



Romilson Kohl

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM CORTA CHAMA *FLAME ARRESTER*
PARA SISTEMA GERADOR DE BIOGÁS**

Horizontina - RS

2020

Romilson Kohl

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM CORTA CHAMA *FLAME ARRESTER*
PARA SISTEMA GERADOR DE BIOGÁS**

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 Professor Adalberto Lovato, Me.

Horizontina - RS

2020

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

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

“Estudo e desenvolvimento de um corta chama *Flame arrester* para sistema gerador de biogás”

Elaborado por:
Romilson Kohl

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

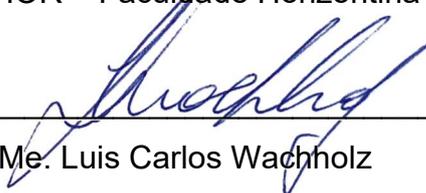
Aprovado em: 11/12/2020
Pela Comissão Examinadora



Me. Adalberto Lovato
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



Dr. Fauzi de Moraes Shubeita
FAHOR – Faculdade Horizontina



Me. Luis Carlos Wachholz
FAHOR – Faculdade Horizontina

A mim pela persistência, resultando nesta conquista, e que sempre será lembrada com orgulho.

AGRADECIMENTO

A minha família por todo o suporte prestado.

Ao meu orientador pela troca de experiência e ensinamentos.

A FAHOR por investir no futuro da nossa região.

“Não é um teste se você sabe que vai funcionar”.
(Jeff Bezos)

RESUMO

A crescente utilização de biodigestores nas atividades agropecuárias, buscando gerar renda extra, redução dos custos e cuidados com o meio ambiente, traz consigo a preocupação com a segurança das pessoas e das instalações. Como o biogás é um gás inflamável, estas instalações precisam de componentes específicos para segurança, com pouco conhecimento sobre o assunto muitos são induzidos a utilizar equipamentos não homologados ou de procedência duvidosa, surge então o risco com a segurança. O objetivo do presente trabalho é desenvolver e testar um corta chama *flame arresters*, seguindo as normas técnicas, podendo assim ser homologado por uma empresa certificadora. A metodologia do realismo crítico é aplicável para este trabalho, tendo em vista que o resultado pode ou não atender a expectativa desejada. O estudo inclui uma detalhada pesquisa teórica das normas técnicas e sobre os materiais que podem ser utilizados, na fabricação do corta chama e do dispositivo de teste. Foram desempenhados os testes utilizando os procedimentos descritos nas normas técnicas, e por fim após a análise dos dados obtidos, pode-se entender que o trabalho atingiu os objetivos propostos, de desenvolver, fabricar e testar um dispositivo corta chama.

Palavras-chave: Corta chama. Flame arresters. Biodigestores. Biogás. Segurança.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento na utilização do biogás no Brasil.....	11
Figura 2 – Ilustração de um dispositivo corta chama “ <i>Flame arresters</i> ” aplicado.....	13
Figura 3 – Tipos de corta chama de deflagração.....	15
Figura 4 – Tipos de corta chama de detonação.....	16
Figura 5 – Localização empregada.....	17
Figura 6 – Detalhes do elemento com matriz de fita corrugada.....	18
Figura 7 – Detalhes do elemento de placas paralelas.....	19
Figura 8 – Detalhes do elemento de cartucho de metal expandido.....	20
Figura 9 – Detalhes do elemento de placa perfurada.....	21
Figura 10 – Detalhes do elemento de tela.....	22
Figura 11 – Detalhes do elemento de metal sinterizado.....	23
Figura 12 – Esquema da montagem da matriz de esferas cerâmicas.....	24
Figura 13 – Dispositivo para teste de tempo de queima norma U. S Coast Guard.....	27
Figura 14 – Dispositivo para teste de detonação norma U. S Coast Guard.....	28
Figura 15 – Dispositivo de teste de retorno de chama “ <i>flashback</i> ” a norma ASTM.....	29
Figura 16 – Dispositivo de teste de deflagração montado em linha.....	31
Figura 17 – Fluxograma do desenvolvimento deste trabalho.....	32
Figura 18 – Matriz de tela malha 30.....	35
Figura 19 – Teste preliminar da matriz de tela malha 30.....	36
Figura 20 – Comparativo entre modelagem do protótipo e a norma ASTM F1273.....	38
Figura 21 - Conceito do conjunto corta chama.....	39
Figura 22 – Conceito do dispositivo com o corta chama.....	40
Figura 23 – Flanges, elemento fixador, suporte e corpo principal do dispositivo.....	41
Figura 24 – Conjunto corta chama e seus elementos.....	42
Figura 25 – Dispositivo sem corta chama(esquerda), com corta chama (direita).....	42
Figura 26 – Procedimento de teste sem corta chama.....	43
Figura 27 – Sequência de imagens do teste do dispositivo sem o corta chama.....	44
Figura 28 – Sequência de imagens do teste do dispositivo com o corta chama.....	45
Figura 29 – Acesso a manutenção e substituição do elemento matriz.....	46
Figura 30 – Adição de corta chama na entrada do gás-ar do dispositivo.....	47
Figura 31 – Conceito final do dispositivo corta chama para homologação.....	48
Figura 32 – Cronograma das atividades.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 TEMA	10
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	10
1.3 HIPÓTESES.....	10
1.4 JUSTIFICATIVA	11
1.5 OBJETIVOS	12
1.5.1 Objetivo Geral	12
1.5.2 Objetivos Específicos	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 CORTA CHAMA “ <i>FLAME ARRESTER</i> ”.....	13
2.1.1 Tipos de corta chama	14
2.1.1.1 <i>Corta chama de deflagração</i>	14
2.1.1.2 <i>Corta chama de detonação</i>	16
2.2 LOCALIZAÇÃO NO PROCESSO.....	17
2.3 MATRIZ DO ELEMENTO CORTA CHAMA.....	18
2.3.1 Fita de metal corrugado	18
2.3.2 Placas paralelas	19
2.3.3 Cartucho de metal expandido	20
2.3.4 Placa perfurada	21
2.3.5 Tela	22
2.3.6 Metal sinterizado	23
2.3.7 Esferas de cerâmica	24
2.3.8 Esferas de metal	25
2.4 NORMAS REGULAMENTADORAS.....	25
2.4.1 Estados Unidos	25
2.4.1.1 <i>Norma U.S Coast Guard (USCG)</i>	26
2.4.1.2 <i>Norma American Society for Testing and Material (ASTM)</i>	28
2.4.2 Europa e Internacional	30
2.4.2.1 <i>CEN European Standard</i>	30
3 METODOLOGIA	32
3.1 RECURSOS NECESSÁRIOS	33
4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	35
4.1 ESCOLHA DA MATRIZ PARA O ELEMENTO CORTA CHAMA	35
4.1.1 Teste preliminar do elemento corta chama	36
4.2 ESCOLHA DA NORMA, TESTE E GÁS INFLAMÁVEL	37
4.3 PROTOTIPAGEM	38
4.3.1 Modelamento dos elementos	38
4.3.2 Fabricação dos protótipos	41
4.4 COLETA DOS DADOS.....	43
4.5 ANÁLISE DOS DADOS.....	45
4.5.1 Validação do protótipo corta chama	45
4.5.2 Melhorias	46
CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE	51
ANEXO	52

1 INTRODUÇÃO

Com a atual economia, o mercado agropecuário cada vez mais procura alternativas para manter os seus negócios, visando renda extra, redução de custos e cuidado com o meio ambiente. Nesse contexto, há um aumento na implementação de fonte de energias renováveis, principalmente a utilização de biodigestores para a geração de biogás, que pode ser utilizado como energia elétrica, térmica ou vendido em forma de biocombustível.

O biogás é composto em sua maioria por gás metano altamente inflamável, e com o armazenamento deste em grandes volumes, cria-se a demanda por equipamentos de segurança que hoje são utilizados por grandes empresas, tais como: empresas petrolíferas e de gás natural. A aplicação destes dispositivos de segurança na maioria dos casos é dificultada ou complicada, por muitas vezes, devido à falta de conhecimento das pessoas envolvidas ou indisponibilidade de produtos específicos para este mercado.

Um dos dispositivos necessários para este tipo de instalação é o corta chama, *flame arresters*. Este tem como objetivo evitar a propagação da chama em tubulações e tanques de armazenamento de líquidos e gases inflamáveis, equipamento indispensável para garantir a segurança das instalações e a integridade das pessoas que a operam e mantêm o equipamento em funcionamento. As normas internacionais relacionadas à segurança dentre estas a do equipamento *flare*, que tem a função de queimar o excesso de gás produzido, torna o uso obrigatório para todos os biodigestores não domésticos (ISO 20675, 2016).

O *flare* deve ter um corta chama colocado entre a válvula principal do gás e o queimador, para prevenir a propagação da chama até a fonte ou dispositivo de armazenamento (ISO 22580, 2020). A mesma norma declara que para prevenir efeitos danosos na fonte do gás ou no dispositivo de armazenamento por possíveis faíscas provenientes dos equipamentos como: compressores e ventiladores, é recomendado instalar corta chama adicionais à montantes desses equipamentos.

A importância para as instalações geradoras de biogás seguirem as normas de segurança é fundamental, principalmente nos processos que envolvem produtos inflamáveis, e a presença do corta chama nestas instalações se torna obrigatória. E disponibilizar um produto para a segurança destas instalações, se torna um dever para

o engenheiro, e é com este intuito, que se busca desenvolver um corta chama funcional para este mercado.

1.1 TEMA

Estudo, desenvolvimento e testes segundo as normas regulamentadoras para corta chama "*flame arresters*".

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Os geradores de biogás estão em risco com a armazenagem e utilização de processos incorretos, no caso tratado por este trabalho, a utilização precária de dispositivos de segurança contra explosão. Acidentes com a explosão de gases inflamáveis são noticiados anualmente, e por isso, é necessário possuir equipamentos adequados que sigam as normas de segurança; todo este cuidado é fundamental para se evitar catástrofes.

Um dos riscos nestas instalações, é a utilização de produto com qualidade e funcionamento duvidoso, ou a não utilização. As empresas que comercializam seus produtos neste segmento de mercado são especializadas, mas em sua maioria desconhecidas pelos pequenos produtores, por normalmente oferecerem seus serviços somente a empresas de grande porte, ou agregarem um custo muito elevado de aquisição. Com isso, o mercado gerador de biogás fica desprovido de um produto de segurança para sua infraestrutura, correndo o risco de acidentes graves e o não cumprimento das leis e normas.

Com base neste mercado, e em busca de preencher a lacuna existente, o problema de pesquisa caracteriza-se em: é possível desenvolver, manufaturar e testar um corta chama para biodigestores?

1.3 HIPÓTESES

Com a realização do estudo, desenvolvimento e testes do dispositivo corta chama, depara-se com as seguintes hipóteses:

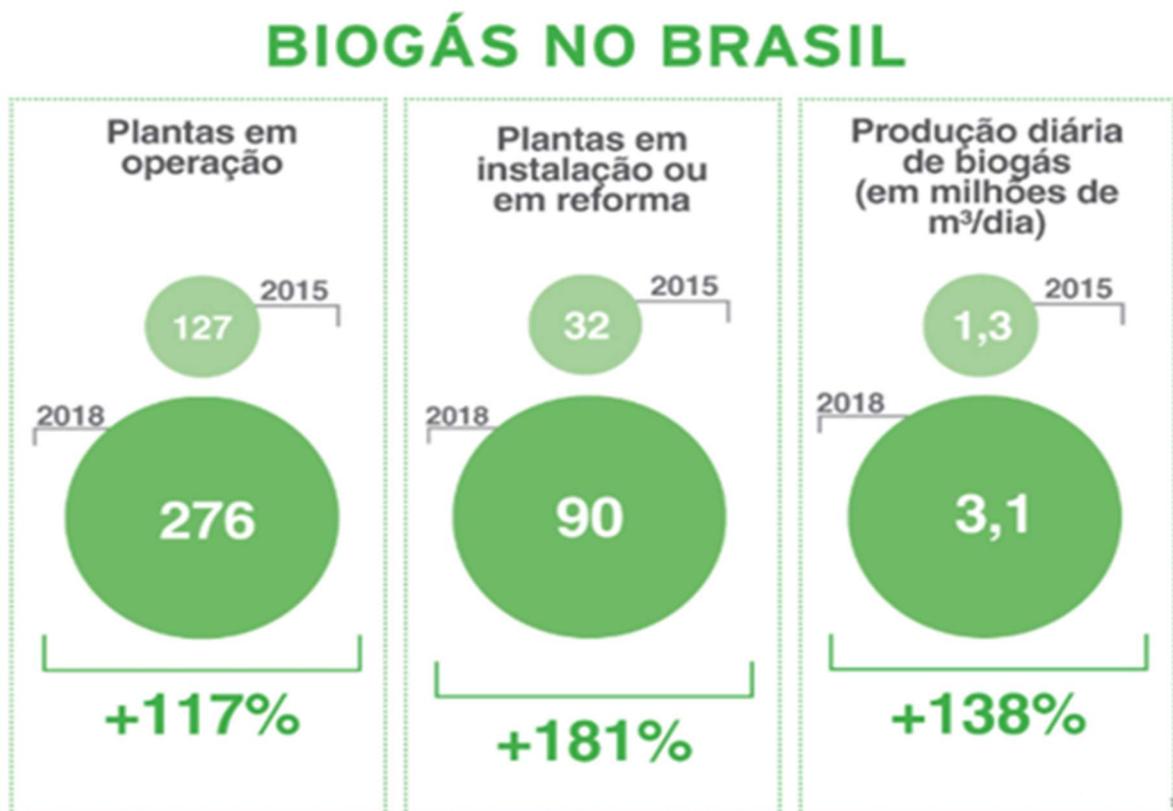
- a) O corta chama funciona com a matriz do elemento escolhida.
- b) O corta chama funciona com apenas uma camada da matriz.
- c) O corta chama pode ser manufaturado com materiais encontrados em fornecedores locais.

1.4 JUSTIFICATIVA

Com a armazenagem de gases inflamáveis em grandes quantidades, é obrigatório seguir as normas e leis governamentais para este tipo de instalação. Atualmente a maioria destas instalações utilizam produtos de qualidade inferior ou não homologados para os devidos fins, que acarreta risco de segurança tanto para as pessoas quanto para as instalações, mas em contrapartida cria-se a demanda de novos produtos e mão de obra especializada neste segmento, tais como, instalação e manutenção.

Assim sendo, é possível explorar este mercado crescente, disponibilizando produtos e peças de reposição para este. A figura 1 mostra o crescimento do mercado do biogás, comparando o ano de 2015 ao ano de 2018, é evidente que este segmento de mercado está em crescimento acelerado de acordo com os números apresentados.

Figura 1 – Crescimento na utilização do biogás no Brasil.



FONTE: Adaptado pelo autor de Clbiogas.org.

Com reflexo da demanda crescente por produtos referentes a energias renováveis, sendo a geração de biogás uma delas, com os benefícios da sua produção como por exemplo, ganhos provenientes com a venda de energia excedente ou do

gás combustível produzido, redução de custos com energia elétrica ou aquecimento e o cuidado com o meio ambiente tratando os resíduos causadores de poluição ambiental, resultando posteriormente em um material que pode ser utilizado para correção de solo e fertilizante e ser comercializado.

Portanto com a iniciativas ambientais em tratar resíduos orgânicos diminuindo os gases poluentes liberados na atmosfera resulta no crescimento do mercado destinado a processar estes resíduos e que este continuará crescendo. Outro fator considerável é a baixa concorrência neste seguimento específico de dispositivos de segurança para instalações geradoras de biogás tornam este um mercado de investimento em potencial.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

Estudar métodos utilizados para desenvolver, manufaturar e testar um dispositivo corta chama apropriado para o biogás, e posteriormente homologação por empresa certificadora.

