

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
SILVIO DE PAULA BORGES

BLINDAGEM DE REDUTORES: prototipagem rápida

Varginha
2018

SILVIO DE PAULA BORGES

BLINDAGEM DE REDUTORES: prototipagem rápida

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina de TCC II do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, orientado pelo Prof. Jonathan Oliveira Nery.

Varginha

2018

SILVIO DE PAULA BORGES

BLINDAGEM DE REDUTORES: PROTOTIPAGEM RAPIDA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico pela banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

RESUMO

Este trabalho demonstra o quanto à prototipagem rápida traz de benefícios, para indústria através da criação de protótipos. Tal abordagem se comprova com o estudo de caso, do desenvolvimento de um protótipo funcional, com o objetivo de complementar ou substituir os respiros convencionais de redutores. Este respiro projetado e prototipado tem a função de blindar um redutor, garantindo uma proteção para o óleo e os componentes internos, tendo em vista que a demanda existe e a solução não é facilmente encontrada no mercado. Tal escopo foi alcançado, mediante a aplicação de técnicas de prototipagem digital com softwares poderosos e prototipagem rápida utilizando uma impressora 3d, construindo um protótipo funcional, que possibilita a uma fácil instalação em um redutor melhorando a eficiência dos respiros convencionais.

Palavras-chave: Prototipagem Rápida. Indústria. Protótipos. Redutores. Respiros. Prototipagem Digital. Óleo. Mercado. Softwares. Impressora 3D.

ABSTRACT

This work demonstrates how much rapid prototyping brings benefits to industry through the creation of prototypes. This approach is evidenced by the case study of the development of a functional prototype, with the objective of supplementing or replacing the conventional breather of gearboxes. This designed and prototyped breather has the function of shielding a gearbox, ensuring a protection for the oil and the internal components, since demand exists and the solution is not easily found in the market. Such scope has been achieved through the application of digital prototyping techniques with powerful softwares and rapid prototyping using a 3d printer, for build a functional prototype, which allows an easy installation in a gearbox improving the efficiency of the breather.

Keywords: Rapid Prototyping. Industry. Prototypes. Reducers. Breathing. Digital Prototyping. Oil. Marketplace. Software. 3d printer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões redutor weg cestari tamanho 10.....	14
Figura 2 - Função do plugue de respiro em um redutor	16
Figura 3 - Instalação do plugue de respiro	16
Figura 4 - Instalação incorreta do plugue de respiro	17
Figura 5 - Esboços partículas de desgaste	21
Figura 6 - Fluxo de ar passando pela sílica em gel	22
Figura 7 - Fases do projeto de impressão 3D	23
Figura 8 - FDM (Fused Deposition Modeling)	24
Figura 9 - Impressora Sethi 3D	25
Figura 10 - Primeiro protótipo digital	30
Figura 11 - Impressão 3D para teste de escala e tolerância 3D	31
Figura 12 - Teste material translucido	32
Figura 13 - Protótipo digital	33
Figura 14 - Protótipo digital Detalhes	34
Figura 15 - Corpo compartimento Inferior	36
Figura 16 - Fluxo ar corpo	36
Figura 17 - Disco suporte sílica	37
Figura 18 - Suporte diafragma	38
Figura 19 - Fixação diafragma	39
Figura 20 - Tampa fechamento superior	39
Figura 21 - Barras roscadas e elementos de fixação	41
Figura 22 - Fixadores	41
Figura 23 - Fixação substituição respiro	42
Figura 24 - Bocal Montagem inseparável	42
Figura 25 - Impressão bocal inseparável	43
Figura 26 - Sifão fixador	44
Figura 27 - Fixação complemento respiro.....	45
Figura 28 - Fixador especial para simulações	46
Figura 29 - Montagem câmara interior	47
Figura 30 - Abastecimento sílica e montagem diafragma	48
Figura 31 - Fase final de montagem	49
Figura 32 - Montagem espaçadores tampa	50

Figura 33 - Primeira simulação	52
Figura 34 - Imagem com câmera térmica	53
Figura 35 - Temperatura máxima alcançada na simulação	54
Figura 36 - Dispositivo e fixador desmontados	56
Figura 37 - Temperatura máxima segunda simulação	57
Figura 38 - Terceira simulação	60
Figura 39 - Funcionamento diafragma	61
Figura 40 - Saturação sílica	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Redutores de velocidade.....	11
2.2 Temperaturas de operação.....	12
2.3 Cálculo pressão e expansão volumétricas.....	13
2.4 Respiros	16
2.5 Óleo lubrificante	17
2.6 Partículas de desgaste	18
2.7 Umidade e água	19
2.8 Ferrografia	20
2.9 Tecnologias de proteção e blindagem	21
2.10 Como funcionam os respiradores dessecantes	21
3 PROTOTIPAGEM RÁPIDA	23
3.1 Fused deposition modeling (FDM)	23
3.2 Máquina sethi 3D AIP 1,75	24
3.3 Matéria prima para impressão 3D	25
3.4 Softwares prototipagem rápida	26
3.4.1 Autodesk Inventor	26
3.4.2 Repetier host	26
3.4.3 Fatiador cura engine	27
4 PROJETO E PROTÓTIPO.....	28
4.1 Testes de escala e tolerância dimensional.....	30
4.2 Teste materiais translúcidos impressão 3D	32
4.3 Protótipo dispositivo	33
4.3.1 Corpo compartimento Inferior	35
4.3.2 Disco suporte Sílica	37
4.3.3 Suporte conjunto diafragma	38
4.3.4 Tampa câmara superior	39
4.3.5 Diafragma	40
4.3.6 e 4.3.7 tubo acrílico	40
4.3.8 Sílica azul.....	40
4.3.9 Barras roscadas e elementos de fixação	40
4.5 Fixadores Dispositivo Redutor	41
4.5.1 Fixação para substituição do respiro convencional.....	42
4.5.2 Fixação para complementação do respiro convencional	44
5 MONTAGEM PROTÓTIPO FÍSICO	45
5.1 Fixador para simulação	46
5.2 Montagem protótipo físico fase um	46
5.3 Montagem protótipo físico fase dois	48
5.4. Montagem protótipo físico fase três	49

6 SIMULAÇÕES E RESULTADOS	51
6.1 Primeira simulação	52
6.2 Segunda simulação	56
6.3 Terceira simulação	60
6.4 Desempenho do protótipo	62
6.4.1 Pontos positivos	62
6.4.2 Pontos negativos	62
7 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

Os redutores são um recurso da engenharia empregado em diversas aplicações da indústria em especial as que demandam elevado torque, são máquinas que merecem atenção, pois representam um grande investimento em uma empresa. Quando estão em operação, o óleo que lubrifica suas engrenagens tende a esquentar, essa variação de temperatura acarreta em uma diferença de pressão, por esse motivo, são equipados com um componente chamado plugue de respiro que funcionam como um pulmão equalizando a pressão com o ambiente externo.

É comum que um redutor seja fornecido pelo fabricante com um simples bujão para ventilação e respiro, todavia em alguns seguimentos esses plugues não são suficientes para manter a contaminação nos níveis adequados e necessários para evitar danos aos componentes internos e mesmo sendo projetados para proteção, permitem a contaminação com partículas de poeira e umidade. O próprio entupimento dos respiros devido à instalação dos redutores em ambientes sujos, podem tornar o plugue de respiro disfuncional.

Tendo em vista que contaminantes contribuem para falhas e desgaste de componentes e a descontaminação do óleo é um procedimento muito caro, a instalação de respiros mais eficientes é uma boa e viável opção. A fim de contribuir com esse assunto, foi desenvolvido o protótipo funcional de um dispositivo utilizando prototipagem digital e prototipagem rápida capaz de substituir ou complementar os respiros convencionais usados em redutores.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta contribuições teóricas e técnicas que foram utilizadas como base para que se possa compreender o que é um redutor, o que são respiros, como funcionam e as fragilidades, problemas causados nos equipamentos quando os respiros não são suficientes para a ocasião, à necessidade de se pensar em uma sugestão mais eficiente de proteção para redutores, para conhecimento da tecnologia de impressão 3D com seus softwares envolvidos.

Usuários de redutores de velocidade, por um longo tempo não deram a atenção necessária a seus equipamentos que por muitas vezes, operam com um alto grau de contaminação em sua caixa de óleo. Até hoje laboratórios e indústrias, não entendem que estas contaminações são anormais e nem sequer conhecem maneiras de medir e controlar essas contaminações, colocando em risco seus equipamentos. Dentre as diversas maneiras de contaminação, o respiro pode ser em muitas vezes o responsável, onde o qual pode permitir a entrada de partículas ou umidade na caixa, acarretando em danos aos componentes internos. Estima-se que pode custar cerca de dez vezes mais remover a contaminação do lubrificante do que implantar ações que evitem que o contaminante entre para o equipamento (SPURLOCK, 2014).

2.1 Redutores de velocidade

Antes dos redutores de velocidade, no período da revolução industrial, as empresas utilizavam máquinas a vapor como fonte de energia mecânica, e as transmitiam por meio de correias para diversas máquinas. Nesse período, a energia elétrica ainda não era acessível e as máquinas eram ineficientes.

Com a invenção do motor elétrico, houve a necessidade de ganhar potência e torque em baixas velocidades, pois os motores elétricos só atingiam seu rendimento aceitável em velocidades altas que não eram as velocidades ideais de trabalho para as máquinas.

Máquinas acionadas por engrenagens no começo do século mudaram a face das fábricas para sempre. Isto se deve ao fato que no fim dos anos de 1.700 James Watt aperfeiçoou o seu maravilhoso motor a vapor, a revolução industrial foi movida a vapor. Um poderoso e enorme motor podia acionar uma fábrica inteira, transmitindo potência a dezena de máquinas por meio de correias, o sistema era ineficiente e trabalhoso, mas melhorias chegaram por volta de 1890 quando a energia elétrica chegou ao chão de fábrica. Os motores elétricos criaram um novo problema. Os motores elétricos standard tinham um rendimento aceitável somente em rotações

bem acima das necessárias nas máquinas acionadas. Era necessário achar um intermediário mecânico, um dispositivo que pudesse transformara potência do motor para a velocidade pratica da máquina.

Este dispositivo era o redutor de velocidade. Um redutor bem feito podia reduzir as revoluções por minuto de um motor em até revoluções por hora de algumas máquinas. O redutor era a ponte que ligava o motor a máquina. Transmitindo potência em uma infinidade de reduções, junto com o motor elétrico criaram uma silenciosa revolução industrial. (GEREMIA REDUTORES, 2018, p.1).

O redutor de velocidade é um recurso da engenharia usado para diversas aplicações da indústria, principalmente alternativas que demandam elevado torque e baixas velocidades.

Um redutor consiste num conjunto de eixos com engrenagens cilíndricas de dentes retos, helicoidais, cônicas ou somente com uma coroa com parafuso sem fim, que tem como função reduzir a velocidade de rotação do sistema de acionamento do equipamento. Conseqüentemente com a redução de velocidade tem-se um aumento significativo no torque transmitido. (ANDRADE, 2011, p.5).

Redutor de velocidade pode ser acionado através de motor elétrico, turbina a vapor, motor de combustão interna e motor hidráulico. Os redutores industriais de fabricação em série abrangem basicamente três tipos, o redutor coroa e rosca sem fim, redutor de engrenagem de dentes helicoidais, redutor epicicloidais (planetários), redutores Coroas e rosca sem fim. (ANDRADE, 2011, p. 9).

A parte fundamental de um redutor são as engrenagens, através delas reduz-se a velocidade de rotação da transmissão, pois o contato entre engrenagens de menor e maior número de dentes possibilita a redução desejada. (ANDRADE, 2011, p.9).

2.2 Temperatura de trabalho dos redutores

A temperatura de trabalho do óleo de um redutor não é constante, ela varia de acordo com a atmosfera externa e tendem a aumentar quando o equipamento se encontra em trabalho e se estabilizando em uma determinada temperatura, geralmente próxima a 100°C. Será conhecido os valores possíveis e aceitáveis na sequência.

Diz-se que um redutor tem capacidade térmica suficiente quando após duas horas de trabalho a temperatura do óleo se estabiliza entre 85°C máximo sem carga e 90°C máximos com carga. Essa temperatura não é prejudicial aos redutores. Esta temperatura máxima poderá ter que ser menor de acordo com certas aplicações e conforme exigência do cliente. Em alguns casos quando o redutor vai trabalhar em lugares onde há circulação de pessoas provocam incômodos. A temperatura de 60°C é excelente para o redutor porem a pele humana não resiste ao toque nessa sensação térmica. Existem clientes que não aceitam que seus redutores ultrapassem a 70°C a temperatura externa. Isto torna o redutor mais caro. (PASSOS, 2016, p.02).

Segundo o catalogo de redutores Helibrax (WEG, 2018) Temperatura de operação é a temperatura no interior do redutor após o período aproximado de 1 hora de trabalho a plena

carga. A temperatura de operação normal para redutores Helimax é mínima de 18°C e máxima de 90°C (temperatura do óleo). A temperatura externa da carcaça é de aproximadamente 15°C menor que a temperatura de operação.

2.3 Cálculos pressão e expansão volumétrica

Foi visto anteriormente que a temperatura de trabalho do óleo de um redutor não é constante, a equação dos gases perfeitos mostra o comportamento do volume e da pressão quando há alteração na temperatura (BRUNETTI, 2005).

$$\frac{P_0 \times V_0}{T_0} = \frac{P_1 \times V_1}{T_1} \quad (1)$$

$$\Delta V = V_0 \times \gamma_{\text{óleo}} \times \Delta T \quad (2)$$

Onde:

P = pressão

V = volume

T = Temperatura

$$P_1 = \frac{V_a \times P_0}{T_0} \times \frac{T_1}{[V_a - V_{ol} \times \gamma_{\text{óleo}} \times (T_1 - T_0)]} \quad (3)$$

Onde:

V_{ol} = Volume interno do redutor preenchido com óleo.

V_a = Volume interno preenchido com ar.

T = Temperatura

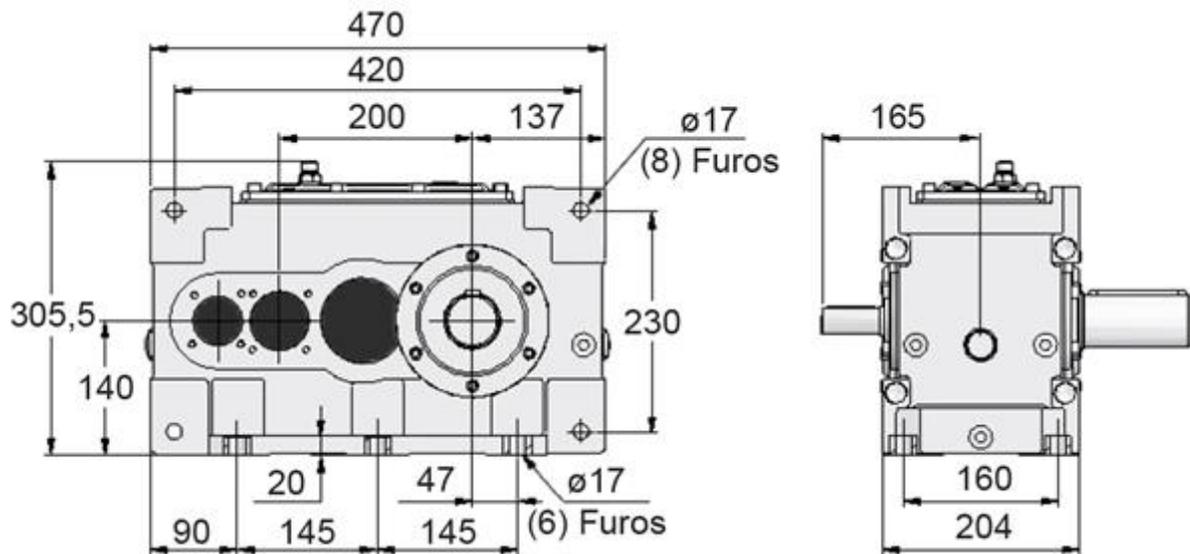
$\gamma_{\text{óleo}}$ = Peso específico

Usando dados fornecidos pelo catalogo de redutores helimax (WEG, 2018) considerando um redutor tamanho 10, de eixos paralelos, com as medidas externas de 305,5 x 470 x 204 (Verificar figura 1) é possível calcular o volume do redutor, para efeito de cálculo foi considerado o volume interno 80% do volume externo. Temperaturas de trabalho de 25°C a 90°C. O catalogo também orienta o uso de 7 litros de óleo podendo ser sintético ou mineral, neste cálculo foi utilizado o óleo sintético.

$$\gamma_{\text{óleo mineral}} = 0,00064 \text{ K}^{-1}; \quad \gamma_{\text{óleo sintético}} = 0,0008 \text{ K}^{-1}$$

Com os dados levantados, foi feito um cálculo da diferença de pressão da caixa do redutor em suas temperaturas de trabalho para dimensionar o correto volume que o protótipo deve prever, tendo em vista que esta variação volumétrica é a quantidade de ar deslocado.

