controle preciso da força, velocidade, aceleração e frenagem de movimentos mecânicos.

Figura 5: Simbologia de uma válvula proporcional



Fonte: Adaptado de Valmet, 2016, p. 2

Segundo Bruma (s/a) as válvulas proporcionais são válvulas de controle acionadas eletricamente que foram para uso em fluxo de circuito fechado ou sistemas de controle de pressão. A figura 6 apresenta um exemplo de válvula proporcional com acionamento elétrico.

Figura 6: Válvula proporcional com acionamento elétrico



Fonte: Solvetronic, 2020

Quando controladas eletronicamente proporcionam um controle preciso da vazão convertendo um sinal de corrente ou tensão variável numa saída proporcional de fluido (BRUMA, S/A).

2.2.5. Motor hidráulico

De acordo com Fialho (2003) o motor hidráulico se assemelha com uma bomba hidráulica, porém com a aplicação inversa. Além disso em alguns casos pode executar a função de uma bomba hidráulica.

Ainda de acordo com Fialho (2003) a pressão necessária para o motor hidráulico está diretamente ligada a variáveis como torque e deslocamento.

O Quadro 3 mostra a influência da pressão, vazão e deslocamento na operação de motores hidráulicos para cargas constante.

Quadro 3- Relação da pressão, vazão e deslocamento no funcionamento dos motores hidráulico

Variável	Mudança	RPM	Efeito sobre a pressão de operação	Torque disponível
Pressão	Aumento	Sem efeito	Sem efeito	Aumenta
	Redução	Sem efeito	Sem efeito	Reduz
Vazão	Aumento	Aumenta	Sem efeito	Sem efeito
	Redução	Reduz	Sem efeito	Sem efeito
Deslocamento	Aumento	Reduz	Reduz	Aumenta
	Redução	Aumenta	Aumenta	Reduz

Fonte: Fialho, 2003, p. 73

O motor hidráulico é responsável por converter energia hidráulica em energia mecânica através de um eixo rotativo. A energia determinada pelo motor é determinada pelo fluxo de óleo e pela queda de pressão do motor (GLOBAL HP, 2016).

2.2.6. Bomba hidráulica

As bombas hidráulicas são responsáveis pela geração de vazão dentro dos sistemas hidráulicos deslocando o fluido de um tanque para o sistema hidráulico. Com a sucessão de pequenos volumes de fluido transferido proporciona vazões uniformes independente da variação de pressão (PALMIERI, 1994).

De acordo com Global HP (2017) os tipos de bombas hidráulicas mais usadas são as bombas hidráulicas de engrenagem, palheta e de parafuso. Nas bombas hidráulicas de engrenagem como o próprio nome diz possui engrenagens em seu interior onde as engrenagens transportam o óleo pela área externa até o ponto da descarga.

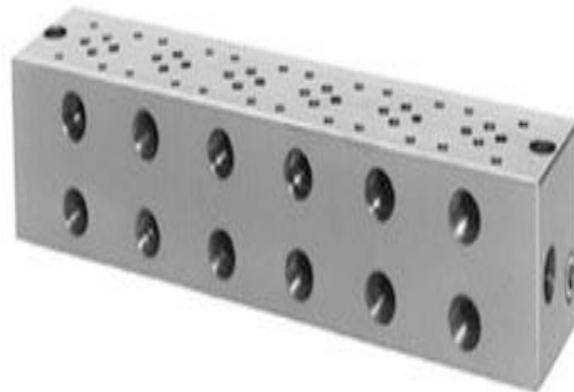
Já bombas hidráulicas de palhetas possui diversas palhetas montadas em um eixo dentro de um compartimento onde as palhetas mantem contato com a parte interna do compartimento movimentando assim o óleo. Por fim a bomba hidráulica de parafuso possui um par de engrenagens em forma de espiral dentro de um cilindro onde é forçado ao longo do comprimento da mesma (GLOBAL HP, 2017).

2.2.7. Blocos manifold

Segundo Hyteco (s/a) os coletores hidráulicos oferecem grandes vantagens quando utilizados nos sistemas hidráulicos podendo ser fabricados para atender aplicações específicas.

De acordo com Haude (s/a) a função do bloco manifold é fazer o ajuste do fluxo dos fluidos entre as bombas, atuadores e demais componentes. Possuem a vantagem de terem baixa manutenção e melhor aproveitamento da energia hidráulica.

Figura 7: Bloco manifold



Fonte: Bruma, s/a

A grandes desvantagens dos blocos manifold as perdas de cargas dentro do bloco são muito grandes devido principalmente as interligações de cantos vivos que geram turbulência no fluido. Essas perdas de cargas são impossíveis de ser determinada de maneira analítica podendo ser determinada apenas de forma prática utilizando manômetro para medir a diferenças de vazões na entrada e na saída do bloco (PALMIERI, 1994).

2.2.8. Material

A seleção de materiais é determinada por fatores como a pressão de trabalho, ciclos de trabalho, limitações de massa e especificações de engenharia. Dentro disso o alumínio é o material mais utilizado na fabricação de coletores hidráulicos devido ao seu baixo peso e facilidade de usinagem sendo normalmente classificado como máximo para pressões entre 210-240 bar (HYTECO, S/A).

2.4. VÁLVULA SOLENOIDE

As válvulas solenoides são válvula eletromecânica onde seu acionamento é feito através de uma bobina solenoide. Esta bobina é construída com fio de cobre enrolado em uma bobina com seu centro livre. Elas podem ser classificadas de acordo com a sua forma de atuação que pode ser direta ou indiretamente (JEFFERSON, 2019).

Na operação direta o fluido passa através de um orifício que é fechado por um embolo na parte inferior onde uma mola mantém o embolo pressionado para baixo para manter a válvula fechada. Contudo o embolo deve ser feito de material ferromagnético permitindo assim que ele seja magnetizado (SILVEIRA, 2018).

Já nas válvulas solenoide de operação indireta usam a diferença de pressão para abrir e fechar a válvula. Uma mola garante que válvula permaneça quando não há pressão no sistema (SILVEIRA, 2018).

2.5. CÁLCULOS COMPLEMENTARES

2.5.1. Vazão em tubulações

De acordo com Palmieri (1994) a vazão pode ser determinada pela razão do volume de escoamento do fluido por unidade de tempo como mostrado na equação. Além disso pode também ser determinada pelo produto da velocidade de escoamento do fluido e diâmetro interno da tubulação como mostra a Equação (4).

$$A = \frac{Q}{v} \quad (4)$$

Ainda de acordo com Palmieri (1994) pode também ser determinada pelo produto da velocidade de escoamento do fluido e diâmetro interno da tubulação como mostra a Equação (5).

$$Q = VA \quad (5)$$

Onde

Q=vazão (cm³/s);

V=velocidade (cm/s);

A=área (cm²);

2.5.2. Diâmetro de uma seção cilíndrica

De acordo com Palmieri (1994) pode se determinar o diâmetro interno da tubulação a partir do cálculo de área da seção do duto utilizando a Equação (6).

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (6)$$

Onde

A=área (cm²);

2.5.3. Lei de Hooke

A lei de Hooke determina a força restauradora quando algum sistema sofre algum tipo de deformação. A força que gera esta deformação pode ser determinada pela Equação (7) (UFJF, 2010).

$$F = kx \quad (7)$$

Onde

F= Força (N);

K= Constante elástica da mola (N/m);

X=Deformação (m);

2.6. PROJETO DE PRODUTO

Esta seção descreve as ferramentas utilizadas para realizar o desenvolvimento deste projeto.

2.6.1. Diagrama de Mudge

Dentro do desenvolvimento de um projeto é possível que haja conjuntos de ações para que possam torná-lo concreto. Porém geralmente esses números são bastante elevados o que torna difícil (3NEURON.COM, 2019).

Figura 8: Diagrama de Mudge

A	B	C	D	E
A				
	B			
		C		
			D	
				E

Fonte: Adaptado de 3neuron.com, 2019

O diagrama de Mudge permite a comparação de requisitos entre si para poder determinar a importância relativa de cada conjunto. Como mostrado na Figura 8 acima o diagrama é composto por uma matriz triangular onde cada item que estão nas linhas são comparados com cada item que estão na coluna (3NEURON.COM, 2019).

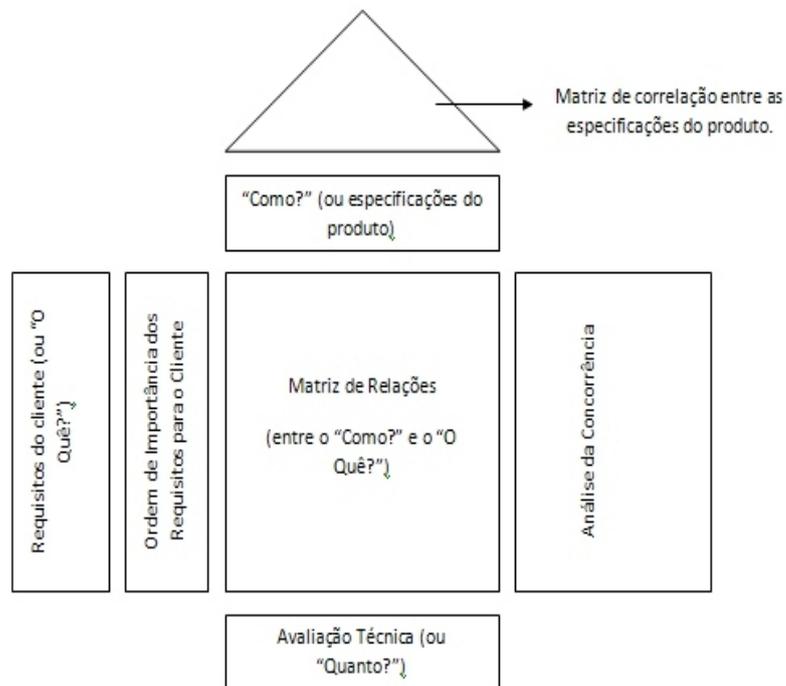
2.6.2.QFD

Criado no Japão em 1966 a ferramenta desdobramento da função da qualidade, QFD, busca converter os desejos do cliente em características de

qualidade correlacionando requisitos técnicos com requisitos de cliente em uma matriz onde é definida a importância de cada requisito através de uma pontuação. (VIOTTO,2019)

Para fazer uma matriz QFD é necessário ter definido primeiramente requisitos de clientes onde é definido o que o cliente espera do produto e qual o grau de importância de cada requisito para ele. Já os requisitos de engenharia devem determinar quais as características da qualidade do produto realmente agregam valor para o cliente (VIOTTO,2019).

Figura 9: Representação da matriz QFD



Fonte: Viotto, 2019

Como mostrado na figura 9 a matriz QFD é construída colocando-se as características de qualidades dos produtos solicitados pelo cliente do lado esquerdo e os requisitos de engenharia denominados “comos” devem ser colocados na parte superior da matriz. Já a pontuação deve ser atribuída de acordo com um impacto que este requisito irá gerar na característica de qualidade do produto (FM2S,2017)

3.METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a realização deste trabalho foi usado software de CAD para realizar o projeto e desenvolvimento da válvula. Também utilizou software Excel para realização dos cálculos.

Também foi usado o acervo bibliográfico da FAHOR, publicações e catálogos técnicos disponíveis na Internet.

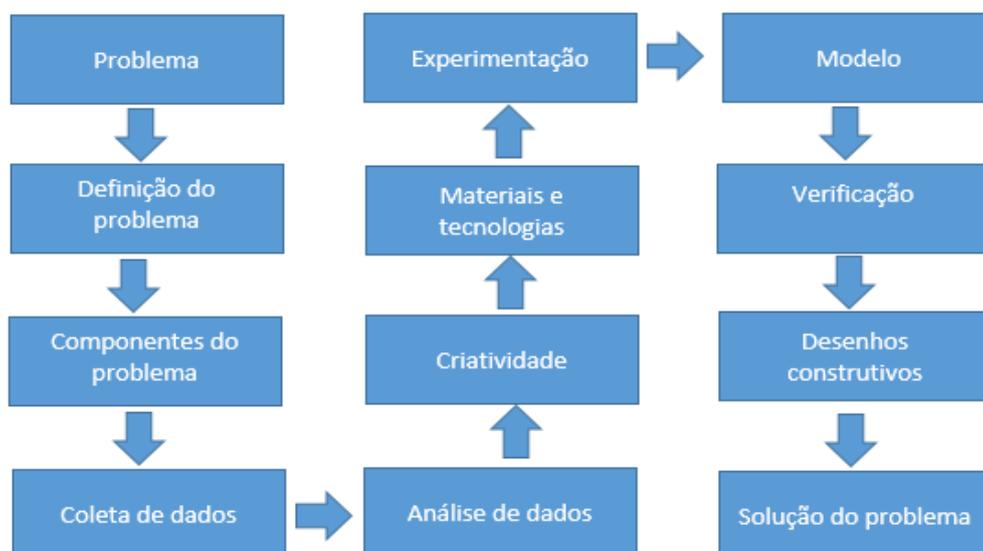
3.2. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Para Gil (2017) a pesquisa é desenvolvida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos e técnicas de investigação científica.

O desenvolvimento de um novo produto é uma atividade bastante complexa e envolve diversos interesses onde os mesmos de alguma forma devem ser atendidos (BAXTER, 2011).