1.5.2 Objetivos Específicos

Com base nas hipóteses, busca-se seguir alguns objetivos específicos no desenvolvimento da pesquisa, para conseguir ser mais assertivo na escolha da solução, estes são:

- a) Estudar os dispositivos corta chama, seu funcionamento e as suas aplicações;
- b) Desenvolver e fabricar um protótipo do dispositivo corta chama com base nos estudos feitos;
- c) Estudar os métodos de testes para o dispositivo corta chama;
- d) Desenvolver e fabricar o dispositivo para teste do elemento corta chama;
- e) Realizar os testes necessários e confirmar se o dispositivo pode ser encaminhado para homologação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

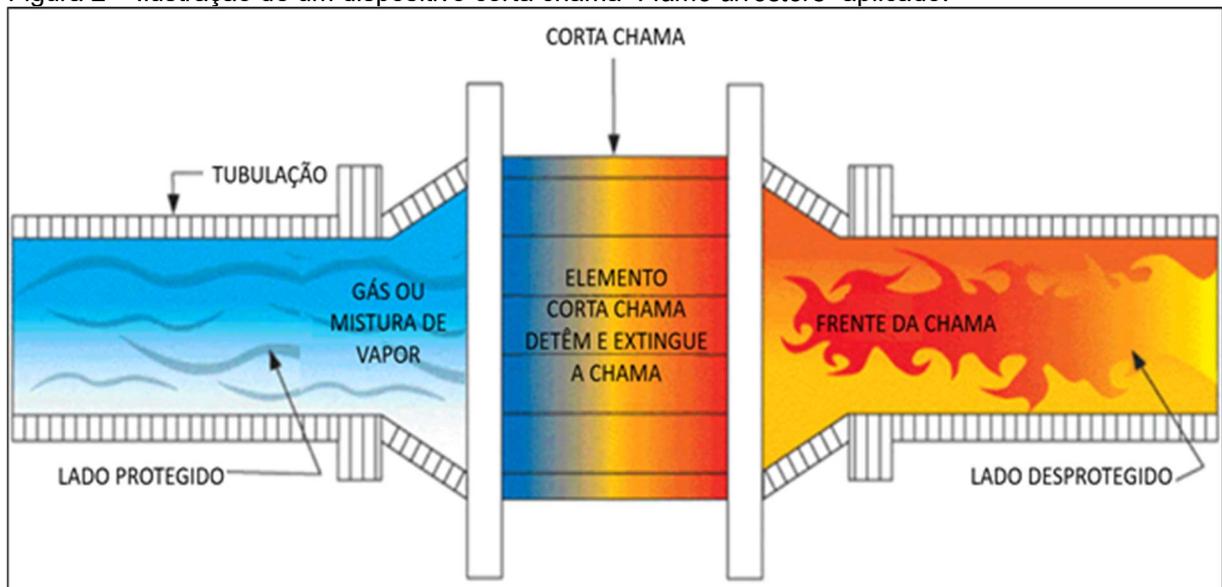
No decorrer deste trabalho é preciso um estudo aprofundado sobre os corta chamas, com o objetivo de esclarecer quais ações devem ser tomadas no desenvolvimento do corta chama.

2.1 CORTA CHAMA “FLAME ARRESTER”

Compostos químicos orgânicos combustíveis, como os gases ou vapores de gasolina e outros hidrocarbonetos, são susceptíveis à combustão em contato com uma substância comburente, como por exemplo o oxigênio da atmosfera, necessitando apenas de uma energia de ativação, também conhecida como ignição. Esta energia para inflamar o combustível pode ser fornecida através de uma faísca ou de uma chama, após iniciada a reação química de oxidação, e o calor desprendido mantém o processo em funcionamento, liberando chamas, calor e luz (ISO 16852, 2016).

Conforme a norma ISO 16852, o uso de corta chama na entrada de equipamentos, como tanques de armazenamento, ou no interior de tubulações e dutos, é um meio seguro utilizado para prevenir o risco de transmissão ou a passagem da frente de chamas de combustão de misturas explosivas. Mas estes possuem limites operacionais de aplicação para misturas de gás-ar ou vapor-ar, sendo para pressão de trabalho entre 80 kPa a 160 kPa e temperatura entre -20°C a 150°C.

Figura 2 – Ilustração de um dispositivo corta chama “*Flame arresters*” aplicado.



Fonte: Adaptado pelo autor do site Athex.eu.

Na figura 2 é ilustrado o princípio básico de funcionamento de um corta chama em um sistema de passagem de gás. O início desta chama pode acontecer por várias maneiras, como por exemplo: reações químicas, faíscas ou centelhas, superfícies quentes, eletricidade estática.

Pode ser interpretado na figura supracitada, que a chama se propaga da direita para esquerda pela tubulação; esta então, encontra o dispositivo corta chama, e dentro deste há um elemento de matriz específica, que tem a função de deter e extinguir a chama, garantido proteção, segurança e integridade ao sistema.

2.1.1 Tipos de corta chama

De acordo com Grossel o dispositivo corta chama é classificado por certas características e princípios operacionais, tais como: localização no processo, condição de combustão e matriz do elemento corta chama. A condição de combustão é dividida em dois tipos principais: deflagração e detonação; outro parâmetro para a seleção, é a direção em que a chama pode atingir o elemento corta chama, podendo ser direcional, quando a chama atinge somente um lado do elemento, ou bidirecional, onde a chama pode atingir ambos os lados do elemento.

2.1.1.1 *Corta chama de deflagração*

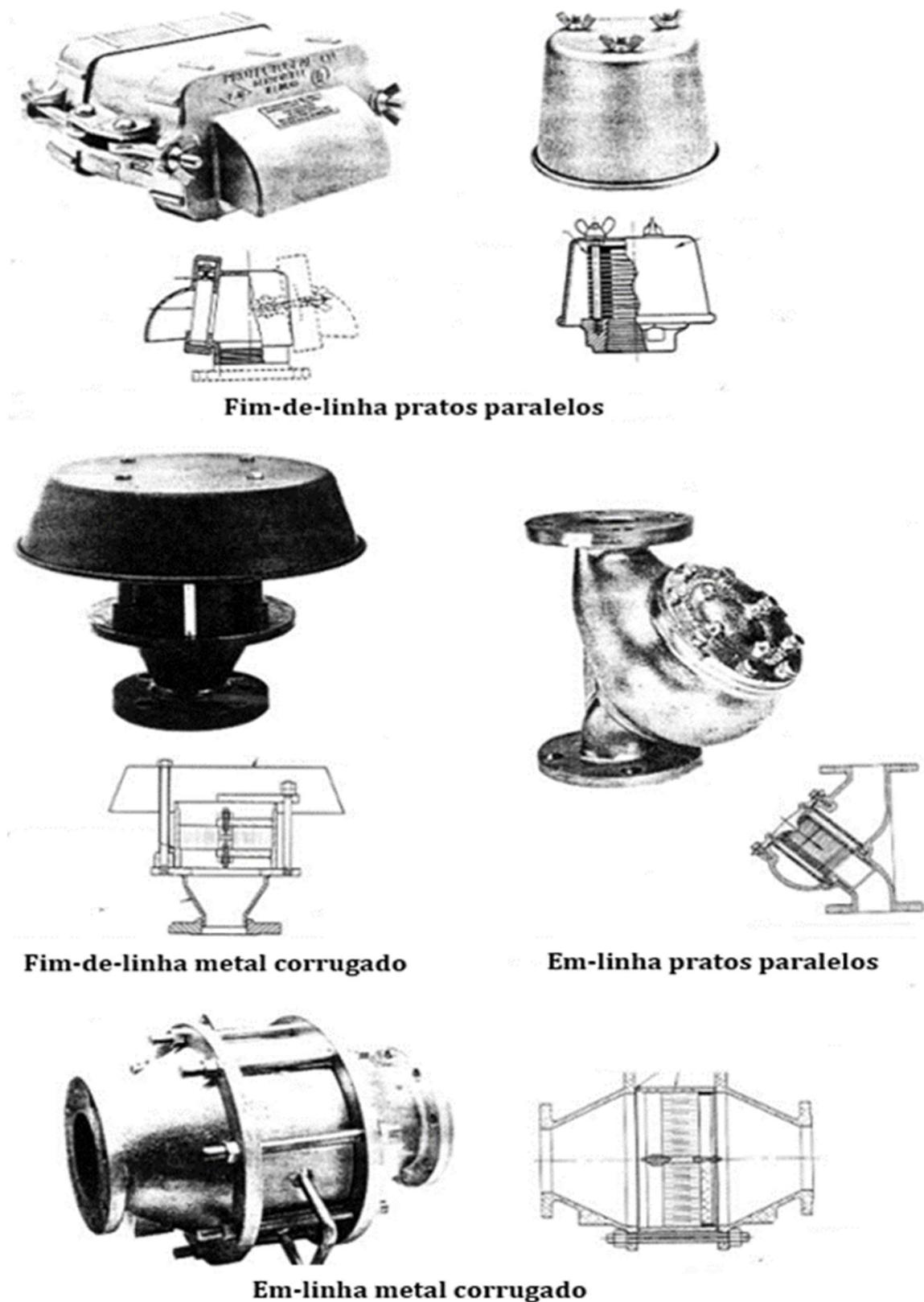
Uma descrição sobre o que seria deflagração é encontrada na norma ISO, primeiramente ela explica o que seria explosão, “reação abrupta de oxidação ou decomposição, produzindo um aumento de temperatura, de pressão ou de ambos simultaneamente” (ISO 8421-1, 1987, 1.13). Com isso é possível definir deflagração, “deflagração é uma explosão que se propaga a velocidade subsônica” (ISO 8421-1, 1987, 1.11).

Corta chama de deflagração para tanques são desenvolvidos para impossibilitar a propagação da chama para dentro do tanque a partir de uma atmosfera aberta, ou prevenir que a chama gerada no compartimento confinado escape para fora. Estes normalmente não conseguem suportar pressão e não podem parar uma propagação por detonação.

A velocidade da propagação da chama em deflagração que ocorre em tubulações tem uma média de 3 a 60 m/s, e a deflagração de misturas de combustível-ar geram pressões 8 a 12 vezes a pressão inicial em compartimentos fechados. A

figura 3 apresenta alguns tipos de corta chama de deflagração utilizados (GROSSEL, 2002).

Figura 3 – Tipos de corta chama de deflagração.

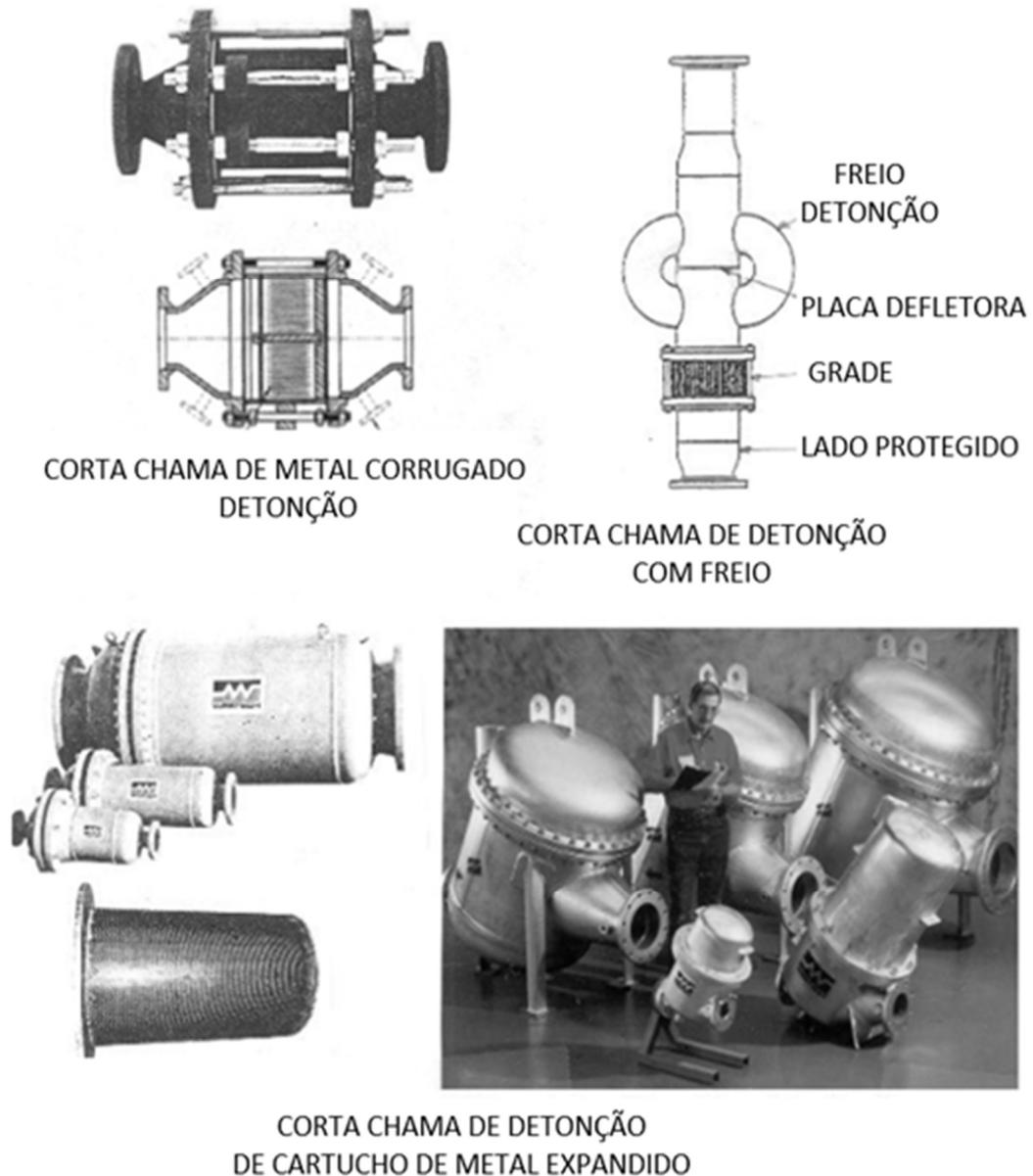


Fonte: Adaptado pelo autor de Gossel, 2002, p 23.

2.1.1.2 *Corta chama de detonação*

Uma descrição do que seria a detonação é encontrada na norma ISO, “explosão com propagação com velocidades supersônicas e caracterizada por onda de choque” (ISO 8421-1, 1987, 1.12). Na figura 4 é mostrado alguns tipos de corta chama de detonação, com a diferença visível de que os componentes internos são mais robustos em relação ao corta chama de deflagração, em casos específicos a adição de barreiras utilizadas como freio para a onda de choque proveniente da detonação.

Figura 4 – Tipos de corta chama de detonação.



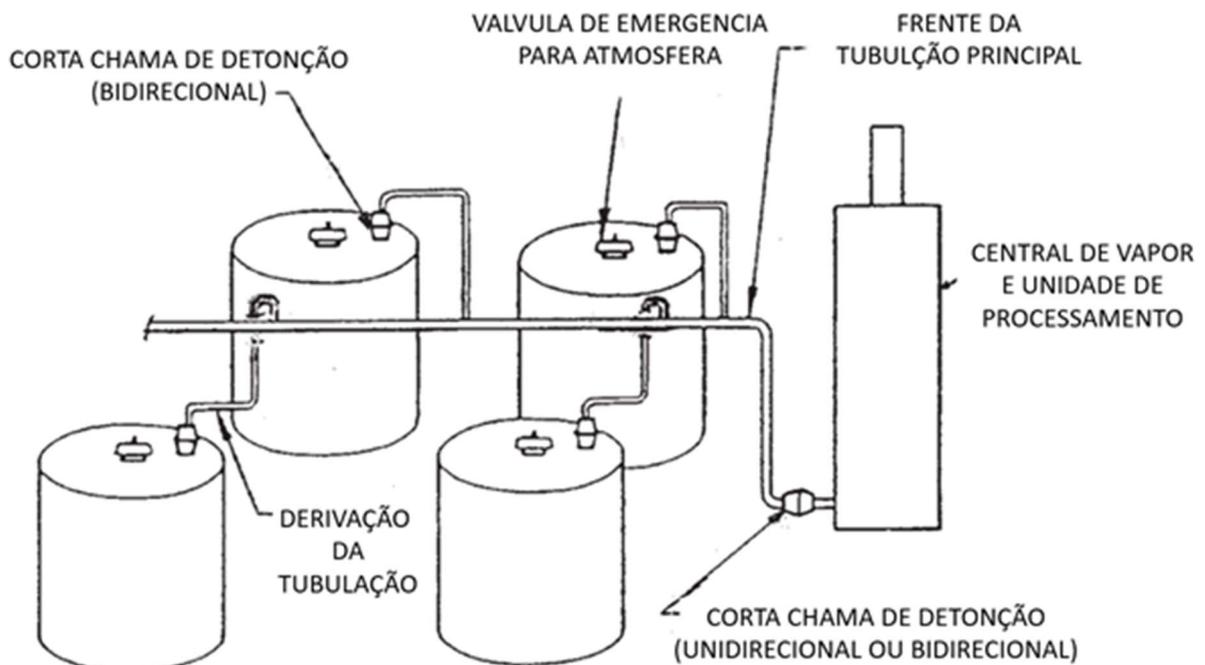
Fonte: Adaptado pelo autor de Grossel, 2002, p 26.

