

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ARIELY DA SILVA CAMARGO
MONIZE FIORILLI DE OLIVEIRA

**COMISSIONAMENTO DO SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO DE
UMA BASE DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL**

Uberlândia-MG

2025

Ariely da Silva Camargo

Monize Fiorilli de Oliveira

COMISSIONAMENTO DO SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO DE UMA BASE DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Projeto de final de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Mecânica dos fluídos

Orientador: Valério Luiz Borges

Uberlândia-MG

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C172 Camargo, Ariely da Silva, 2002-
2025 COMISSIONAMENTO DO SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO DE
UMA BASE DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL [recurso eletrônico]
/ Ariely da Silva Camargo. - 2025.

Orientador: Valério Luiz Borges.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Mecânica.

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Engenharia mecânica. I. Borges, Valério Luiz, 1979-, (Orient.).
II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia
Mecânica. III. Título.

CDU: 621

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

O48 2025	<p>Oliveira, Monize Fiorilli de, 2000- Comissionamento do sistema de combate a incêndio de uma base de distribuição de combustível [recurso eletrônico] / Monize Fiorilli de Oliveira. - 2025.</p> <p>Orientador: Valério Luiz Borges. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Mecânica. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia mecânica. I. Borges, Valério Luiz, 1979-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.</p> <p>CDU: 621</p>
-------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica
Rodovia BR 050, KM 78, Bloco 1D, 2º andar - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 2512-6773 - www.mecanica.ufu.br - cocme@ufu.br



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Engenharia Mecânica				
Defesa de:	FEMEC41100 - Projeto de Fim de Curso II				
Data:	12/05/2025	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	15:00
Matrícula do Discente:	12011EMC030/ 12021EMC019				
Nome do Discente:	Ariely da Silva Camargo / Monize Fiorilli de Oliveira				
Título do Trabalho:	"Comissionamento do sistema de combate a incêndio de uma base de distribuição de combustível"				
A carga horária curricular foi cumprida integralmente?		(X) Sim () Não			

Reuniu-se virtualmente pelo link: https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3a8FVeWhfsdqAdnyC-0cf3fuDDZOb8CcFX_iNNEW2Spg1%40thread.tacv2/1746480623794?context=%7b%22Tid%22%3a%22cd5e6d23-cb99-4189-88ab-1a9021a0c451%22%2c%22Oid%22%3a%22feb19268-8db7-468d-a25a-d08ad7cfa423%22%7d, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, em 12/05/2025, assim composta: Prof. Dr. Washington Martins da Silva Junior - FEMEC/UFU, Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes Antunes - FEMEC/UFU e Prof. Dr. Valério Luiz Borges - FEMEC/UFU (orientador).

Iniciando os trabalhos, o presidente da mesa, Prof. Dr. Valério Luiz Borges - FEMEC/UFU, apresentou a Comissão Examinadora e as candidatas, agradeceu a presença do público, e concedeu às discentes a palavra, para a exposição do trabalho. A duração da apresentação das discentes e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir as candidatas. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando as candidatas:

(x) Aprovadas sem nota.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente

ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Valério Luiz Borges, Professor(a) do Magistério Superior**, em 12/05/2025, às 15:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Washington Martins da Silva Junior, Professor(a) do Magistério Superior**, em 12/05/2025, às 15:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Arthur Heleno Pontes Antunes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 12/05/2025, às 15:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6317969** e o código CRC **46618E4A**.

Ao meu pai, Eliezer, por ser meu companheiro de todos os momentos, minha
referência, meu herói e meu lar.

À minha mãe, Ailma, por ter renunciado de tantos sonhos para eu pudesse chegar
até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio incessante e amor desmedido, a quem não há maneiras suficientes de expressar gratidão. À Mariane, Eliezer, Rosa, Hellena, Rosana, Laiane e Santa.

Agradeço imensamente a mamãe, papai e irmã pela paciência, amor e carinho proporcionados.

Aos nossos amigos, os que fizemos ao longo do caminho, os que só passaram e deixaram suas marcas, os que estão desde o começo, nosso sincero obrigada.