Figura 1: Dimensões redutor weg cestari tamanho 10



Fonte: (WEG, 2018).

a) Volume Total.

$$V_{\text{total}} = 0,3055 \times 0,47 \times 0,204 = 0,02929 \text{ m}^3$$

b) Volume Interno.

$$V_{\text{interno}} = 80\% \times 0,293 = 0,02343 \text{ m}^3$$

c) Volume Óleo.

$$V_{\text{óleo}} = 7 \text{ litros} = 0,007 \text{ m}^3$$

d) Volume Ar.

$$V_{\text{ar}} = V_{\text{interno}} - V_{\text{óleo}} = 0,02343 - 0,007 = 0,01643 \text{ m}^3$$

e) Temperaturas em Kelvin.

$$T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$T1 = 90 + 273 = 363K$$

f) Pressão atmosférica.

$$P0 = 1000hPa = 0,1 \text{ MPa}$$

g) Cálculo da pressão considerando que o respiro do redutor esteja obstruído.

$$P1 = \frac{0,01643 \times 0,1}{298} \times \frac{363}{[0,01643 - 0,007 \times 0,0008 \times (363 - 298)]}$$

$$P1 = 0,1246 \text{ MPa}$$

h) Cálculo do volume de ar expandido, considerando uma expansão isobárica é de 3,58 litros.

$$\frac{0,01643}{298} = \frac{V1}{363}$$

$$V1 = 0,0201616 \text{ m}^3$$

$$\Delta V_{ar} = 0,00358 \text{ m}^3$$

i) Cálculo do volume de óleo expandido considerando que o mesmo seja sintético.

$$\Delta V_{\text{óleo}} = 0,007 \times 0,0008 \times (363 - 298)$$

$$\Delta V_{\text{óleo}} = 0,000364 \text{ m}^3$$

j) Cálculo do volume total deslocado para o respiro.

$$\Delta V_{total} = \Delta V_{\text{óleo}} + \Delta V_{ar}$$

$$\Delta V_{total} = 0,000364 + 0,00358 = 0,003948 \text{ m}^3 = 3,948 \text{ litros}$$

2.4 Respiros

Os bujões de respiros são componentes produzidos de metais como cobre e latão, alguns fabricantes fornecem dois bujões para seus clientes, um bujão tem a função de evitar vazamento de lubrificante durante o transporte e o outro bujão, com respiro, para ser substituído antes do início de operação.

Um bujão de respiro é um dispositivo vital para redutores, pois permite a caixa de engrenagens a equalização da atmosfera interna e externa (SEW, 2011).

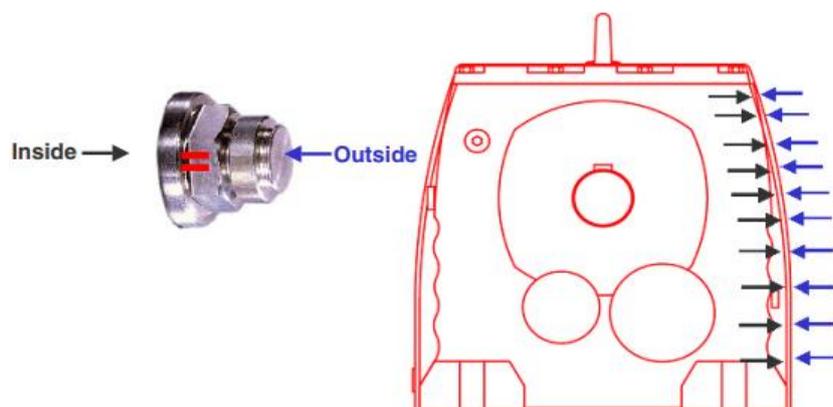
Figura 2: Função do plugue de respiro em um redutor



Fonte: (SEW, 2011).

Alguns bujões tem a dupla função de proteger o vazamento do óleo durante o transporte e também são bujões para respiração, geralmente possuem um ilhó de borracha de fácil remoção deve ser retirado dos respiros antes dos redutores serem operados (SEW, 2011).

Figura 3: Instalação do plugue de respiro



Fonte: (SEW, 2011).

Treinamento de manutenção (SEW, 2011) mostra os resultados de uma instalação incorreta, que são dentre eles o superaquecimento, a perda de lubrificação e desalinhamento das vedações e tampas de fechamento.

Figura 4: Instalação incorreta do plugue de respiro



Fonte: (SEW, 2011).

Os respiros, como já foi visto anteriormente, permite que o ar se expanda durante a operação e se contraia durante a não operação, essa equalização também controla a temperatura interna, pois o aumento da mesma também pode acarretar problemas.

Respiradores tem uma função importante para qualquer redutor, eles permitem que o calor escape e que o ar de resfriamento entre no sistema, evitando problemas desnecessários de superaquecimento. Redutores que enfrentam problemas de superaquecimento terão outros problemas, como um aumento na viscosidade, pois uma viscosidade mais alta causará desgaste acelerado ao perder sua capacidade de lubrificar as engrenagens internas, eixos e rolamentos (TECHENOMICS, 2010).

2.5 Óleo lubrificante

Os lubrificantes são essenciais para vida útil de componentes que se atritam ou sofrem fricção, pois criam uma película protetora que impede o desgaste, a oxidação, atuam também como refrigerantes, etc. “[...] quando ocorre um movimento relativo entre superfícies, é normalmente desejável minimizar a fricção e o desgaste. Qualquer substancia interposta que reduz a fricção e desgaste é um lubrificante” (CYRINO, 2015, p1).

Lubrificantes líquidos são caracterizados pela viscosidade, mas outras propriedades também são importantes. Podem ser subdivididos em: óleos minerais puros, graxos, compostos, aditivados e sintéticos.

Os óleos minerais puros são provenientes da destilação do petróleo. Os óleos graxos podem ser de origem animal ou vegetal.

Os óleos compostos são constituídos de misturas de óleos minerais e graxos. A percentagem de óleo graxo é pequena, variando de acordo com a finalidade do óleo. Os óleos graxos conferem aos óleos minerais propriedades de emulsibilidade, oleosidade e extrema pressão.

Os óleos aditivados são óleos minerais puros, aos quais foram adicionadas substâncias comumente chamadas de aditivos, com o fim de reforçar ou acrescentar determinadas propriedades.

Os óleos sintéticos são provenientes da indústria petroquímica. São os melhores lubrificantes, mas são também os de custo mais elevado. Devido ao seu custo, seu uso é limitado aos locais onde óleos convencionais não podem ser utilizados. (CYRINO, 2015, p1).

2.6 Partículas de desgaste

A contaminação é um dos maiores causadores de falhas em equipamentos hidráulicos (DESCASE, 2014). Na indústria geralmente é reconhecido que contaminantes contribuem direta ou indiretamente para 60 a 70 por cento dos defeitos em componentes que são lubrificados com óleo.

(DESCASE, 2014) Não é só a sujeira visível que causa os problemas. Se é possível ver ou sentir sujeira, é provável que as partículas em excesso sejam de 100 microns. Os verdadeiros encraves, no entanto, são partículas do tamanho de 1 a 5 microns. É possível ver uma partícula de 40 microns, um ponto em um pedaço de papel branco, por exemplo, mas uma partícula de sujeira de 3 microns é muito pequena para ser vista sem um microscópio. Em um estudo realizado pela Cummins Motor, com tamanho inferior a 10 microns, partículas produzem taxas de desgaste que eram três a quatro vezes maiores do que aquelas produzidas por 20 microns ou partículas maiores. Estudos mostraram não só que a sujeira que causa o desgaste da máquina, mas também as partículas geradas através de desgaste abrasivo têm efeito de bola de neve.

2.7 Umidade e água

Para (DESCASE, 2016) A justificativa para respiros dessecantes é óbvia. O ar quente contém mais água na fase de vapor, por esse motivo, o uso de um respiro dessecante ajuda a proteger uma máquina quando o ar quente e úmido entra no reservatório. Para entender o que acontece primeiro é preciso saber como o ar e a água coexistem e o impacto que a temperatura desempenha em três propriedades importantes: umidade absoluta, umidade relativa e orvalho ponto.

A umidade absoluta é a medida da quantidade de água em gramas por volume de ar, independente da temperatura ambiente. Normalmente, a umidade absoluta é expressa em gramas de água por metro cúbico de ar (g / m³). Como a quantidade de vapor de água que o ar pode reter depende da temperatura, na umidade absoluta máxima, a maior quantidade de água que o ar pode conter, irá variar com base na temperatura. Para ar a 30 ° C, a umidade absoluta máxima é de aproximadamente 30g / m³ a 0 ° C a umidade absoluta máxima é de cerca de 5g / m³ (DESCASE, 2016).

A umidade relativa é a medida da quantidade de água no ar, em relação à máxima umidade absoluta a uma determinada temperatura. A umidade relativa é normalmente expressa como uma porcentagem (%) Como exemplo, a 30 ° C, o ar que contém 15g / m³ de umidade absoluta tem uma umidade relativa de 50%. Umidade relativa não pode exceder 100% desde que neste ponto, o ar é dito para ser saturado; simplesmente não pode segurar mais água, a menos que a temperatura aumente (DESCASE, 2016).

Dentre todos os tipos de contaminantes, a água é um dos mais comuns, ela tem acesso a câmara interna dos redutores através da umidade e se comporta de maneiras diferentes de acordo com o tipo de rotina de água em óleo pode existir em três formas distintas: livre, emulsionado e dissolvido. Água livre refere-se à água que se separou do óleo e se instalou no fundo do depósito ou tanque. Água emulsionada é misturada com o fluido sendo propagada para as peças móveis, entretanto, este é o maior problema. A água não é boa lubrificante, mas esta questão vai além suas pobres propriedades lubrificantes. Água misturada com óleo em uma emulsão causa uma fraca resistência do filme que se torna incapaz de suportar uma carga dinâmica da maneira que óleo limpo e seco pode suportar. Apenas 0.05% é suficiente para reduzir vida de uma bomba, por exemplo, por um fator de dois. O impacto de água é ainda mais comum em equipamentos usados de forma intermitente (DESCASE, 2016).

A 0,025%, a água presente em um sistema hidráulico estará no estado dissolvido e relativamente afetando as temperaturas de operação. No entanto, quando a máquina está

desligada e o óleo esfria até temperaturas ambientes durante a noite, maior parte da água sai da solução e o estado muda-se para livre ou emulsionada, resultando em corrosão e outros modos de falha relacionados à água (DESCASE, 2016).

2.8 Ferrografia

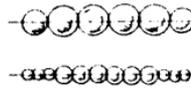
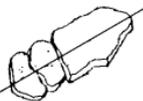
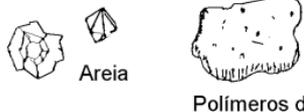
A ferrografia é utilizada para diagnósticos de equipamentos, avaliando a qualidade do óleo, através da análise e quantificação das partículas, a fim de monitorá-los.

A ferrografia é uma técnica de avaliação das condições de desgaste dos componentes de uma máquina por meio da quantificação e observação das partículas em suspensão no lubrificante. Essa técnica satisfaz todos os requisitos exigidos pela manutenção preditiva e também pode ser empregada na análise de falhas e na avaliação rápida do desempenho de lubrificantes. (SENAI, 2000, Aula 33, p1).

A análise ferrográfica, informa os tipos de partículas e de falhas em máquinas possíveis de serem identificadas, como desgaste metálico e não metálico, contaminantes, como os cristais, água e compostos orgânicos e inorgânicos e polímeros de atrito. Problemas típicos de desgaste identificados pela ferrografia; desgaste dos dentes da engrenagem através de carga ou velocidade excessiva, desalinhamentos, fraturas, falha do contato de rolamento, água no óleo ou condição de lubrificação deficiente, depleção de óleo aditivo, contaminantes externos como areia ou poeira, eixo do came e falha na parede do cilindro, falha no filtro de óleo (TECNOVERITAS, 2018).

Na aula 33 do SENAI (2000) diz que A identificação das causas de desgaste é feita por meio do exame visual da morfologia, cor das partículas, verificação de tamanhos, distribuição e concentração no ferrograma. Através da ferrografia analítica, as partículas de desgaste são classificadas em ferrosas, não ferrosas, óxidos de ferro, produtos da degradação do lubrificante e contaminante. As fotografias constituem a única forma de mostrar, com clareza, os aspectos dos ferrogramas, porém na imagem abaixo é observável algumas representações de esboços de partículas de desgaste.

Figura 5: Esboços partículas de desgaste

1	ESFOLIAÇÃO  <ul style="list-style-type: none"> * Escamas * Superfície lisa * 0,5 ~ 5µm 	2	CORTE POR ABRASÃO  <ul style="list-style-type: none"> * Cavacos * Existência de areia * 10 ~ 100µm
3	FADIGA (rolamento e engrenagem)  <ul style="list-style-type: none"> * Esferas * ~ Regulares * ~ 3µm 	4	ARRASTAMENTO (engrenagens)  <ul style="list-style-type: none"> * Superfície rugosa * Coloração por temperatura * >20µm
5	DESGASTE SEVERO POR DESLIZAMENTO  <ul style="list-style-type: none"> * Estrias * Corte reto * > 20µm 	6	PARTÍCULAS DIVERSAS  <p>Areia</p> <p>Polímeros de fricção</p>

Fonte: (SENAI, 2000).

2.9 Tecnologia de proteção e blindagem

Uma das câmaras do protótipo desenvolvido se baseia no modelo de respiro tipo câmara de expansão, pois através da mesma uma blindagem na atmosfera interna do redutor é estabelecida.

Câmaras de Expansão (SPURLOCK, 2014). Esses componentes promovem uma clausura completa entre o Redutor e o ar do meio ambiente, permitindo ainda que o reservatório "respire", através de uma bexiga interna que se expande e se contrai com as variações de volume comuns do cárter.

A Câmara de expansão Visolub foi projetada para absorver o aumento da pressão interna na caixa de mancais decorrente do aumento de temperatura do óleo lubrificante. Ela é construída em aço carbono e diafragma de "buna-N", o diafragma mantém a pressão próxima de zero na câmara contribuindo para que não haja perda de óleo lubrificante nem contaminação do mesmo por umidade ou sujeiras do ambiente. (VISIOLUB, 2018, p.1, tradução nossa).

2.10 Como funcionam os respiros dessecantes

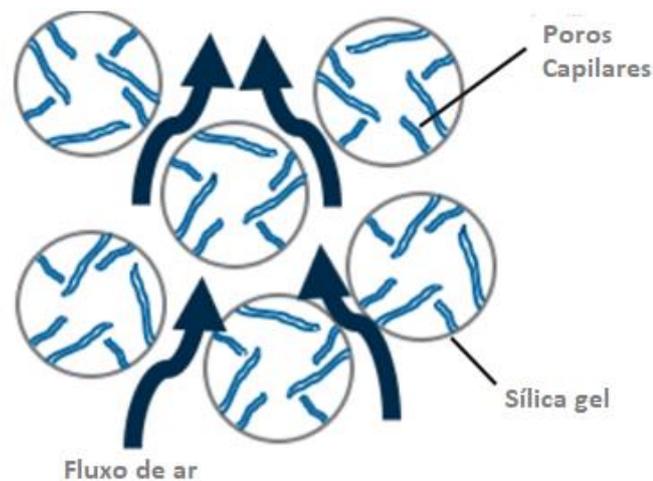
Na câmara de expansão do dispositivo projetado, além de estabelecer uma blindagem, ela também tem a função dessecante, que por meio de sílica em gel a umidade do ar da câmara do redutor é suprimida.

Os respiradores dessecantes contêm pequenas esferas de sílica gel amorfas. Essas esferas possuem minúsculos nano capilares que servem para neutralizar o vapor de água. Quando o ar passa por elas, o vapor de água do ar se acumula nos capilares, removendo-os do fluxo de ar, efetivamente reduzindo a umidade relativa do ar a uma determinada temperatura (DESCASE, 2016).

Existe uma gama de tipos de sílica gel a disposição no mercado, geralmente são fornecidas em grãos esféricos de cor azul ou branco.

“Sílica Azul - obtida pelo tingimento da sílica gel branca com solução de cloreto de cobalto (CoCl_2). Apresenta cor azul intensa quando completamente ativa, à medida que adsorve umidade do meio ambiente a sílica vai mudando a cor, tornando-se cor de rosa. ” (SAGUARAGI, 2018, p.1).

Figura 6: Fluxo de ar passando pela sílica em gel



Fonte: (DESCASE, 2016).

Os respiradores dessecantes são um meio eficaz de impedir a entrada de umidade e partículas em reservatório, tanque de armazenamento ou reservatório de óleo. Eles são mais eficazes em temperatura ambiente mais alta e alta umidade relativa, mas também podem ser usados em temperaturas muito baixas sem comprometer qualquer umidade de espaço. (DESCASE, 2016).

3 PROTOTIPAGEM RAPIDA

A prototipagem rápida, não é uma nova tecnologia, já existe a mais de 30 anos (STRATASYS, 2018) A tecnologia pioneira de impressão 3D é a estereolitografia, que produz objetos camada por camada usando polímero líquido sensível à luz ultravioleta que é solidificado por meio de laser. Posteriormente novas tecnologias surgiram, dentre as principais a Fused Deposition Modeling (FDM) e sinterização seletiva a laser (SLS).