Corta chama de detonação é desenvolvido para suportar e extinguir a propagação das chamas em alta velocidade e pressão; portanto, devem conseguir suportar os efeitos mecânicos da onda de choque criada pela detonação, enquanto extingue a chama. Alguns modelos possuem absorvedor de ondas de choque em frente ao elemento corta chama, para reduzir a alta pressão desta, quanto a energia dinâmica dividindo a frente da chama antes desta atingir o elemento corta chama (GROSSEL, 2002).

2.2 LOCALIZAÇÃO NO PROCESSO

Um das características que classificam o corta chama é sua localização no processo, e qual equipamento este deve proteger. Grossel explica, quando o corta chama é localizado diretamente na estrutura ou no bocal de ventilação do tanque este é caracterizado como “fim de linha” (*end-of-line*); neste caso usualmente empregado a utilização de corta chama de deflagração, frequentemente instalados em tanques com pressão atmosférica, tanques de processo, e em containers de transporte (GROSSEL, 2002).

Figura 5 – Localização empregada.



Fonte: Adaptado pelo autor de Grossel, 2002, p21.

Se o corta chama não estiver localizado no fim da linha, este é conhecido como “em linha” (*in-line*), podendo ser do tipo de deflagração ou detonação. Podem ser

instalados em bocais de ventilação em tanques de pressão atmosférica, e nesta situação possuem uma pequena tubulação conectada a eles para direcionar para longe do tanque os vapores e as possíveis chamas que possam ocorrer (GROSSEL, 2002). Na figura 5 é representado algumas localizações de fim de linha e em linha, onde pode ser visto também a utilização de dispositivos bidirecionais.

Corta chama de detonação deve ser sempre usado quando houver a possibilidade de ocorrer a detonação; esta possibilidade é maior em tubulações de distribuição, onde são coletados os gases dos tanques para processamento (GROSSEL, 2002).

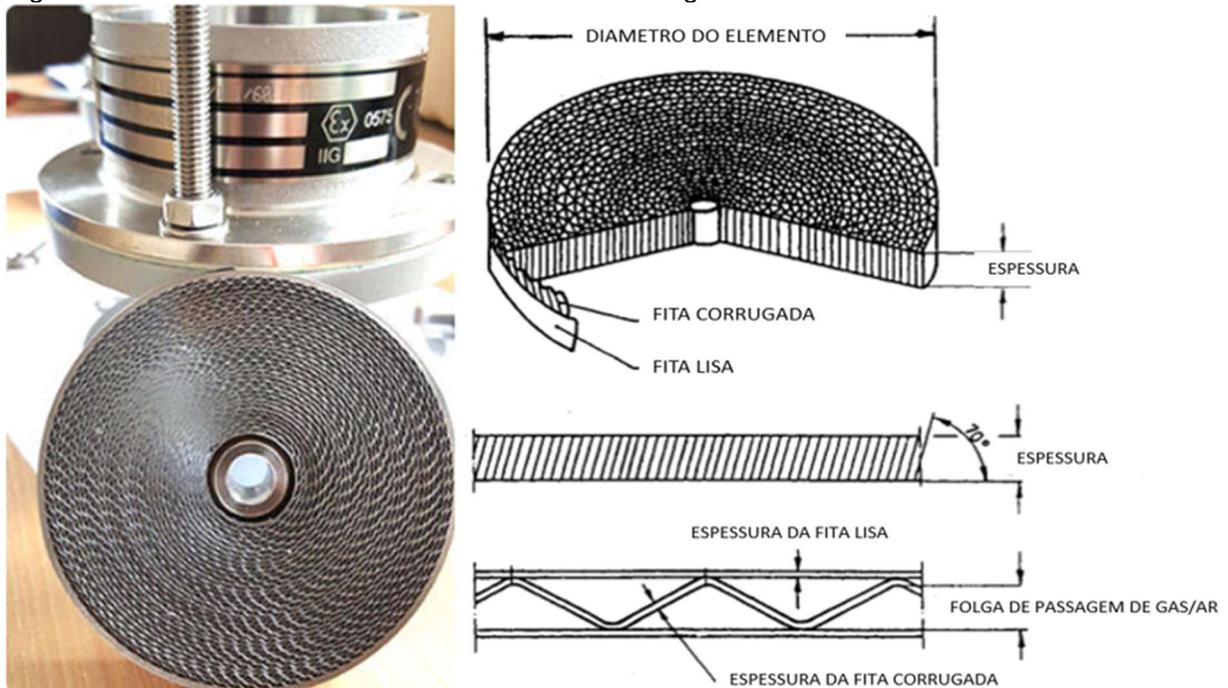
2.3 MATRIZ DO ELEMENTO CORTA CHAMA

Existe uma diversidade de matriz de elemento corta chama. No decorrer deste estudo será apresentado algumas das matrizes e materiais utilizados, e em qual situação cada uma pode ser empregado.

2.3.1 Fita de metal corrugado

O elemento é constituído de uma fita de metal corrugado, sendo um dos tipos mais utilizados especialmente no grupo de detonação; sua construção é feita de uma fita de metal corrugado envolvida alternadamente com uma fita de metal liso.

Figura 6 – Detalhes do elemento com matriz de fita corrugada.



Fonte: Adaptado pelo autor de grupo-wolff e Grossel, 2002, p 80.

Podem ser de mesma espessura formando uma montagem circular, podendo com isso, possuir várias linhas intercaladas e no diâmetro e espessura desejado. Na figura 6, é visivelmente notada as características supracitadas (GROSSEL, 2002).

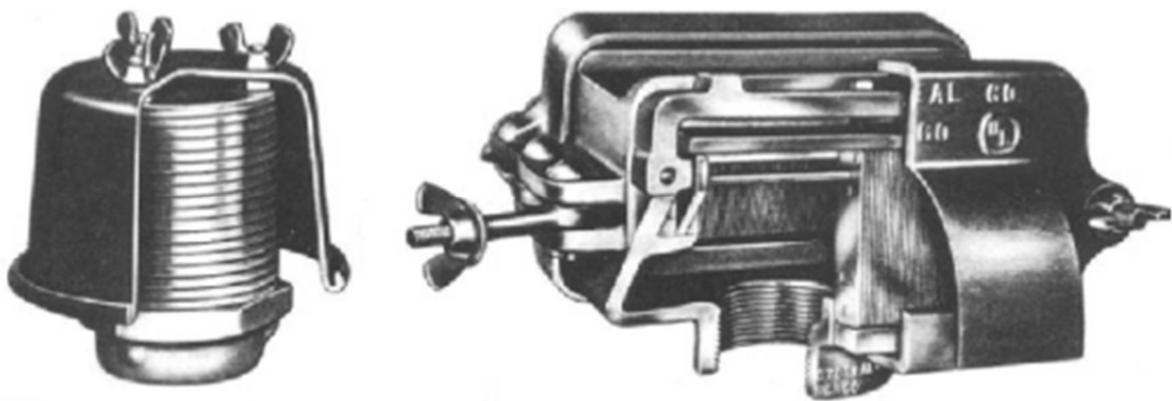
Entre a fita corrugada e a fita lisa formam-se pequenas passagens de formato triangular, e seu tamanho pode ser projetado para a aplicação necessária. Algumas das vantagens deste tipo de elemento são: podem ser manufaturados com tolerância justas, são robustos o suficiente para suportar choques mecânicos e térmicos e possuem baixa resistência ao fluxo dos gases (GROSSEL, 2002).

São instalados entre suportes projetados para um melhor acesso para limpeza, manutenção e substituição do elemento sem a necessidade da remoção da tubulação; podem também ser fundidos nos suportes, com isso, não é possível a remoção destes (GROSSEL, 2002).

2.3.2 Placas paralelas

Elemento de matriz de placas paralelas é usado localizado no processo tanto no fim da linha como em linha, são elementos de deflagração e não são empregados em dispositivos de detonação. Sua construção é por meio de placas ou anéis de metal perfurados, dispostos em ângulo ao fluxo de gás e separados um do outro por um pequeno espaçamento.

Figura 7 – Detalhes do elemento de placas paralelas.



Fonte: Grossel, 2002, p 82.

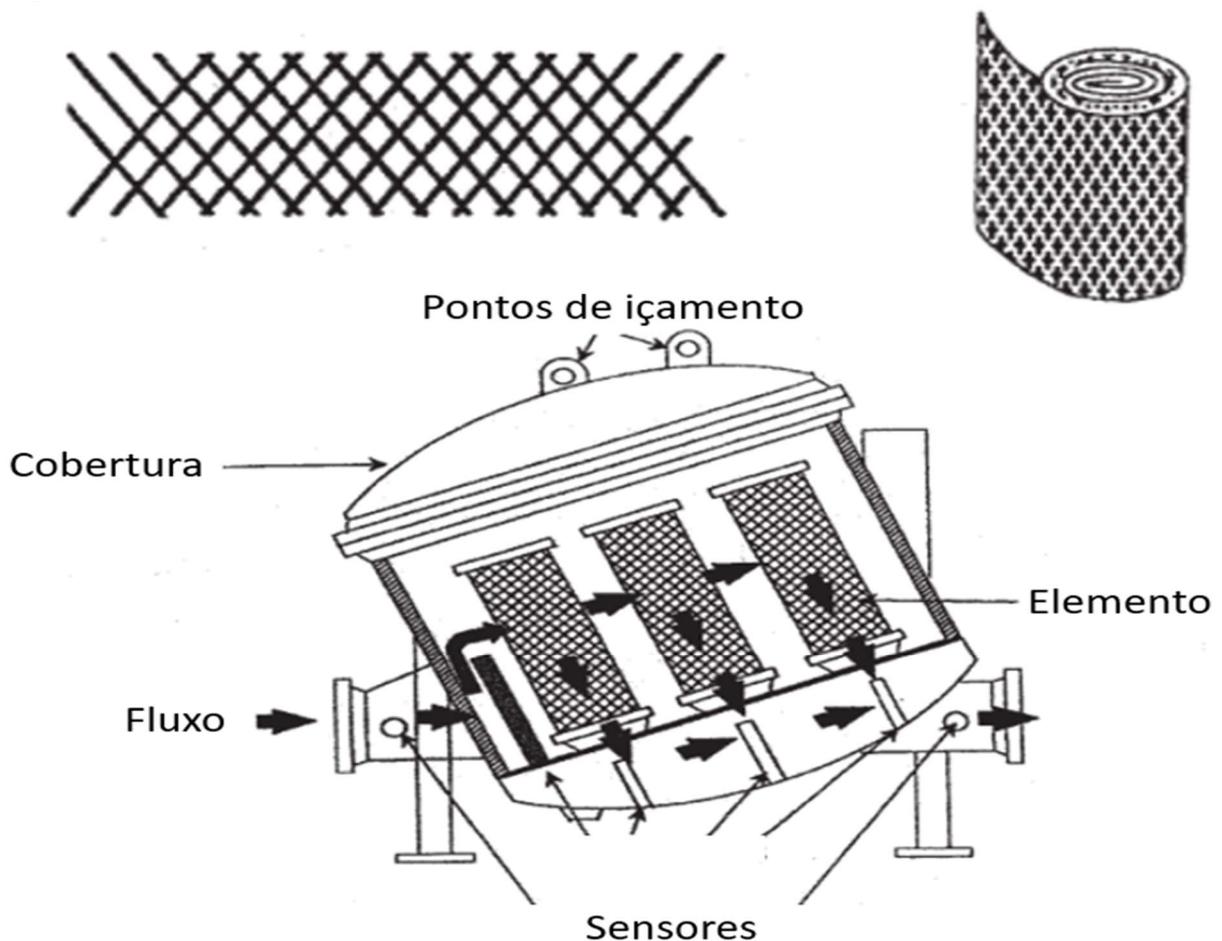
O espaçamento é mantido por pequenas juntas ou por pequenos núcleos integrados às placas o que pode ser visto na figura 7. Eles são relativamente de baixo custo, robustos e fáceis de serem desmontados para limpeza, sua principal

desvantagem é o peso, especialmente em tamanhos grandes com caixas de aço ou aço inoxidável (HSE 1980).

2.3.3 Cartucho de metal expandido

Os elementos de cartucho de metal expandido são compostos por uma folha de metal entrelaçada em ângulo, envolvida de maneira semelhante a um elemento de filtro. As aberturas em forma de diamante não são alinhadas durante a montagem, para que não haver caminho direto de uma camada para a seguinte. A Figura 8 mostra detalhes de um elemento de cartucho de metal expandido (GROSSEL, 2002).

Figura 8 – Detalhes do elemento de cartucho de metal expandido.



Fonte: Adaptado pelo autor de Grossel, 2002, p 83.

Esse projeto tende a reduzir a incidência de entupimento por sólidos em suspensão, uma vez que estes não serão fortemente depositados na face de entrada. Os elementos são normalmente montados deslocados lateralmente, com relação ao fluxo de gás, de modo que o fluxo passe radialmente em direção ao eixo do cartucho.

Isso cria uma área de superfície de entrada relativamente grande que reduz ainda mais os problemas de entupimento (GROSSEL, 2002).

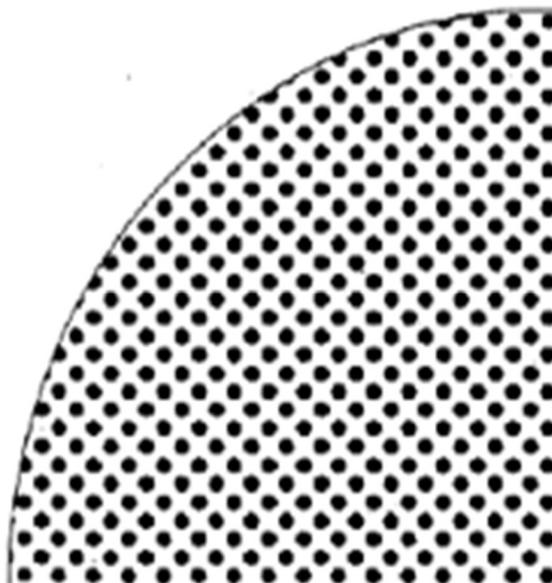
As desvantagens incluem problemas de suporte dessas unidades para diâmetros de tubos maiores devido ao seu tamanho e peso. Devem estar localizados na tubulação ou perto dela para facilitar a manutenção, estão disponíveis para aplicações de deflagração e detonação e são projetados para fluxo bidirecional (LAPP E VICKERS, 1992).

O elemento de cartucho de metal expandido pode ser fabricado em diferentes configurações, uma delas é a de um cilindro que se encaixa em um alojamento com conexões de entrada e saída deslocadas. A outra configuração é a de um “dedal” soldado a um flange para inserção em um alojamento em linha, “direto” (GROSSEL, 2002).

2.3.4 Placa perfurada

Conforme Grossel o elemento de placa perfurada é utilizado principalmente em deflagração. As placas perfuradas são geralmente em aço inoxidável, mas alguns modelos também incorporam discos refratários perfurados e compressas de gaze em combinação com placas de metal. Os diâmetros dos furos e a espessura das placas disponíveis cobrem uma faixa bastante ampla. Na figura 9 é mostrado uma ilustração de placa perfurada.

Figura 9 – Detalhes do elemento de placa perfurada.



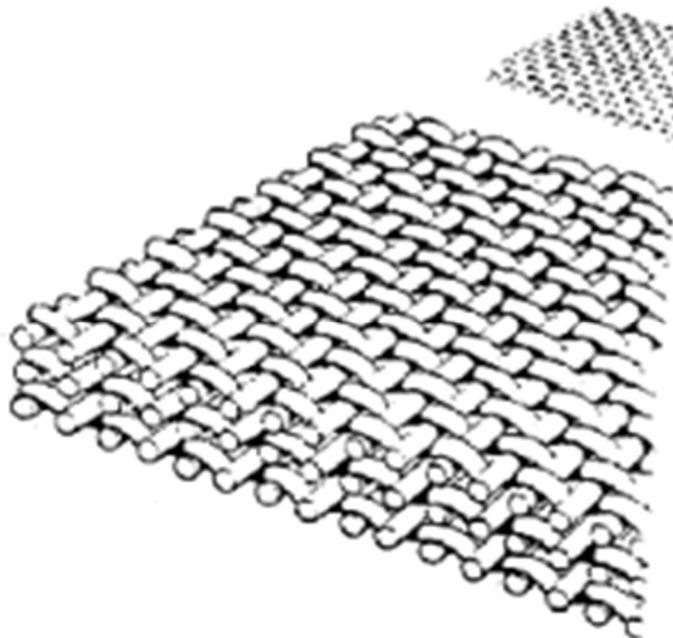
Placas perfuradas têm maior resistência mecânica e são menos propensos a superaquecer do que os elementos de matriz de tela, mas a proporção da área da placa disponível para fluxo de gás é ainda menor do que a das matrizes de tela correspondentes (GROSSEL, 2002).