Para realizar o projeto de bloco de um bloco de válvulas hidráulico foi utilizado a metodologia de Bruno Munari que consiste em doze etapas que permitiram seguir de maneira clara desenvolver o produto.

Figura 10: Método de Munari



Fonte: Adaptado de Munari, 2008, p. 65

Nem todas as etapas citadas acima se aplicam diretamente a este projeto e portanto não foram e, portanto, não foram dadas tanta ênfase para estas etapas.

3.3. COLETA DE DADOS

Para determinar como seria a válvula foi realizada pesquisas de mercado para verificar quais as tecnologias relacionadas a válvulas, blocos e componentes hidráulicos disponíveis no mercado a fim de verificar o estado da arte.

Além disso foi determinado os requisitos de cliente e os requisitos técnicos juntamente com as partes interessadas no desenvolvimento do projeto, requisitos estes que serviram para guiar o desenvolvimento deste trabalho.

É importante ressaltar que cada requisito tem diferente grau de importância e nível de interação diferente com os demais requisitos e, portanto, devem possuir níveis diferentes de priorização.

Para isso foi aplicada o Método de Mudge para hierarquizar os requisitos de cliente uma matriz QFD que possibilitou determinar os requisitos que devem ser priorizados para a execução do projeto.

3.4. PROJETO E DETALHAMENTO

O projeto 3D foi realizado no software de CAD Solidworks onde foi utilizada uma licença disponibilizada pela faculdade. Nele foram realizados o projeto em 3D de todas as peças que compõem o bloco e realizado detalhamento em 2D necessário para a construção futura de um protótipo.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. MÉTODO DE MUNARI

No Quadro 4 é apresentado o resultado da aplicação do método de Munari. É importante ressaltar que nem todas as etapas descritas por Munari se aplicam a projeto, portanto foram flexibilizadas.

Quadro 4 - Aplicação do método de Munari

Identificação	Etapas	Detalhamento da etapa
1	Problema	Desenvolver um sistema alternativo de variação de vazão hidráulica para motores hidráulicos.
2	Definição do problema	Projetar um bloco hidráulico utilizando válvulas <i>ON/OFF</i> para utilização em motores hidráulicos para aplicação principalmente em sistemas de taxa variável.
3	Componentes do problema	Projetar um bloco hidráulico utilizando o conceito da hidráulica digital utilizando componentes comerciais e
4	Coleta de dados	Utilizou como referência o sistema hidráulico da bancada de testes da FAHOR para que futuramente na construção de um protótipo possa ser utilizada para testes aferição de vazão a que possa também ser utilizada na própria instituição em bancadas de teste.
5	Análise de dados	Análise das características necessárias do produto.
6	Criatividade	Desenvolver uma solução alternativa utilizando o conceito da hidráulica digital.

7	Materiais e tecnologia	Para a construção da válvula foi utilizado alumínio que além de ser leve, reciclável também é um material que possui boa usabilidade além de possuir boa capacidade de resistência a pressão. Demais componentes forma utilizados itens comerciais.
8	Experimentação	Simulações computacionais utilizando o software <i>Solidworks</i> .
9	Modelo	Modelagem da válvula utilizando o software de CAD <i>Solidworks</i> .
10	Verificação	Nesta etapa foram realizados simulações computacional para verificar a resistência da válvula a pressão.
11	Desenhos construtivos	Elaboração de desenhos 2D detalhados que possibilite a construção do produto.
12	Solução do problema	Produto desenvolvido

Fonte: O autor, 2020

A aplicação deste método permite indicar uma sequência de etapas desde a definição do problema até o desenvolvimento do projeto final.

4.2. REQUISITOS DE CLIENTE

Para o desenvolvimento do projeto foram levantados oito requisitos de cliente visando desenvolver um produto confiável, durável e que seja ao mesmo tempo de baixo custo.

Quadro 5 - Requisitos do cliente

Identificação	Requisitos de cliente
1	Baixo custo
2	Fácil instalação
3	Baixo peso
4	Alta confiabilidade
5	Suportar pressões de até 60 bar
6	Baixa manutenção
7	Utilização de materiais recicláveis
8	Vazão entre 20 l/min e 25 l/min

Fonte: O autor, 2020

As necessidades do Quadro 5 devem priorizadas de maneiras diferente no projeto e influenciando de maneira diferente nos outros requisitos. Para isso foi utilizado o Diagrama de Mudge para hierarquizar os requisitos de acordo com a soma importância.

4.2.1. Diagrama de Mudge

A priorização dos requisitos de cliente foi feita utilizando o Diagrama de Mudge que permite comparar critérios aos pares para determinar a sua importância relativa para o projeto. A Figura 11 mostra a aplicação do diagrama para os sete requisitos de cliente.

Figura 11: Aplicação do diagrama de Mudge

	2	3	4	5	6	7	8	SOMA	%	VC
1	1C	1B	4B	5A	6A	1B	8A	7	6,73%	0,67
2		2B	2B	5A	6A	2C	8C	7	6,73%	0,67
3			4A	5A	6A	3B	8A	3	2,88%	0,29
4				5C	4B	4A	4A	21	20,19%	2,02
5					5A	5A	5B	29	27,88%	2,79
6						7B	8B	15	14,42%	1,44
7							8A	3	2,88%	0,29
8								19	18,27%	1,83
Total								104	100%	

Legenda:

A =	5	Muito mais importante
B =	3	Medianamente mais importante
C =	1	Pouco mais importante

Fonte: O autor, 2020

A hierarquização dos requisitos de cliente pelo diagrama de Mudge permite que desde o início do projeto possa se priorizar o que mais agrega valor para o cliente.

Quadro 6 - Resultado dos requisitos do cliente

Identificação	Requisitos de clientes	Relevância	Pontuação
5	Pressão de trabalho de 60 BAR	28%	29
4	Alta confiabilidade	20%	21
8	Vazão de 20 l/min a 25 l/min	18%	19
6	Baixa manutenção	14%	15
1	Baixo custo	7%	7
2	Fácil instalação	7%	7
3	Baixo peso	3%	3
7	Utilização de materiais recicláveis	3%	3

Fonte: O autor, 2020

A partir da hierarquização dos requisitos é possível determinar quais as características de qualidade são mais relevantes para o cliente. A partir disso pode também determinar os requisitos técnicos do produto.

4.2.2. Requisitos de engenharia

A partir dos requisitos da hierarquização dos requisitos de clientes foi possível determinar os requisitos de engenharia.

Quadro 7 - Requisitos de engenharia

Identificação	Requisitos de engenharia	Especificação do requisito
A	Fácil fabricação	Utilizar processo comuns de usinagem para fabricação dos componentes
B	Utilizar materiais e componentes padronizados	Elementos de fixação e vedação, ferramentas utilizadas para a fabricação do bloco com dimensões comerciais
C	Acionamentos elétricos	Utilizar sistema elétricos de baixa complexidade para acionar o válvula.
D	Vazão variável	Cada válvula deverá fornecer uma vazão diferente.
E	Corpo da válvula em alumínio	Material deve ser leve e ao mesmo tempo resistente a pressões e altas temperaturas.
F	Alta durabilidade	Vida útil mínima de 10 anos.
G	Estrutura modular	Deve ser possível alterar o número de válvulas do bloco para que possibilite uma vazão maior e também alterar a vazão máxima de cada válvula.
H	Ampla opção de vazões	Deve oferecer o maior número possível de combinação de vazões.
I	Compatível com diversos tipos de motores hidráulicos	Deve ser desenvolvida para poder trabalhar com o maior número possível de motores hidráulicos
J	Dimensões reduzidas	Deve ser o mais compacto possível.

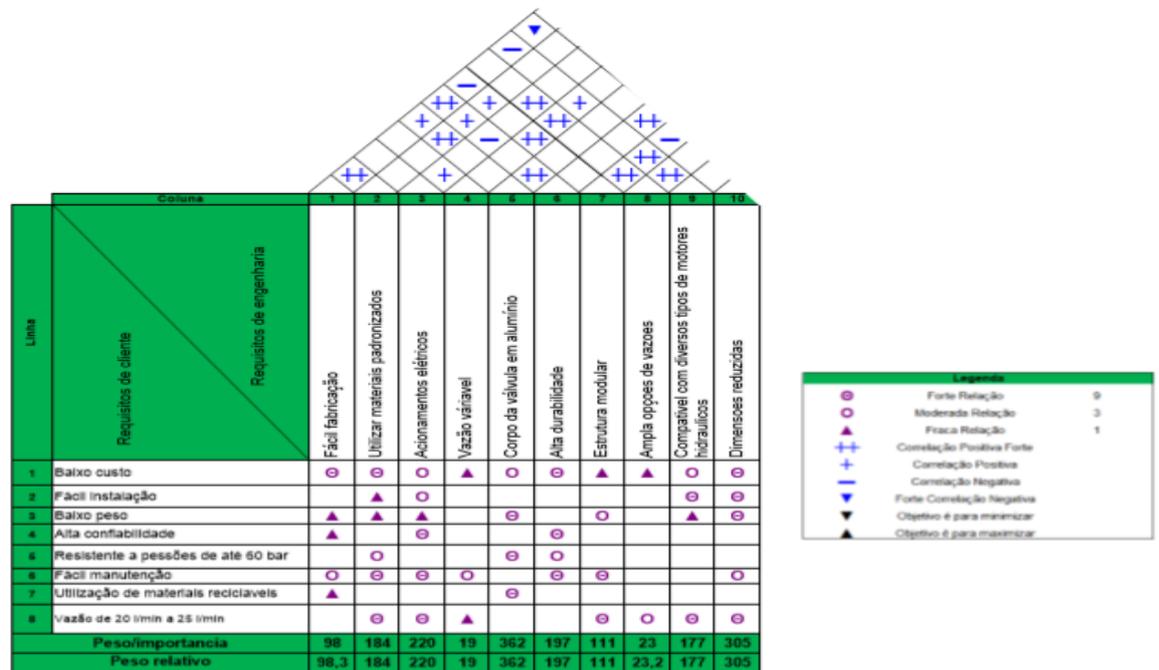
Fonte: O autor, 2020

A especificação dos requisitos serve para indicar durante o desenvolvimento do projeto o que se espera de cada requisito de engenharia.

4.2.3. QFD

Com os requisitos de engenharia definidos usa-se o QFD que permite comparar os requisitos de engenharia com os requisitos de cliente de maneira sistemática como mostrado na Figura 12.

Figura 12: Aplicação do QFD



Fonte: O autor, 2020

No telhado da casa da qualidade foram comparados os requisitos de engenharia entre si. Em alguns casos os requisitos não interferem no outro.

4.3. DEFINIÇÃO DO MATERIAL

Após uma pesquisa de mercado constatou se que o alumínio mais adequado para a fabricação do bloco seria o alumio 6351-T6 pois é amplamente utilizado na fabricação de peças de alumínio, está disponível em vario formatos e tamanhos,

possuir uma excelente usabilidade e é uma alta tensão de escoamento se comparado a outros alumínios permitindo assim que tenha boas propriedades mecânicas como mostrado no ANEXO D.

4.4. FLUIDO HIDRÁULICO

O fluido hidráulico selecionado foi o óleo hidráulico da fabricante Mobil, AW 68 HLP. De acordo com a Mobil (2017) este óleo possui propriedades anti-desgaste o que ajuda a prolongar a vida útil do equipamento. Sua aplicação é recomendada em sistemas com bombas de engrenagem, palheta, de pistão radial e axial e sistemas onde a contaminação do óleo hidráulico e vazamentos são inevitáveis. O óleo possui uma viscosidade para a temperatura de 40 °C de 68 cSt conforme mostrado as propriedades do óleo no ANEXO E.

4.5. MEMORIAL DE CÁLCULO

4.5.1. Vazão por válvula

Como a função das válvulas é realizar o controle da vazão variando de acordo com a necessidade as vazões por válvulas devem ser determinadas de maneira que seja possível se obter a maior combinação possível de vazão.

Foi definido o bloco com seis válvulas totalizando 36 opções de vazões diferentes com uma vazão mínima de 1 l /min e intermediária de 10 l /min.

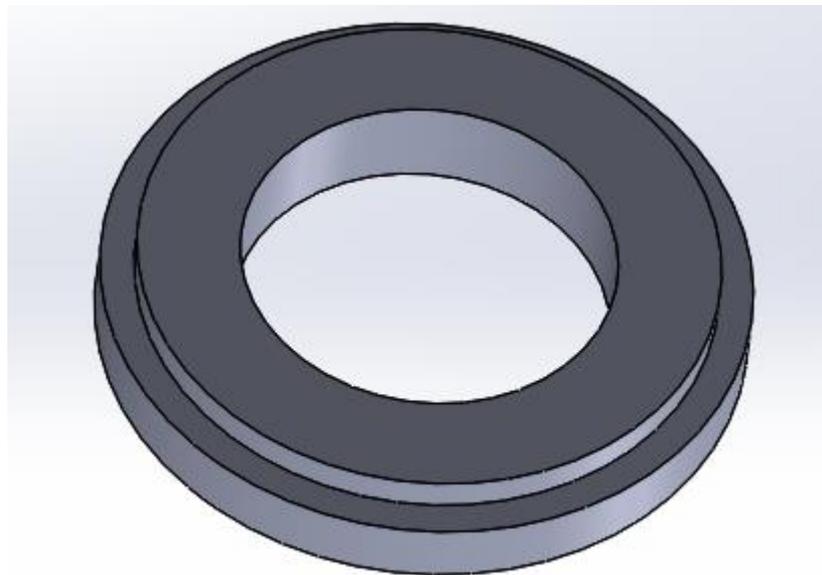
Quadro 8 - Vazão por válvula

Identificação da válvula	Vazão teórica (l /min)	Vazão teórica (cm³/s)
Válvula 1	1	16,67
Válvula 2	2	33,33
Válvula 3	2,5	41,67
Válvula 4	3,5	58,33
Válvula 5	5	83,33
Válvula 6	6	100

Fonte: O autor, 2020

Cada válvula possui internamente uma tampa para limitar a vazão de óleo hidráulico. Este componente permite que seja possível a troca de vazão por válvula. Cada válvula possui uma tampa interna com diâmetro de 9,50 mm com área vazada de acordo com a vazão que se deseja por válvula.