Prototipagem rápida, também conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia que por meio de adição de material, constrói objetos que foram modelados em um computador, este tipo de processo é denominado manufatura aditiva. No início, uma modelagem de um desenho virtual deve ser criada em um computador usando softwares de modelagem ou CAD. O software de fatiamento divide a peça em camadas e gera um código em uma linguagem de programação chamado G-code, a máquina de impressão 3D então lê os dados do fatiamento e deposita camadas sucessivas de material criando o modelo físico a partir de uma série de seções transversais (STRATASYS, 2018).

Figura 7: Fases do projeto de impressão 3D



Fonte: O Autor

A interface de dados padrão usado na prototipagem rápida é implementada como o formato de arquivo STL, geralmente esse formato é gerado a partir de uma conversão de um arquivo 3d modelado em um software de CAD, nesse formato o arquivo pode ser utilizado em máquina de prototipagem 3D. O arquivo STL é formado de faces triangulares que se aproxima da forma de uma peça ou de um conjunto (STRATASYS, 2018).

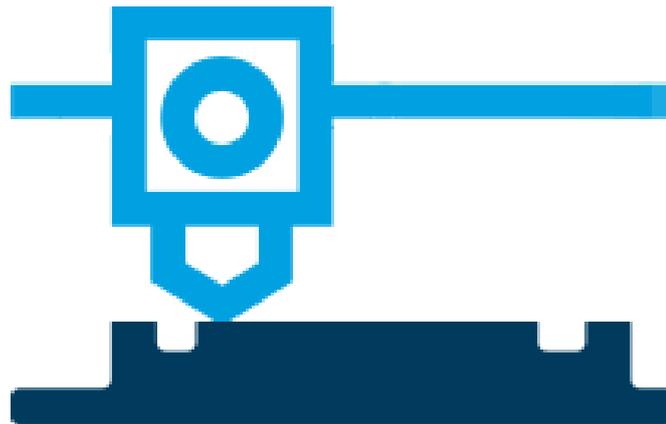
3.1 Fused deposition modeling (FDM)

Esta tecnologia produz protótipos funcionais, modelos conceituais e peças duráveis para uso final em termoplástico padrão de alto desempenho, é um poderoso método de manufatura aditiva patenteada pela Stratasys. Assim, as peças criadas são inigualáveis em termos de resistência mecânica, térmica e química. As impressoras 3D baseadas na tecnologia

FDM, aquece o filamento termoplástico em um estado semilíquido e extruda camada por camada depositando o material na forma de gotículas ultrafinas, produzindo o objeto de baixo para cima (STRATASYS, 2018).

Para as vantagens e desvantagens dessa tecnologia (STRATASYS, 2018). É uma tecnologia simples de usar, limpa, recomendada para ambientes de escritórios. Os materiais termoplásticos utilizados são mecânica e ambientalmente estáveis, e as cavidades e geometrias complexas que seriam problemáticas em tecnologias subtrativas, tornam-se práticas com a tecnologia FDM. O que a tecnologia FDM deixa a desejar é a baixa qualidade de impressão em comparação com os procedimentos Sinterização a Laser ou a Estereolitografia.

Figura 8: FDM (Fused Deposition Modeling)



Fonte: (STRATASYS, 2018)

3.2 Máquina Sethi 3D AIP 1,75

A máquina utilizada para prototipagem rápida tem a tecnologia FDM e as seguintes características, (SETHI, 2018) modelo Sethi 3D AIP 1,75 com bico de saída do extrusor de 0.4 milímetros de diâmetro e resolução ajustável de 0,5 mm a 0,30 mm. A área de impressão tem as medidas de 220,00 milímetros de largura, 210,00 milímetros de profundidade e 200,00 milímetros de altura, as peças projetadas respeitaram essas dimensões, porém se houvesse a necessidade de projeto de peças que excedesse alguma dessas dimensões, elas seriam impressas fracionadas e coladas posteriormente.

Figura 9: Impressora Sethi 3D



Fonte: (SETHI, 2018)

3.3 Matéria prima para impressão 3D

A matéria prima para trabalho em uma impressora 3D é adquirida em rolos de 1 quilograma e 1.75 milímetros de diâmetro, podendo ser de diversos termoplásticos. Para todas as peças impressas deste trabalho, o material utilizado foi o ABS de cor amarela, exceto para testes, onde o material utilizado era de cor cinza.

O ABS é um termoplástico derivado do petróleo amplamente utilizado na indústria, possuindo a temperatura de transição vítrea de 105°C, é um dos principais e mais antigos materiais que vem sendo utilizados na impressão 3D. Seu aspecto é fosco, disponível em diversas cores opacas, produz peças fortes, mas não tão dimensionalmente precisas, não produz os cantos tão acentuados, apresenta uma boa qualidade de acabamento de superfície. (IMPRESSÃO 3D FACIL, 2015).

3.4 Softwares prototipagem rápida

Em prototipagem digital é necessário o uso de ferramentas para auxiliar nas atividades, assim como na construção de um protótipo físico, quanto mais sofisticadas as ferramentas, maior é a produtividade e qualidade de um trabalho. Os softwares para prototipagem usados nesse presente trabalho são poderosos capazes de proporcionar infinitas possibilidades e foram usados visando alcançar o escopo do projeto.

3.4.1 Autodesk inventor

O software Autodesk inventor 2018 permite a criação de protótipos tridimensionais, funcionais que podem ser simulados em condições reais de trabalho. Autodesk inventor 2018 se baseia em uma gama de recursos de modelagens e ferramentas de automação avançadas, proporcionando uma experiência geral do usuário aprimorada para obter mais produtividade e flexibilidade. Este software permite que você desenhe, projete e colabore com mais rapidez e eficiência. (AUTODESK , 2018)

O software Autodesk® Inventor® fornece aos engenheiros e projetistas uma solução de nível profissional para projeto mecânico em 3D, simulação, visualização e documentação. O Autodesk Inventor inclui poderosas ferramentas de modelagem, bem como recursos de tradução multi-CAD e desenhos padrão do setor DWG™. Ajudando você a reduzir os custos de desenvolvimento, chegar ao mercado mais rapidamente e produzir ótimos produtos. (AUTODESK, 2018, p. 1)

3.4.2 Repetier host

O Software de comunicação com a impressora 3D é o Repetier Host, nele é possível criar layouts de impressão, fatiamento e simulações de impressão 3D usando os fatiadores integrados.

O Repetier Host é um software básico de Host, que é compatível com a maioria dos firmwares utilizados mundialmente. Você pode adicionar e posicionar seus arquivos .STL na mesa da impressora simulada pelo programa e fatia-los todos juntos. Para fatiar você pode usar o Slic3r ou usar o Cura Engine, também muito conhecido na comunidade RepRap. Basta clicar em para “fatiar e carregar” e o trabalho é delegado ao fatiador atual, mostrando sua saída na janela de log. No editor de G-Code você pode mudar ou analisar seu código. (REPRAP.ORG, 2015)

3.4.3 Fatiador cura engine

O fatiador tem a função de preparar as modelagens para serem impressas, como o próprio nome sugere, ele fatia as peças em camadas, e as transforma em coordenadas para a impressora 3D, Cura Engine é um software slicer externo que é empacotado com o Repetier host. Para usá-lo, normalmente só é necessário da guia direita com as configurações rápidas. Slicers são ferramentas complexas que dependem de dados corretos. Se você inserir dados pouco claros, o fatiador não saberá como deve ser o resultado e poderá produzir resultados inesperados. A razão típica é uma malha não múltipla. Para entender o que é uma malha não múltipla, você deve saber como deve ser uma malha múltipla. Uma malha múltipla é impermeável, sem furos permitidos. Cada borda dos triângulos descritivos deve ter exatamente dois triângulos conectados. Portanto, é construído a partir de um ou mais perímetros sem interseção. (REPETIER, 2018)

Quadro 1: Fatiamento de peças para impressão 3D

Tipo de Adesão	Borda e Jangada
Qualidade	0,1 mm, 1,5mm, 0,2 mm, 0,25 mm e 0,3 mm
Tipo Suporte	Contato com a mesa e Em toda parte
Densidade Preenchimento	0% a 100%
Espessura da casca	Acima de 0,4 mm

Fonte: O Autor.

As principais ferramentas para impressão de peças utilizadas neste trabalho usando impressão 3D são ferramentas básicas de fatiamento.

- a) Tipo de Adesão, geralmente está desabilitada por padrão, é utilizada, em situações, onde o objeto é muito pequeno ou tem uma área de contato limitada com a mesa da impressora, recomenda-se escolher borda que cria uma camada de n perímetros em volta do objeto aumentando a área de contato, em casos muito especiais, a opção jangada cria o objeto sobre uma base propiciando adesão extra (FELIXPRINTERS, 2016).
- b) Qualidade: A qualidade a está relacionada com a altura das camadas. Quanto menor a altura de camada selecionada, mais camadas serão necessárias para a construção do objeto, maior será o tempo de impressão e detalhes que ele terá (FELIXPRINTERS, 2016).

- c) Tipo de suporte: esta opção deve ser ligada quando o objeto em questão terá faces negativas, como a gravidade atua nas camadas, em faces negativas se não houver material de suporte, a camada impressa pode cair. Existem duas opções selecionáveis contato com a mesa: Nesta opção, o material de suporte só é gerado se puder tocar fisicamente a mesa de construção. Em toda Parte, nesta opção o material de suporte é gerado em qualquer lugar que houver faces negativas, até mesmo internamente ao objeto (FELIXPRINTERS, 2016).
- d) Densidade de preenchimento: A densidade de preenchimento é o material usado para preencher dentro dos contornos e pode variar de vazia a totalmente preenchida. Mas não é recomendado acima de 70% de enchimento para não causar deformações no objeto, nem abaixo de 30% para não comprometer as camadas superiores (FELIXPRINTERS, 2016).

4 PROJETO E PROTÓTIPO

No desenvolvimento de um projeto para prototipagem rápida, o projetista deve conhecer as limitações da tecnologia em que o produto será fabricado. Por exemplo, o tamanho da mesa de trabalho da máquina, as definições possíveis de impressão, uma vez que melhores qualidades podem ser usadas em peças finais e categorias inferiores que podem ser usadas para testes, os tipos de materiais aceitos e suas propriedades de trabalho, as limitações em relação a faces negativas considerando a possibilidade de uso de suportes ou andaimes durante a produção.

O objetivo desse projeto é desenvolver um protótipo de um dispositivo que seja capaz de substituir, superar ou complementar os respiradores convencionais de motorreductores, trazendo mais segurança e confiabilidade ao equipamento, instaurando um sistema de blindagem, no qual enclausura a atmosfera do redutor, eliminando todo contato com o ambiente externo, preservando o óleo limpo, prolongando a vida útil das peças.

Para o projeto do dispositivo, muitas possibilidades foram levantadas por meio de pesquisas e precisavam ser validadas. Neste primeiro momento, algumas decisões precisavam ser tomadas para que se pudesse dar início ao projeto. Segue algumas questões importantes:

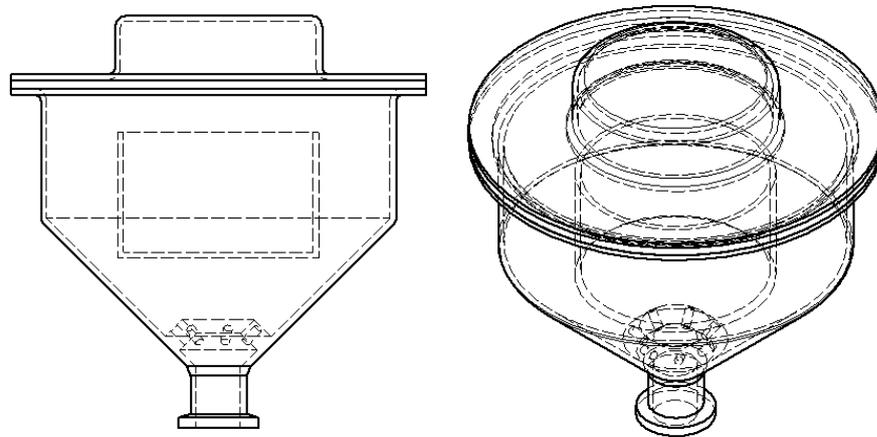
- a) Para a blindagem do redutor, foi decidido que o dispositivo tivesse um diafragma que pudesse compensar essa diferença de pressão e volume do redutor em operação.
- b) Para a função de dessecação, a câmara deve comportar sílica em gel.

- c) A sílica em gel deve ser do modelo azul, por que a mesma tem a propriedade de mudar de cor quando perde sua função dessecante, ficando de cor avermelhada quando saturada, indicando assim o momento de ser substituída.
- d) Para a inspeção da sílica e do diafragma o dispositivo tem a necessidade de ser transparente.
- e) Para a fixação do dispositivo no redutor, o mesmo deve ter rosca, ou permitir a montagem por meio de conexões, assim substituiria os respiros convencionais. Porém para segurança seria interessante prever a possibilidade de usar um tubo sifonado para evitar a contaminação com possíveis resíduos.
- f) Outra possibilidade de fixação seria por ima, dessa maneira o respiro convencional não seria substituído e o dispositivo de blindagem seria um complemento, dessa maneira teria uma fácil montagem e uma maior confiabilidade.
- g) Um tamanho de redutor foi escolhido para que fossem calculadas as pressões e volumes de um redutor em operação.

Um protótipo digital foi modelado usando o software autodesk inventor, neste momento as dimensões foram arbitrárias tendo em vista que ainda não havia um redutor escolhido. Então somente o conceito do projeto estava sendo trabalhado a fim de amadurecer as ideias e realizar testes para validar pontos importantes e funcionais.

A princípio o protótipo do dispositivo seria todo construído usando uma impressora 3D, o mesmo seria bipartido e estava previsto uma caixa cilíndrica interna para armazenar sílica em gel. Para vedação e fixação das partes, seriam usadas peças de um conjunto união TC 6”, onde o elemento vedante ficaria entre as partes e a abraçadeira fecharia a montagem.

Figura 10: Primeiro protótipo digital



Fonte: (O Autor).

4.1 Testes de escala e tolerância dimensional

O teste de escala é um teste referente a calibragem da impressora, no qual um modelo 3D que tenha uma dimensão de referência importante é impresso em escala real, e a dimensão em questão é conferida na peça física para garantir precisão na hora de imprimir o projeto oficial.

O teste de tolerância dimensional é um teste que analisa as tolerâncias consideradas no projeto, por exemplo: encaixe entre peças que necessitem de folga para que sejam deslizantes; encaixes com interferência que necessitem montagens de peças fixas; etc.

O modelo 3D escolhido para o teste é a peça “tampa fechamento superior”, que tem uma dimensão de referência importante, a dimensão em questão é um canal para o encaixe de um tubo de acrílico de 100,00 milímetros de diâmetro e 3,00 milímetros de espessura, uma tolerância de 0,30 milímetros foi considerada no diâmetro interno e externo do canal, para que haja uma montagem com folga.

Ao modelo 3D foi exportado para ser usado no fatiador, com as características de fatiamento do quadro abaixo, foram impressas uma peça considerando escala real e uma peça considerando uma escala 1% maior.

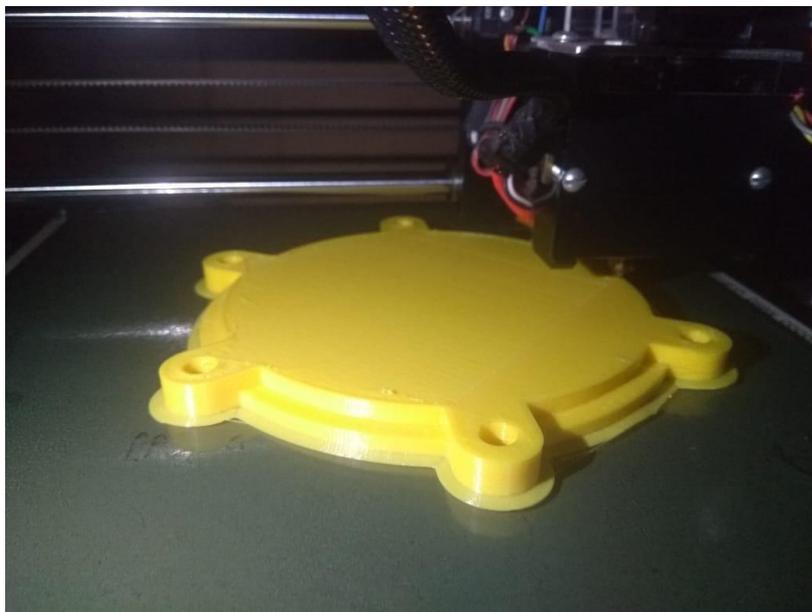
Quadro 2: Fatiamento teste de escala e tolerância dimensional

Tipo de Adesão	Borda
Qualidade	0,3 mm
Tipo Suporte	Em toda parte
Densidade Enchimento	70%
Espessura da casca	1,2 mm

Fonte: O Autor.