2.3.5 Tela

Elementos de tela foram utilizadas nas lâmpadas dos mineiros no século XVIII, desde então, têm sido usadas como elementos de proteção em várias aplicações. Esses elementos têm a forma de tela composta por cabos de aço entrelaçados, fabricados de forma a garantir que o tamanho da abertura entre a disposição dos cabos seja cuidadosamente controlado. Camadas únicas de tela têm um desempenho muito limitado, e as telas mais grossas do que malha 28 em polegadas lineares são ineficientes para apagar uma chama, e as mais finas que malha 60 em polegadas lineares são suscetíveis de ficarem bloqueadas (GROSSEL, 2002).

As principais vantagens das telas são seu baixo custo, disponibilidade imediata e facilidade de montagem. Suas desvantagens incluem eficácia limitada na extinção de chamas de alta velocidade, a facilidade com que eles são danificados e a resistência das telas com malha acima de 60 ao fluxo de gases e queda de pressão (GROSSEL, 2002). Na figura 10 é mostrado um pacote de tela montado uma sobre a outra.

Figura 10 – Detalhes do elemento de tela.



É salientado por Grosseil que as telas podem ser combinadas em pacotes de várias camadas, e se estas forem todas da mesma largura de malha, serão mais eficazes do que uma camada simples, no entanto, a eficácia aumentada é limitada. Pacotes combinados de uma malha grossa e uma malha fina são menos eficazes contra a chama do que apenas a tela fina.

Uma desvantagem dos pacotes de tela é que o bom contato necessário entre as camadas de tela pode ser difícil de ser garantida na prática sem a fusão ou calandragem (HSE, 1980). Possuem eficácia limitada com relação a temperatura e alta velocidade das chamas, eles são usados apenas em deflagração (BJORKLUND, 1982).

2.3.6 Metal sinterizado

O metal sinterizado é muito eficaz como elemento, mas oferece alta resistência ao fluxo de gás, portanto, é adequado apenas para usos onde o fluxo de gás é pequeno ou alta pressão está disponível (por exemplo, na descarga do compressor ou reservatório pressurizado). Os principais usos estão na frente de sensores de detecção de gases inflamáveis e em equipamentos de solda a gás oxiacetileno (GROSSEL, 2002). Na figura 11 é apresentado um elemento de metal sinterizado.

Figura 11 – Detalhes do elemento de metal sinterizado.



Fonte: Grosseil, 2002, p 86.

Elemento de metal sinterizado podem ser instalados em paralelo para compensar o problema de queda de pressão. Uma vantagem do metal sinterizado é que ele pode ser produzido em uma variedade de formas para se adequar à aplicação,

uma desvantagem é que as pequenas aberturas tendem a bloquear facilmente e, portanto, esses devem ser usados apenas com gases limpos. A montagem do elemento de metal sinterizado é crítica porque a folga entre ele e o alojamento deve ser menor que as dimensões da passagem do prendedor (HOWARD, 1982).

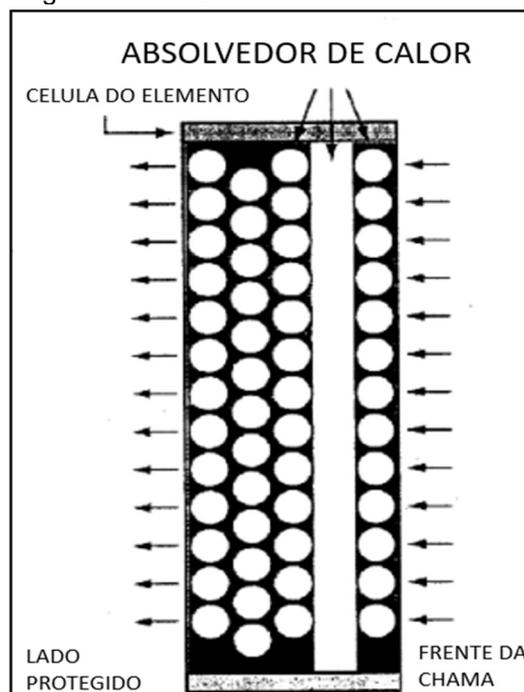
Se uma chama estabilizar na superfície de um elemento de metal sinterizado, existe o risco de que a chama acabe queimando seu caminho através do disco de metal sinterizado. Por esse motivo, podem incorporar um dispositivo de corte de fluxo ativado por pressão ou temperatura (PHILLIPS E PRITCHARD, 1986).

As aberturas em elementos metálicos sinterizado podem ser tão pequenas que esse é capaz de apagar detonações, desde que tenha resistência mecânica suficiente. É necessário um cuidado especial para garantir uma ancoragem segura do elemento sinterizado para evitar vazamentos ao redor do elemento causados pelo impacto da onda de choque (HSE, 1980).

2.3.7 Esferas de cerâmica

As bolas de cerâmica (alumina) são usadas por um fabricante elemento de detonação. As bolas de cerâmica estão contidas entre os conjuntos de grade de aço inoxidável (GROSSEL, 2002). Na figura 12 é possível ver como é montada a matriz de esferas.

Figura 12 – Esquema da montagem da matriz de esferas cerâmicas.



Fonte: Grossel, 2002, p 86.

Na figura supracitada apresenta a construção de um elemento de esferas de cerâmica, sua diferença em relação as esferas de metal é que com este material não é necessário mesclar tamanhos de esferas, mas é preciso fabricar um conjunto onde as esferas possam ser montadas e fixadas. As vantagens e desvantagens deste tipo de matriz é semelhante à da matriz de esferas metálicas.

2.3.8 Esferas de metal

Consistem em uma torre ou caixa preenchida com tamanhos variados de esferas de metal. Os tamanhos das esferas variam de malha 4 a 7 para as esferas maiores e de malha 40 a 60 para as esferas menores. As esferas maiores são dispostas na camada externa e as esferas menores estão nas camadas internas. Um tamanho de dispositivo típico tem 6 polegadas de diâmetro externo por 15 polegadas de comprimento. O tamanho das aberturas depende do diâmetro das esferas, que estão bem juntas dentro do container para impedir o movimento. Algumas vantagens são a facilidade de desmontagem para fins de limpeza, e robusto para suportar detonações (GROSSEL, 2002).

No entanto, as desvantagens incluem o peso, resistência relativamente alta ao fluxo de gás e o tamanho das aberturas não são diretamente controlados. Movimento do arremesso ou bolhas durante uma deflagração ou detonação pode levar à falha destes (HSE, 1980).

2.4 NORMAS REGULAMENTADORAS

Existe normas que abrangem a fabricação e testes para cada modelo de corta chama dentro das características de deflagração e explosão, e quais as suas propriedades no sistema que este deve proteger. Devido este ser um dispositivo de segurança, é preciso um desenvolvimento seguindo as normas que regem o controle de fabricação e certificação dos corta chama *flame arresters*. Há normas técnicas que regulamentam os testes de validação e utilização de corta chama em cada continente do globo, e específicas para cada aplicação (GROSSEL, 2002).

2.4.1 Estados Unidos

Nos Estados Unidos corta chama possuem suas normas regulamentadoras publicadas pelas seguintes empresas, *U.S Coast Guard* (USCG), *Underwriters*

Laboratories (UL), Factory Mutual Research (FM), e American Society for Testing and Material (ASTM).

2.4.1.1 *Norma U.S Coast Guard (USCG)*

A USCG é amplamente usada para testes e certificações para empresas que manufacturam corta chama nos EUA; possuindo certas vantagens perante as outras normas citadas (GROSSEL, 2002).

Algumas das características descritas na norma 33 CRF Apêndix – A parte 154 baseiam-se em um conjunto de normas ASTM, complementando que a norma fornece as medidas de folga segura para o elemento corta chama e apresenta como devem ser feitos os testes de tempo de queima e de detonação, e como devem ser fabricados os dispositivos para realizar os testes do corta chama (USCG, 2010).

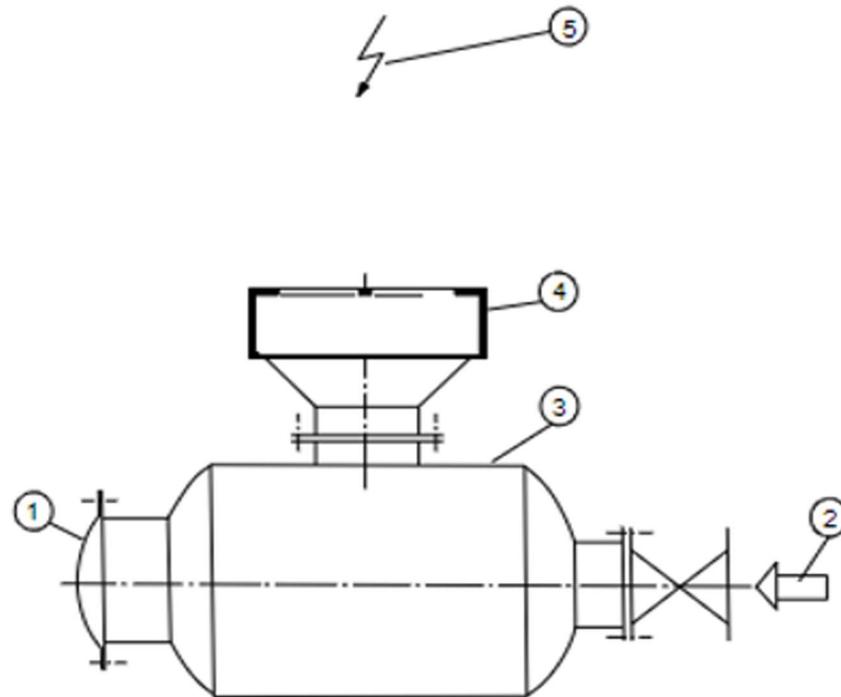
Complementando a norma, Grossel explica uma sequência mais dinâmica dos testes: em primeiro o corta chama precisa ser bidirecional; segundo deve conseguir lidar com uma sequência de cinco deflagrações consecutivas em uma tubulação de comprimento igual a dez vezes seu diâmetro, cinco deflagrações com uma restrição na saída da tubulação localizada a 0,6 m do corta chama, cinco detonações consecutivas, e cinco detonações acima da especificada. Em terceiro, é necessário o teste de tempo de queima, onde se, o mesmo aguentar 2 horas é classificado como tipo I, entre 15 minutos e 2 horas é classificado como tipo II; em quarto o corta chama de detonação precisa suportar uma pressão hidrostática de 350 psig por 10 minutos sem se romper, ter vazamentos ou empenamento. Em quinto após todos os testes com chamas, é testado pneumáticamente com uma pressão de 10 psig para assegurar que este não possui vazamentos (GROSSEL, 2002).

O teste de tempo de queima decorre da seguinte forma: ocorre a ignição do gás na face do elemento corta chama, a matriz precisa suportar por um determinado tempo sem deixar que a chama retroceda para dentro do sistema (tanque). A norma não especifica se o elemento precisa estar na vertical ou horizontal; se ocorrer o retrocesso da chama para dentro do tanque, o gás contido dentro do tanque sofrerá ignição gerando uma onda de choque rompendo o diafragma de detonação mostrando que o teste falhou (USCG, 2010). Na figura 13 é apresentado a características do dispositivo necessárias para testar o elemento corta chama, pode-se observar na norma USCG que para o teste de tempo de queima, o dispositivo é composto por:

1. Diafragma de detonação de plástico.

2. Entrada de mistura de gás.
3. Tanque ou recipiente.
4. Elemento corta chama.
5. Fonte de ignição.

Figura 13 – Dispositivo para teste de tempo de queima norma U. S Coast Guard.



Fonte: Norma USCG 33 CFR part 154.

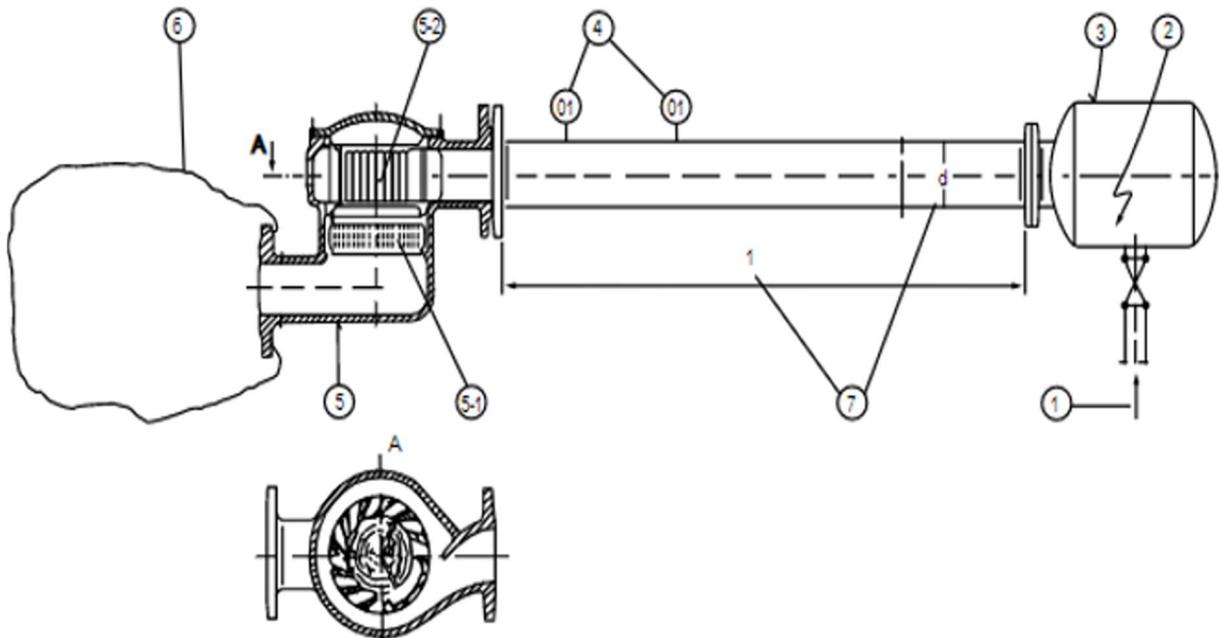
Conforme a norma USCG, para o teste de detonação podemos observar uma proposta semelhante de dispositivo ao teste de tempo de queima, mas com a adição de elementos próprios.

O teste decorre pela ignição do gás dentro do tanque (3), percorre a tubulação (7), tem a velocidade de propagação medida pelos sensores (4), a onda de choque é absorvido (5.2), após passar somente a chama, esta atinge o elemento corta chama que a extingue; se o saco plástico (6) vir a explodir ou romper com visualização de chamas é sinal de que o teste falhou. A falha pode acontecer pela onda de choque atravessar o absorvedor, ou o elemento falhar em extinguir a chama e ela chegar ao saco plástico destruindo-o. Na figura 14 é detalhado o dispositivo:

1. Entrada de mistura de gás-ar.
2. Fonte de ignição.
3. Tanque ou recipiente.

4. Sistema de medição da velocidade da chama para detonação estável.
5. Corta chama montado em linha.
 - 5.1 Elemento corta chama.
 - 5.2 Absorvedor de onda de choque.
6. Saco plástico.
7. Comprimento que a tubulação precisa ter para o teste.

Figura 14 – Dispositivo para teste de detonação norma U. S Coast Guard.



Fonte: Norma USCG 33 CFR part 154.