Figura 13: Tampa interna limitadora de vazão



Fonte: autor, 2020

Para determinar a velocidade foi considerada equação (2) para pressão de 60 bar.

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

$$Veloc = 121,65 * 60^{\left(\frac{1}{3,3}\right)}$$

$$Veloc = 421 \text{ cm/s}$$

Com a velocidade para a pressão de 60 bar determinada é possível determinar qual será o diâmetro do orifício para seja possível obter a vazão desejada para cada válvula. Utilizando a velocidade determinada para 60 bar juntamente com a vazão teórica para cada válvula

Utilizando a Equação (4) é possível determinara a área da seção transversal do orifício da tampa limitadora de vazão para a válvula 1.

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{16,67}{421}$$

$$A = 0,040 \text{ cm}^2$$

Utilizando a Equação (4) é possível determinara a área da seção transversal do orifício da tampa limitadora de vazão para a válvula 5.

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,049}{\pi}}$$

$$d = 0,2498 \text{ cm (2,498 mm)}$$

Utilizando a tabela do ANEXO A deve se ajustar o diâmetro do furo para um diâmetro que possa ser feito utilizando broca de diâmetros comerciais. Para o diâmetro de 2,498 mm deve ser utilizado a broca KBAR025 da fabricante Starred de 2,5 mm (0,25 cm) de diâmetro. Com o diâmetro ajustado podemos determinar a nova área do furo.

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,25^2}{4}$$

$$A = 0,049 \text{ cm}^2$$

Com a valor da área ajustado utiliza-se a Equação 5 para determinar a vazão real da válvula 1.

$$Q_{real} = V * A$$

$$Q_{real} = 421 * 0,049$$

$$Q_{real} = 20,63 \text{ cm}^3/\text{s}$$

O mesmo processo é realizado para determinar a área do furo para a tampa limitadora da válvula 2 que possui uma vazão teórica de 33 cm³/s.

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{33,33}{421}$$

$$A = 0,079 \text{ cm}^2$$

Com a área determinada utiliza-se a Equação (6) para determinar o diâmetro a partir da área.

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,079}{\pi}}$$

$$d = 0,317 \text{ cm (3,17 mm)}$$

Utilizando a tabela de diâmetros de brocas do ANEXO A o diâmetro do furo foi ajustado para 3,5 mm representado pela broca modelo KBAR035. A partir do ajuste do diâmetro do furo pode-se determinar a nova área.

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,35^2}{4}$$

$$A = 0,096 \text{ cm}^2$$

Com a área ajustada utiliza-se a Equação (6) para determinar a vazão real da válvula 2.

$$Q_{real} = V * A$$

$$Q_{real} = 421 * 0,096$$

$$Q_{real} = 40,416 \text{ cm}^3/s$$

Utilizando a Equação (4) é possível determinar a área da seção transversal do orifício da tampa limitadora de vazão para a válvula 3.

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{41,67}{421}$$

$$A = 0,099 \text{ cm}^2$$

Com a área determinada utilizando a Equação (6) para determinar o diâmetro a partir da área.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,099}{\pi}}$$

$$d = 0,355 \text{ cm (3,55 mm)}$$

Utilizando a tabela de diâmetros de brocas do ANEXO A o diâmetro do furo foi ajustado para 4 mm representado pela broca modelo KBAR040. Com o diâmetro do furo ajustado é possível determinar a nova área.

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,40^2}{4}$$

$$A = 0,1256 \text{ cm}^2$$

Com a área ajustada utiliza-se a Equação (6) para determinar a vazão real da válvula 3.

$$Q_{real} = V * A$$

$$Q_{real} = 421 * 0,1256$$

$$Q_{real} = 52,90 \text{ cm}^3/s$$

Para determinar a área vazada que a tampa limitadora da válvula 4 deverá ter por válvula utiliza-se a equação abaixo.

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{58,33}{421}$$

$$A = 0,1386 \text{ cm}^2$$

Com a área determinada se utiliza-se a Equação (6) para determinar o diâmetro a partir da área.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,1386}{\pi}}$$

$$d = 0,42 \text{ cm (4,2 mm)}$$

Utilizando a tabela de diâmetros comerciais de brocas do ANEXO A o diâmetro do furo foi ajustado para 4,5 mm representado pela broca modelo KBAR045. Após realizar o ajuste do diâmetro do furo é determinada a nova área.

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0,45^2}{4}$$

$$A = 0,1590 \text{ cm}^2$$

Com o ajuste da área utiliza-se a Equação (5) para determinar a vazão real para a válvula 4.

$$Q_{real} = V * A$$

$$Q_{real} = 421 * 0,1590$$

$$Q_{real} = 66,96 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Utilizando a Equação (4) é possível determinara a área da seção transversal do orifício da tampa limitadora de vazão para a válvula 5.

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{83,33}{421}$$

$$A = 0,1979 \text{ cm}^2$$

Com a área determinada se utiliza a Equação (6) para determinar o diâmetro a partir da nova área.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,1979}{\pi}}$$

$$d = 0,5 \text{ cm (5 mm)}$$

Conforme a tabela do ANEXO A o diâmetro de 5 mm é diâmetro comercial, portanto não há necessidade de realizar o ajuste da vazão.

Utilizando a Equação (4) é possível determinara a área da seção transversal do orifício da tampa limitadora de vazão para a válvula 6.

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{100}{421}$$

$$A = 0,2375 \text{ cm}^2$$

Com a área determinada se utiliza a Equação (6) para determinar o diâmetro a partir da área.

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,2375}{\pi}}$$

$$d = 0,55 \text{ cm (5,5 mm)}$$

Conforme a tabela do ANEXO A o diâmetro de 5,5 mm já é um diâmetro comercial, portanto não será necessário realizar ajuste do diâmetro.

A partir do somatório vazões reais das válvulas é possível determinar a vazão total do bloco.

$$Q_{total} = 20,63 + 40,42 + 52,90 + 66,96 + 83,33 + 100$$

$$Q_{total} = 364,24 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \text{ (21,85 l/min)}$$

4.5.2. Dimensionamento da tubulação de sucção

Para determinar o dimensionamento mínimo da linha de sucção é necessário utilizar a Equação (3). A velocidade para a linha de sucção é de 100 cm/s e a vazão é de 21,85 l/min.

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015\pi Veloc}}$$

$$di = \sqrt{\frac{21,85}{0,015 * \pi * 100}}$$

$$di = 2,15 \text{ cm (21,5 mm)}.$$

Para o valor de 21,5 mm foi selecionada uma mangueira da empresa Gates do Brasil com diâmetro interno de 25,4 mm (1') modelo 16G1 com uma pressão máxima de trabalho de 87,91 bar (1275 psi), conforme mostrado no ANEXO A.

Como houve mudança no diâmetro devemos adaptar a Equação (3) para a partir do novo diâmetro da tubulação encontrar a nova velocidade.

$$V_{real} = \frac{Q}{0,015\pi di^2}$$

$$V_{real} = \frac{21,85}{0,015 * \pi * 2,54^2}$$

$$V_{real} = 71,87 \text{ cm/s}$$

Com o valor mínimo da tubulação sucção determinada é possível determinar o tipo de escoamento utilizando a Equação (1).

$$Re = \frac{V_{real} di}{\nu}$$

$$Re = \frac{71,87 * 2,54}{0,68}$$

$$Re = 268,46$$

Conforme mostrado na Quadro 1 o escoamento na tubulação de retorno será do tipo laminar.

4.5.3. Dimensionamento da tubulação de retorno

Para realizar o dimensionamento da tubulação de retorno utilizou a Equação (3) para velocidade de 300 cm/s conforme o Quadro 2.

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015\pi Veloc}}$$

$$di = \sqrt{\frac{21,85}{0,015 * \pi * 300}}$$

$$di = 1,24 \text{ cm (12,4 mm)}.$$

Para o valor de 12,4 mm foi selecionada uma mangueira da empresa Gates do Brasil modelo 4CH com diâmetro interno de 14,2 mm (1/4') com uma pressão máxima de trabalho de 86,18 bar (1250 psi), conforme mostrado no ANEXO C.

Como houve mudança no diâmetro devemos adaptar a Equação (4) e a partir do novo diâmetro da tubulação encontrar a nova velocidade.

$$V_{real} = \frac{Q}{0,015\pi di^2}$$

$$V_{real} = \frac{21,85}{0,015 * \pi * 1,42^2}$$

$$V_{real} = 229,95 \text{ cm/s}$$

Com a velocidade real determinada utilizando a Equação (1) pode se determinara o número de Reynolds para a tubulação de retorno.

$$Re = \frac{Vdi}{\nu}$$

$$Re = \frac{229,95 * 1,42}{0,68}$$

$$Re = 480,19$$

Como mostrado na Quadro 1 o escoamento para o valor de 480,19 o será do tipo laminar.

4.5.4. Dimensionamento da tubulação de pressão

Para determinara a velocidade de escoamento para a tubulação de pressão para uma velocidade de escoamento de 421 cm/s determinada pela Equação (3).

$$di = \sqrt{\frac{Q}{0,015\pi Veloc}}$$

$$di = \sqrt{\frac{21,85}{0,015 * \pi * 421}}$$

$$di = 1,05 \text{ cm (10,5 mm)}.$$

Para o valor de 10,5 mm foi selecionada uma mangueira da empresa Gates do Brasil modelo 4CH com diâmetro interno de 14,2 mm (1/4') com uma pressão máxima de trabalho de 86,18 bar (1250 psi), conforme mostrado no ANEXO C.

Como houve mudança no diâmetro devemos adaptar a Equação (4) para a partir do novo diâmetro da tubulação encontrar a nova velocidade.

$$V_{real} = \frac{Q}{0,015\pi di^2}$$

$$V_{real} = \frac{21,85}{0,015 * \pi * 1,42^2}$$

$$V_{real} = 229,95 \text{ cm/s}$$

Com a velocidade real determinada utilizando a Equação (1) pode se determinar o número de Reynolds para a tubulação de retorno.

$$Re = \frac{Vdi}{\nu}$$

$$Re = \frac{229,95 * 1,42}{0,68}$$

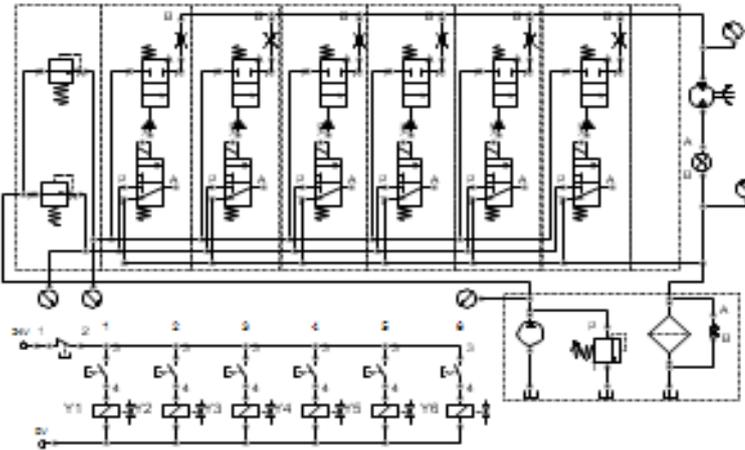
$$Re = 480,19$$

Como mostrado os valores de escoamento do Quadro 1 o escoamento para o valor de 480,19 é laminar.

4.5.5. Sistema hidráulico

Como mostrado na Figura 14 o bloco de válvula hidráulica digital é composto por 6 válvulas solenoides *ON/OFF* em paralelo onde cada válvula é por um solenoide acionada permitindo assim que cada válvula possa trabalhar de maneira independente da outra.