As peças foram impressas com os dados do quadro e como resultado para o teste, a peça com escala 1% maior atendeu a situação, montando perfeitamente no tubo, permitindo a funcionalidade da montagem, as superfícies tiveram um bom acabamento, uma robustez interessante para o projeto, já que foram impressas com 70% de densidade de preenchimento, quanto a peça em escala real, ela não montou no tubo, sendo desconsiderada para o projeto, enquanto a peça maior foi aprovada para o protótipo físico.

Figura 11: Impressão 3D para testes de escala e tolerância



Fonte: (O Autor).

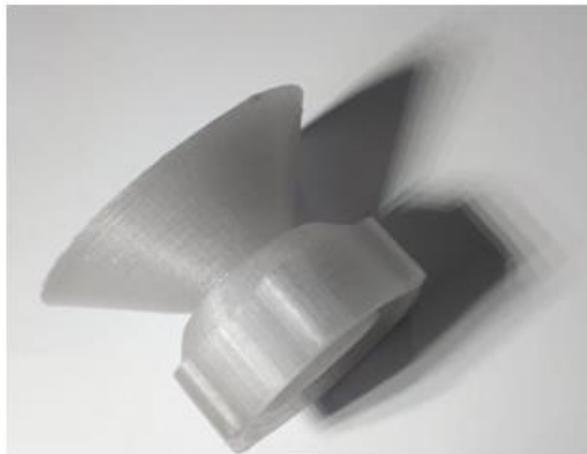
Com a validação desse teste, foi decidido que para o projeto, todas as peças seriam impressas em impressão 3D usariam essas configurações de fatiamento do quadro, considerando uma escala 1% maior, e tolerâncias para montagens de encaixe com 0,3 milímetros.

4.2 Teste Materiais translúcidos impressão 3d

Neste teste, um filamento para impressora 3D translucido foi testado, como o projeto tem a necessidade de ter seus compartimentos transparentes, para que seja possível a inspeção da sílica e do diafragma, foi feito um teste usando filamento ABS translucido para impressão 3D, se os resultados forem satisfatórios todo o projeto será direcionado para a impressão 3D e será um caminho mais simples, já que basta projetar o protótipo digital e imprimir com material translucido.

Para o teste foi usado uma parte da peça que viria a ser o corpo inferior do protótipo conforme imagem abaixo, nesse momento o objetivo do teste era, testar a transparência do ABS translucido, para validar seu uso no projeto, como as dimensões ainda não estavam acertadas a peça não foi impressa por completo, todavia foi testada também a possibilidade de imprimir a porca do teste anterior já montada no corpo inferior, de maneira que as duas peças fossem impressas ao mesmo tempo e não pudessem ser desmontadas.

Figura 12: Teste Material Translucido



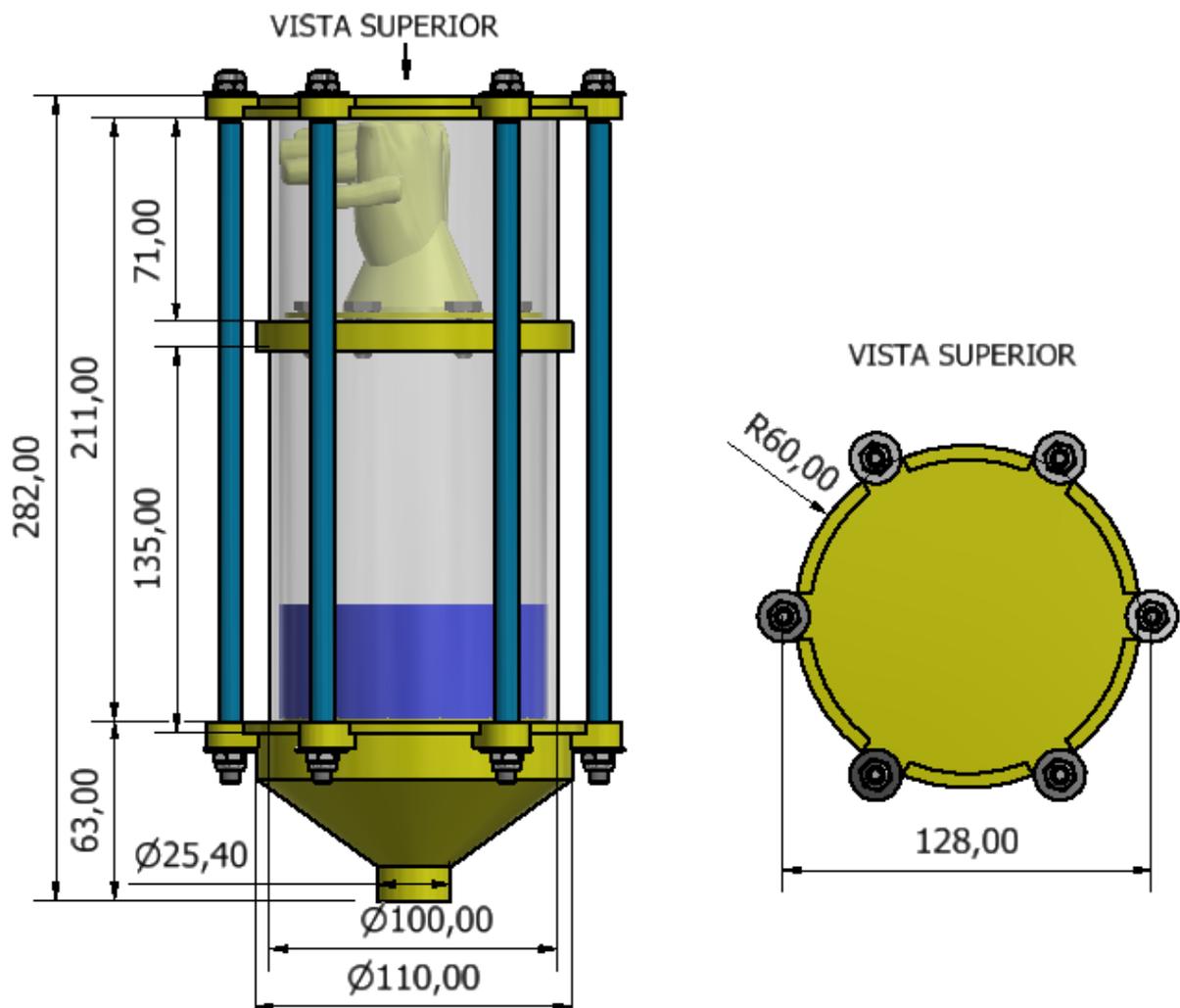
Fonte: (O Autor).

Como resultado deste teste, a transparência do material não atendeu a expectativa, sendo que seria impossível visualizar a sílica na câmara inferior e muito menos o diafragma na câmara superior, então ficou decidido depois deste teste que seria adotado para o projeto um tubo transparente para as paredes da câmara e a partir desta conclusão o acrílico foi escolhido e o projeto foi todo direcionado para esta nova condição. A respeito da rosca, a mesma teve os mesmos resultados do teste passado, porém foi constatado que seria possível imprimir a rosca e o corpo inferior ao mesmo tempo criando assim uma montagem inseparável.

4.3 Protótipo do dispositivo

Ele é dividido em dois compartimentos, inferior e superior, fixados através de barras roscadas de 1/4 de polegada, arruelas e porcas, o corpo do compartimento inferior é feito de tubo de acrílico de 100,00 milímetros de diâmetro por 135,00 de altura, a função desse compartimento é dessecar a de umidade do ar, tal feito será conseguido por meio de sílica em gel, em outras palavras, esse é um tanque de sílica em gel, a diferença de pressão na caixa do redutor forçara o fluxo de ar a passar pela sílica, por esse motivo o tubo tem a necessidade de ser transparente, pois a sílica quando perde sua capacidade de dessecar muda de cor indicando a hora de ser substituída. Após o ar passar pela sílica o ar dessecado infla o diafragma instalado na peça intermediária, esse inflamento impede que a redutor se pressurize.

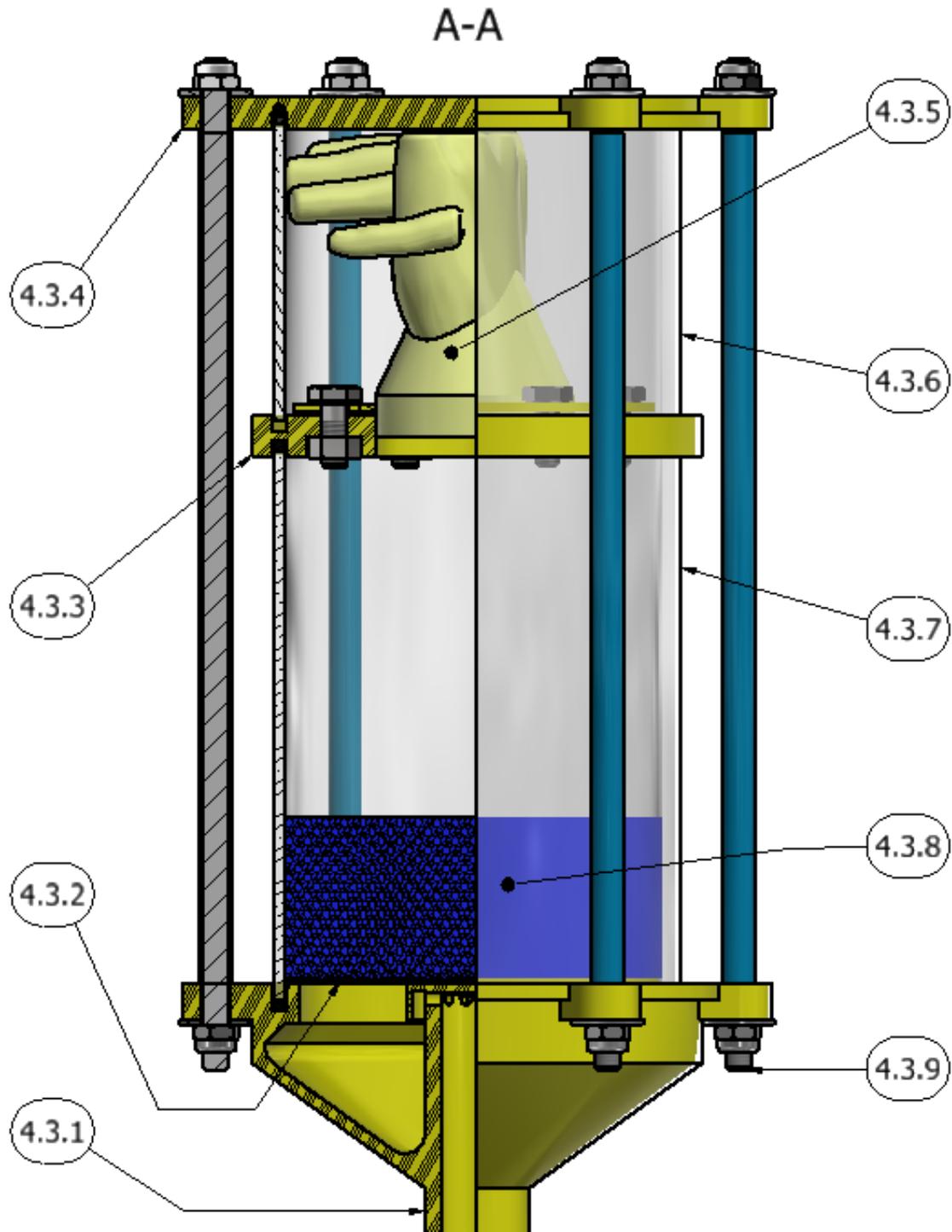
Figura 13: Protótipo digital



Fonte: (O Autor).

O compartimento superior também tem no projeto de sua câmara o tubo de acrílico, mas o comprimento nesse compartimento é de 75,00, a função dele é impedir que o diafragma ficasse exposto no dispositivo, porém ele permite que sua deformação seja visível, por esse motivo também tem a necessidade de ser transparente, ele foi dimensionado para permitir o diafragma no seu volume máximo e o proteger de acidentes externos.

Figura 14: Protótipo digital detalhes



Fonte: (O Autor).

Quadro 3 – Lista de Componentes

ITEM	QTD	DESCRIÇÃO	MATERIAL
4.3.1	1	CORPO INFERIOR	ABS
4.3.2	1	DISCO SUPORTE SÍLICA	ABS
4.3.3	1	SUPORTE DIAFRAGMA	ABS
4.3.4	1	TAMPA SUPERIOR	ABS
4.3.5	1	DIAFRAGMA	BORRACHA
4.3.6	1	TUBO ACRILICO 100X75	ACRILICO
4.3.7	1	TUBO ACRILICO 100X135	ACRILICO
4.3.8	-	ELEMENTO DESSECANTE	SILICA GEL
4.3.9	6	BARRAS ROSCADAS E ELEMENTOS DE FIXAÇÃO	AÇO CARB

Fonte: O Autor

Os componentes amarelos do dispositivo (ver figura acima ou quadro, Itens 4.3.1 a 4.3.4), tem uma condição especial, os mesmos foram projetados usando o software de modelagem tridimensional, o Autodesk Inventor 2018, o que permitiu que todos os canais, encaixes, centralidades, saliências, alívios, canais, acoplamentos, fossem previstos e projetados.

As peças projetadas foram exportadas para o formato .STL e fatiadas usando as configurações de fatiamento do quando abaixo, elas foram impressas em plástico ABS de alta densidade usando uma impressora 3D com a tecnologia FDM, essa tecnologia proporcionou uma liberdade de projeto para que os objetivos laborais do protótipo fossem ponderados para o correto funcionamento.

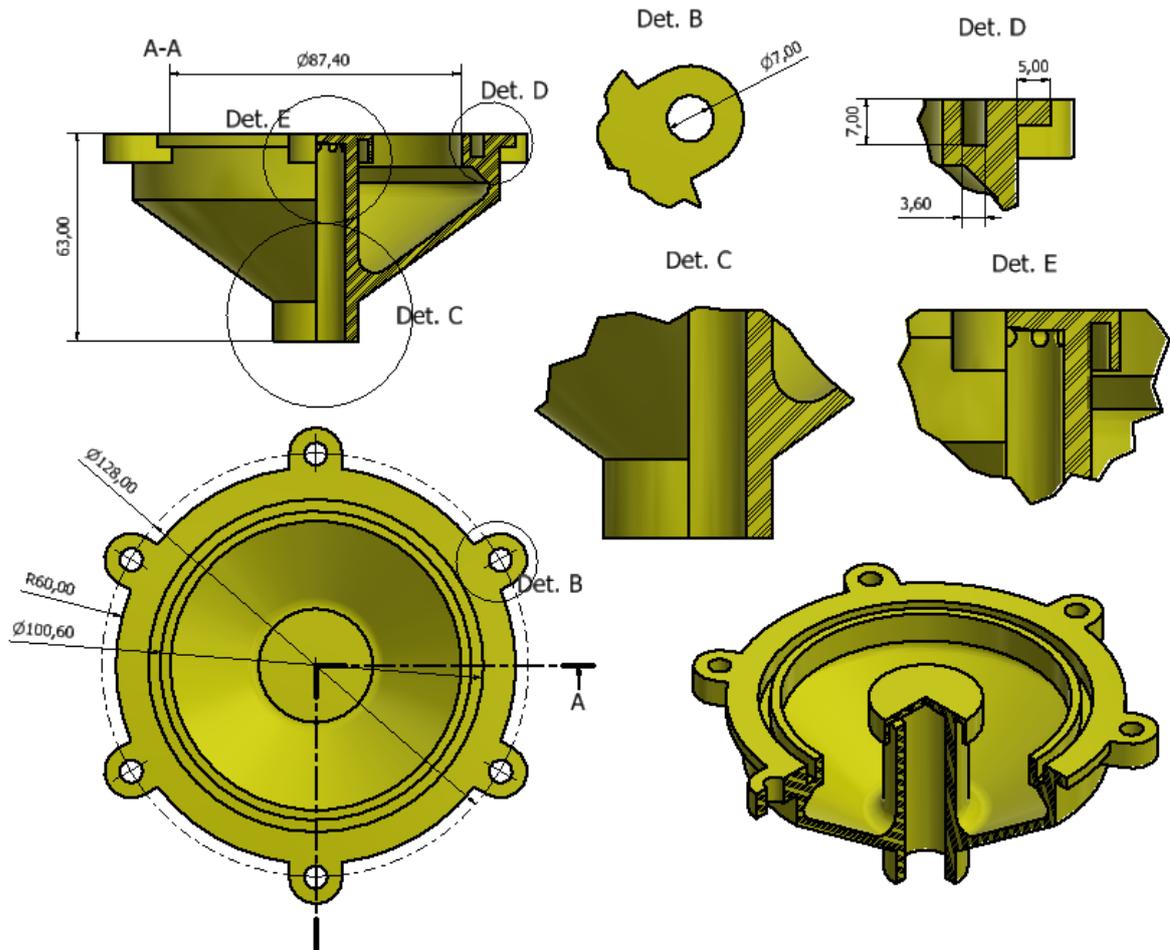
4.3.1 Corpo compartimento inferior

A peça Corpo Compartimento Inferior, é o principal componente projetado, é interessante observar que ela é muito complexa e dificilmente seria fabricada por outra tecnologia senão a manufatura aditiva, pois os canais internos e o fato dela ser oca suprime a possibilidade de ela ser feita por qualquer tecnologia de subtração de material. Essa peça tem a missão de transportar o ar do redutor para o dispositivo.