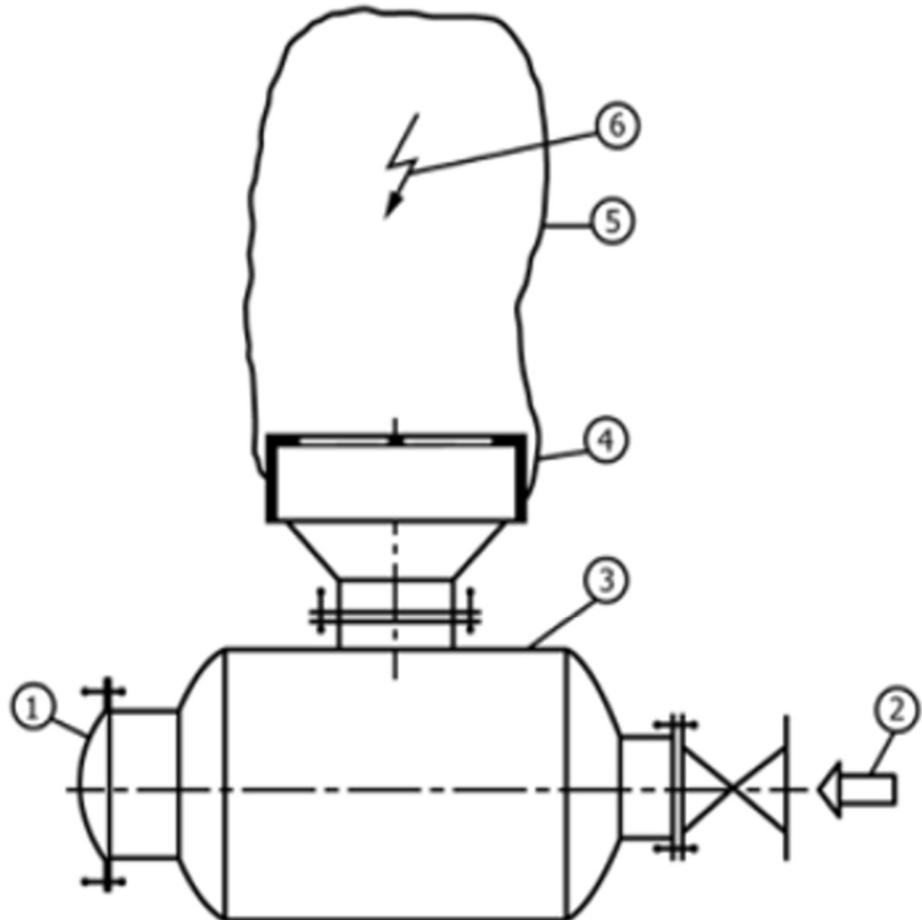
As demais normas como a UL, FMRC e ASTM possuem algumas pequenas alterações referente a USCG, como tempo de teste de queima, quantidade de deflagrações e detonações que precisam ser suportadas pelo dispositivo, e as alterações das pressões para os testes estáticos.

2.4.1.2 Norma American Society for Testing and Material (ASTM).

A Norma standard ASTM com referência ao corta chama é a ASTM F1273 de 1991 com atualização em 2013, é específica para dispositivos que trabalhem com vapor inflamável ou líquidos combustíveis onde a temperatura do vapor não exceda 60°C. Na tabela 1 da norma em anexo a este trabalho, especifica a folga por meio do gás inflamável ou líquido combustível para a aplicação; portanto, a norma indica um *gap* de segurança para o gás metano de 1,170 milímetros, para o butano 1,066 milímetros e o propano 0,965 milímetros.

É salientado que três testes devem ser realizados e em nenhum destes a chama pode atravessar o elemento corta chama. O teste de tempo de queima é requerido, a norma diz que o elemento corta chama deve ser aquecido pela chama até sua temperatura mais alta no lado do elemento onde a chama está queimando; a temperatura máxima pode ser obtida quando há um aumento de menos de $0,5^{\circ}\text{C}$ por minuto durante 10 minutos, esta temperatura deve ser mantida por um período de 10 minutos e a chama não pode passar através do elemento corta chama. Na figura 15 é mostrado o método de teste de retorno da chama para dentro do sistema “*flashback*”, segundo a ASTM F1273 de 2013.

Figura 15 – Dispositivo de teste de retorno de chama “*flashback*” a norma ASTM.



Fonte: ASTM F1273, p 4.

Para o teste de retrocesso da chama “*flashback*” na figura 15 é detalhado o dispositivo:

1. Diafragma de detonação de plástico.
2. Entrada de mistura de gás-ar.
3. Tanque ou recipiente.

4. Elemento corta chama.
5. Saco plástico.
6. Fonte de ignição.

O processo ocorre da seguinte maneira: dentro do saco plástico que envolve o elemento corta chama (5), é posicionado três fontes de ignição (6), um deles próximo do elemento, outro o mais distante possível e o último centralizado entre o primeiro e o segundo. A ignição deve ser sucessiva da fonte mais distante para a mais próxima do elemento, a chama não pode retroceder através do elemento para dentro do tanque; se isso ocorrer, o diafragma de detonação vai ser danificado, mostrando que o elemento corta chama falhou.

2.4.2 Europa e Internacional

Após o conhecimento das normas regulamentadoras que regem a fabricação e testes dos corta chamas nos Estados Unidos da América, passamos para as normas europeias e internacionais.

2.4.2.1 CEN European Standard

O *European Committee for Standardization* (CEN), publicou a norma EN 12874:2001, e esta foi substituída pela EN16852:2010 em 2010, atualmente há a norma EN16852:2016. Sendo uma norma *International Organization for Standardization* (ISO), que endereça a performance mínima requerida pelo dispositivo, e os métodos de teste e os limites para uso. Outro ponto que a norma traz, é a respeito dos perigos e classificação dos dispositivos corta chama, comenta também os requerimentos gerais, instrumentos de medição e suas calibrações, construção das partes que compõem o dispositivo e os materiais que podem ser utilizados na construção.

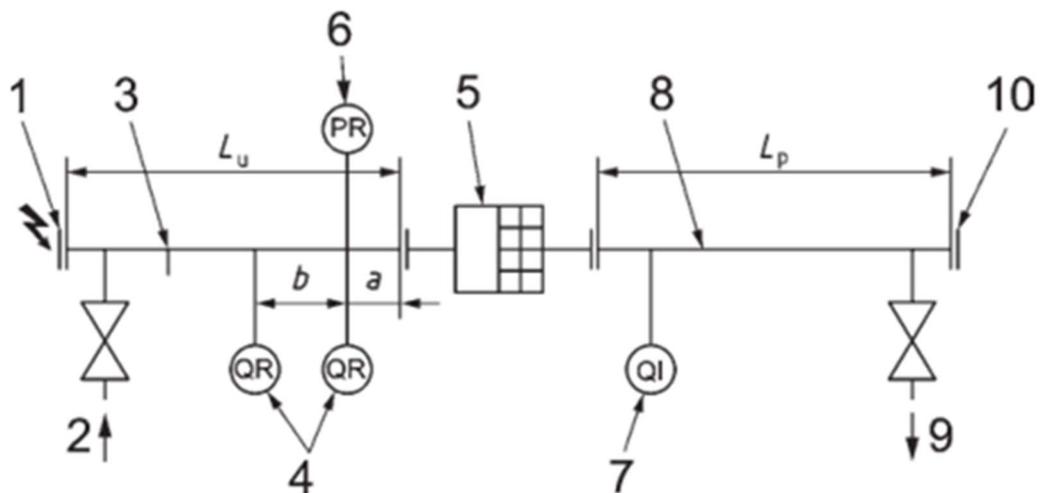
Na cláusula 7 da ISO EN16852, especifica os requerimentos para corta chama estático, estes que consistem, somente do corpo onde o elemento é montado e o elemento em si. A partir da cláusula 7.3, se refere aos testes de transmissão de chama em específico a cláusula 7.3.2 que especifica teste de deflagração, na cláusula 7.3.2.2, refere-se a dispositivos em linha.

Na figura 16 é mostrado o dispositivo para o teste de deflagração em linha. A fonte de ignição deve ser uma vela de ignição no centro do flange inicial, os diâmetros

da tubulação devem ser do mesmo tamanho da conexão do dispositivo, e o comprimento da mesma não sendo menor que dez vezes o seu diâmetro, e dependendo do gás utilizado, não sendo maior que cinquenta vezes o seu diâmetro para misturas de hidrocarboneto, e trinta vezes o diâmetro para misturas de hidrogênio (ISO 16852:2016). O dispositivo de teste apresentado na figura 16 é composto por:

1. Flange com fonte de ignição.
2. Entrada de mistura gás-ar.
3. Tubulação anterior ao corta chama.
4. Detectores de chamas.
5. Elemento corta chama.
6. Transdutor de pressão.
7. Detector de chama.
8. Tubulação posterior ao corta chama.
9. Saída de gás-ar mistura.
10. Flange sega ou outra câmara.

Figura 16 – Dispositivo de teste de deflagração montado em linha.



Fonte: ISO 16852:2016, p 13.

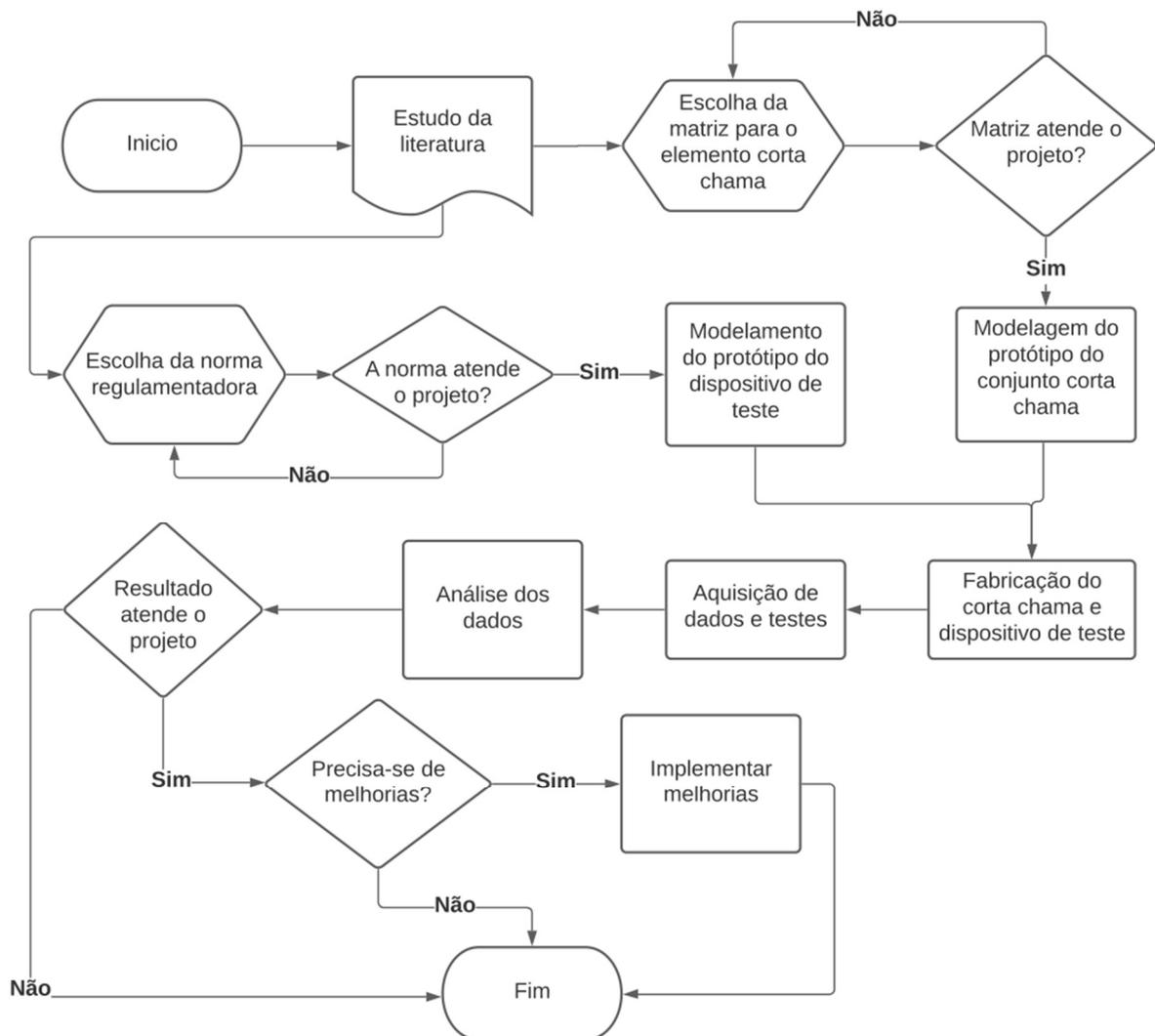
O teste ocorre com o preenchimento do dispositivo com a mistura gás-ar definida, com a pressurização máxima necessária visando a utilização pretendida. Seis consecutivos testes devem ser aplicados e em nenhum deles pode ser detectado a transmissão da chama na tubulação posterior ao elemento corta chama (5), o que pode ser indicado pelo detector de chamas (7).

3 METODOLOGIA

Com o objetivo exploratório a partir da visão do realismo crítico, este trabalho apresenta um modelo de função-comportamento-estrutura baseado na análise de um projeto de modelo. Esses elementos são apresentados como sendo distribuídos em três espaços de conhecimento: a função refere-se à intenção do objeto, o comportamento descreve o que o objeto faz e a estrutura descreve os componentes e suas interações no objeto (WANG et al., 2013).

Seguindo esta metodologia busca-se confirmar se a função referente ao objeto de estudo o corta chama, atinge o objetivo proposto de conter e extinguir a chama com o comportamento esperado dos processos e componentes utilizados. Na figura 17 é ilustrado o fluxograma previsto para o seguimento deste trabalho.

Figura 17 – Fluxograma do desenvolvimento deste trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente busca-se literaturas de referência ao assunto pretendido, com o objetivo de encontrar diversas possibilidades para solução deste problema. Completando esta etapa, inicia-se a análise das possibilidades de solução existentes, com a intenção de que esta tenha um resultado positivo.

Posteriormente, é preciso definir o tipo do material e a matriz a ser utilizada no conjunto corta chama. Convém também nesta etapa, a escolha da norma regulamentadora mais adequada, e com isso definir o dispositivo de teste e seus componentes.

Logo após, inicia-se a modelagem dos conjuntos baseados nas escolhas supracitadas. Utilizando um programa CAD versão estudante. Podendo assim, modelar os conceitos físicos, simular características chaves, prevenindo e evitando problemas posteriores de interferências na fabricação e montagem.

Então depois da verificação de possíveis problemas e com o fim do dimensionamento dos itens, inicia-se a fabricação dos conjuntos. É fabricado o conjunto corta chama e o dispositivo de teste, com a finalização destes é possível começar os testes e aquisição de dados para a validação do projeto. A figura 18 apresenta uma base do cronograma para o presente trabalho.

3.1 RECURSOS NECESSÁRIOS

O dispositivo de teste e o corta chama, utilizaram os seguintes itens para serem fabricados, e para a realização dos testes:

- a) Livros e normas, R\$0,00;
- b) Tubo 1" x 400mm x 2mm, R\$20,00;
- c) Tubo 2" x 60mm x 2mm, R\$10,00;
- d) Casco de extintor de incêndio, R\$0,00;
- e) Chapa de Aço 4,75mm de espessura, R\$48,00;
- f) Tela malha 30 de Aço inox 0,5m x 1m, R\$100,00;
- g) Barra maciça de alumínio de \varnothing 4" x 40mm, R\$40,00;
- h) Barra maciça de aço de \varnothing 50mm x 100mm, R\$40,00;
- i) Usina de força elétrica para a ignição, R\$60,00;
- j) Cabos rígidos 4mm² x 1m, R\$5,00;

- k) Conectores de porcelana, R\$10,00;
- l) Cabo elétrico 2 x 1,5mm² x 15m, R\$70,00.
- m) Sacola plástica de 300mm x 500mm, R\$4,00.
- n) Fita isolante, R\$4,00;
- o) Válvula registro de 1/2", R\$15,00;
- p) Adaptador de 3/4" para 1/2", R\$25,00;
- q) Maçarico portátil, R\$75,00.

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

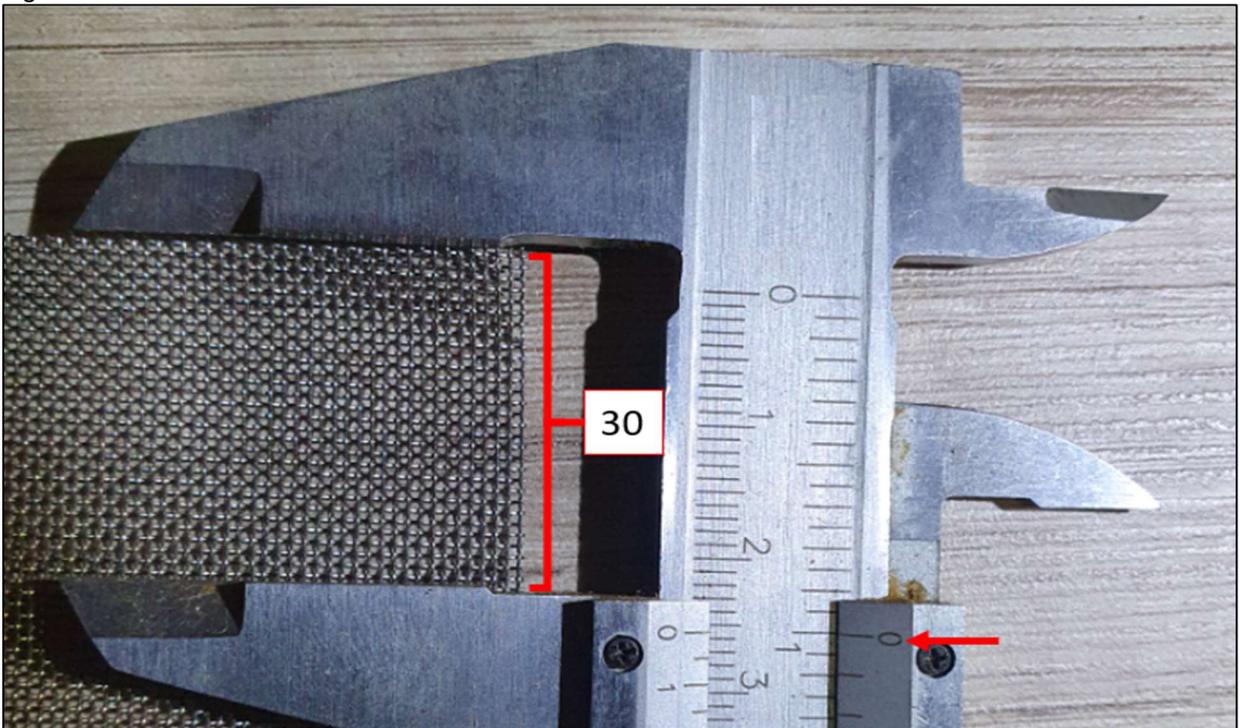
A partir deste momento é iniciado os trabalhos práticos do presente trabalho seguindo os passos citados no fluxograma. Iniciando pela escolha da matriz para o elemento corta chama, paralelamente a escolha da norma regulamentadora e assim por diante.