Figura 14: Esquema hidráulico e elétrico do bloco de válvula hidráulico



Fonte: O autor, 2020

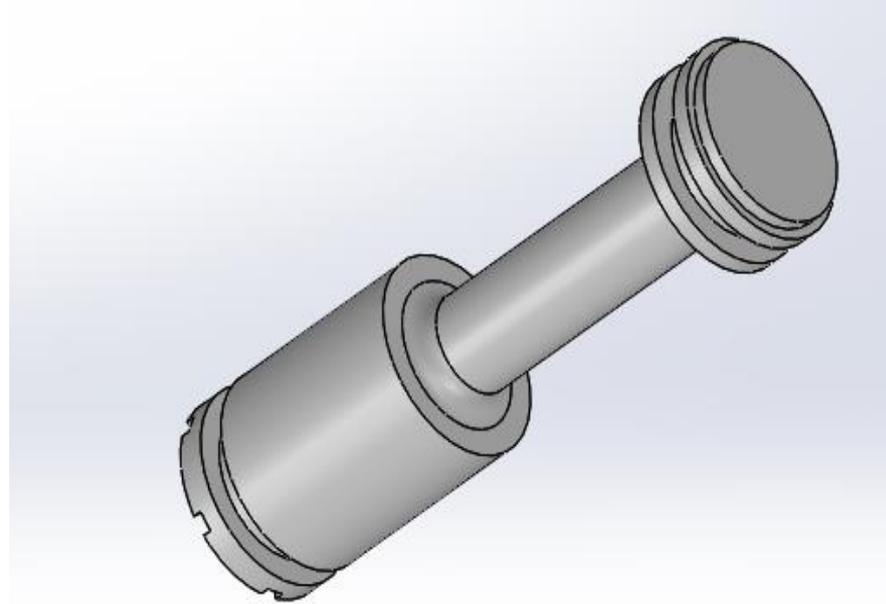
Na entrada do bloco há dois carretéis que realizaram o controle de duas pressões e vazões. Uma delas irá realizar o controle do óleo que vai diretamente para as válvulas e o outro carretel realizar o controle do óleo que irá acionar as válvulas.

4.5.6. Determinação das molas

O bloco de válvulas possui dois tipos de carretéis que realizam o controle da pressão e da vazão da válvula. Para realizar o dimensionamento das molas foi considerada a amplitude de deslocamento de cada carretel em torno de 10 mm e a pressão exercida sobre o carretel de 60 bar (6 MPa).

O carretel mostrado na Figura 15 é responsável por realizar o controle da pressão e da vazão na estrada da válvula e também o controle da passagem de óleo nas válvulas *ON/OFF*.

Figura 15: Carretel



Fonte: O autor, 2020

Á área de sua superfície superior é de 78 mm², podendo assim determinar a força que está sendo aplicada na superfície.

$$F = PA$$

$$F = 6 * 78$$

$$F = 468 \text{ N}$$

Com a força determinada usando a Equação (7) para determinar a constante elástica da mola.

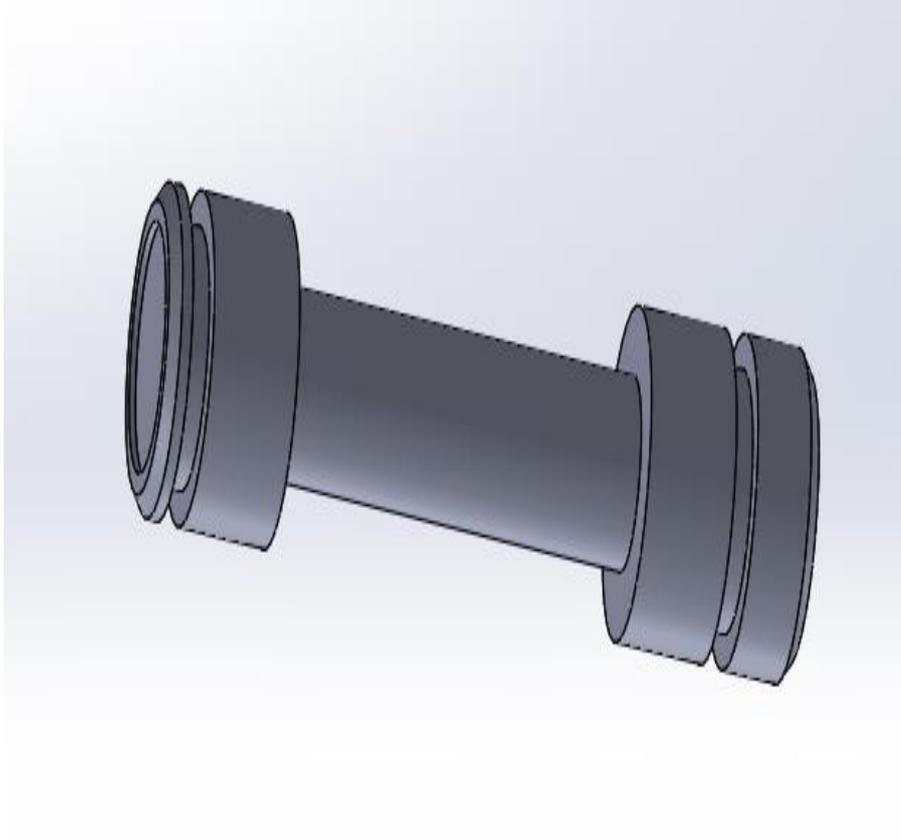
$$K = \frac{F}{x}$$

$$K = \frac{468}{10}$$

$$K = 46,8 \text{ Nm}$$

O segundo carretel que compõe a válvula de entrada é responsável por controlar as pressões que vão para as válvulas *ON/OFF* mostrado na Figura 16.

Figura 16: Carretel de acionamento



Fonte: O autor, 2020

A área da superfície do carretel é de 38,5 mm² podendo assim determinar a força que está sendo aplicado na superfície.

$$F = PA$$

$$F = 6 * 38,5$$

$$F = 231 \text{ N}$$

Com a força determinada usando a Equação (7) para determinar a constante elástica da mola.

$$K = \frac{F}{x}$$

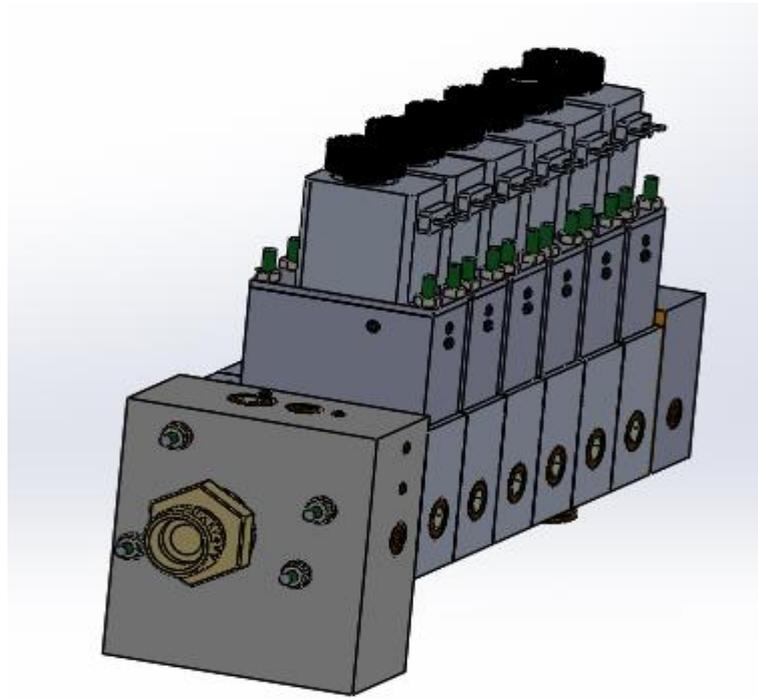
$$K = \frac{231}{10}$$

$$K = 23,1 \text{ Nm}$$

4.6. MODELAGEM DA SOLUÇÃO

Esta seção busca detalhar as principais componentes que compõem o bloco assim como explicar o seu funcionamento de maneira detalhada.

Figura 17: Bloco de válvula hidráulica digital



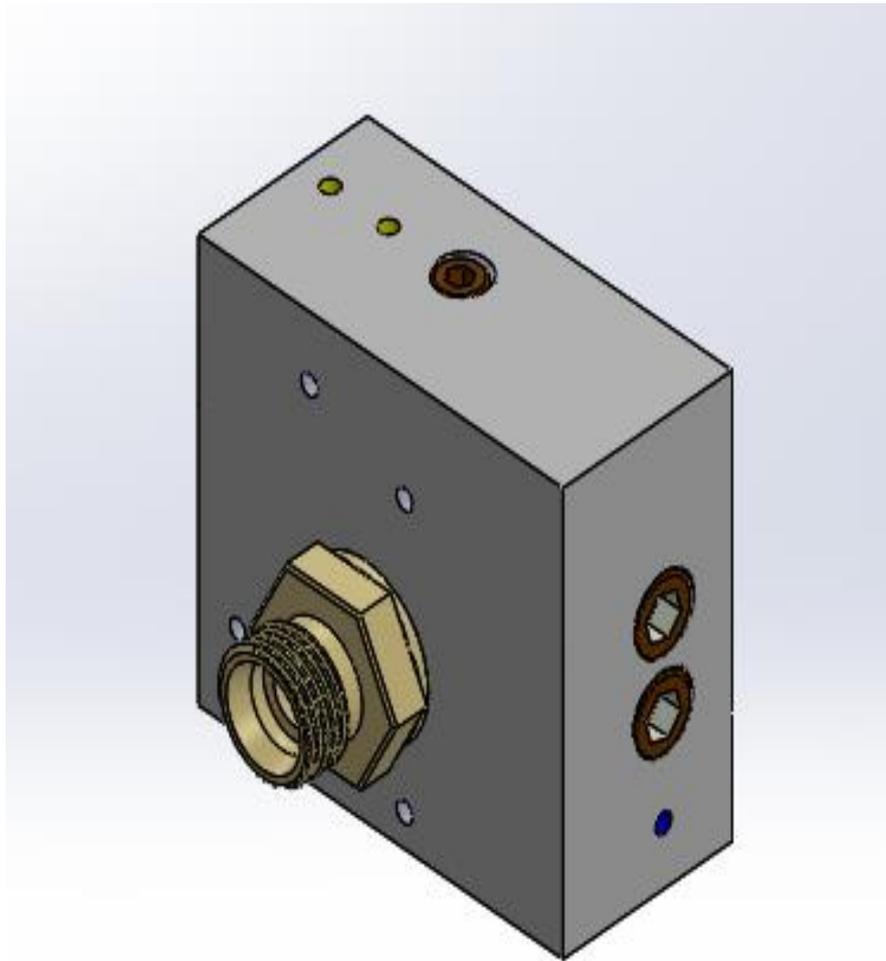
Fonte: O autor, 2020

A Figura 17 mostra o a solução desenvolvida, o bloco de válvulas hidráulica digital que é composto por uma tampa de entrada, seis válvulas *ON/OFF* sendo todas elas acionadas por solenoides e uma tampa de saída.

4.6.1. Tampa de entrada

A tampa de entrada mostrada na Figura 18 é responsável por receber o óleo da bomba hidráulica e realizar o controle de duas pressões, uma delas que vai diretamente para as válvulas *ON/OFF* e a outra pressão é usada para acionar as válvulas *ON/OFF*.

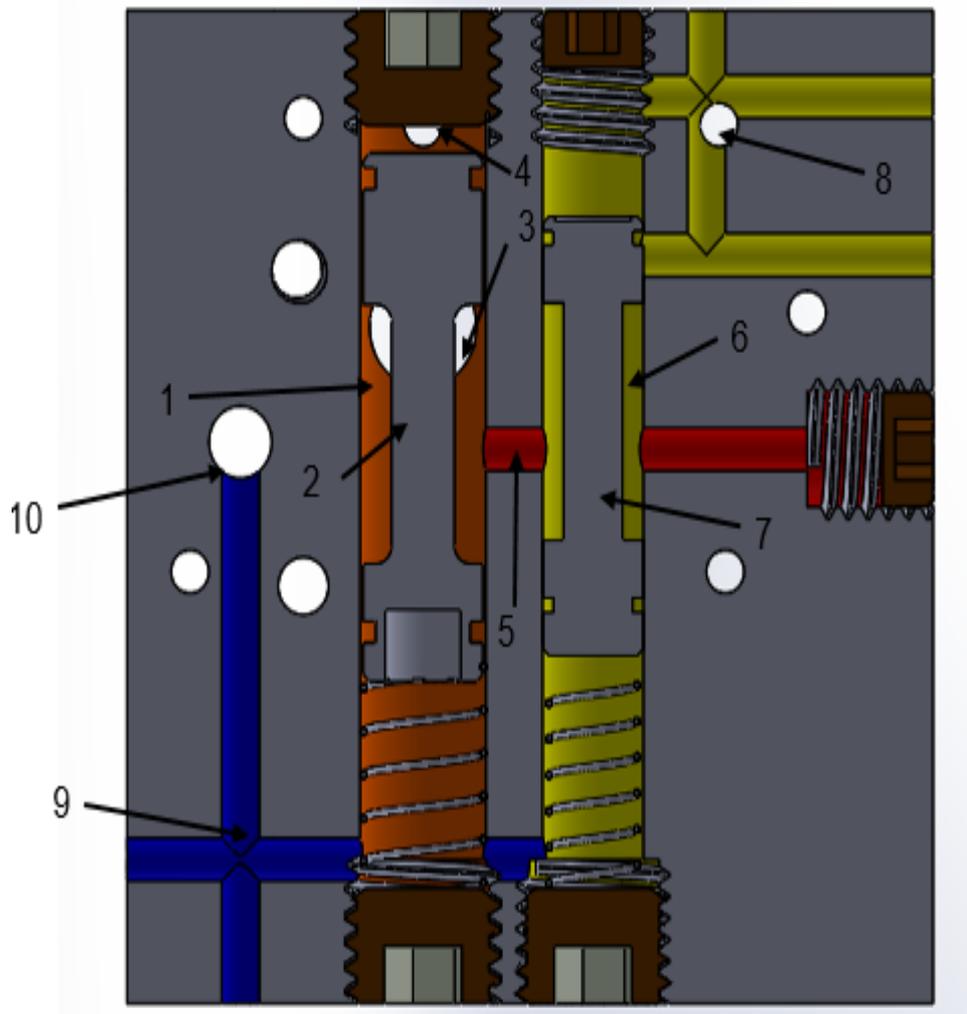
Figura 18: Tampa de entrada



Fonte: O autor, 2020

O óleo entra pela conexão mostrada na Figura 19 diretamente para a galeria (1) que possui um carretel (2) que realiza o controle da pressão e da vazão que irá passar pelo furo de saída (3) onde o óleo irá diretamente para as válvulas *ON/OFF*. Acima do furo de saída há um duto que liga até um furo que acionará o carretel (4) fazendo que o mesmo oscile realizando assim o controle do óleo que sai da válvula.