Ao nosso orientador, agradecemos o suporte, a paciência e os ensinamentos valiosos. Agradecemos aos coordenadores e professores que nos auxiliaram durante toda a graduação, e aos funcionários do Campus Glória, que ainda que indiretamente, também foram parte.

E sobretudo, agradecemos ao Nosso Deus, por nos conceder viver dia após dia e nos guiar até aqui.

Como as luas e como os sóis,
Como a constância das marés,
Como a esperança alçando voo,
Assim me levanto.

[..]

Para além de atrozes noites de terror

Me levanto

Rumo a uma aurora deslumbrante

Me levanto

Trazendo as oferendas de meus ancestrais

Portando o sonho e a esperança do escravo

Ainda me levanto

Me levanto

Me levanto

(Angelou, 1978)

RESUMO

A segurança contra incêndio é abordada internacionalmente como uma área de pesquisa, desenvolvimento e ensino, já que abrange muito mais do que a proteção de sistemas, máquinas, edifícios, construções, armazéns. Fundamentalmente alcança a proteção do meio ambiente e, sobretudo, a proteção de vidas. Dada a importância de um sistema de combate a incêndio, o presente trabalho consiste no comissionamento desse sistema em uma base de distribuição de combustível de Uberlândia, realizado a partir de medições em campo das tubulações, construção de projeto isométrico, levantamento dos modelos de válvulas e dispositivos presentes no sistema, cálculos das perdas de cargas e vazões utilizando simulação numérica computacional. A finalidade foi comparar os valores de vazão encontrados com os estabelecidos por normas, tendo sido obtido resultado satisfatório e atestando que o sistema atual está de acordo com as normas regulamentadoras e o conjunto de motobomba atende à demanda para o cenário mais crítico.

Palavras-chave: combustível; sistema de combate a incêndio; comissionamento; bomba centrífuga.

ABSTRACT

Fire safety is internationally regarded as a field of research, development, and education, as it encompasses far more than the protection of systems, machinery, buildings, and storage facilities. Fundamentally, it aims to safeguard the environment and, most importantly, human life. Given the importance of fire protection systems, this study presents the commissioning of such a system at a fuel distribution terminal in Uberlândia. The methodology included field measurements of the piping network, the development of an isometric project, identification of valve models and system components, and calculations of head losses and flow rates through computational numerical simulation. The objective was to compare the flow rates obtained with those established by regulations and with the performance delivered by the current system. The results were satisfactory, confirming that the current system complies with applicable standards and that the pump set meets the demand for the most critical scenario.

Keywords: fuel; fire protection system; commissioning; centrifugal pump.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa e relevância do estudo.....	2
2 OBJETIVO	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1 Combustão.....	3
3.2 Controle e extinção da combustão.....	3
3.3 Espuma e líquido gerador de espuma (LGE).....	3
3.3.1 Proporcionador	4
3.3.2 Câmara de espuma	6
3.4 Sistema de resfriamento	8
3.4.1 Hidrantes	8
3.4.2 Canhões monitores	9
3.4.3 Aspersores	9
3.5 Restrições do projeto	9
3.5.1 Taxa de aplicação de espumas	10
3.5.2 Taxa de resfriamento	10
4 MODELOS HIDRÁULICOS.....	11
4.1 Equação da energia.....	11
4.2 Perdas de carga.....	12
4.2.1 Perda de carga em tubulações	13
4.2.2 Perda de carga em acessórios	15
4.2.3 Orifícios	17
4.3 Equação da continuidade.....	18
5 Apresentação do caso analisado	19

5.1	Cenário considerado	24
5.1.1	Escolha do cenário crítico	24
5.2	Análise do cenário.....	24
5.3	Levantamento de dados para comissionamento.....	30
5.3.1	Altura geométrica	30
5.3.2	Bomba.....	31
5.3.3	Subsistema de hidrante	32
5.3.4	Subsistema de canhões monitores	35
5.3.5	Subsistema de câmara de espuma	36
5.3.6	Subsistema de chuveiros	38
5.3.7	Tubulações	38
5.3.8	Tabela resumo das perdas de carga	39
5.3.9	Tanques de combustíveis	40
6	RESULTADOS	41
7	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