4.1 ESCOLHA DA MATRIZ PARA O ELEMENTO CORTA CHAMA

Considerando os estudos de Grossel dentre as matrizes citadas por ele, é analisado seus prós e contras para o objetivo do trabalho. Sendo assim, a matriz de fita corrugado possui elevada complexidade na manufatura, as placas paralelas possuem um custo e dimensões que não se enquadram no objetivo; o cartucho de metal expandido possui a complexidade em manufaturar o seu suporte, o metal sinterizado não seria a melhor escolha devido a sua fragilidade, e os elementos com esferas possuem a necessidade de diversificar o tamanho destas, e ainda, manufaturar um recipiente de contenção elevando os gastos com material.

Todas as matrizes supracitadas foram descartadas. Na figura 18 é explicado que a cada uma polegada o elemento possui 30 espaços sem material de 1mm², conhecido no inglês por “gap”.

Figura 18 – Matriz de tela malha 30.



Fonte: Elaborado pelo autor.

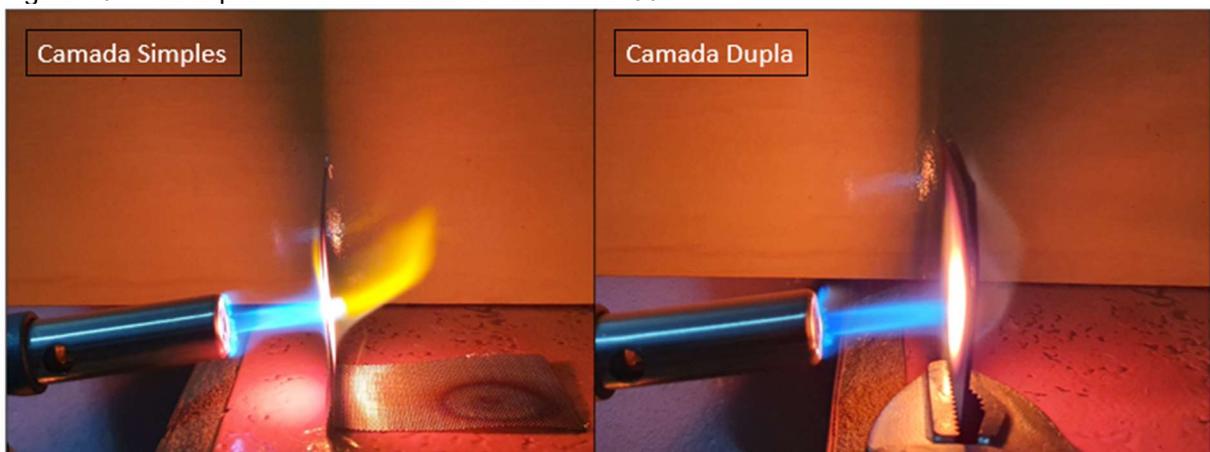
A escolha da matriz de tela malha 30 se deu devido os seguintes critérios: custo e disponibilidade. É de conhecimento pela pesquisa teórica a possibilidade de utilização de malha entre 28 a 60, sendo a malha 28 a de maior gap e a malha 60 tendo o menor gap, como o gap recomendado pela norma para o gás metano é de 1,170mm foi escolhido a malha 30 por possuir um gap de 1mm. De acordo com Grossel ela possui pontos negativos, mas em contrapartida tem o melhor custo-benefício para o projeto, resultando numa baixa complexidade na fabricação do elemento corta chama, finalidade está totalmente alinhada com o objetivo deste trabalho.

4.1.1 Teste preliminar do elemento corta chama

Em busca de conhecer como a matriz se comporta, e se esta evita ou não a propagação da chama, foi realizado um teste preliminar. Utilizando um maçarico portátil e um pedaço da matriz com camada simples; o procedimento consistiu em direcionar a chama do bocal diretamente na matriz a uma certa distância e analisar as consequências.

Como resultado, observou-se que uma camada da matriz não é efetiva o suficiente, pois a chama atravessou a mesma com facilidade. Então, foi realizado novamente o procedimento, mas agora com camada dupla e posteriormente quadrupla da matriz constatando a necessidade de se utilizar mais de uma camada para se ter efetividade suficiente na contenção e extinção da chama, e bons resultados nos próximos testes. Foi possível identificar o que já foi dito por Grossel, que múltiplas camadas da matriz se mostram mais eficientes do que uma camada simples.

Figura 19 – Teste preliminar da matriz de tela malha 30.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra colocação sobre a matriz é que o material se mostrou forte o suficiente com relação a temperatura e não apresentou falhas com a exposição direta da chama. A figura 19 apresenta o resultado do teste com matriz de camada simples e dupla, sendo evidente a passagem da chama através da matriz simples. Com o conhecimento adquirido após esta bateria de testes é possível seguir adiante tendo em mente que o material se mostra um forte candidato a trazer bons resultados.

4.2 ESCOLHA DA NORMA, TESTE E GÁS INFLAMÁVEL

Com base nos dispositivos de teste entre as normas regulamentadoras estudadas, o conceito da norma ASTM F1273 apresenta-se como a escolhida para o projeto, uma das características para esta decisão foi sua menor complexidade na fabricação do dispositivo para desempenhar os testes do corta chama.

Como na etapa dos testes do corta chama não será possível proteger o retrocesso da chama entre o dispositivo e a fonte de gás inflamável, há uma situação de risco de segurança. Para ser performando o teste de tempo de queima cláusula 9.3 da norma supracitada, é necessário um fluxo contínuo de gás-ar, e este somente classifica o tipo de corta chama, com isso, decidiu-se testar inicialmente apenas a cláusula 9.2 da norma referida, performando somente o teste de retrocesso da chama, “*flashback*”, e é com o resultado deste que será possível dizer se o objetivo do trabalho foi atingido ou não.

Após a análise do teste preliminar com a matriz, decidiu-se em utilizar ela constituída de oito camadas, trazendo um coeficiente de segurança ao conjunto corta chama. Considerando o *gap* da camada simples em 1 milímetro, com a montagem intercalada e com defasagem em 45° graus entre camadas e que nenhuma linha coincida, é esperado diminuir o *gap* para aproximadamente 0,8 milímetros, com isso, ficando abaixo e dentro do que a norma especifica para o gás metano.

Um maçarico portátil será utilizado com fonte da mistura gás-ar, a segurança foi fator decisivo para esta escolha, considerando a quantidade de gás armazenada em menor escala, vale salientar que, a ignição da mistura será feita a distância. A fonte de gás possui a composição: n-butano, iso-butano e propano, esta mistura de gases é recomendada pela norma para o teste de “*flashback*”, com isso, define-se o conjunto corta chama, o teste a ser performado e a fonte de mistura gás-ar.

4.3 PROTOTIPAGEM

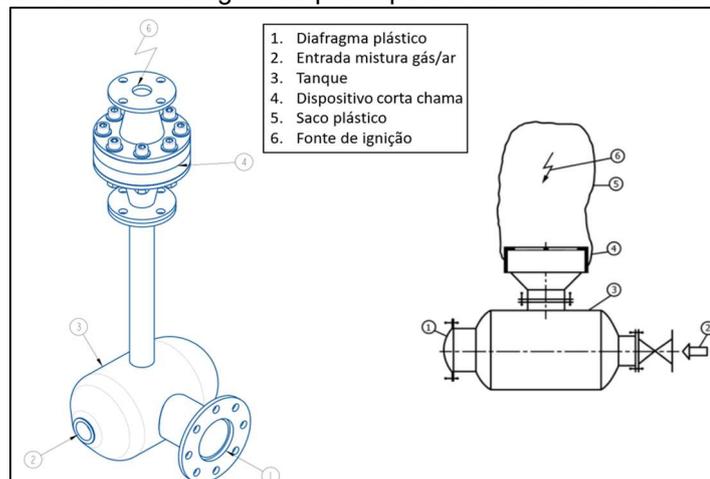
Inicia-se esta etapa com o modelamento do dispositivo corta chama e do dispositivo de teste do corta chama.

4.3.1 Modelamento dos elementos

É considerado primeiramente modelar o elemento corta chama, com a sua estrutura de fixação, para uma visualização dos componentes, e então, determinar as medidas físicas do conjunto. Com o objetivo de não comprometer o fluxo dos gases, aumentou-se a área de atuação do elemento corta chamas adicionando ao projeto um corpo cônico entre a flange de conexão da tubulação com a flange do elemento corta chama, com o intuito de ter uma melhor eficiência do conjunto.

O próximo passo foi trabalhar com o dispositivo para o teste do conjunto corta chama, analisando o que é apresentado na norma ASTM F1273:2013. A figura 20 compara os pontos chaves do dispositivo da norma supracitada, com o conceito do dispositivo.

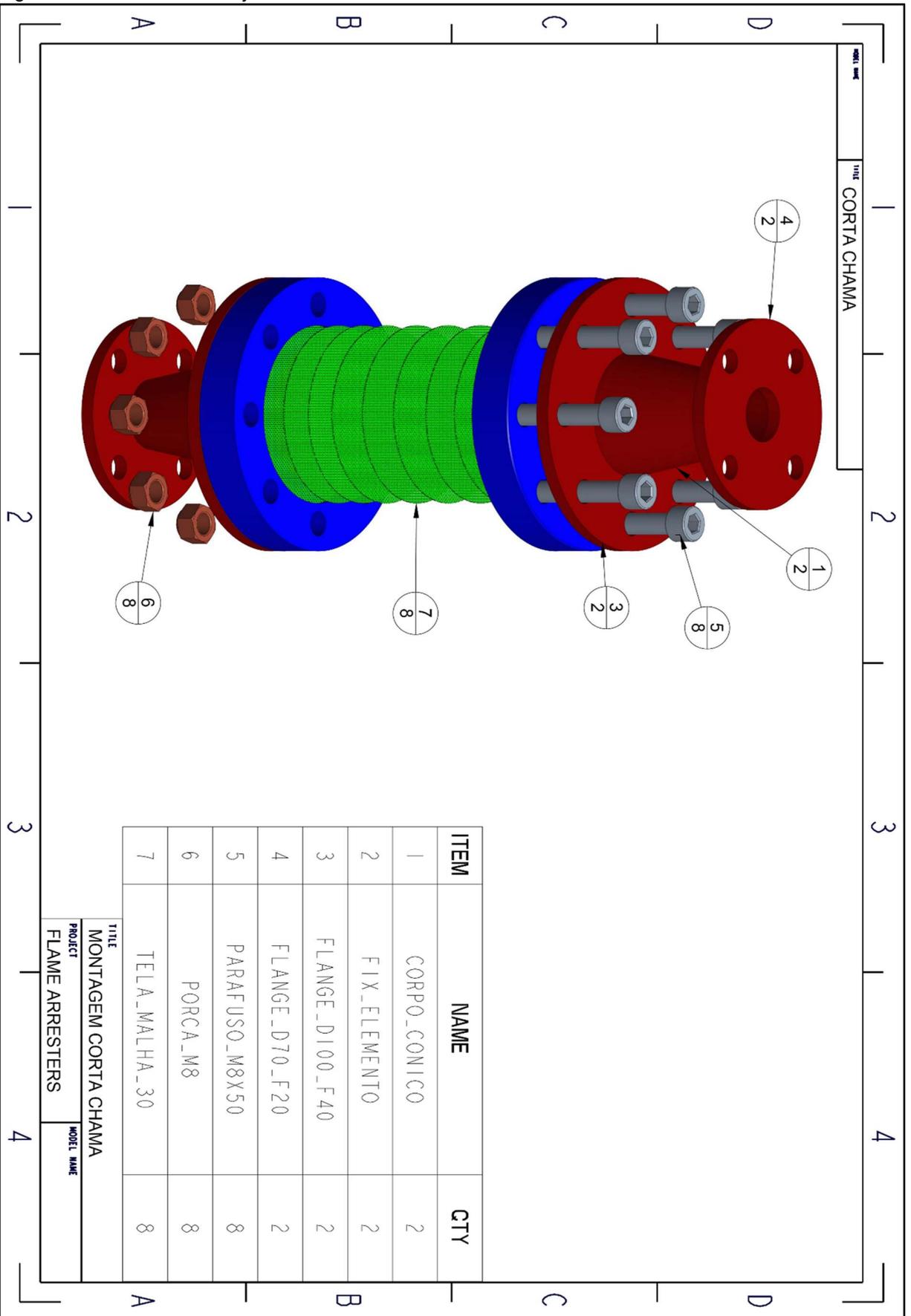
Figura 20 – Comparativo entre modelagem do protótipo e a norma ASTM F1273.



Fonte: Elaborado pelo autor.

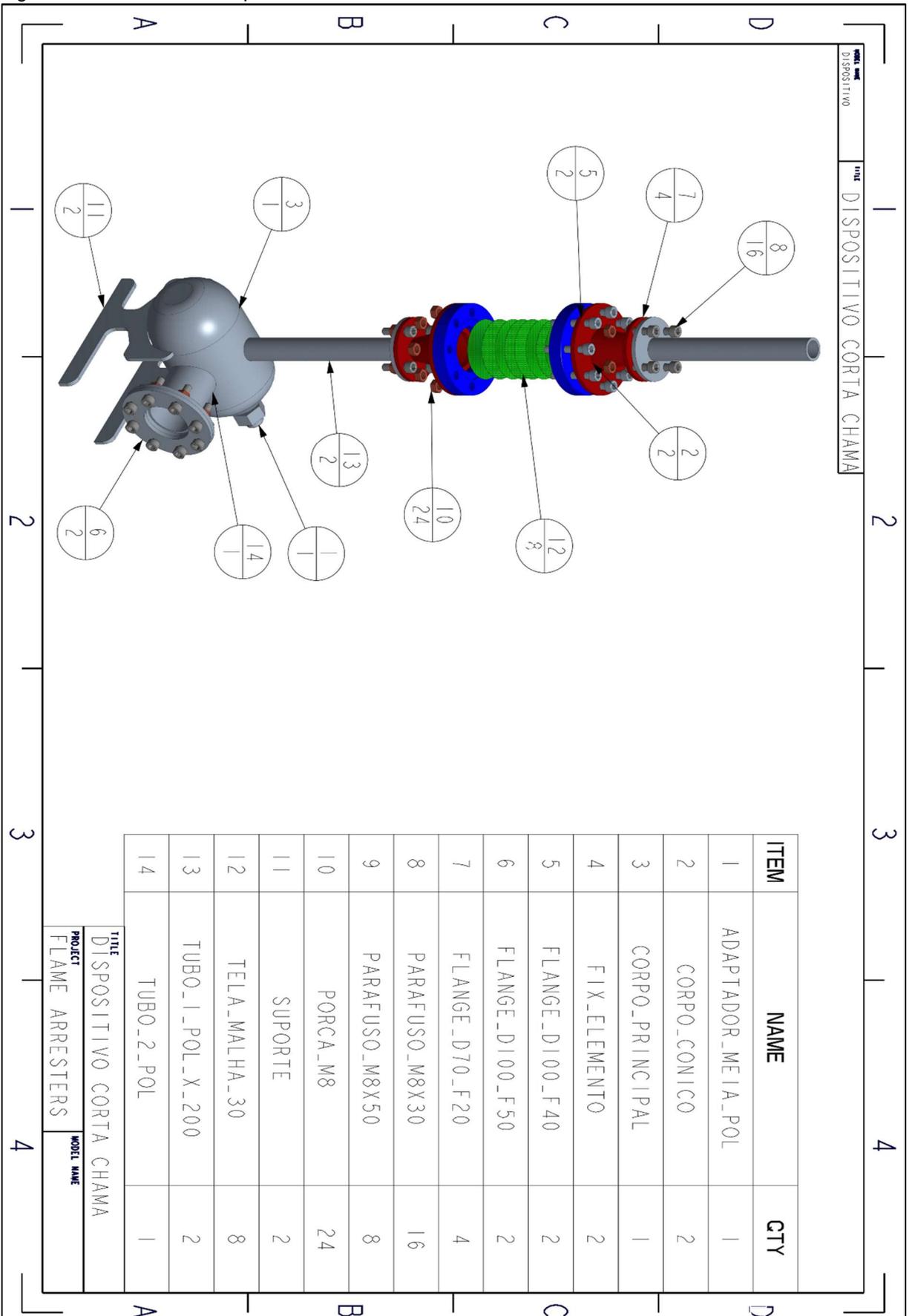
Foi utilizado o aço SAE 1020 nos (itens 2, 4, 5, figura 21); como a matriz do elemento corta chama terá contato direto com gases e líquidos, optou-se pela utilização de aço inox prevendo o possível desgaste por corrosão (item 8, figura 21). No fixador do elemento corta chama o material escolhido foi o alumínio (item 3, figura 21), sendo um material mais fácil de ser trabalhado, e com a característica de suportar deformações, resultando em uma melhor vedação para o conjunto, evitando vazamentos entre as junções.