Na vista A-A é representada em 1/4 de corte para que seja possível a visualização externa e interna do modelo, internamente é possível verificar que ela não é maciça, porem o fluxo de ar que vem do redutor passa pelo bocal inferior (verificar detalhe C lado direito, figura 15) e é guiado pelo tubo central até o limite superior que possui furos que permitem o

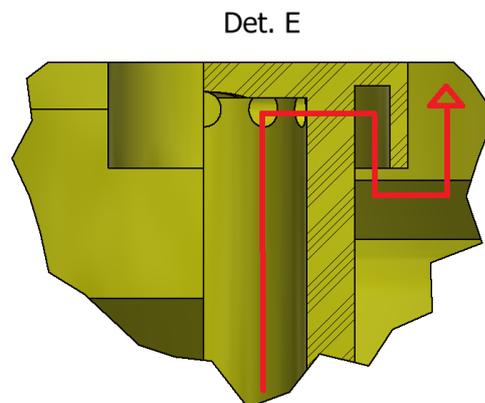
acesso do ar ao dispositivo (Figura 16). Este bocal de acesso permite a passagem de ar de dentro para fora e de fora para dentro, porem limita a entrada de partículas de dentro para fora.

Figura 15: Corpo compartimento inferior



Fonte: (O Autor).

Figura 16: Fluxo de ar corpo



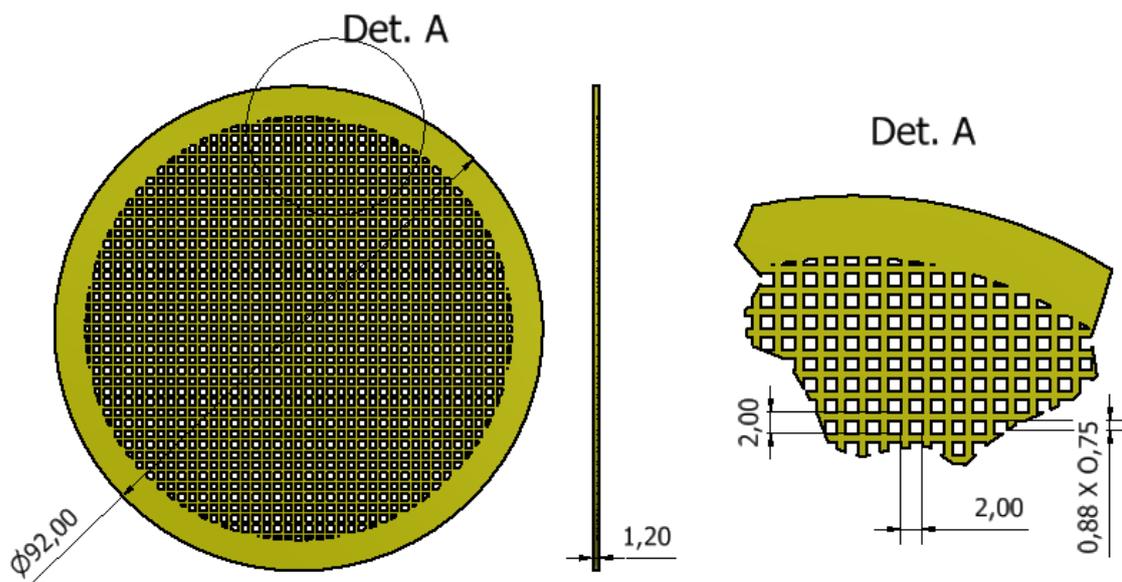
Fonte: (O Autor).

Na face inferior, tem um cilindro liso com a dimensão de 1 polegada (verificar detalhe C), para efeito de protótipo, o terminal será fixado por meio de cola, podendo ser um terminal com uma porca integrada para fixação através de conexões ou um terminal com base magnética. O detalhe B da figura 15 mostra o canal para o tubo acrílico, dentro desse canal, tem um anel de vedação de borracha com o diâmetro externo de 100,00 milímetros por 3,00 milímetros seguindo as dimensões do tubo acrílico. Os seis furos da extremidade são para fixação da barra roscada.

4.3.2 Disco suporte sílica

Como a Sílica em gel irá acima do corpo inferior, para que o mesmo não seja inundado de sílica, uma peça semelhante a uma peneira é montada antes de inserir a sílica na câmara, a função da mesma é suportar a sílica, não deixando os grãos passarem para a abaixo, como é possível observar na figura abaixo, os furos do disco são menores que as dimensões dos grãos, o que permiti a passagem do fluxo de ar, entre a sílica, porem se alguma partícula de sílica se fracionar conseguir vencer a resistência do disco de suporte, ela ficará retida na face interna do corpo inferior, como é possível visualizar na vista isométrica da figura 15. O disco para suportar a sílica, poderia ser montado de várias maneiras, nesse caso foi colada no centro do corpo inferior.

Figura 17: Disco suporte sílica

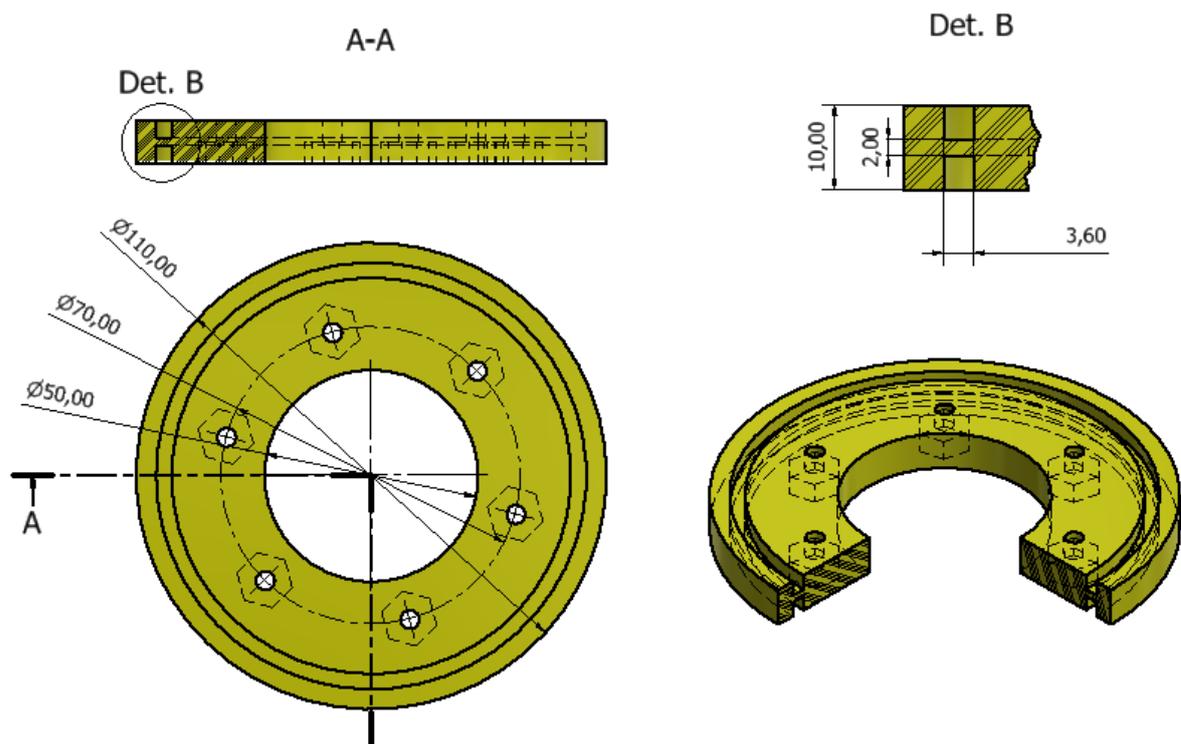


Fonte: (O Autor).

4.3.3 Suporte conjunto diafragma

A peça Suporte Diafragma é o componente responsável, como o próprio nome sugere, suportar o diafragma na posição correta em relação ao projeto e também é um intermediário entre os dois compartimentos unindo os tubos de acrílico.

Figura 18: Suporte diafragma

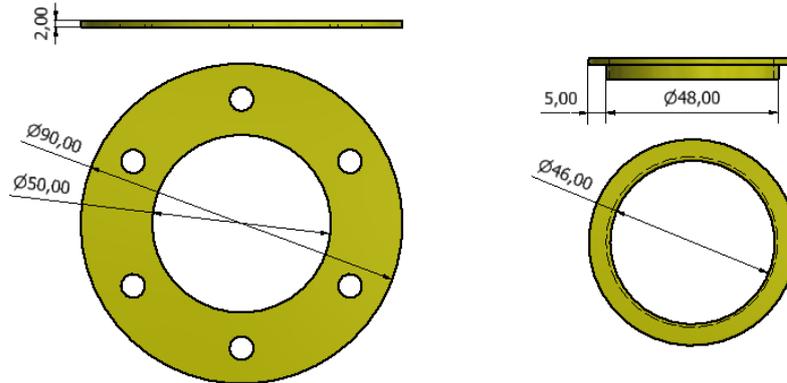


Fonte: (O Autor).

Para união dos tubos de acrílico, ela possui canais para permitir um encaixe fino (verificar detalhe B figura 18), a vedação da montagem é conseguida por meio de anéis de vedação de borracha com o diâmetro externo de 100,00 milímetros e seção de 3,00 milímetros, que são instalados dentro dos canais acompanhando as dimensões do tubo acrílico, porcas de 1/4" foi colada nas sedes da face inferior para fixação das peças que suportam o diafragma.

Para a montagem do Diafragma do dispositivo, as peças disco flange e anel diafragma, foram projetadas, elas fixam o elemento de borracha, garantindo uma vedação e uma correta posição.

Figura 19: Fixação diafragma

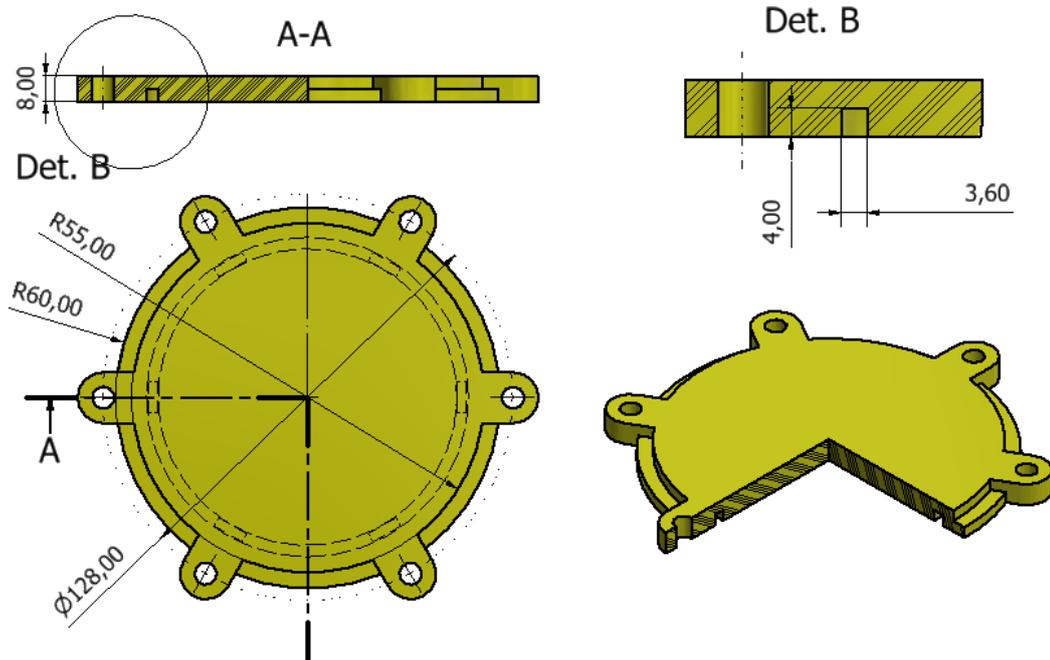


Fonte: (O Autor).

4.3.4 Tampa câmara superior

A peça Tampa Fechamento Superior, é responsável por fechar o dispositivo pela face superior, a direita do detalhe B da figura 20 mostra o canal para encaixe e vedação do tubo acrílico, dentro desse canal, assim como nos outros componentes que terão contato com o tubo de acrílico, terá um anel de borracha para vedação. As orelhas das extremidades possuem furos para fixação da barra roscada, concêntricos com a peça Corpo Compartimento Inferior. Essas duas peças, fazem uma montagem tipo sanduiche, comprimindo as peças entre elas para que tenham uma montagem vedada.

Figura 20: Tampa fechamento superior



Fonte: (O Autor).

4.3.5 Diafragma

A função desse componente é impedir a pressurização do motorreductor, compensando a diferença de pressão, não foi encontrado um componente para esse fim no mercado, porém algumas características são necessárias para que atenda a necessidade do projeto. Como, a baixa a rigidez para que seja possível ser inflado sem pressurizar o reductor, ser resistente e durável e ter a possibilidade de ser fixado no dispositivo.

As soluções encontradas no mercado que atendem esses requisitos são a luva cirúrgica e o preservativo, ambas as alternativas são de látex que é um material flexível de baixa rigidez sendo possível serem inflados e possuem um rígido padrão de qualidade confiabilidade e resistência. Ambos foram testados e a luva cirúrgica atendeu bem as expectativas e passou a ser o diafragma para o protótipo projetado. A Luva escolhida para a situação é a Luva de látex cirúrgica 106 marca Mucambo.

4.3.6 e 4.3.7 Tubos acrílico

Geralmente para tubos de acrílico cristal, o processo de fabricação mais utilizado é a extrusão, o que garante uma boa resistência mecânica e um aspecto visual transparente e brilhante. Foi comprado o tubo com o diâmetro de 100,00 milímetros, comprimento 250,00 e espessura de 3,00. Para o projeto foi utilizado ele foi cortado e retificado nas dimensões de 75,00 e 135,00.

4.3.8 Sílica azul

A Sílica é normalmente é branca, para que obtenha com a cor azul, ela tingida com cloreto de cobalto. Foi comprado um quilograma de sílica azul em grãos de 2 a 4 milímetros, ela atende o projeto por indicar a hora de ser substituída, mudando de cor quando saturada.

4.3.9 Barras roscadas e elementos de fixação

Geralmente as barras roscadas são produzidas por laminação, e possuem roscas trapezoidais em toda sua extensão, são muito utilizadas em aplicações da mecânica, construção e mineração. Foram compradas duas unidades com o diâmetro de 1/4" e comprimento de um metro, para o projeto foi preciso de seis barras com o comprimento de

250,00 milímetros. No compartimento superior foram utilizadas arruelas e porcas comuns, no compartimento inferior, arruelas e porcas auto atarraxantes. Para não deixar a rosca da barra exposta, foi adicionada mangueira pneumática de 8,00 milímetros de diâmetro.

Figura 21: Barras roscadas e fixadores

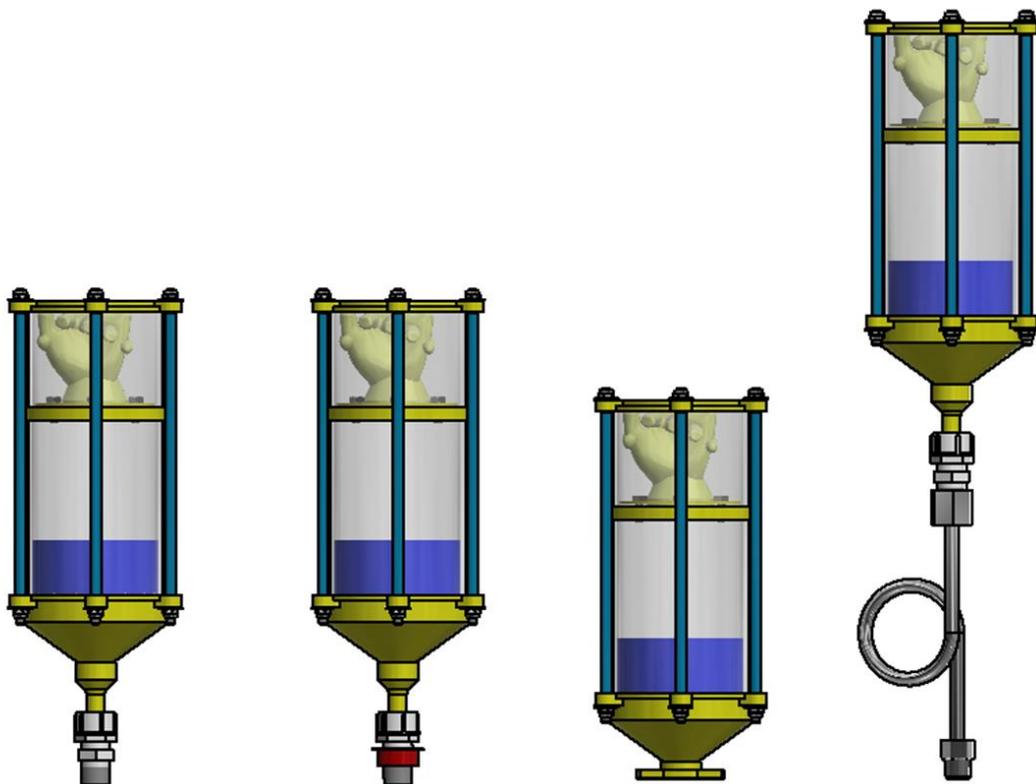


Fonte: (O Autor).