O fogo e o combustível são, sem dúvida, duas das maiores descobertas da humanidade. Cada um, a seu tempo, desempenhou um papel fundamental no progresso do modo de vida dos antepassados. E até os dias atuais, ambos auxiliam no desenvolvimento de tecnologias para melhor atender às necessidades do presente. Apesar dos aspectos positivos que essas descobertas trouxeram, evidenciam-se os perigos iminentes associados à manipulação conjunta - infelizmente, revelados por meio de acidentes e desastres (Seito et al., 2008).

A segurança contra incêndio é abordada internacionalmente como uma área de pesquisa, desenvolvimento e ensino, já que abrange muito mais do que a proteção de sistemas, máquinas, edifícios, construções e armazéns. Fundamentalmente, alcança a proteção do meio ambiente e, sobretudo, a proteção de vidas.

Nesse sentido, a principal função do sistema de combate a incêndio é extinguir ou controlar o foco de incêndio até a chegada do Corpo de Bombeiros, com o uso de dispositivos que proporcionem volumes de água e/ou espuma em vazão compatível com as condições e o tamanho do local que visa proteger (Seito et al., 2008).

Segundo a NBR 17505-7 da ABNT (2024a), um sistema de combate a incêndio eficiente em uma base de distribuição de combustível é um fator decisivo para o funcionamento da própria operação, tendo em vista que a inadequação do sistema torna a base passível de interdição.

A verificação do atendimento dos requisitos normativos de um sistema de combate a incêndio pode ser feita através do comissionamento do sistema. De acordo com o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (2015), o comissionamento é uma atividade técnica de teste e avaliação de máquinas ou sistemas com objetivo de autorizar seu uso em condições normais de operação.

Apesar do comissionamento ser tradicionalmente utilizado no final da fase de implementação de um projeto industrial, ele pode ser utilizado para validação de sistemas em operação, contribuindo para a tomada de decisão quanto às ações a serem adotadas em relação ao sistema, tais como substituição, aumento de eficiência ou reconstrução.

1.1 Justificativa e relevância do estudo

O comissionamento de sistemas industriais é de fundamental importância, assegurando que eles funcionem de maneira eficiente e atendam a requisitos operacionais e normativos. Nesse sentido, o sistema de combate a incêndio do caso analisado foi construído em 1997 e teve sua última adequação em 2013, quando dois novos tanques foram construídos.

Com a inserção dos novos tanques, a linha de combate a incêndio aumentou, porém, o conjunto de bombas dimensionado em 1997 foi mantido. Assim, é relevante realizar o comissionamento desse sistema verificando se ele ainda atende aos requisitos normativos. Dessa forma, a empresa pode tomar uma decisão mais assertiva quanto a necessidade de substituir o conjunto de bombas. Isso porque, caso o sistema não atenda esses requisitos, é imprescindível o redimensionamento do sistema e substituição do conjunto de bombas.

O método utilizado para o comissionamento do sistema foi baseado em modelos matemáticos, hidráulicos e computacionais.

2 OBJETIVO

O presente trabalho consiste no comissionamento do sistema de combate a incêndio de uma base de distribuição de combustível localizada em Uberlândia- MG. Sendo assim, o propósito foi comparar as vazões do sistema atual - calculadas a partir de medições em campo das tubulações, construção de projeto isométrico, levantamento de informações dos componentes do sistema e de simulação numérica computacional - com as vazões estabelecidas por normas brasileiras e internacionais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa subseção descreve os conhecimentos teóricos necessários para o entendimento do problema analisado.

3.1 Combustão

Um incêndio pode ser entendido como uma combustão indesejada e com potencial de causar perdas materiais e humanas. A combustão, por sua vez, é uma reação química que possui como reagentes um combustível e o oxigênio do ar (O_2) e tem como produtos calor, vapor de água e, comumente, dióxido de carbono.