Figura 21 - Conceito do conjunto corta chama.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Conceito do dispositivo com o corta chama.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Houve a adição de itens no dispositivo, como: tubo de 0,4 metros para possível verificação da velocidade da propagação da chama, também anterior ao conjunto corta chama adicionou-se uma tubulação, com a finalidade de criar o ponto de fixação para a ignição elétrica da mistura inflamável. A figura 22 apresenta a concepção completa do conceito conjunto corta chama com o dispositivo de teste.

4.3.2 Fabricação dos protótipos

Na fabricação, tanto do conjunto corta chama como no dispositivo para teste, utilizaram-se os processos de corte a laser e usinagem em torno universal. O conjunto teve corte a laser nos flanges de união a tubulação e nos flanges de união com o fixador do elemento. Os fixadores do elemento juntamente com os corpos cônicos foram produzidos respectivamente de barras maciças de alumínio e aço, usinadas em torno universal, e posteriormente o conjunto flange e corpo cônico foram unidos por meio do processo de solda.

Figura 23 – Flanges, elemento fixador, suporte e corpo principal do dispositivo.

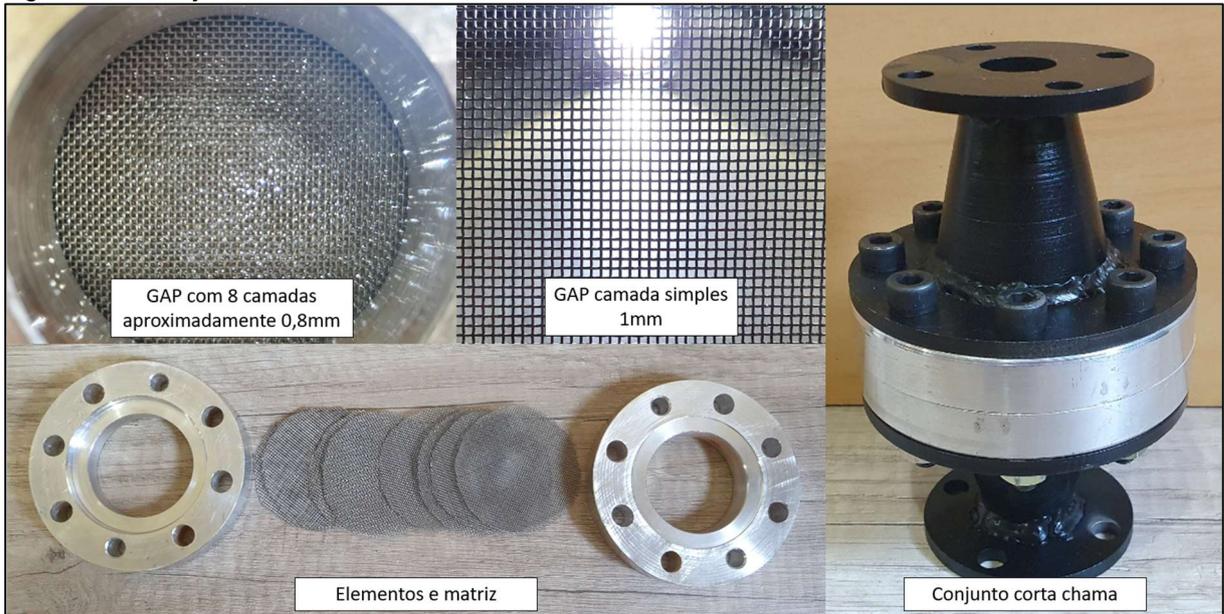


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 23 apresenta alguns dos itens manufaturados, pode ser observado, que para o corpo principal do dispositivo foi utilizado um casco de extintor de incêndio, garantindo um nível de segurança aceitável para o projeto.

Em seguida na figura 24 é mostrado a matriz com 8 camadas que formam o elemento corta chama (abaixo), o seu gap em camada simples (centro acima) e ao lado (esquerda acima) o conjunto com as oito camadas; o conjunto corta chama completamente montado é mostrado a (direita).

Figura 24 – Conjunto corta chama e seus elementos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 – Dispositivo sem corta chama(esquerda), com corta chama (direita).



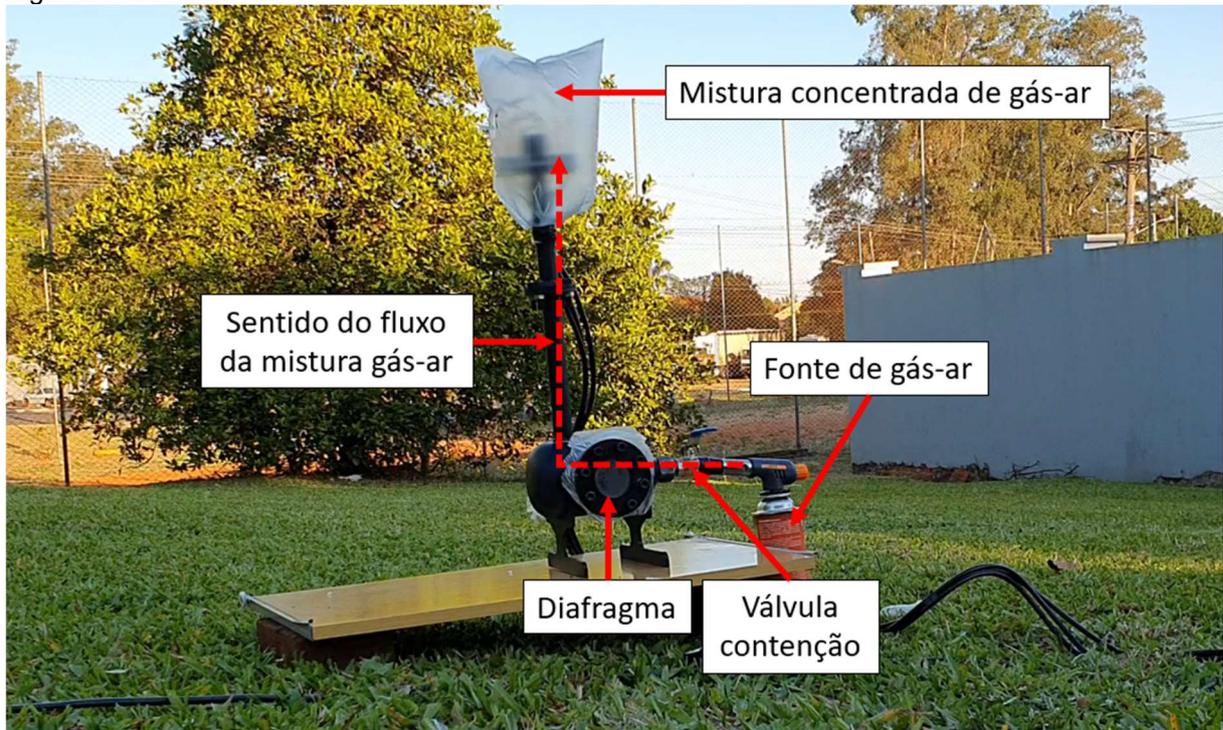
Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo de fabricação foi finalizado com a conclusão do dispositivo de teste seguindo o planejamento. Com isso a figura 25 apresenta o dispositivo concluído, à esquerda o dispositivo sem o corta chama, com a montagem do diafragma plástico, utilizado como indicador de desempenho nos testes, à direita é apresentado o dispositivo com a montagem do dispositivo corta chama.

4.4 COLETA DOS DADOS

O início da coleta de dados, ocorre com o dispositivo de teste sem o dispositivo corta chama, e com o diafragma plástico instalado, o objetivo deste é provocar o retrocesso da chama “*flashback*”, resultando no rompimento do diafragma mostrando a eficácia do dispositivo. O procedimento começa unido ao dispositivo a fonte de mistura gás-ar, e sobre a fonte de ignição é instalado um saco plástico, procedimento este que é descrito na norma ASTM1273 no item 9.2.1.2. A figura 26 descreve o procedimento com o sistema já preenchido com a mistura de gás-ar.

Figura 26 – Procedimento de teste sem corta chama.

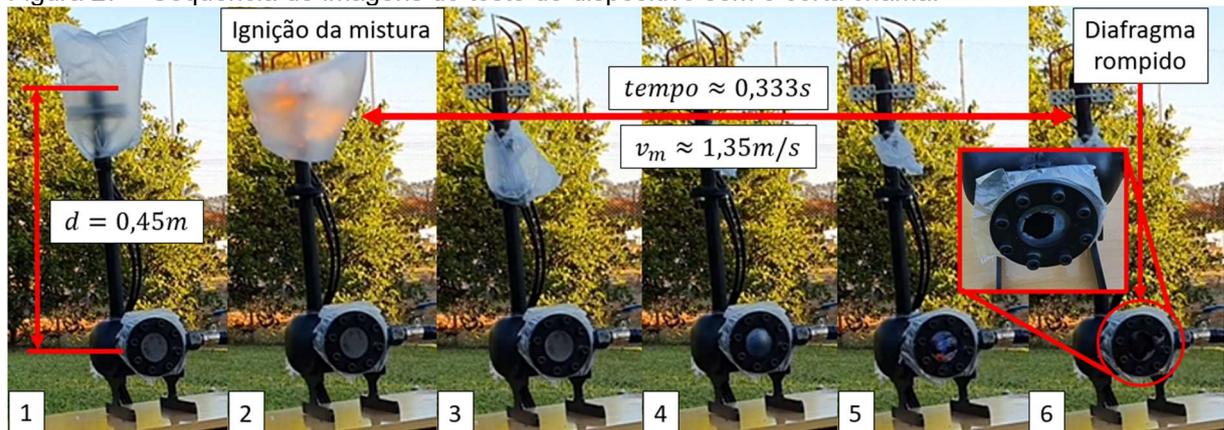


Fonte: Elaborado pelo autor.

A utilização do saco plástico cobrindo a saída da mistura gás-ar e a ignição, tem a finalidade de manter uma atmosfera concentrada nesta região, inflamando-a mais facilmente. Após o preenchimento do dispositivo com a mistura gás-ar, é fechada a válvula de contenção entre o dispositivo e a fonte de mistura gás-ar evitando o

retrocesso e perda da mistura; na sequência é acionado e mantida por um tempo a ignição, resultando na combustão da mistura dentro do saco plástico, que passa a retroceder para dentro do sistema rompendo o diafragma plástico, confirmando que houve o retrocesso da chama para dentro do sistema. Na figura 27 é apresentado uma sequência de imagens do processo, em que pode ser constatado o resultado descrito, com detalhe para o diafragma circulado em vermelho.

Figura 27 – Sequência de imagens do teste do dispositivo sem o corta chama.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Da esquerda para a direita é possível acompanhar a sequência em que o processo ocorre, desde a ignição da mistura dentro do saco plástico até o rompimento do diafragma, o tempo decorrido entre as duas reações é de aproximadamente 0,333 segundos; tempo este que pode ser encontrado analisando o vídeo gravado com base nos quadros por segundo. Como é conhecido o comprimento total da tubulação até o centro do corpo 0,45 metros, pode-se calcular uma velocidade de propagação da chama de 1,35 m/s. Equação 1 para cálculo da velocidade de propagação da chama (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016):

$$velocidade\ média = \frac{distância}{tempo} \quad (Eq.1)$$

Cálculo da propagação da chama utilizando a equação 1:

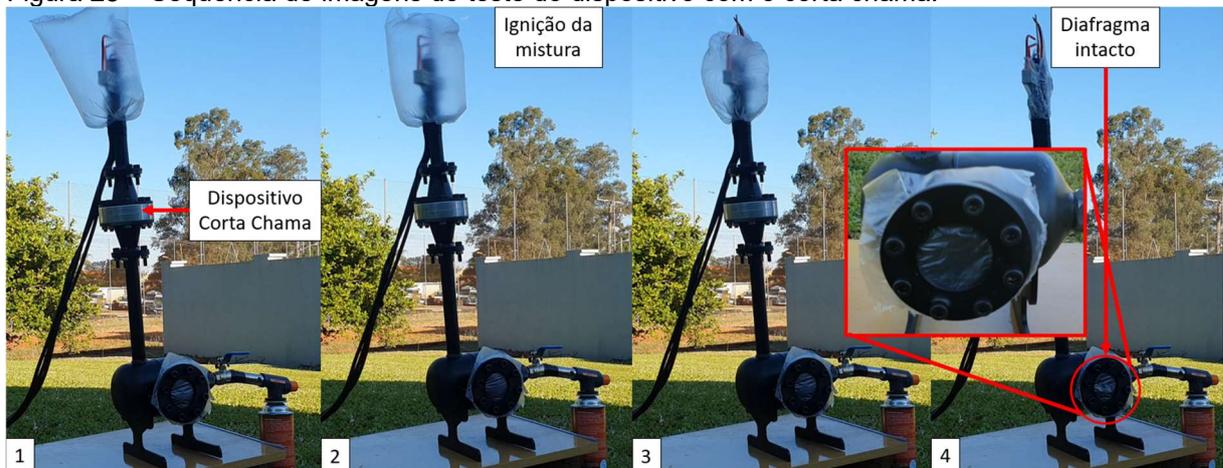
$$velocidade\ média = \frac{0,45}{0,333} \approx 1,35m/s$$

Realizaram-se dez testes com o dispositivo sem o corta chama para analisar a eficiência do dispositivo de teste; obtendo uma média de 90% dos diafragmas rompidos no primeiro procedimento de ignição, e em um dos casos somente a sacola plástica que envolve a ignição se rompeu mantendo o diafragma sem danos, neste caso em que houve a falha na primeira ignição após refazer todo o procedimento de

abastecimento do sistema com a mistura inflamável o diafragma se rompe com a segunda ignição.

Para o próximo teste, o conjunto corta chama foi adicionado ao dispositivo, e performaram-se os testes seguindo a mesma sequência do procedimento anterior. Onde é feita a ignição da mistura gás-ar, seguindo da queima total desta, neste teste o resultado foi diferente do anterior, não houve o rompimento do diafragma, comprovando o funcionamento do corta chama no sistema.

Figura 28 – Sequência de imagens do teste do dispositivo com o corta chama.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram realizados dez testes consecutivos de retrocesso da chama *flashback*, e todos tiveram o mesmo resultado, comprovando que o conjunto corta chama funciona como pretendido. Na figura 28 é mostrado a sequência deste procedimento com a adição do corta chama ao dispositivo, onde no primeiro quadro da figura confirma a instalação deste, no segundo ocorre a ignição da mistura inflamável, no terceiro é mantida a ignição em funcionamento por 10 segundos, e no último quadro é apresentado o não rompimento do diafragma.

4.5 ANÁLISE DOS DADOS

Após a finalização dos testes, é iniciado a análise dos dados e validação do protótipo do corta chamas, e citados algumas melhorias para o projeto.