Figura 19: Vista da tampa de entrada em corte



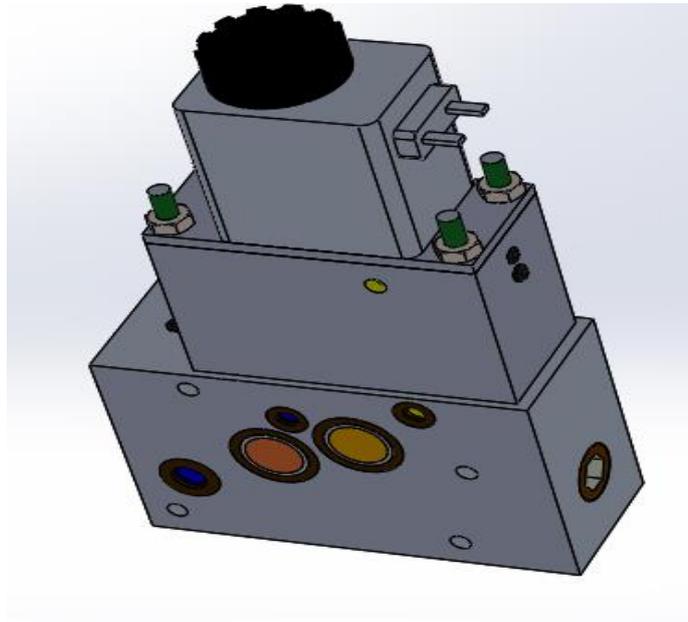
Fonte: O autor, 2020

O óleo que entra na válvula parte dele passa para um duto (5) para a galeria (6) que possui um carretel (7) que realizará o controle da pressão e da vazão do óleo que passará pelo furo (8) que realizará o acionamento do carretel das válvulas *ON/OFF*. Abaixo de cada carretel há dutos (9) que lavarão o óleo até a saída (10) para a tubulação de retorno.

4.6.2. Válvula solenoide *ON/OFF*

A válvula solenoide mostrada na Figura 20 *ON/OFF* é responsável por realizar o controle da passagem do óleo. Cada válvula possui uma vazão diferente de acordo com o orifício da tampa limitadora de vazão.

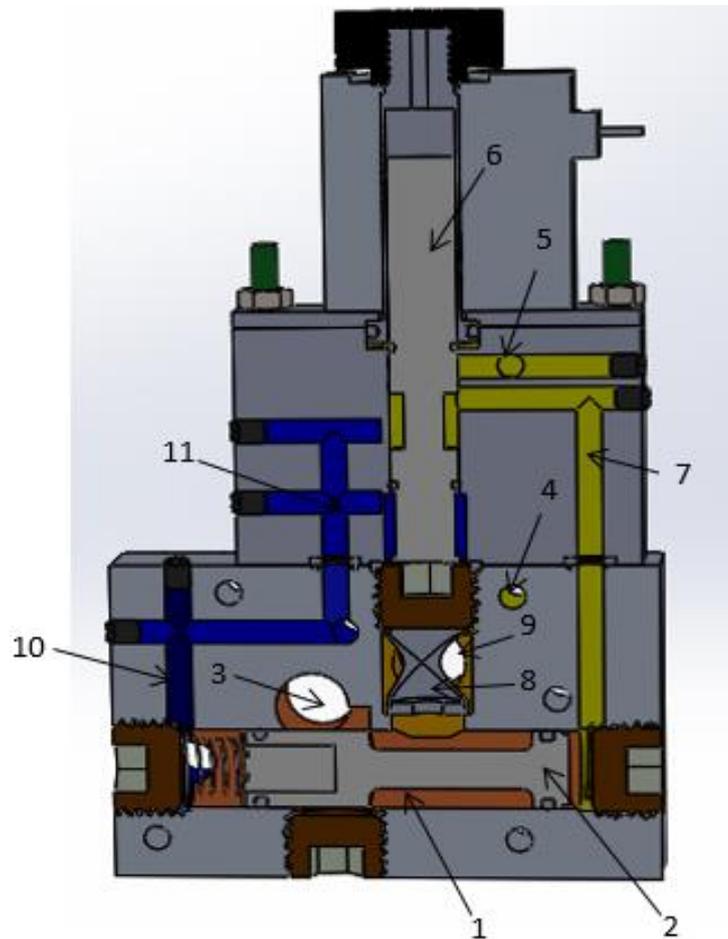
Figura 20: Válvula solenoide *ON/OFF*



Fonte: O autor, 2020

De acordo com o que está sendo mostrado na Figura 21 o óleo entra na galeria (1) onde há um carretel (2) que controla a passagem do óleo para dentro da válvula. O óleo que não entra para a válvula sai pelo furo (3). O carretel é acionado pelo óleo que vem pelo duto (4) e sobe até o duto (5). Quando o pino (6) é puxado pelo solenoide permite que o óleo passe pela tubulação (7) que irá empurrar o carretel liberando a passagem do óleo para dentro da válvula.

Figura 21: Vista em corte da válvula solenoide *ON/OFF*



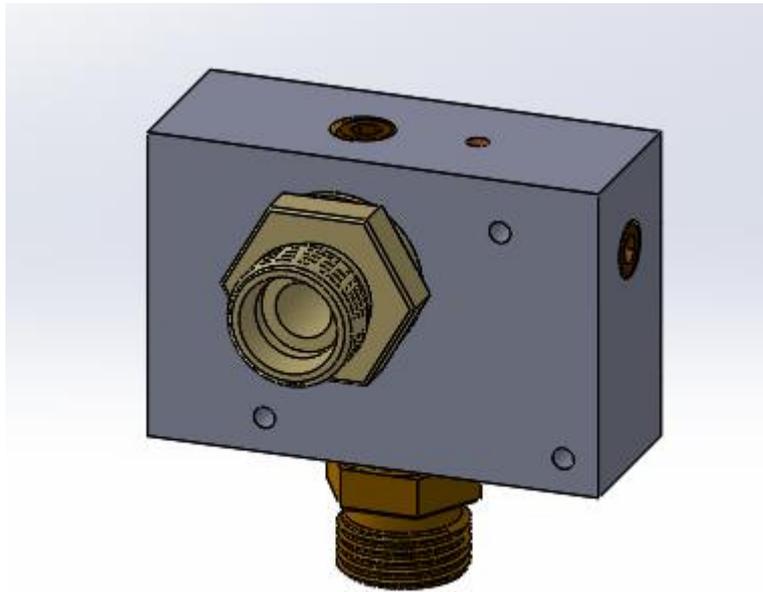
Fonte: O autor, 2020

Com o carretel acionado o óleo passa pela tampa limitadora de vazão (8) passando assim para tubulação de saída (9). O óleo excedente dentro das válvulas irá para tubulação de retorno (10) e (11).

4.6.3. Tampa de saída

Por fim a tampa de saída mostrada na Figura 22 conduz o óleo para o motor hidráulico e também conduz o óleo excedente de volta para o reservatório através de duas conexões.

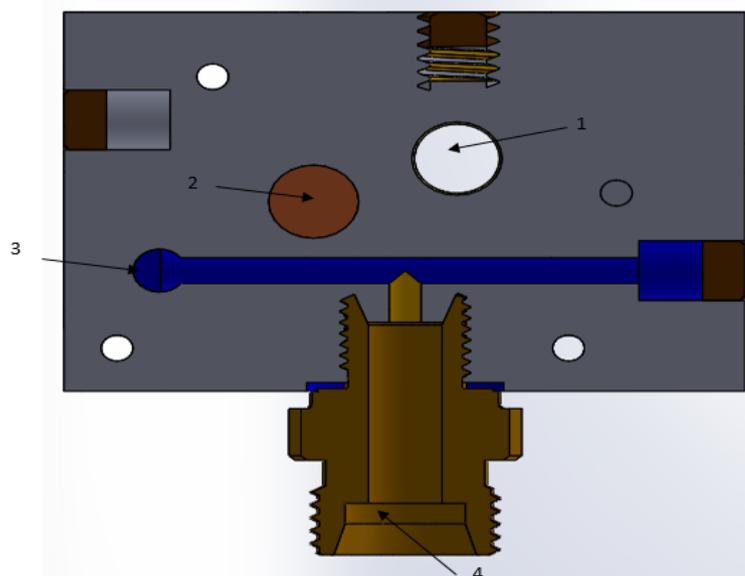
Figura 22: Tampa de saída



Fonte: O autor, 2020

Diferente da tampa de entrada e da válvula solenoide *ON/OFF* ela não possui nenhum carretel que realiza o controle da vazão e da pressão.

Figura 23: Vista em corte da tampa de saída



Fonte: O autor, 2020

Como mostrado na Figura 23 o óleo sai diretamente pelo furo (1) indo para o motor hidráulico. Já o furo (2) é do óleo que vem do duto que alimenta as válvulas

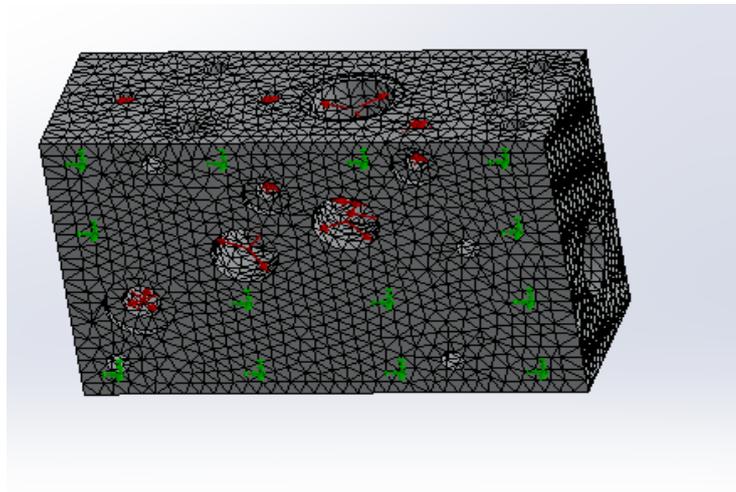
ON/OFF, portanto não possui saída. E por fim o furo indicado por (3) é do óleo excedentes das válvulas saindo pela conexão indicado por (4) e retornando a tanque.

4.7. VERIFICAÇÃO

Para verificar a resistência dos componentes do bloco foi realizado simulações computacionais utilizando o método de elementos finitos para verificar o comportamento simulando condições de trabalho. Para isso foi aplicada uma pressão de 60 bar em todos os dutos simulando assim a pior condição possível de trabalho.

A simulação foi realizada para a verificação da resistência a pressão do corpo da válvula. A simulação foi realizada utilizando o maior refinamento de malha possível usando uma malha tetraédrica. Na simulação foi considerado que o corpo da válvula estaria com as duas faces fixas como mostrado na Figura 24.

Figura 24: Simulação do corpo da válvula

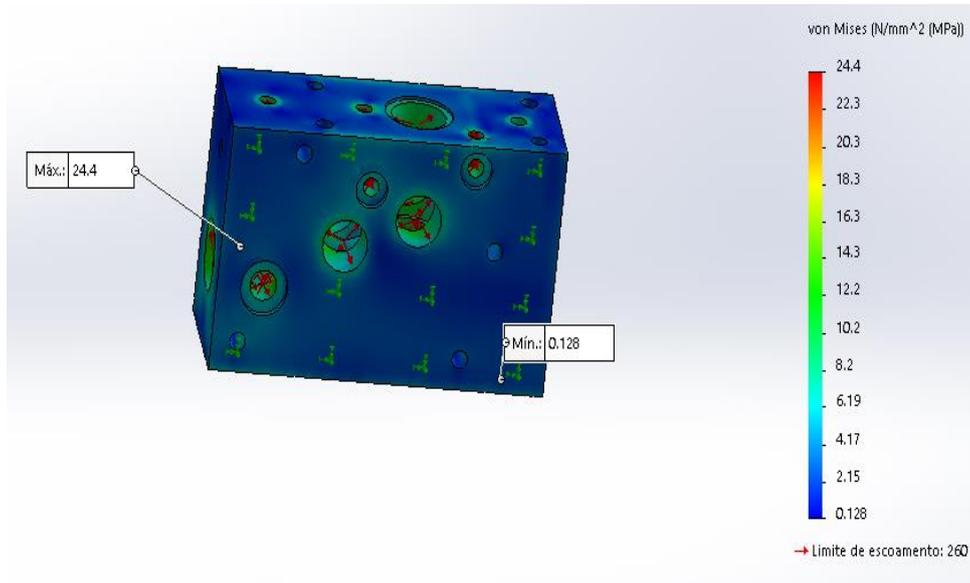


Fonte: O autor, 2020

O software determina tensão a partir do critério de falha de Von Mises utilizada para materiais dúcteis sendo muito utilizada em validações estruturais.