4.5 Fixadores dispositivo redutor

Foram projetados para a função de fazer a intermediação entre o dispositivo e o redutor, fixando e permitindo com que funcionamento seja conforme o projeto. Foram previstas algumas possibilidades de fixação, para substituir o respiro ou complementar o mesmo.

Figura 22: Fixadores

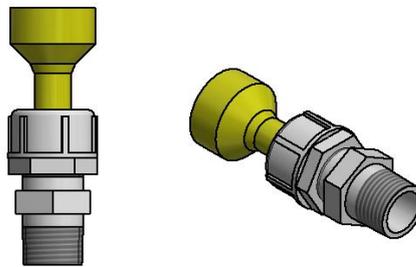


Fonte: (O Autor).

4.5.1 Fixação para substituição do respiro convencional

Esta primeira possibilidade de fixação do dispositivo projetado, considera a retirada o respiro original do redutor, nesta condição o dispositivo substituiria o respiro. Este sistema de montagem, permite um leque de possibilidades, uma vez que é possível combinar as conexões para ter a rosca externa ou interna conforme a necessidade. Geralmente a rosca do respiro de um redutor é no padrão NPT, porem existem niples conversores de NPT para BSP, na figura abaixo o niple final poderia ser um desses conversores, o lado roscado na bucha rosca BSP 1/2 e a rosca externa disponível seria NPT 1/2, pronta para ser instalada em um redutor.

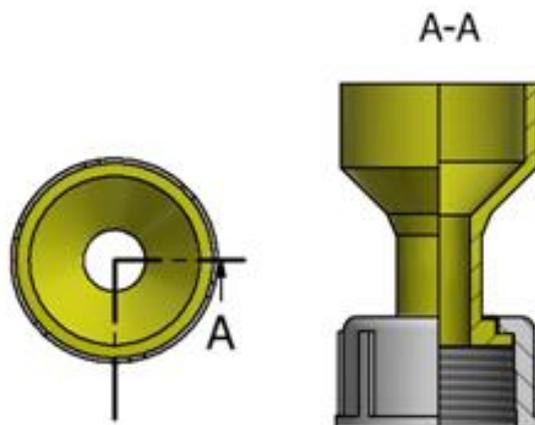
Figura 23: Fixação substituição respiro



Fonte: O Autor.

Para a prototipagem deste modelo, foi comprado um kit de conexão para Mangueiras, Composto de porca espigão bucha e componentes de vedação, para utilizá-lo foi eliminada a peça espigão e no lugar da mesma foi projetada uma peça com a função de acoplamento, fazendo a ligação entre o bocal do dispositivo e a porca do kit comprado.

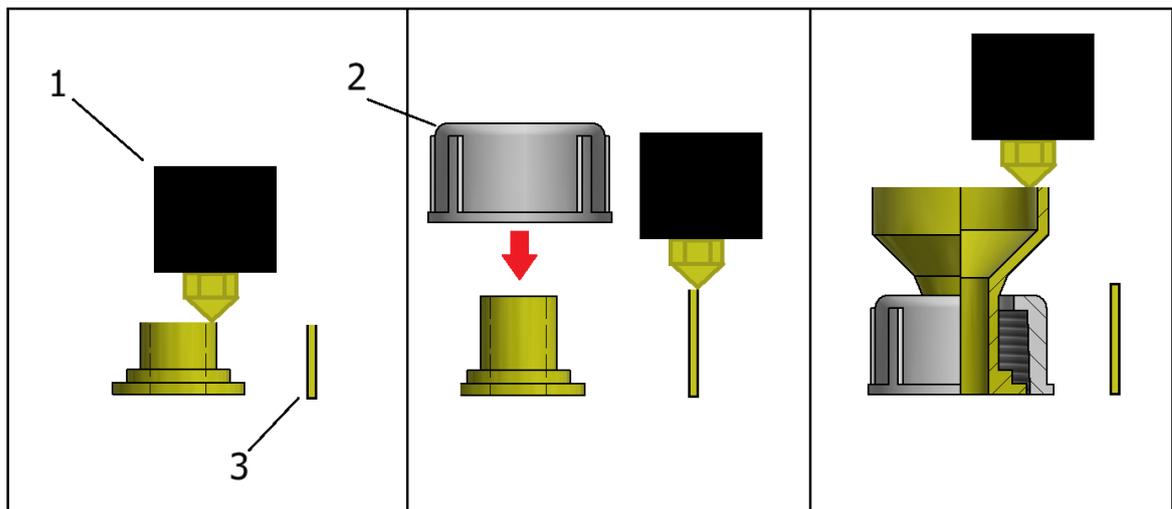
Figura 24: Bocal Montagem Inseparável



Fonte: (O Autor)

Esta peça é uma peça ousada, pois na parte inferior teria as dimensões do espigão para encaixar na porca e na parte superior teria um encaixe com o bocal do dispositivo, mas nenhuma das partes passaria pelo furo da porca, então para que fosse possível ser fabricada, um pilar foi adicionado (3) ao modelado e impresso junto com a peça, em um determinado momento da impressão de cada camada o extrusor da impressora, saía da posição de impressão da peça para imprimir o pilar, em aproximadamente 40% da impressão 3D, a altura da impressão excedeu a altura da porca (2) e no momento que o extrusor saiu da posição de impressão da peça para imprimir o pilar, a porca foi montada na peça impressa, e a impressão continuou normalmente, sem colisão com o extrusor.

Figura 25: Impressão bocal inseparável

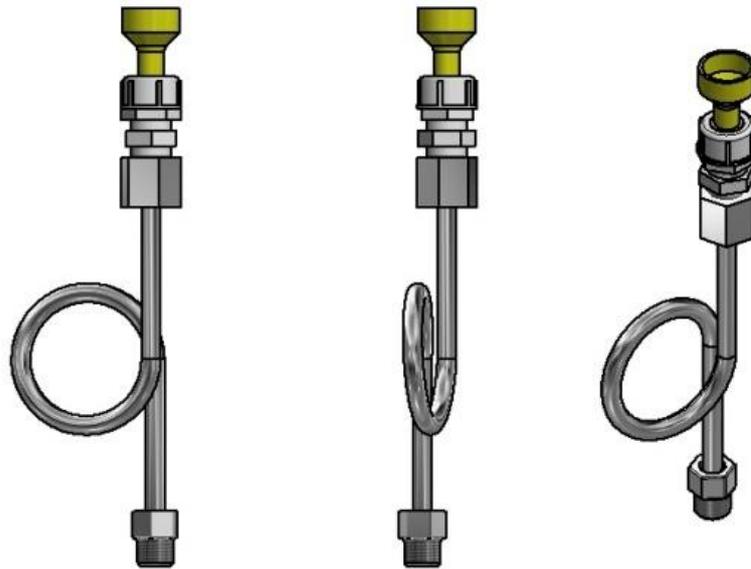


Fonte: (O Autor).

É interessante observar que esta montagem é inseparável, já que as dimensões das duas partes da peça de impressão 3D possuem o diâmetro maior que a porca do kit mangueira.

Para complementar essa possibilidade de fixação e aumentar a segurança, foi previsto o uso de um sistema de tubo sifonado para proteger ainda mais a caixa de óleo de possíveis contaminações, onde o sistema sifonado, retém partículas que por ventura venham a descer do dispositivo.

Figura 26: Sifão fixador



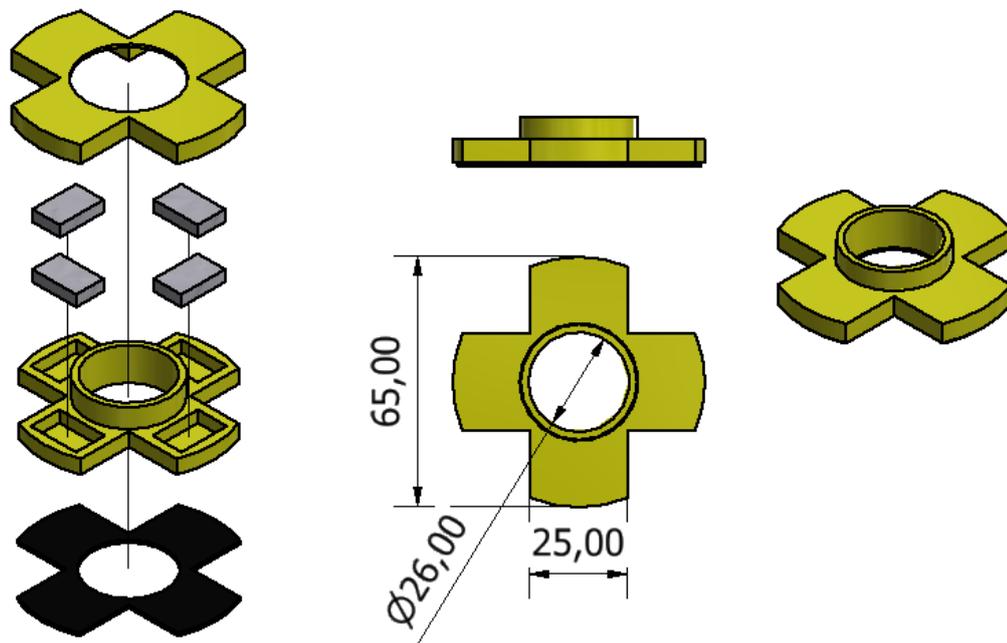
Fonte: (O Autor).

4.5.2 Fixação para complementação do respiro convencional

Para outra opção e de fixação do dispositivo foi projetado uma base magnética que permite que a instalação do dispositivo no redutor seja complementar com o respiro do redutor, pois ela complementa o respiro blindando a câmara do redutor sem removê-lo. Para o projeto nesta base magnética foi usado quatro ímãs de neodímio com as dimensões de 16,00 milímetros por 10,00 milímetros por 4,00 milímetros e força de tração magnética de 3,4 kg.

A respeito do projeto, foi usado o mesmo bocal cilíndrico do sistema anterior e uma sede para encaixe dos ímãs como a tolerância de 0,3 mm nas dimensões de largura e comprimento do ímã, uma distância segura em relação ao Bocal foi mantida para que tenha uma parede resistente. A face inferior da saliência que permite a montagem do ímã tem um milímetro de espessura. Uma tampa também foi desenvolvida para que os ímãs não fiquem expostos, os ímãs foram fixados nas sedes com super cola, na face inferior da base magnética foi usada borracha de um milímetro para vedação, que também foi fixada com super cola.

Figura 27: Fixação complemento respiro



Fonte: (O Autor).

5 MONTAGEM PROTOTIPO FÍSICO

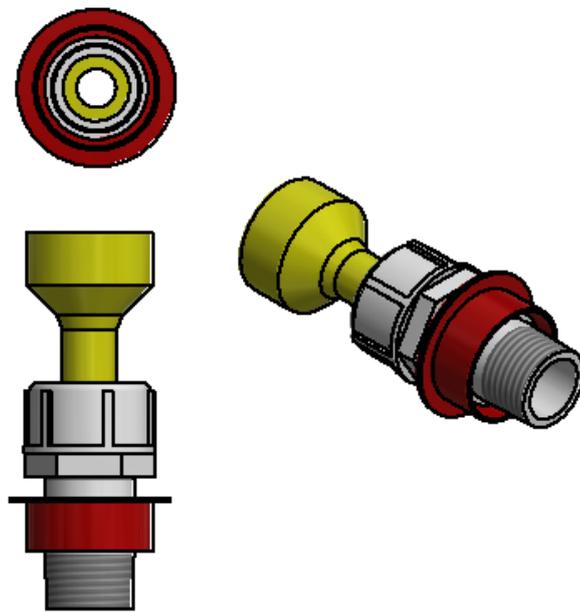
Com o protótipo digital montado, muitas considerações importantes a respeito do dispositivo já foram validadas, cada peça projetada para ser impressa teve uma atenção especial para atender o projeto, principalmente após a decisão de utilizar tubo de acrílico, os canais para encaixe do tubo, vedação, materiais utilizados, dimensões, tolerâncias, elementos de fixação. Na prática, cada matéria prima é adquirida de uma maneira e precisa sofrer transformações através dos processos de fabricação para atender o projeto.

O tubo de acrílico é um tubo tipo cano, com 3,00 milímetros de espessura e 250,00 milímetros de comprimento. Antes de ser cortado, o tubo foi riscado com a dimensão de 77,00 milímetros e 215,00 milímetros, os cortes foram feitos utilizando uma máquina de corte a disco, a máquina foi fixada em uma base com um sargento e assim foi possível o corte do mesmo. Para acabamento, foi usado o próprio disco de corte para retificar as faces cortadas. Por fim os tubos ficaram com os comprimentos de 75,00 milímetros e 135,00 milímetros, sobrando 30,00 milímetros do tubo.

5.1 Fixador para simulação

Para as simulações, uma condição especial de fixação foi criada, onde o fixador já projetado para substituir o respiro foi adaptado para a tampa da lata de thinner, onde apenas um furo foi feito na tampa ela foi instalada entre as conexões. Para garantir uma correta vedação, a montagem foi feita com aplicação de silicone em gel.

Figura 28: Fixador especial para simulações



Fonte: (O Autor).

5.2 Montagem protótipo físico fase um

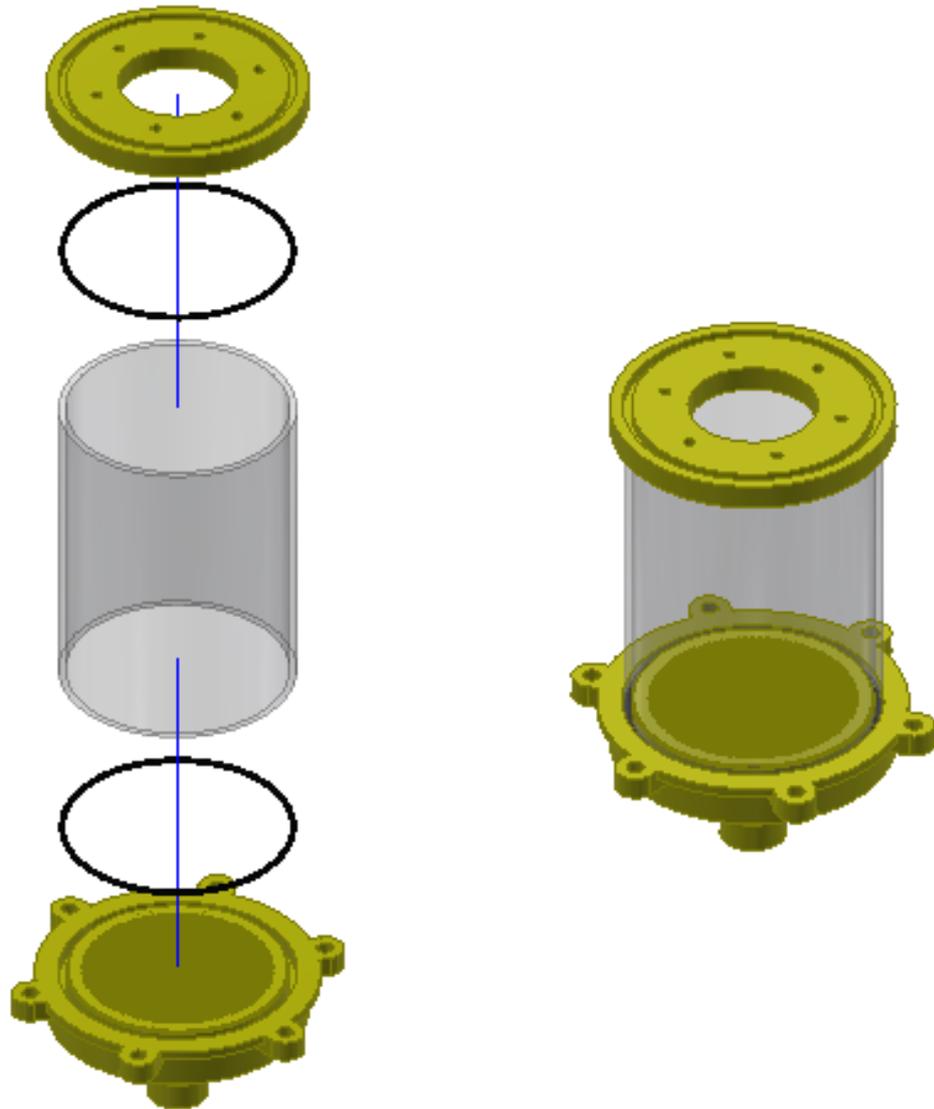
Para a primeira fase da montagem física do dispositivo, com o corpo inferior já colado no disco de suporte, dois anéis de vedação foram preparados, para que fossem montados nos canais da câmara inferior, eles foram cortados na diagonal para terem uma boa área de cola e foram colados usando super cola.