Geralmente, para que a reação de combustão se inicie, é necessário fornecer uma fonte externa de calor, chamada de fonte de ignição. A combustão é acelerada quanto maiores forem a temperatura e pressão do combustível, sendo este, uma substância cujos vapores, em contato com o oxigênio à determinadas temperaturas e pressões, entram em combustão.

3.2 Controle e extinção da combustão

De acordo com o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (2018), durante o combate a incêndio, busca-se interromper o processo de combustão, eliminando uma das fontes necessárias para a reação: oxigênio, combustível ou fonte de calor. Em suma, as maneiras de controlar ou extinguir uma combustão são: retirar o combustível ou o oxigênio do sistema, resfriar o sistema, controlar as fontes de ignição, a pressão e a temperatura do sistema e, assim, evitar que o fogo seja propagado, desencadeando novas reações.

O resfriamento do sistema diminui sua temperatura, desacelerando a reação de combustão. Dessa forma, resfriar um sistema torna mais difícil que a combustão se inicie ou continue. No combate a incêndio, o resfriamento pode ser feito com o uso de água de diversas maneiras e fontes. Já a retirada do oxigênio do sistema elimina a combustão e pode ser feito com o uso de espumas de combate a incêndio, formadas por meio da mistura do Líquido Gerador de Espuma (LGE), de ar e água, utilizando equipamentos para este fim, chamados proporcionadores.

3.3 Espuma e líquido gerador de espuma (LGE)

De acordo com Figueredo (1998), espumas são estruturas gasosas envolvidas por uma fina camada contínua de líquido. Essas estruturas se formam devido ao agrupamento de bolhas que são constituídas quando um gás é dispersado em um líquido. Para que este seja capaz de formar espumas, é necessário que ele contenha agentes espumantes solubilizados, como surfactantes.

Frequentemente, essas espumas são menos densas que o combustível em chamas, permanecendo em sua superfície, e são utilizadas para o combate a incêndio, pois, quando aplicadas sobre o líquido combustível, irão causar o abafamento da reação, impedindo o contato com o oxigênio e, conseqüentemente, interrompendo a reação. Atualmente as espumas utilizadas em incêndio de líquidos inflamáveis são as espumas formadoras de película aquosa (AFFF).

Uma característica importante das AFFF é sua expansão. De acordo com a norma NBR 12615 da ABNT (2024b), a expansão pode ser definida como a razão entre o volume da espuma e o volume da solução de espuma. Classificam-se as espumas em baixa, média ou alta expansão. Espumas de baixa expansão têm expansão menor ou igual a 20, isso é, 1 litro de solução de LGE com água gera 20 litros de espuma.

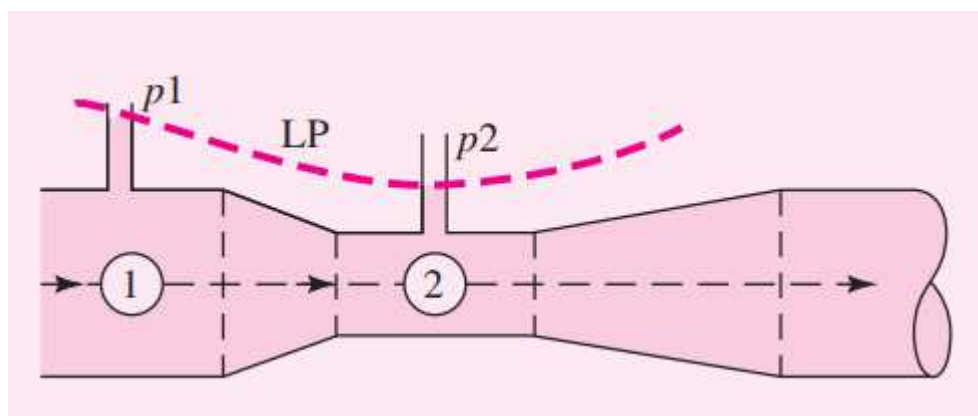
Geralmente, as soluções de AFFF são de 3 % ou 6 %. Essa concentração representa a massa do LGE por volume de água. Segundo a norma NBR 12615 da ABNT (2024b), o fabricante deve indicar qual concentração de LGE utilizar para cada tipo de combustível. No presente estudo, devido à definição do fornecedor de LGE, foram consideradas a proporção de 3% aplicada para hidrocarbonetos e a proporção de 6% para solventes polares.