Como mostrada na Figura 25 o corpo da válvula teve uma pressão máxima de 24,4 MPa sendo que o alumínio 6351-T6 possui uma tensão de escoamento de 260 MPa.

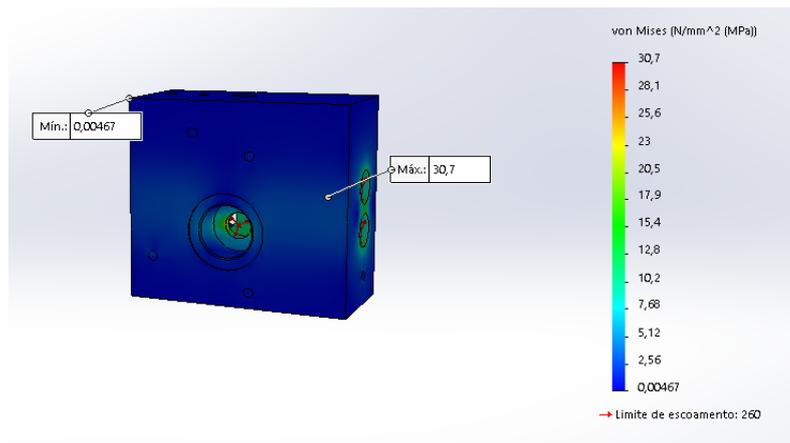
Figura 25: Resultado da simulação do corpo da válvula



Fonte: O autor, 2020

Para realizar a simulação da tampa que compõem a entrada do bloco de válvula foi considerada que ela estaria fixada por sua face posterior. Para realizar a simulação também foi utilizado o maior refinamento de malha possível. A tensão máxima obtida foi de 30,7 MPa como mostrado na Figura 26.

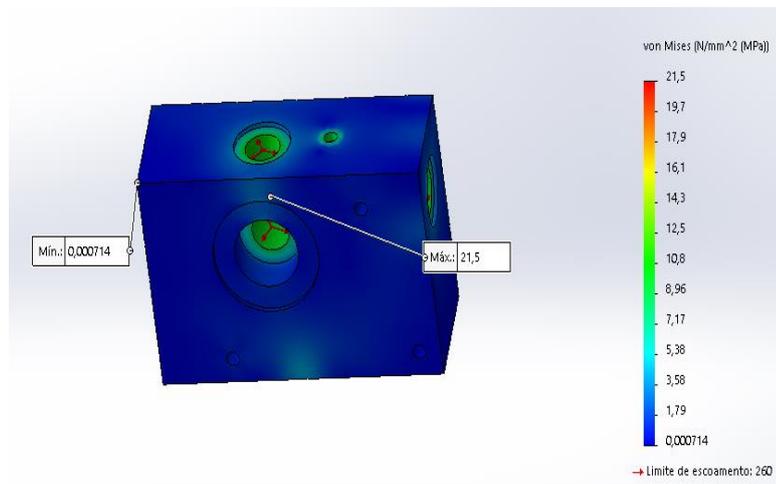
Figura 26: Simulação da tampa de entrada



Fonte: O autor, 2020

Para a tampa que compõe a saída do bloco foi considerada as mesmas condições usadas para a tampa de entrada. A pressão máxima para a tampa de saída foi de 21,5 MPa como mostrado na Figura 27.

Figura 27: Tapa de saída



Fonte: O autor, 2020

Como mostrado nas simulações os componentes validados estão dimensionados para suportar pressões muito acima da de 60 bar. Isso graças ao material determinado para a fabricação dos componentes que possui boas propriedades mecânicas

5. CONSIDERAÇÃO FINAL

O bloco de válvulas hidráulica digital foi desenvolvido seguindo requisitos de cliente e de engenharia para criar uma solução simples e de baixo custo com componentes disponíveis comercialmente.

Utilizando diagrama de Mudge e o QFD foi possível realizar a hierarquização tanto dos requisitos de engenharia quanto aos requisitos de cliente permitindo assim a elaboração do projeto de maneira sistemática permitindo desde o início do projeto focar nos pontos mais importantes do bloco e que conseqüentemente agregariam mais valor.

Após a hierarquização dos requisitos de cliente foi realizado o dimensionamento do bloco de válvulas seguindo o equacionamento proposto pelas revisões bibliográficas. Após isso foi possível realizar o projeto em 3D utilizando o software Solidworks e posteriormente elaborado os desenhos em 2D para fabricação do bloco.

Portanto o foi possível criar uma solução alternativa simples de baixo custo que é capaz de substituir as válvulas proporcionais em sistemas hidráulicos.

REFERÊNCIAS

3NEURON.COM. **Ferramentas de gestão diagrama de Mudge**. Disponível em:

< <https://www.3neuron.com/ferramentas-de-gestao-diagrama-de-mudge/>>

Acesso em: 18 out. 2020.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 3ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

BRUMA. **Válvula solenoide**. s/a. < <https://www.bruma.com.br/blocos-manifolds.php>> Acesso em: 31 out. 2020.

BRUMA. **Válvulas proporcionais**. Disponível em: < <https://www.bruma.com.br/valvulas-proporcionais.php>> Acesso em: 17 jun. 2020.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. São Paulo: Érica, 2012.

GATES DO BRASIL. **Linha hidráulica – Mangueiras, terminais e conexões**. 2018.

Disponível em:

<https://www.gatesbrasil.com.br/upload/catalogos/catalogo_hidraulica_2019_web.pdf

>

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo. Editora Atlas 2017.

GLOBAL HP. **Bombas hidráulicas o que são e como funcionam**. 2017. <

<https://www.globalhp.com.br/bombas-hidraulicas-o-que-sao-e-como-funcionam/>>

Acesso em: 31 out. 2020.

GLOBAL HP. **Conheça os tipos de motores hidráulicos e suas finalidades**. S/A.

Disponível em: <<https://www.globalhp.com.br/conheca-os-tipos-de-motores-hidraulicos-e-suas-finalidades/>

> Acesso em: 15 set. 2020.

HAUDE. **Blocos manifold e a importância para o sistema.** S/A. Disponível em: < <http://www.huade.com.br/blocos-manifolds-e-a-importancia-para-o-sistema/>> Acesso em: 21 ago. 2020.

HENNING. **Leo explica - O que é sistema hidráulico?** 2017. Disponível em: < <http://www.hennings.com.br/noticia/leo-explicao-que-e-sistema-hidraulico/>> Acesso em: 20 jun. 2020.

HYDAC, Brasil. **Sistemas hidráulicos.** S/A Disponível em: < <http://www.hydac.com.br/linha-de-produtos/sistemas-hidraulicos/>> Acesso em: 15 jun. 2020.

HYTECO. **Manifold design consideration.** S/A. Disponível em: < <http://www.hyteco.com.au/Design-Considerations> > Acesso em: 21 jul. 2020.

JEFFERSON. **Sistema hidráulico: o que é?** S/A. Disponível em: <<https://www.jefferson.ind.br/conteudo/sistema-hidraulico-o-que-e.html> > Acesso em: 22 ago. 2020.

JEFFERSON. **Válvula solenoide.** 2019. < <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/valvula-solenoide.html>> Acesso em: 31 out. 2020.

LINSINGEN, Irlan Von. **Fundamentos de sistemas hidráulicos.** 2. ed. Florianópolis: UFSC, 2003

LUBEQUIP EXIMPORT. **Sistemas hidráulicos.** 2017. Disponível em: < <https://eximport.com.br/wp2017/sistemas-hidraulicos/> > Acesso em: 22 ago. 2020.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas.** 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

NUNES, Larissa. **O que é QFD e para que serve a Quality Function Deployment.** Viotto, 2019. Disponível em: < <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/qfd>>
Acesso em: 18 out. 2020.

PALMIERI, Antônio Carlos. **Manual de Hidráulica Básica.** 9. ed. Porto Alegre: Pallotti, 1997.

PARKER. **Fluidos e filtros hidráulicos.** s/a. Disponível em:
<https://www.parker.com/literature/Brazil/M2001_2_P_06.pdf>
Acesso em: 12 out. 2020.

SANTOS, Virgílio Marques Dos. **QFD: o que é e como utilizar essa ferramenta?** FM2S, 2017. Disponível em: < <https://www.fm2s.com.br/qfd/> > Acesso em: 18 out. 2020.

SILVEIRA FILHO, Elmo Souza Dutra da; SANTOS, Bruna Karine dos. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos** . Porto Alegre. Sagah, 2018.

SOLVETRONIC. **Como funciona uma válvula proporcional hidráulica?** 2020. Disponível em: <<http://www.solvetric.com.br/blog/25-hidraulica/17-como-funciona-uma-valvula-proporcional-hidraulica.html>> Acesso em: 17 jun. 2020.

STARRED. **Catálogo brocas.** 2015. Disponível em: < <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/gade/starrettcatalogobrocas.pdf> >
Acesso em: 12 out. 2020.

UFRJ. **Lei de Hooke.** 2010. < https://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/06_Pratica6-Hooke.pdf> Acesso em: 31 out. 2020.

VALMET, **Hidráulica digital,** Finlândia, 2016.

ANEXO A – DIÂMETRO COMERCIAIS DE BROCAS

Nº CAT.	TIPO	TIPO EMBALAGEM	QTD. POR EMBALAGEM	Ø DIÂMETRO (mm)	L (mm) COMPRIMENTO TOTAL	L1 (mm) COMPRIMENTO CANAL
KBAR010	AÇO RÁPIDO	Cartela	1	1,0	34	12
KBAR015			1	1,5	40	18
KBAR020			1	2,0	49	24
KBAR025			1	2,5	57	30
KBAR030			1	3,0	61	33
KBAR035			1	3,5	70	39
KBAR040			1	4,0	75	43
KBAR045			1	4,5	80	47
KBAR050			1	5,0	86	52
KBAR055			1	5,5	93	57
KBAR060			1	6,0	93	57
KBAR065			1	6,5	101	63
KBAR070			1	7,0	109	69
KBAR075			1	7,5	109	69
KBAR080			1	8,0	117	75
KBAR085			1	8,5	117	75
KBAR090			1	9,0	125	81
KBAR095			1	9,5	125	81
KBARI00			1	10,0	133	87
KBARI05			1	10,5	133	87
KBARI10			1	11,0	142	94
KBARI15			1	11,5	142	94
KBARI20			1	12,0	151	101
KBARI25			1	12,5	151	101
KBARI30			1	13,0	151	101
BAR010	AÇO RÁPIDO	Tubo	10	1,0	34	12
BAR015			10	1,5	40	18
BAR020			10	2,0	49	24
BAR025			10	2,5	57	30
BAR030			10	3,0	61	33
BAR035			10	3,5	70	39
BAR040			10	4,0	75	43
BAR045			10	4,5	80	47
BAR050			10	5,0	86	52
BAR055			10	5,5	93	57
BAR060			10	6,0	93	57
BAR065			10	6,5	101	63
BAR070			10	7,0	109	69
BAR075			10	7,5	109	69
BAR080			10	8,0	117	75
BAR085			5	8,5	117	75
BAR090			5	9,0	125	81
BAR095			5	9,5	125	81
BAR100			5	10,0	133	87
BAR105			5	10,5	133	87
BAR110			5	11,0	142	94
BAR115			5	11,5	142	94
BAR120			5	12,0	151	101
BAR125			5	12,5	151	101
BAR130			1	13,0	151	101

Fonte: Starret, 2015, p. 9

ANEXO B – DADOS TÉCNICOS MANGUEIRAS HIDRÁULICAS (1)

G1

Excede SAE 100R1AT / EN 853 1SN



Port

Tubo Interno: Borracha sintética NBR.

Reforço: Um trançado de fios de aço de alta resistência.

Cobertura: Borracha sintética NBR modificada.

Aplicação: Circuitos hidráulicos de média pressão. Atende ou excede aos requisitos da norma SAE 100R1 tipo AT e EN 853 1SN.

Temperatura de Operação:

de -40°C à +100°C para óleo.

Terminais: Prensáveis MegaCrimp® até 1.1/4" e GSP™ para 1.1/2" e 2"

Esp

Tubo Interno: Goma sintética NBR.

Reforzo: Un trenzado de hilos de acero.

Cubierta: Goma sintética NBR modificada.

Aplicación: Líneas hidráulicos de média presión. Atende o excede a los requerimientos de la norma SAE 100R1 tipo AT e EN 853 1SN.

Temperatura de Operación:

de -40°C a +100°C para aceite.