Na peça intermediária que suporta o diafragma, seis porcas de 1/4" foram coladas nas sedes da face inferior, para que facilitasse a montagem do diafragma, sendo possível a fixação dos parafusos, sem o uso de uma chave para segurar as porcas.

No canal da câmara inferior uma camada de silicone em gel preto foi adicionada e o anel foi montado, depois da montagem do anel outra camada de silicone em gel preto foi adicionada, por cima do anel, com a montagem do tubo, havia bastante silicone para auxiliar

na vedação da montagem, ele foi moldado para que ficasse bem distribuído e com uma boa aparência.

Figura 29: Montagem Câmara Inferior



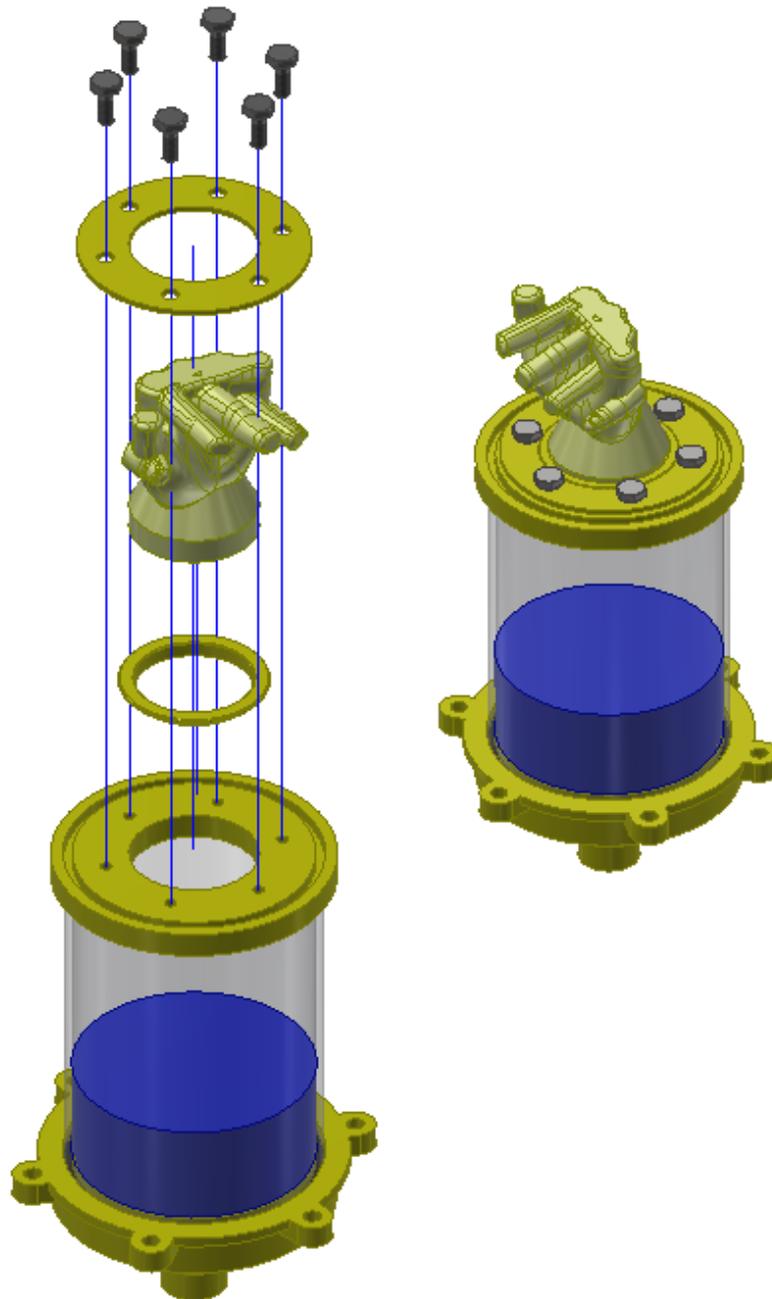
Fonte: (O Autor).

Na parte superior da câmara, os passos anteriores foram repetidos para montagem das peças anel de vedação e suporte diafragma no tubo de acrílico, finalizando assim a montagem do compartimento inferior. Na sequência após a montagem, o fabricante do silicone orienta aguardar a secagem durante vinte e quatro horas para que haja a cura do mesmo, garantindo a secagem da montagem vedada na correta.

5.3 Montagem protótipo físico fase dois

Na próxima fase de montagem, o silicone da câmara inferior já foi curado e a câmara foi abastecida com sílica, em aproximadamente um terço do seu volume, a peça anel diafragma, foi montada na luva e na peça suporte diafragma, para fechamento a peça disco flange e os parafusos fecharam a da montagem.

Figura 30: Abastecimento Sílica e montagem diafragma

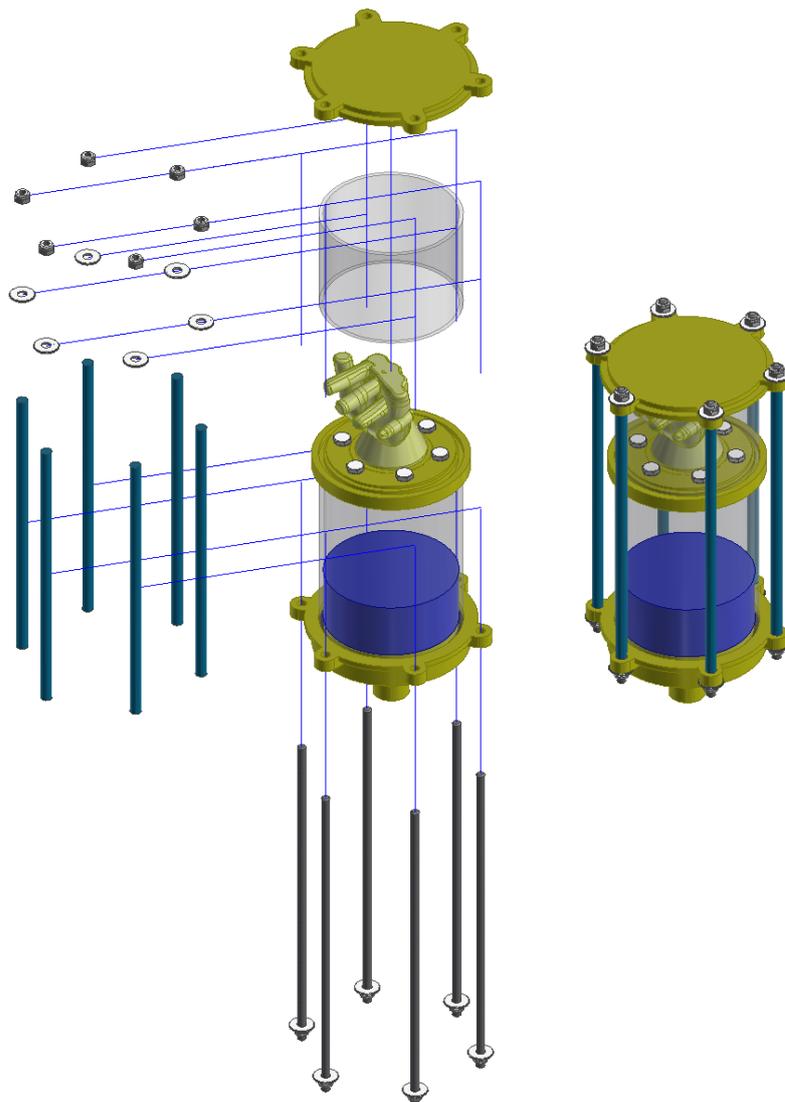


Fonte: (O Autor).

5.4. Montagem protótipo físico fase três

Nesta fase da montagem, a câmara inferior foi abastecida com sílica e o diafragma já está montado. As porcas atarraxantes foram montadas nas barras roscadas, de forma que três milímetros de rosca ficassem aparente, na sequencia foram montadas junto com arruelas nas furações da câmara inferior com a porca atarraxante para baixo, o tubo de acrílico com o comprimento menor foi instalado junto com a tampa, porcas simples e arruelas para fixação. Por fim, mangueiras pneumáticas de diâmetro oito milímetros foram instaladas nas barras roscadas para que as roscas não fiquem expostas. A montagem está completa e o dispositivo foi submetido a uma certa tensão para auxiliar na vedação da câmara inferior.

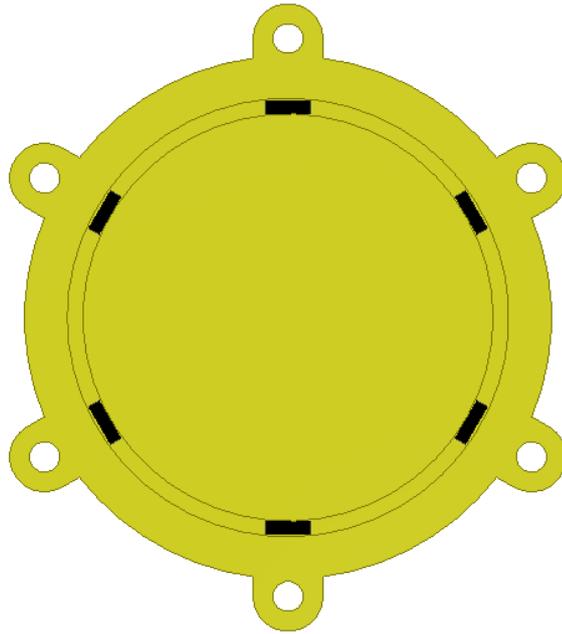
Figura 31: Fase final de montagem



Fonte: (O Autor).

Para a câmara superior, não é necessário vedar a montagem do tubo de acrílico, pois ela não deve trazer nenhuma resistência ao inflamento do diafragma, pelo contrário, seis espaçadores foram colados internamente nos canais peça tampa, esses espaçadores foram construídos com pequenos pedaços de fio de vedação de três milímetros de diâmetro e dez milímetros de comprimento, conforme a figura abaixo.

Figura 32: Montagem espaçadores tampa



Fonte: (O Autor).

6 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Um redutor em operação esquenta com o decorrer do tempo, partindo da temperatura ambiente, o óleo que o refrigera pode chegar a temperaturas máximas de até 90°C, geralmente essas máximas, são alcançadas após duas horas de trabalho. Essas temperaturas não são prejudiciais aos redutores, após esse período se estabilizam durante toda jornada de trabalho.

Para simular condições reais de funcionamento de um redutor alguns objetos foram necessários. Foi utilizada uma lata de 20 litros vazia de thinner para ser o tanque de óleo, óleo automotivo, ebulidor de 1000 w, bacia e água. Para alcançar o objetivo das simulações o dispositivo foi instalado na lata, por meio do fixador desenvolvido para substituir o respiro convencional, ele foi adaptado na própria tampa da mesma e uma análise foi feita do comportamento do dispositivo, quando o óleo é aquecido nas condições semelhantes as reais de trabalho de um redutor.

- a) Para simular o óleo do redutor, foi utilizado óleo (sintético ou mineral) automotivo usado, conseguido em postos de gasolina, como o óleo utilizado é óleo automotivo de descarte e no tanque de armazenamento do posto, os óleos de vários carros são misturados, não é possível distinguir sua especificação correta.
- b) Para ser o tanque de óleo foi utilizada uma lata de thinner vazia de 20 litros, para não haver mais contaminação do óleo.
- c) Para aquecer o óleo, foi utilizado um sistema tipo banho maria, tendo em vista que a água não alcança temperaturas de 100°C, ela deixará às temperaturas do óleo próximas as temperaturas máximas de um redutor. A água estacionaria seria aquecida por convecção usando ebulidores e também por convecção aqueceria o tanque e o óleo, para armazenamento da água foi utilizado um recipiente de polipropileno de 28 litros.
- d) Como fonte de calor foi utilizado ebulidores de 1000 watts de potência.

6.1 Primeira Simulação

Para primeira simulação o recipiente de polipropileno foi posicionado próximo a uma tomada e preenchido com água, posteriormente 75% do volume do tanque foi preenchido com óleo automotivo e inserido no recipiente com água sobre um espaçador, para o espaçador entre o fundo da lata e o fundo do recipiente foi usado 30,00 milímetros do tubo de acrílico, para que a água quente pudesse ter contato com o fundo da lata melhorando a transferência de calor, o ebulidor ficou posicionado no lado esquerdo do tanque de óleo, a uma altura de aproximadamente 30,00 milímetros do fundo do recipiente, o bocal do dispositivo foi vedado com veda rosca e o mesmo foi instalado na posição de trabalho como mostra a imagem.

Figura 33: Primeira Simulação

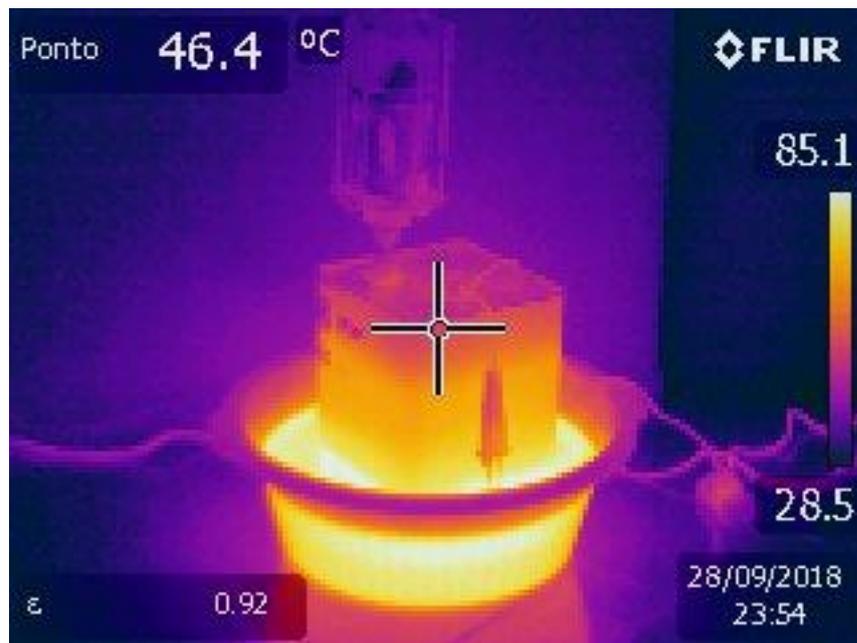


Fonte: (O Autor).

Com tudo pronto para começar, o teste foi iniciado às 21h20min, no exato momento em que o ebulidor foi ligado, a temperatura da água começou a subir a partir da temperatura

ambiente e elas foram monitoradas a por meio de uma câmera térmica, que através da emissividade, mostrada em tempo real a transferência de calor do ebulidor para a água, da água para lata, e da lata para o óleo, as medições de temperatura eram feitas com um intervalo de aproximadamente 30 minutos, com o decorrer do teste, o dispositivo também foi monitorado, ele foi frequentemente fotografado, para registrar as consequências da elevação da temperatura.

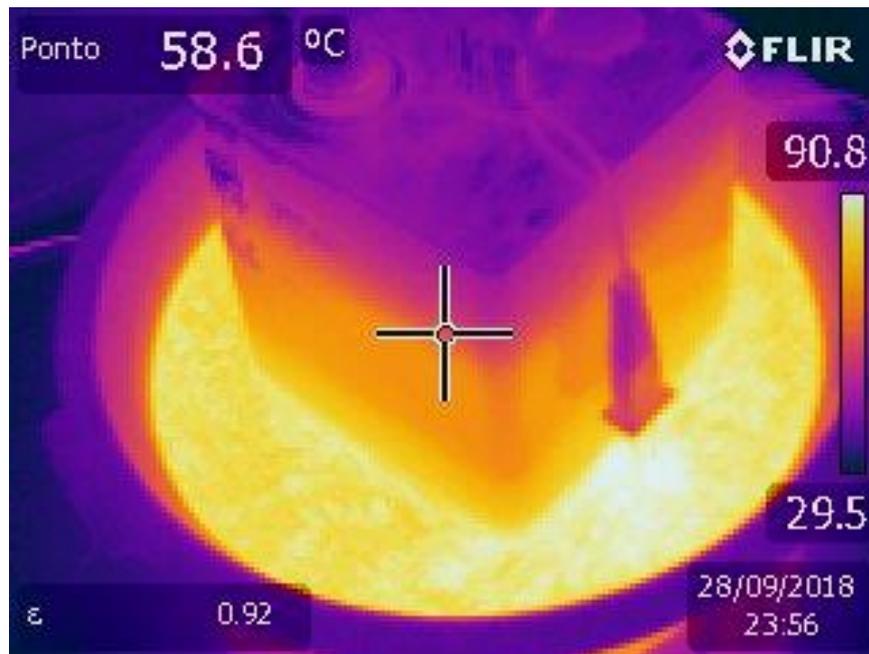
Figura 34: Imagem com câmera térmica.



Fonte: (O Autor).

Era esperado com desta simulação uma resposta do dispositivo à situação ao qual estava submetido, principalmente do diafragma, que deveria inflar, tendo em vista que com o óleo sendo aquecido, a pressão interna do tanque seria elevada e ele equilibraria o sistema, todavia houve um problema com a fonte de calor, que era insuficiente para a elevação da temperatura da água acima de 65° e chegou a uma condição em que a perda de calor da água aquecida para o ambiente era maior que a transferência de calor do ebulidor. Uma tentativa de enclausurar o recipiente com água para diminuir as perdas de temperatura com o ambiente, mas as temperaturas próximas à ebulição, que eram desejadas não foram alcançadas.