3.3.1 Proporcionador

Proporcionador é o nome comercial do equipamento no sistema de combate a incêndio responsável por formar a solução de LGE. Para entender o funcionamento desse equipamento, é preciso, primeiramente, entender o tubo venturi

O tubo venturi pode ser definido como um tubo em que, ao longo do seu comprimento, há uma redução na seção transversal ao escoamento e posterior aumento dessa seção. Conforme esquema representado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema de um tubo venturi



Fonte: White (2011).

No esquema da Figura 1, considera-se que o escoamento ocorre da esquerda para direita como indicado pela flecha. A seção 1 possui área A_1 e a velocidade e pressão do escoamento são, respectivamente, V_1 e p_1 . Já a seção 2 possui área $A_2 < A_1$.

Segundo White (2011), a diminuição da seção transversal provocará aumento da velocidade do escoamento e queda da pressão na seção 2. Logo, $V_2 > V_1$ e $p_2 < p_1$. Assim, entende-se que o tubo venturi desenvolve uma baixa pressão na seção da garganta.

Dessa maneira, se um reservatório é conectado na garganta do tubo venturi através de um duto, dependendo da diferença de pressão e altura geométrica entre garganta e reservatório e velocidade do escoamento, é possível controlar o volume de fluido succionado para o tubo venturi. Esse é o princípio dos proporcionadores utilizados no sistema de combate a incêndio. Tal esquema é mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Tubo venturi conectado a um reservatório de LGE.



Fonte: Bombeiroswaldo (2015).

Os proporcionadores são projetados para fornecer uma sucção controlada de LGE dependendo da proporção requerida de água e LGE na espuma a ser formada.

3.3.2 Câmara de espuma

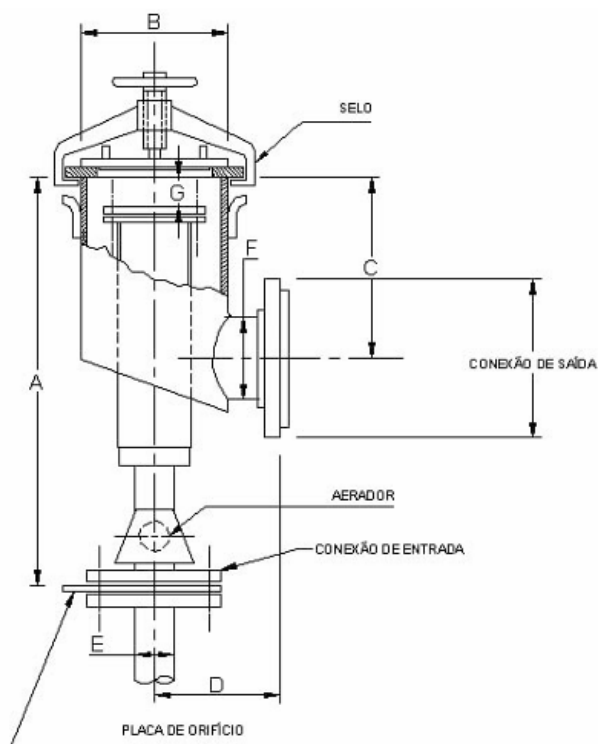
A câmara de espuma é o nome comercial do equipamento responsável pela formação e lançamento da espuma sobre o líquido em combustão. A formação da espuma ocorre a partir da mistura da solução de LGE com ar. Esse ar é succionado pelo aerador da câmara de espuma, o qual funciona pelo princípio do tubo venturi.