Conexiones: Prensables Mega Crimp® hasta 1.1/4 y GSP™ para 1.1/2 y 2"

Descrições | Descripción	Pol.	mm	Psi	Kg/cm²	Psi	Kg/cm²	mm	Peso
3G1	3/16	11,9	3625	255	14500	1.015	76	0,19
4G1	1/4	13,5	3275	230	13100	917	102	0,24
5G1	5/16	15,2	3125	220	12500	875	114	0,27
6G1	3/8	17,3	2600	183	10400	728	127	0,36
8G1	1/2	20,3	2325	164	9300	651	178	0,43
10G1	5/8	23,6	1900	134	7600	532	203	0,51
12G1	3/4	27,7	1525	107	6100	427	229	0,64
16G1	1	35,6	1275	90	5100	357	305	0,92
20G1	1.1/4	43,4	925	65	3700	259	406	1,37
24G1	1.1/2	49,8	725	51	2900	203	508	1,55
32G1	2	63,8	600	42	2400	168	635	2,20

Fonte: Gates do Brasil, 2019, p. 36

ANEXO C – DADOS TÉCNICOS MANGUEIRAS HIDRÁULICAS (2)

C3H / G3H**SAE 100R3**
Alta temperatura

Port

Tubo Interno: Borracha sintética NBR.**Reforço:** Dois trançados de fios sintéticos.**Cobertura:** Borracha sintética CR.**Aplicação:** Circuitos de média pressão, com óleo hidráulico a base de petróleo, água e soluções anticongelantes. Atende ou excede aos requisitos da norma SAE 100R3.**Temperatura de Operação:**

de -40°C à +135°C em serviços contínuos.

de -40°C à +149°C intermitente até 10% do tempo de operação.

Terminais: Prensáveis MegaCrimp®

Esp

Tubo Interno: Goma sintética NBR.**Refuerzo:** Dos trenzados de hilos sintéticos.**Cubierta:** Goma sintética CR.**Aplicación:** Líneas hidráulicas de aceite de baja presión y alta temperatura, soluciones anticongelantes y agua. Atende o excede a los requerimientos de la norma SAE 100R3.**Temperatura de Operación:**

de -40°C a +135°C en servicios continuos com aceite.

de -40°C a +149°C intermitente hasta 10% del tiempo de operación.

Conexiones: Prensables Mega Crimp®

Descrições | Descripción	Pol ⊖	mm ⊖	Psi ⊖	Kg/cm ² ⊖	Psi ⊖	Kg/cm ² ⊖	mm ⊖	Peso ⊖
4C3H	1/4	14,2	1250	88	5000	350	76	0,17
6C3H	3/8	19,1	1125	80	4500	320	102	0,25
8C3H	1/2	23,9	1000	70	4000	280	127	0,36
12C3H	3/4	31,8	750	53	3000	210	152	0,55
16C3H	1	38,1	565	40	2250	160	203	0,73
20C3H	1.1/4	44,5	375	26	1500	105	254	0,90

Fonte: Gates do Brasil, 2019, p. 34

ANEXO D – PROPRIEDADES DO ALUMÍNIO 6061-T6

Propriedades Mecânicas

Limite de escoamento	Mpa	~260
Limite de resistência à tração	Mpa	~300
Alongamento	%	~10
Dureza	HB	~95

Propriedades Físicas

Densidade	g/cm ³	2,75
Módulo de elasticidade	Gpa	68,7
Calor específico (0-100°C)	(cal/g.°C)	0,21
Coefficiente de expansão linear	(L / °C)	24,0x10 ⁻⁶
Condutividade térmica (0,25°C)	(cal./cm.s.°C)	0,42
Condutividade elétrica	(IACS)%	~40

Fonte: GGD, s/a

ANEXO E – PROPRIEDADES DO ÓLEO AW 68 HLP

Especificações e Aprovações

Mobil Hidráulico AW 68 HLP atende ou excede a seguinte especificação:

DIN 51524-2: 2006-09	X
----------------------	---

Propriedades Típicas

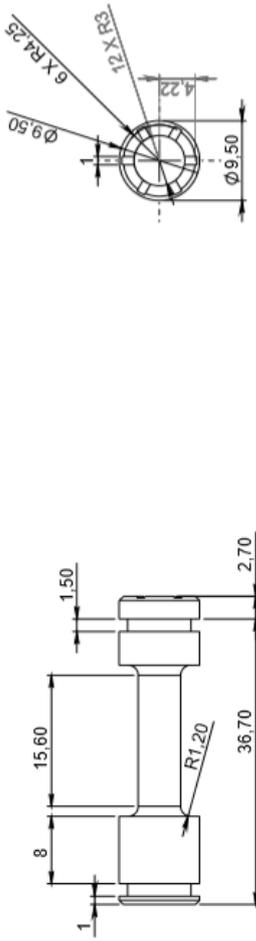
Mobil Hidráulico AW 68 HLP

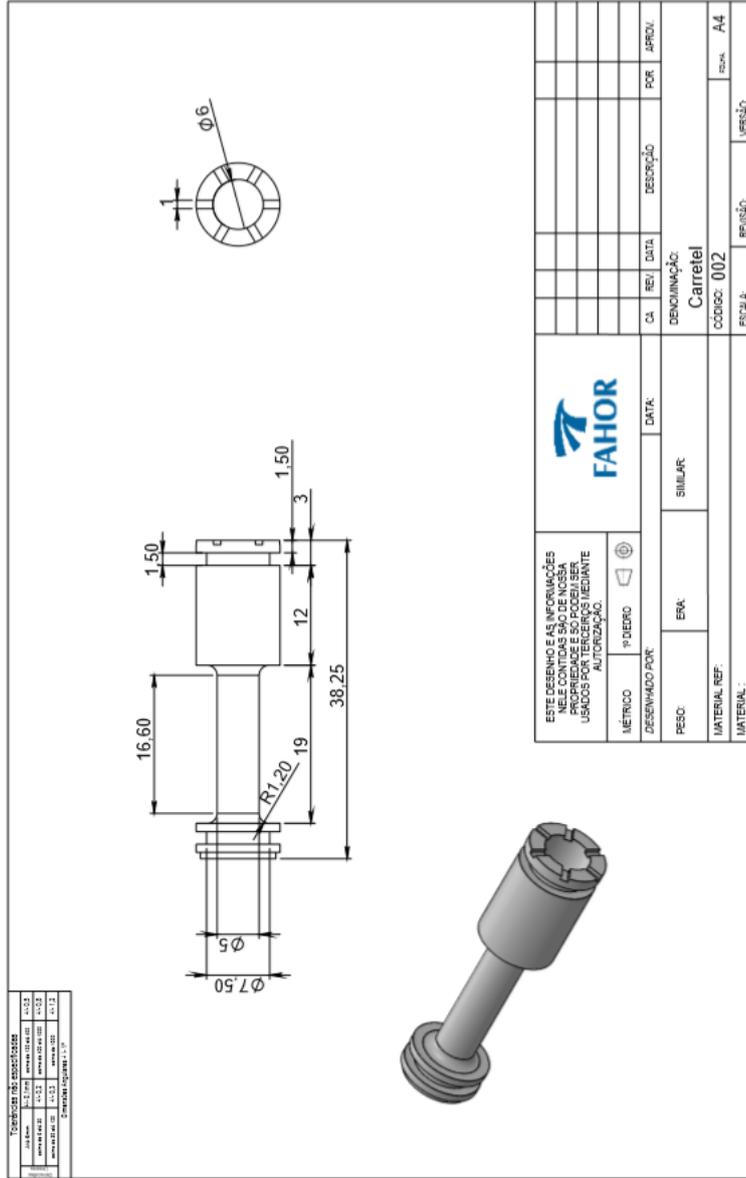
Viscosidade ISO VG	68
Viscosidade, ASTM D 445	
cSt à 40°C	68
cSt à 100°C	8,38
Índice de viscosidade, ASTM D 2270	90
Ponto de fluidez °C, ASTM D 97	-12
Ponto de fulgor °C, ASTM D 92	218
Densidade à 15° C kg/L, ASTM D 1298	0,883
Proteção contra a ferrugem, ASTM D 665B	Aprovado
Corrosão em lâmina de cobre, ASTM D 130	1A
Tempo de demulsibilidade para 3 ml de emulsão a 54°C, min, ASTM 1401	30
Teste de Espuma, Estabilidade/Tendência, Seq. I, ml/ml, ASTM D892	0/100