Figura 35: Temperatura máxima alcançada na simulação



Fonte: (O Autor).

De acordo com os cálculos relacionados a simulação se não houvesse respiro na câmara ou se o mesmo estivesse obstruído a pressão aumentaria sobrecarregando o sistema e causando problemas como aumento de temperatura de operação e vazamento nos retentores.

a) Volume Interno

$$V_{\text{interno}} = 0,02 \text{ m}^3 \text{ (20 litros)}$$

b) Volume Óleo

$$V_{\text{óleo}} = 15 \text{ litros} = 0,015 \text{ m}^3$$

c) Volume Ar

$$V_{\text{ar}} = V_{\text{interno}} - V_{\text{óleo}} = 0,02 - 0,015 = 0,005 \text{ m}^3$$

d) Temperaturas em Kelvin

As temperaturas

$$T_0 = 25 + 273 = 298\text{K}$$

$$T_1 = 65 + 273 = 338\text{K}$$

e) Pressão atmosférica

$$P_0 = 1000 \text{ hPa} = 0,1 \text{ MPa}$$

f) Cálculo da pressão considerando a Variação de Temperatura do redutor

$$P_1 = \frac{0,005 \times 0,1}{298} \times \frac{338}{[0,005 - 0,015 \times 0,0008 \times (338 - 298)]}$$

$$P_1 = 0,1255 \text{ MPa}$$

De acordo com os cálculos relacionados a simulação, um volume de aproximadamente um litro deveria ser deslocado do redutor para o respiro, conforme é possível ver abaixo.

e) Cálculo do volume de ar considerando a pressão constante e aumento de temperatura.

$$\frac{0,005}{291} = \frac{V_1}{363}$$

$$V_1 = 0,005671 \text{ m}^3$$

$$\Delta V_{ar} = 0,000671 \text{ m}^3$$

f) Cálculo do volume de óleo expandido considerando que o mesmo seja sintético.

$$\Delta V_{\text{óleo}} = 0,015 \times 0,0008 \times (338 - 298)$$

$$\Delta V_{\text{óleo}} = 0,00048 \text{ m}^3$$

g) Cálculo do volume interno excedente de ar

$$\Delta V_{total} = \Delta V_{\text{óleo}} + \Delta V_{ar}$$

$$\Delta V_{total} = 0,00048 + 0,000671 = 0,001151 \text{ m}^3 = 1,15 \text{ litros}$$

6.2 Segunda Simulação

Para que a segunda simulação tivesse resultado diferente da primeira, foi feito um teste de vedação no dispositivo, o submetendo a uma pressão constante, como resposta o diafragma inflava, porém não permanecia no volume inflado, ele murchava com o decorrer do tempo, então foi constatado que havia problemas de vedação.

Usando detergente na união das peças e repetindo o teste de vedação, foram percebidos vazamentos na câmara inferior, nas posições de união das peças impressas com o tubo de acrílico, onde bolhas de sabão surgiam indicando o local das falhas. O teste de vedação também foi feito no fixador desenvolvido para a tampa da lata e problemas semelhantes ao da câmara foram constatados.

Com o objetivo de sanar os problemas relacionados a vedação, o dispositivo e o fixador foram completamente desmontados, os resíduos de silicone foram retirados das peças impressas, do tubo de acrílico e das conexões do fixador. Posteriormente foram lavados com detergente e limpos com álcool.

Figura 36: Dispositivo e Fixador desmontados



Fonte: (O Autor).

Com as peças devidamente secas o dispositivo começou a ser montado novamente, porém com uma nova estratégia. Na montagem passada, havia anéis de vedação entre o tubo e as peças impressas, essas eram tensionadas através das barras roscadas para haver a vedação,

mas foi percebido que o anel de borracha atrapalhou a vedação necessária, uma vez que as peças de plástico não podem ser tão tensionadas para não quebrar, então foram excluídos os anéis de vedação nessa nova montagem e tudo passou a ser fixado apenas com silicone incolor que além de dar uma melhor aparência ao equipamento, não necessita de cargas atuantes para que haja vedação.

A preparação para a nova simulação foi semelhante a primeira, o recipiente de polipropileno foi posicionado e preenchido com água, o tanque que já estava preenchido com óleo automotivo, foi inserido no recipiente com água, sobre o espaçador, para melhorar a eficiência térmica, um ebulidor ficou posicionado no lado esquerdo da lata e foi adicionado outro ebulidor de mesma potência do lado direito, ambos com a mesma altura de aproximadamente 30,00 milímetros do fundo do recipiente, o bocal do dispositivo foi vedado com veda rosca e silicone e instalado no tanque de óleo.

A segunda simulação foi iniciada 13h:28min, usando os mesmos parâmetros do teste passado, porem para acelerar ainda mais o aumento da temperatura, enquanto os ebulidores esquentavam um volume menor de água, água fervente era adicionada, elevando a temperatura mais rápido. As medições de temperatura eram feitas também com um intervalo de aproximadamente 30 minutos e com o decorrer do teste, o dispositivo também foi monitorado, ele foi frequentemente fotografado, para registrar as consequências da elevação da temperatura.

Figura 37: Temperatura máxima segunda simulação



Fonte: (O Autor).

De acordo com os cálculos relacionados a simulação, um volume próximo de dois litros deveria ser deslocado, conforme é possível ver abaixo.

a) Volume Interno

$$V_{\text{interno}} = 0,02 \text{ m}^3 \text{ (20 litros)}$$

b) Volume Óleo

$$V_{\text{óleo}} = 15 \text{ litros} = 0,015 \text{ m}^3$$

c) Volume Ar

$$V_{\text{ar}} = V_{\text{interno}} - V_{\text{óleo}} = 0,02 - 0,015 = 0,005 \text{ m}^3$$

d) Temperaturas em Kelvin

As temperaturas

$$T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$T_1 = 90 + 273 = 363 \text{ K}$$

e) Pressão atmosférica

$$P_0 = 1000 \text{ hPa} = 0,1 \text{ MPa}$$

f) Cálculo da pressão considerando a Variação de Temperatura do redutor

$$P_1 = \frac{0,005 \times 0,1}{298} \times \frac{363}{[0,005 - 0,015 \times 0,0008 \times (363 - 298)]}$$

$$P_1 = 0,1443 \text{ MPa}$$

g) Cálculo do volume de ar expandido, considerando uma expansão isobárica é de 3,58 litros.

$$\frac{0,005}{298} = \frac{V_1}{363}$$

$$V_1 = 0,006091 \text{ m}^3$$

$$\Delta V_{\text{ar}} = 0,00109 \text{ m}^3$$

h) Cálculo do volume de óleo expandido considerando que o mesmo seja sintético.

$$\Delta V_{\text{óleo}} = 0,015 \times 0,0008 \times (363 - 298)$$

$$\Delta V_{\text{óleo}} = 0,00078 \text{ m}^3$$

i) Cálculo do volume total deslocado para o respiro.

$$\Delta V_{\text{total}} = \Delta V_{\text{óleo}} + \Delta V_{\text{ar}}$$

$$\Delta V_{\text{total}} = 0,00078 + 0,00109 = 0,001871 \text{ m}^3 = 1,87 \text{ litros}$$

O teste foi finalizado, com resultados semelhantes ao teste anteriores, mesmo alcançando as temperaturas máximas de operação de um redutor real e com todo esse trabalho de otimização da vedação.

Concluí se que o trabalho de vedação foi o suficiente, pois um deslocamento de ar de aproximadamente 2 litros, deveria inflar o diafragma, tendo em vista que neste teste a temperatura foi alcançada em um tempo mais curto e a expansão foi praticamente insignificante, provavelmente o problema de vedação foi no diafragma.

6.3 Terceira Simulação

Para a terceira simulação, o objetivo era exclusivamente demonstrar o funcionamento do protótipo, para esse resultado fosse possível, o recipiente de polipropileno, o óleo automotivo e os ebulidores foram eliminados, a lata vazia teve um litro do seu volume preenchido com água e como fonte térmica, foi usado um fogão a gás que aqueceu o fundo da lata. Para acoplar o dispositivo na lata, o bocal foi vedado com veda rosca e silicone e o mesmo foi instalado na posição de trabalho como mostra a imagem.

Figura 38: Terceira simulação



Fonte: (O Autor).

Uma câmera foi posicionada para que as imagens pudessem ser captadas, o teste iniciou as 14h:50min na temperatura ambiente. Como resultado, é observável o funcionamento do dispositivo, em menos de um minuto o diafragma que havia sido posicionado inicialmente na câmara inferior, inflou para a câmara superior alcançando o volume máximo, conforme mostra a imagem abaixo.

Figura 39: Funcionamento diafragma



Fonte: (O Autor).

Uma simulação para saturar a sílica também foi realizada, em um recipiente transparente, foi adicionada uma quantidade de sílica em gel azul, na sequencia um volume de água suficiente para cobrir a sílica foi adicionado, uma câmera estava posicionada para acompanhar a simulação e captou as imagens da saturação da sílica onde pode ser visto a mudança de cor de azul para rosa.

Figura 40: Saturação sílica



Fonte: (O Autor).

6.4 Desempenho do protótipo

O protótipo projetado foi desenvolvido para atender uma necessidade da indústria, que seria atacar a fragilidade dos respiros convencionais de redutores. Os efeitos das simulações mostram que os resultados satisfatórios estão próximos de serem alcançados, mas ainda não é confiável a instalação em um redutor e deve-se trabalhar nos pontos fracos do protótipo, afim de resolver os problemas que impediram o correto funcionamento, para que possa ser utilizado com segurança.

6.4.1 Pontos positivos

O protótipo projetado pode facilmente ser instalado em um redutor durante a operação, com total segurança usando o fixador magnético, nessa função ele melhoraria a eficiência dos respiros convencionais sem a necessidade de substituí-los. Este fixador não teve tempo de ser homologado para este trabalho, mas foi previsto a fim de ser a mais viável opção de instalação.

Em uma situação em que não seja viável utilizar o fixador magnético, o respiro pode ser substituído, pelo fixador de conexões, no qual tem a possibilidade de fazer conversões necessárias por meio de niples de conversão para que se possa chegar até a rosca do respiro do redutor. Para aumentar a segurança deste fixador, um sifão pode ser acoplado entre o redutor e o fixador, gerando uma proteção extra contra partículas.

6.4.2 Pontos negativos

Por mais que o protótipo tenha sido projetado para que não seja possível a contaminação do redutor, com sílica, por exemplo, ainda existe a possibilidade de que partículas de plástico contaminem o redutor, por esse motivo, é mais seguro usar o fixador com o sifão de proteção ou o fixador magnético.

Como o protótipo é de material plástico, ele não é resistente, por tanto pode ser quebrado facilmente se algo esbarrar no mesmo, principalmente por ele ter uma altura alongada, o que o torna vulnerável a esse tipo de acidente.

É necessário aperfeiçoar a vedação do diafragma, tendo em vista que os problemas relacionados às simulações foram resultantes de falhas de vedação, para uma alternativa definitiva, o método de montagem o próprio diafragma deve ser mais eficiente.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho mostra um estudo sobre redutores, expondo como os respiros convencionais podem não ser suficientes para manter a contaminação nos níveis adequados e como este problema contribui para falhas e desgaste de componentes. A fim de criar uma solução para este problema, foi desenvolvido um dispositivo utilizando prototipagem digital e prototipagem rápida para instaurar uma blindagem nos redutores substituindo ou complementando os respiros convencionais usados em motorreductores.

Este trabalho foi limitado ao uso de prototipagem rápida, mostrando as fases de projeto digital nos softwares de modelagem tridimensionais e prototipagem das peças utilizando a impressão 3D. Para próximos passos, o diafragma da câmara de dessecagem será melhor elaborado buscando uma alternativa mais segura e confiável. Em relação as peças prototipadas, existe a intenção de expandir os processos saindo da tecnologia aditiva, explorando novos materiais e tecnologias que possam atender melhor o segmento, como por exemplo materiais metálicos e tecnologias de manufatura subtrativas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. S. **Elementos Orgânicos De Máquinas II At-102**, 2011. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasalan/AT102-Aula04.pdf>> Acesso em: 10 fev. 2018.

AUTODESK. **Help**: Novidades do Autodesk Inventor 2018, 2018. Disponível em: <<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/PTB/?guid=GUID-917AEB83-27BB-44BA-A809-44E0748A41AE>> Acesso em: 09 set. 2018.

AUTODESK. **Inventor 2018**, 2018. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional>> Acesso em: 15 jun. 2018.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**, 2. ed. São Paulo: Pearson, p. 10-11, 2005.

CYRINO, L. **Manutenção em foco: Óleos lubrificantes e suas aplicações**, 2015. Disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/oleos-lubrificantes>> Acesso em: 01 jan. 2018.

DESCASE. **Contamination Control**, 2014. Disponível em: <<https://www.descase.com/resources>> Acesso em: 09 set. 2018.

DESCASE. **Technical Bulletin**: The impact of cold temperatures on desiccant breather performance, 2016. Disponível em: <https://www.descase.com/sites/default/files/TB1802_ColdTempsOnBreathers.pdf> Acesso em: 07 mai. 2018.

FELIXPRINTERS. **Manuals for 3D printers and software**, 2016. Disponível em: <<https://www.felixprinters.com/stories/guides/felixprinters-manuals-for-3d-printers-and-software/>> Acesso em: 09 set. 2018.

GEREMIA REDUTORES. **A era Industrial**: Porque surgiram os redutores, 2018. Disponível em: <<http://www.geremiaredutores.com.br/area-estudante>> Acesso em: 09 set. 2018.

IMPRESSAO 3D FACIL. **Conheca os diferentes tipos de materiais para impressao 3d**, 2015. Disponível em: < <http://www.impressao3dfacil.com.br/conheca-os-diferentes-tipos-de-materiais-para-impressao-3d-fdm/>> Acesso em: 18 set. 2018.

PASSOS, C. **Evolução dos Redutores**, 2016. Disponível em: <<http://portalengrenagens.com.br/fotos/a-evolucao-dos-redutores-com-o-tempo.pdf> > Acesso em: 10 jan. 2018.

REPETIER. **Fatiamento**, 2018. Disponível em :< <https://www.repetier.com/documentation/repetier-host/slicing/>> Acesso em: 16 set. 2018.

REPRAP.ORG. **Repetier Host**, 2015. Disponível em: < <https://reprap.org/wiki/Repetier-Host>> Acesso em: 16 set. 2018.

SAGUARAGI. **Sílica Gel Dessecante**, 2018. Disponível em: < <http://www.saguaragi.com.br/silica-gel-dessecante.html>> Acesso em: 16 set. 2018.

SENAI. **Aula 33: Análise de lubrificantes por meio da técnica ferrográfica**, 2000, p.1. Disponível em: < <http://essel.com.br/cursos/material/01/Manutencao/33manu2.pdf> > Acesso em: 05 mar. 2018.

SETHI3D. **Impressora Sethi3d AIP 1,75**, 2018. Disponível em: <<https://www.sethi3d.com.br/impressora-sethi3d-aip-175mm-com-simplify3d>> Acesso em: 05 set. 2018.

SEW. **Gearmotors: Service and Maintenance**, 2011. Disponível em: <<http://bever.bg/BG/Drive%20Academy/Reducer%20Service%20and%20Maintenance.pdf> > Acesso em: 06 jan. 2018.

SPURLOCK, M. **Machinery Lubrication: Reducing Gearbox Oil Contamination Levels**, 2014. Disponível em: <<http://www.machinerylubrication.com/Read/28393/gearbox-oil-contamination>> Acesso em: 17 fev. 2018.

STRATASYS. **Prototipagem rápida**, 2018. Disponível em: <<http://www.stratasys.com/br/impressoras-3d/technologies/fdm-technology>> Acesso em: 17 jul. 2018.

STRATASYS. **Tecnologia FDM**, 2018. Disponível em: <<http://www.stratasys.com/br/impressoras-3d/technologies/fdm-technology>> Acesso em: 17 jul. 2018.

TECHENOMICS. **Gearbox Breather Clogging: Filter Barrels**, 2010. Disponível em: <<http://www.techenomics.net/tech-blog/2010/06/filter-barrels/>> Acesso em: 01 jan. 2018.

TECNOVERITAS. **Análise partículas de desgaste usando a ferrografia**, 2018. Disponível em: <<http://www.tecnoveritas.net/pt/multimedia/newsletters-pt/industria/analise-particulas-desgaste-ferrografia/>> Acesso em: 16 set. 2018.

VISIOLUB. **Câmara de expansão**, 2018. Disponível em: <http://www.visolub.com.br/camara_de_expansao.htm> Acesso em: 05 mar. 2018.

WEG. **Cestari: Catálogo Técnico Helimax**, 2018. Disponível em: <<http://www.wegcestari.com.br/index.php/pt/downloads/catalogos-tecnicos?download=30:catalogo-tecnico-helimax>> Acesso em: 29 ago. 2018.