4.5.1 Validação do protótipo corta chama

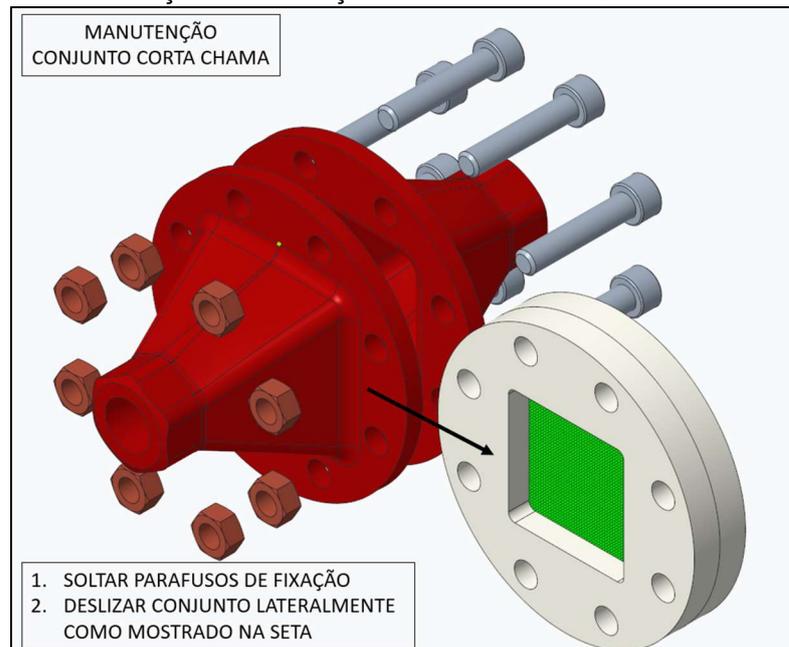
O resultado obtido no teste de *“flashback”* com o corta chama montado não apresenta o rompimento do diafragma em nenhum dos testes desempenhados,

mostrando uma eficiência de 100% do corta chama. Prezando pela segurança dos envolvidos no teste não foi possível utilizar uma área com clima controlado sendo performado os testes em uma área aberta, outro detalhe é que não foi possível utilizar a melhor fonte de mistura gás-ar, e medir a estequiometria desta; estas características podem ter contribuído para a eficácia de 90% no teste do dispositivo sem corta chama, e a baixa velocidade na propagação da chama. Mas com a quantidade de testes performados e com os resultados obtidos, é seguro afirmar que tanto o dispositivo quanto o conjunto corta chama funcionam para os devidos fins, há melhorias a serem feitas para posteriormente enviar o conjunto corta chama à homologação por uma empresa certificada.

4.5.2 Melhorias

Há algumas melhorias a serem aplicadas, uma delas é no procedimento de teste onde a ignição precisa ser acionada por no mínimo 10 segundos após a explosão do saco plástico evitando-se aplicar somente um pulso; se aplicado somente um pulso no acionamento da ignição dependendo da área onde é desempenhado os testes pode ocorrer a dispersão abrupta do gás devido ao fluxo de ar criado na explosão do saco plástico, resultando na falha do retrocesso da chama para dentro do sistema, comprometendo a aquisição dos dados, esse problema foi descoberto nos testes realizados e essa melhoria foi aplicada nos testes performados.

Figura 29 – Acesso a manutenção e substituição do elemento matriz.



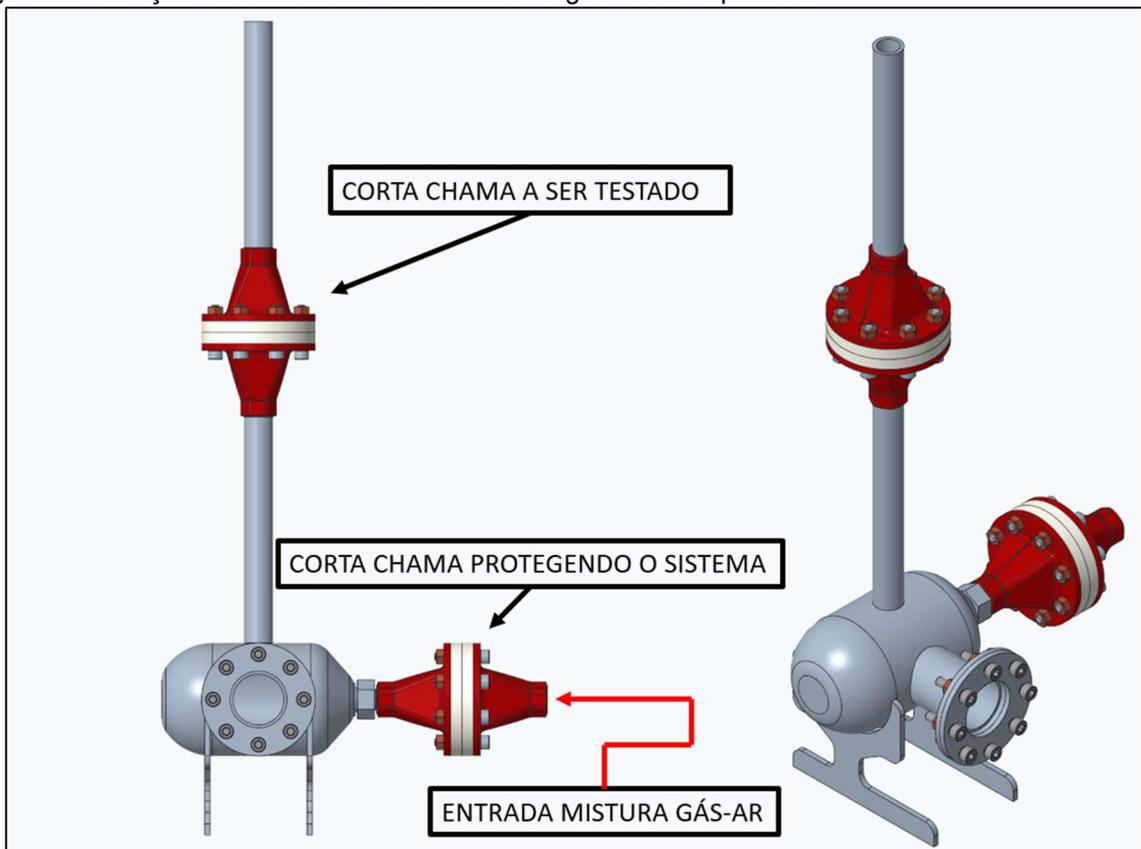
Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra melhoria é manufaturar o elemento corta chama com a matriz quadrada em vez de circular, melhorando a utilização da matéria prima resultando em menos perda de material reduzindo custo.

Também o conjunto do dispositivo pode ser fixado a tubulação por rosca com medida comercial, evitando a montagem de flanges na tubulação. Para acesso a manutenção e substituição do elemento, é preciso somente soltar as porcas e retirar os parafusos “*allen*”, e deslizar lateralmente todo o conjunto. Na figura 29 é mostrado este procedimento.

Na figura 30 é apresentado o dispositivo de teste com a melhoria, este deve receber a montagem de um dispositivo corta chama na sua entrada da mistura inflamável, possibilitando ser desempenhado os outros testes requeridos pela norma como a clausula 9.2 da norma ASTM 1273 que se refere ao tempo de queima.

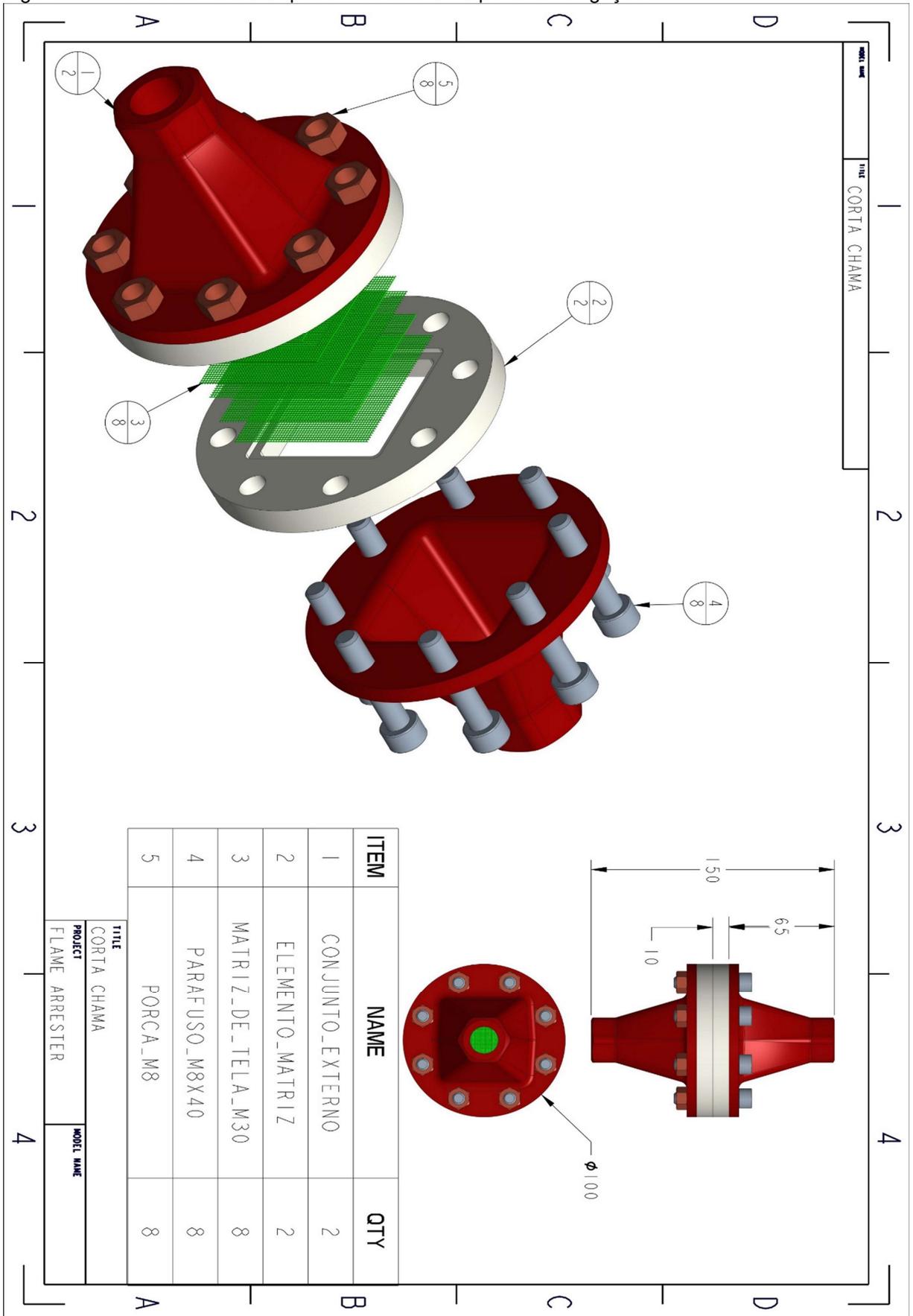
Figura 30 – Adição de corta chama na entrada do gás-ar do dispositivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser visualizado na figura supracitada, a montagem do corta chama entre o dispositivo de teste e a fonte de gás inflamável complementaria o sistema de teste resultando em uma maior segurança. Na figura 31 é apresentado a concepção final do conjunto corta chama, com as melhorias supracitadas.

Figura 31 – Conceito final do dispositivo corta chama para homologação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

CONCLUSÃO

Então conclui-se, que é sim possível manufacturar um conjunto corta chama com elemento de tela malha 30 de aço inox, embora tenha sido necessário utilizar mais de uma camada para ser efetivo e melhorar o coeficiente de segurança do sistema. Os materiais utilizados foram adquiridos com fornecedores locais, apenas a tela de malha 30 foi adquirida com fornecedor fora da nossa região, resultados estes alinhados com as hipóteses levantadas no início do presente trabalho.

As atividades aplicadas neste trabalho, juntamente com os resultados obtidos, mostram que é possível criar algo com materiais disponíveis localmente. Este possui complexas características de manufatura e validação, mas tudo isso alinha-se com a qualidade e a segurança em sua utilização final. O auxílio das normas regulamentadoras e o seguimento destas nos processos de desenvolvimento e testes, foram fundamentais para os resultados positivos.

Um dos ensinamentos mais importantes que este trabalho traz é, a importância de aprender a interpretar as normas regulamentadoras, lendo-as de forma detalhada e coerente e aplicando-as de forma integral. Esta atitude no decorrer do trabalho foi decisiva para a obtenção dos resultados.

Ainda é necessário a homologação do conjunto corta chama por uma empresa regulamentadora certificadora, e somente após a certificação é que será possível a produção e aplicação final do produto.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM F1273 – 91: Standard Specification for Tank Vent Flame Arresters**. 2013.

Bjorklund, R. A., Kushida, R. O., and Flessner, M. F. **Experimental Evaluation of Flashback Flame Arresters**. *Plant/Operations Progress*, 1(4), 254–262. 1982.

GROSSEL, S. **Deflagration and Detonation Flame Arresters**. New York: American Institute of Chemical Engineers, 2002.

Health and Safety Executive. **Guide for Flame Arresters and Explosion Reliefs**. Booklet HS(G)11. Health and Safety Executive, Her Majesty's Stationery Office, London, England 1980.

Howard, W. B. **Flame Arresters and Flashback Preventers**. *Plant/Operations Progress*, 1(4), 203–208. 1982.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8421-1:1987: Fire Protection**. 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16852:2016: Flame arresters – Performance requirements, test methods and limits for use**. 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 22580:2020: Flares for combustion of biogas**. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 20675:2018-02: Biogas - Biogas production, conditioning, upgrading and utilization - Terms, definitions and classification scheme**. 2018.

Jearl, H.D.R.R. W. **Fundamentos de Física - Vol. 1 - Mecânica, 10ª edição**. Grupo GEN, 2016.

Lapp, K. and Vickers, K. **Detonation Flame Arresters and Larger Line Sizes. International Data Exchange Symposium on Flame Arresters and Arrestment Technology**. Banff, Alberta October 1992.

Phillips. H. and Pritchard, D. K. **Performance Requirements of Flame Arresters in Practical Applications**. *I Chem E Symposium Series No. 97*, pp. 47–61. Institution of Chemical Engineers, Rugby, England 1986.

U.S Coast Guard. **USCG Appendix A to Part 154 - Guidelines for Detonation Flame Arresters**. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/33/appendix-A_to_part_154. 2010.

Wang. W, Duffy. A, Boyle. I, and Whitfield R. I. **A critical realism view of design artefact knowledge**. *J. Design Research*, Vol. 11, No. 3, 2013.

APÊNDICE

Figura 32 – Cronograma das atividades.

ETAPAS	ANO 2020												
	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO					
Elaboração do Projeto		■	■	■	■								
Escolha do tema/objetivos		■											
Escolha do orientador													
Revisão de Literatura	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Planejamento da pesquisa		■	■	■	■	■							
Coleta de dados								■	■	■			
Análise e sistematização dos dados								■	■	■			
Elaboração dos resultados								■	■	■			
Discussão dos resultados								■	■	■			
Escrita do TFC		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Primeira revisão do TFC								■					
Segunda revisão do TFC									■				
Entrega das 3 cópias encadernadas										■			
Defesa - banca examinadora											■		
Revisão final do TFC e postagem no portal												■	■

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO

Anexo 1 – Tabela de referente aos gases e seus *gaps* máximos de segurança.

Inflammable Gas or Vapor	Maximum Experimental Safe Gap	
	mm	in.
Methane	1.170	0.046
Blast furnace gas	1.193	0.047
Propane	0.965	0.038
Butane	1.066	0.042
Pentane	1.016	0.040
Hexane	0.965	0.038
Heptane	0.965	0.038
Iso-octane	1.040	0.041
Decane	1.016	0.040
Benzene	0.99	0.039
Xylene	1.066	0.042
Cyclohexane	0.94	0.037
Acetone	1.016	0.040
Ethylene	0.71	0.028
Methyl-ethyl-ketone	1.016	0.040
Carbon monoxide	0.915	0.036
Methyl-acetate	0.990	0.039
Ethyl-acetate	1.04	0.041
Propyl-acetate	1.04	0.041
Butyl-acetate	1.016	0.040
Amyl-acetate	0.99	0.039
Methyl alcohol	0.915	0.036
Ethyl alcohol	1.016	0.040
Iso-butyl-alcohol	0.965	0.038
Butyl-alcohol (normal)	0.94	0.037
Amyl-alcohol	0.99	0.039
Ethyl-ether	0.864	0.034
Coal gas (H ₂ 57 %)	0.482	0.019
Acetylene	<0.025	<0.001
Carbon disulphide	0.203	0.008
Hydrogen	0.102	0.004
Blue water gas (H ₂ 53 % CO 47 %)	0.203	0.008
Ethyl nitrate	<0.025	<0.001
Ammonia	3.33	0.133
Ethylene oxide	~0.65	~0.026
Ethyl nitrite	0.922	0.038

Fonte: ASTM F1273, p 2.