Segundo a norma NBR 12615 da ABNT (2024b), dependendo da maneira que a espuma é lançada para o interior do tanque de combustível, pode-se classificar as câmaras em tipo 1 ou tipo 2. Na câmara tipo 1 a espuma é depositada suavemente sobre a superfície do líquido. No tipo 2, por sua vez, a espuma é aplicada sobre o costado do tanque, atingindo a superfície do líquido com pequena agitação e submersão.

Ainda de acordo com a NBR 12615 da ABNT (2024b), as câmaras de espuma devem ser providas de um selo para impedir que vapores do líquido inflamável entrem na tubulação de LGE.

A Figura 3 abaixo mostra o desenho em corte de uma câmara de espuma tipo 2 e modelo MCS. Segundo a fabricante Protector Fire (2025a), esse modelo de câmara de espuma é utilizado em tanques de teto fixo.

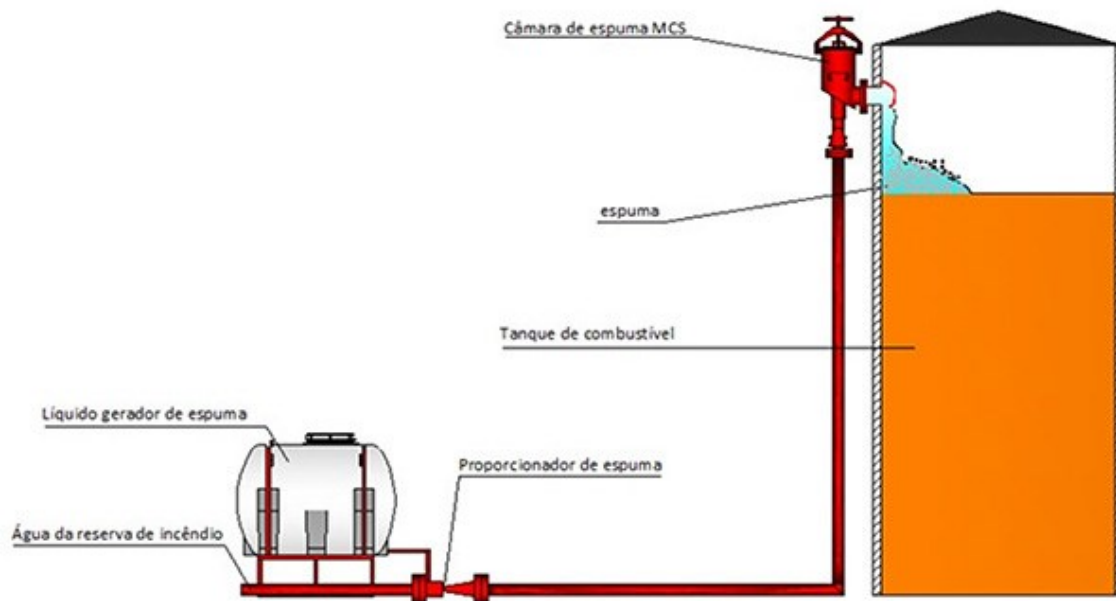
Figura 3 – Desenho em corte de uma câmara de espuma modelo MCS.



Fonte: Kiddle Brasil (2025).

As câmaras de espumas e os proporcionadores são, geralmente, utilizados em conjunto. A Figura 4 abaixo mostra uma instalação típica de um sistema de espuma constituído de água, tanque de LGE, proporcionador e câmara de espuma.

Figura 4 – Instalação típica de câmara de espuma em um sistema de combate a incêndio



Fonte: Protector Fire (2025b).

3.4 Sistema de resfriamento

A água é um dos principais agentes extintores de incêndio. Ela é utilizada, principalmente para resfriar o sistema. Isso porque, é um fluido com alto calor de vaporização, logo grande quantidade de calor do material em chamas para vaporizar. Durante essa vaporização ela retira calor da combustão, auxiliando na sua interrupção. Segundo Ferreira (1987 apud Soares, 2016, p.3), a água pode ser aplicada sobre o sistema em chamas através de um jato compacto ou neblina.