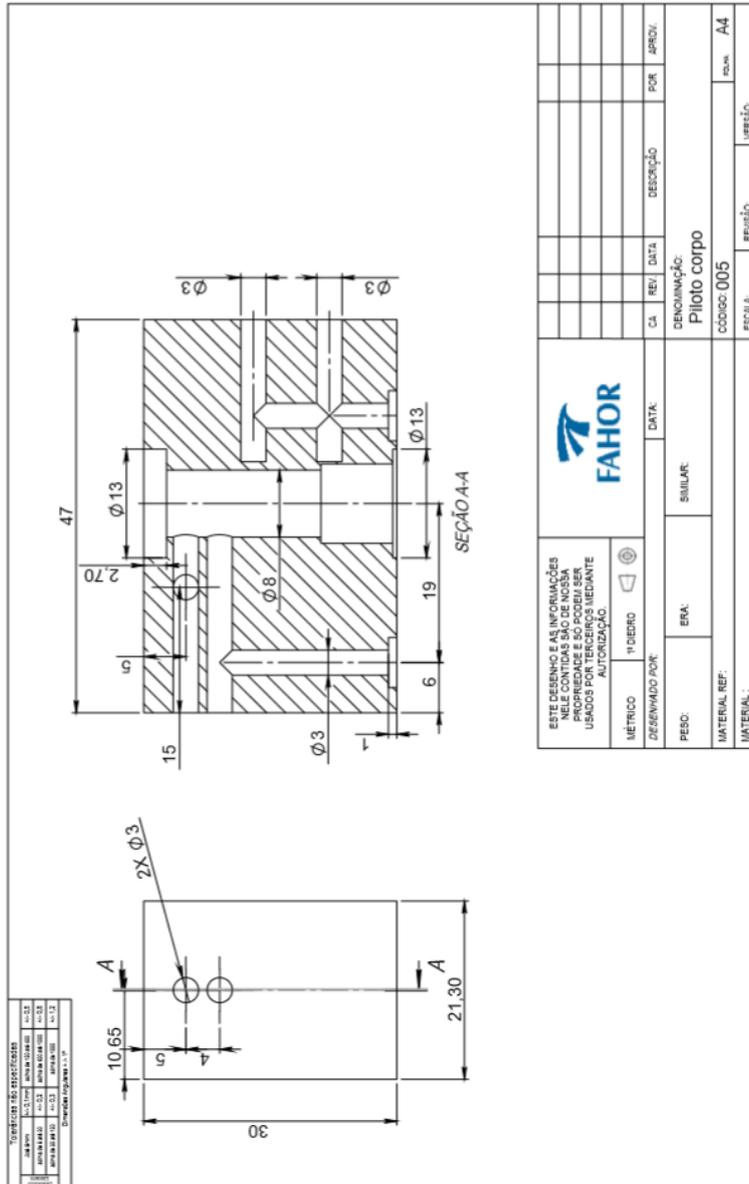
Fonte: Mobil, 2017, p. 2

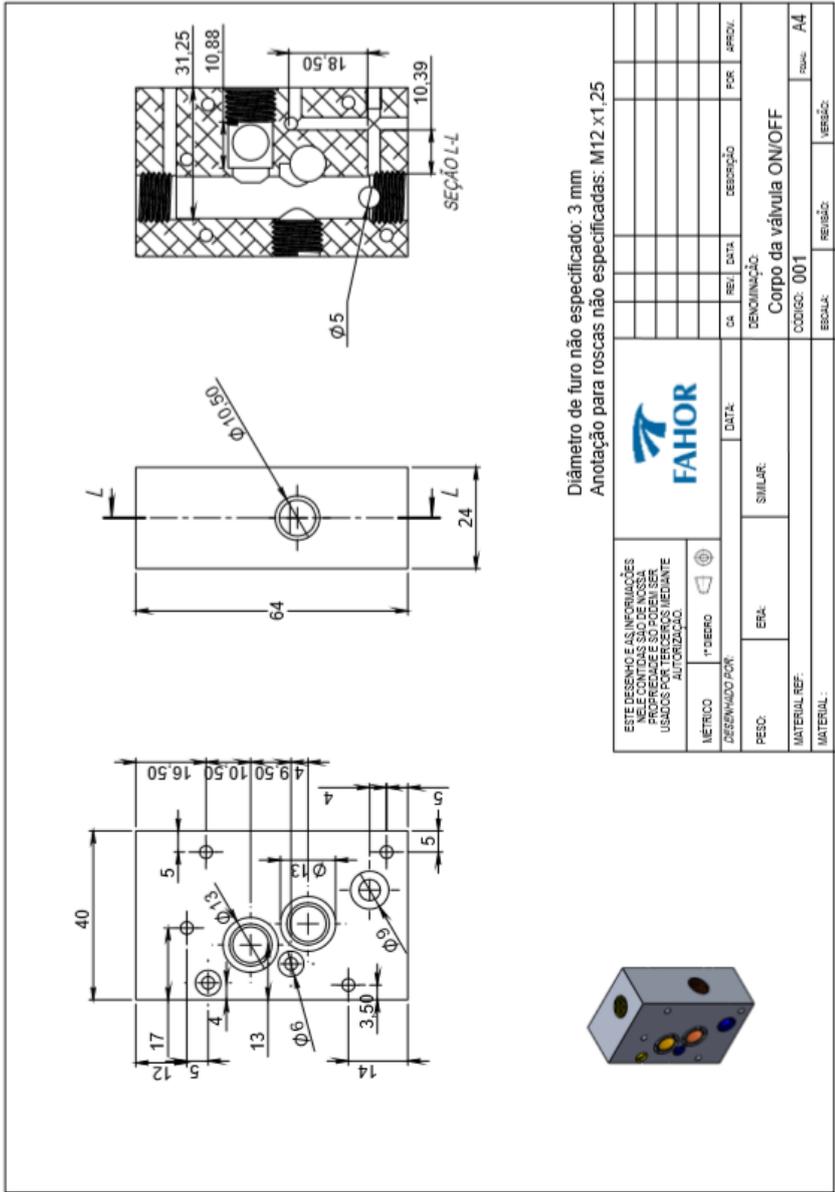
APÊNDICE A

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 8px;"> Nome: _____ Matrícula: _____ Data: _____ Assinatura: _____ Disciplina: _____ </td> </tr> </table>	Nome: _____ Matrícula: _____ Data: _____ Assinatura: _____ Disciplina: _____			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 8px;"> ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E NÃO DEBEM SER USADOS PARA FINS COMERCIAIS SEM AUTORIZAÇÃO. </td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;"> METRICO: <input type="checkbox"/> IMPRINTA: <input type="checkbox"/> </td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;"> DESENHADO POR: _____ DATA: _____ </td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;"> FEBO: _____ ERA: _____ SIMILAR: _____ </td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;"> MATERIAL REF: _____ </td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;"> MATERIAL: _____ </td> </tr> </table>	ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E NÃO DEBEM SER USADOS PARA FINS COMERCIAIS SEM AUTORIZAÇÃO.	METRICO: <input type="checkbox"/> IMPRINTA: <input type="checkbox"/>	DESENHADO POR: _____ DATA: _____	FEBO: _____ ERA: _____ SIMILAR: _____	MATERIAL REF: _____	MATERIAL: _____													
Nome: _____ Matrícula: _____ Data: _____ Assinatura: _____ Disciplina: _____																							
ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E NÃO DEBEM SER USADOS PARA FINS COMERCIAIS SEM AUTORIZAÇÃO.																							
METRICO: <input type="checkbox"/> IMPRINTA: <input type="checkbox"/>																							
DESENHADO POR: _____ DATA: _____																							
FEBO: _____ ERA: _____ SIMILAR: _____																							
MATERIAL REF: _____																							
MATERIAL: _____																							
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">CA</td> <td style="width: 10%;">REV</td> <td style="width: 10%;">DATA</td> <td style="width: 10%;">DESCRIÇÃO</td> <td style="width: 10%;">POR</td> <td style="width: 10%;">APROV.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	CA	REV	DATA	DESCRIÇÃO	POR	APROV.							<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="font-size: 8px;">DENOMINAÇÃO: Tucho furado</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">CÓDIGO: 005</td> <td style="font-size: 8px;">TABELA: A4</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">ESCALA:</td> <td style="font-size: 8px;">REVISÃO:</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;"> </td> <td style="font-size: 8px;"> </td> </tr> </table>	DENOMINAÇÃO: Tucho furado		CÓDIGO: 005	TABELA: A4	ESCALA:	REVISÃO:		
CA	REV	DATA	DESCRIÇÃO	POR	APROV.																		
DENOMINAÇÃO: Tucho furado																							
CÓDIGO: 005	TABELA: A4																						
ESCALA:	REVISÃO:																						

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 8px;"> TITULO: Carretel de Alívio Nº: 004 DATA: 15/12/2012 AUTORIZADO: 15/12/2012 DESenhado por: 15/12/2012 Dimensionado por: 15/12/2012 Dimensionado por: 15/12/2012 </td> </tr> </table>	TITULO: Carretel de Alívio Nº: 004 DATA: 15/12/2012 AUTORIZADO: 15/12/2012 DESenhado por: 15/12/2012 Dimensionado por: 15/12/2012 Dimensionado por: 15/12/2012		<p style="text-align: center;">FAHOR</p> <p style="font-size: 8px; text-align: center;">ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELLE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <tr> <td>METRICO</td> <td>1º DESENHO</td> <td>DATA:</td> <td>CA:</td> <td>REV.:</td> <td>DATA:</td> <td>DESCRIÇÃO:</td> <td>POR:</td> <td>APROV.:</td> </tr> <tr> <td colspan="3">DESENHADO POR:</td> <td colspan="3">DENOMINAÇÃO:</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="3">PESO:</td> <td colspan="3">SIMILAR:</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td colspan="3">MATERIAL REF.:</td> <td colspan="3">CÓDIGO:</td> <td colspan="3">FORMA:</td> </tr> <tr> <td colspan="3">MATERIAL:</td> <td colspan="3">ESCALA:</td> <td colspan="3">REVISÃO:</td> </tr> </table>	METRICO	1º DESENHO	DATA:	CA:	REV.:	DATA:	DESCRIÇÃO:	POR:	APROV.:	DESENHADO POR:			DENOMINAÇÃO:						PESO:			SIMILAR:						MATERIAL REF.:			CÓDIGO:			FORMA:			MATERIAL:			ESCALA:			REVISÃO:		
TITULO: Carretel de Alívio Nº: 004 DATA: 15/12/2012 AUTORIZADO: 15/12/2012 DESenhado por: 15/12/2012 Dimensionado por: 15/12/2012 Dimensionado por: 15/12/2012																																																
METRICO	1º DESENHO	DATA:	CA:	REV.:	DATA:	DESCRIÇÃO:	POR:	APROV.:																																								
DESENHADO POR:			DENOMINAÇÃO:																																													
PESO:			SIMILAR:																																													
MATERIAL REF.:			CÓDIGO:			FORMA:																																										
MATERIAL:			ESCALA:			REVISÃO:																																										
	<p>Chanfros não especificados: 1 x 45°</p>																																															







Diâmetro de furo não especificado: 3 mm
 Anotação para roscas não especificadas: M12 x1,25

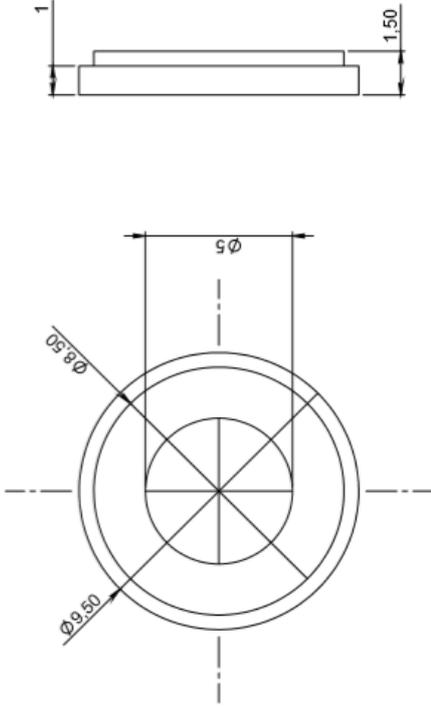
<p>ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NÓSSA PROPRIEDADE E DEVEM SER USADOS APENAS PARA OS FINS AUTORIZADOS.</p>				CA	REV	DATA	DESCRIÇÃO	FOR	APROV.
METRICO	1° DEBIDO								
DESENHADO POR:		DATA:							
PESO:	ERA:	SILULAR:		DENOMINAÇÃO: Corpo da válvula ON/OFF					
MATERIAL REF:				CÓDIGO: 001		REVISÃO:		FOLHA: A4	
MATERIAL:				REVISÃO:		REVISÃO:			

ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SO PODEM SER USADOS PARA FINS DE AUTORIZADOS.		METRICO <input type="checkbox"/> 1" X 1" <input type="checkbox"/> BERGO <input type="checkbox"/>	DATA: _____
DESENHADO POR: _____		ERL: _____	SIMILAR: _____
PESO: _____		DENOMINAÇÃO: Tampa limitadora de vazão válvula 2	
MATERIAL REF: _____		CÓDIGO: 0011	VERSÃO: A4
MATERIAL: _____		RESOLUÇÃO: _____	REVISÃO: _____

Tabela de especificações			
Código	Descrição	Quantidade	Unidade
0011	Tampa limitadora de vazão	1	peça
0012	...	...	...
0013	...	...	...
0014	...	...	...
0015	...	...	...
0016	...	...	...
0017	...	...	...
0018	...	...	...
0019	...	...	...
0020	...	...	...

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 8px;">EMPRESA: FAHOR</td> <td style="font-size: 8px;">PROJETO: 0012</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">DATA: 11/02/2014</td> <td style="font-size: 8px;">REVIZÃO: 01</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">AUTOR: J. S. S.</td> <td style="font-size: 8px;">APROVADO: J. S. S.</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px;">REVISOR: J. S. S.</td> <td style="font-size: 8px;">VERBÁZ: J. S. S.</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="font-size: 8px;">EMPRESA: FAHOR S.A.</td> </tr> </table>	EMPRESA: FAHOR	PROJETO: 0012	DATA: 11/02/2014	REVIZÃO: 01	AUTOR: J. S. S.	APROVADO: J. S. S.	REVISOR: J. S. S.	VERBÁZ: J. S. S.	EMPRESA: FAHOR S.A.			<p style="font-size: 10px; text-align: center;">FAHOR</p> <p style="font-size: 8px;">ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SÓ PODEM SER USADOS POR TERCEIROS MEDIANTE AUTORIZAÇÃO.</p> <p style="font-size: 8px;">MÉTRICO 1º DEBIDO</p> <p style="font-size: 8px;">DESENHADO POR: DATA:</p> <p style="font-size: 8px;">PESO: ERA: SIMILAR:</p> <p style="font-size: 8px;">MATERIAL REF: CÓDIGO: 0012</p> <p style="font-size: 8px;">MATERIAL: BEBOLA: REVISÃO: VERBÁZ: FORN: A4</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="font-size: 8px;">CA</th> <th style="font-size: 8px;">REV.</th> <th style="font-size: 8px;">DATA</th> <th style="font-size: 8px;">DESCRIÇÃO</th> <th style="font-size: 8px;">POR</th> <th style="font-size: 8px;">APROV.</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	CA	REV.	DATA	DESCRIÇÃO	POR	APROV.																								
EMPRESA: FAHOR	PROJETO: 0012																																										
DATA: 11/02/2014	REVIZÃO: 01																																										
AUTOR: J. S. S.	APROVADO: J. S. S.																																										
REVISOR: J. S. S.	VERBÁZ: J. S. S.																																										
EMPRESA: FAHOR S.A.																																											
CA	REV.	DATA	DESCRIÇÃO	POR	APROV.																																						

DENOMINAÇÃO:
Tampa limitadora de vazão válvula 3

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">NOMENCLATURA DE IDENTIFICAÇÃO</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%;">CÓDIGO</td> <td style="width: 50%;">1-02-2</td> </tr> <tr> <td>IDENTIFICAÇÃO</td> <td>1-02-2</td> </tr> <tr> <td>REVISÃO</td> <td>1-02-2</td> </tr> <tr> <td>DATA</td> <td>1-02-2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">EMPRESA RESPONSÁVEL</td> </tr> </table>	NOMENCLATURA DE IDENTIFICAÇÃO		CÓDIGO	1-02-2	IDENTIFICAÇÃO	1-02-2	REVISÃO	1-02-2	DATA	1-02-2	EMPRESA RESPONSÁVEL																					
NOMENCLATURA DE IDENTIFICAÇÃO																																
CÓDIGO	1-02-2																															
IDENTIFICAÇÃO	1-02-2																															
REVISÃO	1-02-2																															
DATA	1-02-2																															
EMPRESA RESPONSÁVEL																																
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CI</td> <td>REI</td> <td>DATA</td> <td>DESCRIÇÃO</td> <td>FOR</td> <td>APROV.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	CI	REI	DATA	DESCRIÇÃO	FOR	APROV.																								
CI	REI	DATA	DESCRIÇÃO	FOR	APROV.																											
<p>ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SO PODEM SER USADOS POR NÓS SEM A AUTORIZAÇÃO PRÉVIA.</p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>METRICO</td> <td>1° DEGRÃO</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>DESENHADO POR</td> <td> </td> <td>DATA</td> </tr> <tr> <td>FISCO</td> <td>ERA</td> <td>SIMILAR</td> </tr> <tr> <td>MATERIAL REF.</td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td>MATERIAL</td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	METRICO	1° DEGRÃO		DESENHADO POR		DATA	FISCO	ERA	SIMILAR	MATERIAL REF.			MATERIAL																	
METRICO	1° DEGRÃO																															
DESENHADO POR		DATA																														
FISCO	ERA	SIMILAR																														
MATERIAL REF.																																
MATERIAL																																
<p>DENOMINAÇÃO: Tampa limitadora de vazão válvula 5</p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>CODIGO</td> <td>0014</td> </tr> <tr> <td>REVISÃO</td> <td> </td> </tr> <tr> <td>FORMA</td> <td>A4</td> </tr> </table>	CODIGO	0014	REVISÃO		FORMA	A4																								
CODIGO	0014																															
REVISÃO																																
FORMA	A4																															