Os dispositivos mais utilizados para o sistema de combate a incêndio são hidrantes, canhões monitores e aspersores. De acordo com norma NBR 17505-7 da ABNT (2024a), a combinação desses dispositivos que cada tanque deve ter depende da capacidade e altura do tanque, bem como tipo de combustível armazenado.

3.4.1 Hidrantes

Os hidrantes são dispositivos diretamente conectados na tubulação de água com válvulas angulares para conexão das mangueiras. Pela norma NBR 17505-7 da ABNT (2024a), os hidrantes precisam possuir no mínimo duas saídas e serem dotados de conexão tipo Storz. Além disso, a altura das válvulas dos hidrantes deve estar entre 1 m e 1,5 m. De acordo com a norma NBR 13714 da ABNT (2000), as válvulas angulares dos hidrantes devem ter diâmetro DN65 (2 ½").

As mangueiras possuem um tubo interno de material flexível, como borracha ou plástico e são revestidas por fios sintéticos. No Brasil, as mangueiras conectadas nos hidrantes têm diâmetros nominais de 40 mm ou 65 mm e comprimento de 15 m. Quando necessário pode-se conectar duas ou mais mangueiras, e no final da última mangueira, é conectado o esguicho. O esguicho é o dispositivo responsável por dar forma, direção e controle do jato de água, podendo ser do tipo jato regulável (neblina ou compacto) ou do tipo jato compacto.

3.4.2 Canhões monitores

Canhões monitores são utilizados para lançamento de água ou espuma quando é necessário alta vazão e grandes distâncias. Os canhões monitores podem ser fixos, portáteis, auto oscilatório ou controlado remotamente. Assim, como as mangueiras, os canhões monitores possuem em sua extremidade um esguicho responsável por direcionar a água ou espuma.

3.4.3 Aspersores

Os aspersores são comumente utilizados para geração e lançamento de água nebulizada para o combate a incêndio. De acordo com a norma N° 44/2022 do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2022), a água nebulizada é constituída de gotas com diâmetro menor do que 1 mm. Devido a esse pequeno volume, a retirada de calor do sistema em chamas é mais efetiva.

Os elementos formadores de água nebulizada são difusores, atomizador ou bocal. Ainda de acordo com a norma N° 44/2022 do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (2022), esses aspersores podem ser instalados em sistemas de dilúvio, pré-ação, sistema de tubulação úmida ou seca.

3.5 Restrições do projeto

A partir do disposto anteriormente, essa seção tem como objetivo indicar as condições que um sistema de combate a incêndio deve obedecer, segundo a norma NFPA 11 e NBR 17505-7.

3.5.1 Taxa de aplicação de espumas

Para estabelecer os parâmetros de aplicação de espuma no sistema, foi considerada a norma NFPA (National Fire Protection Association) 11ª edição 16. A NFPA 11 é uma norma americana que tem como objetivo padronizar projeto, instalação, operação, manutenção e inspeção de dispositivos aplicadores de espumas extintoras de incêndio de baixa, média e alta expansão.

Segundo a norma NFPA 11 da National Fire Protection Association (2016), a vazão mínima de espuma que deve ser aspergida em um tanque com combustível depende da área da seção transversal do tanque, bem como do líquido armazenado. Essa vazão Q_{min} é dada na Equação 1 abaixo e é válida para combustíveis independentemente de seu ponto de fulgor.

$$Q_{min} = 4,1 \cdot A \text{ (L/min)} \quad (1)$$

Em que $A = \pi D^2$, é a área transversal do tanque e D é o diâmetro do tanque em m.

Além disso, o tempo que a espuma deve ser lançada sobre o líquido armazenado é de 55 min, se o ponto de fulgor do líquido for menor que 37,8 °C. Caso, o ponto de fulgor seja entre 37,8 °C e 60 °C esse tempo se reduz para 30 min.

3.5.2 Taxa de resfriamento

Para estabelecer os parâmetros de aplicação da água para resfriamento foi utilizada a norma NBR 17505-7 da ABNT (2024a). Essa é uma norma brasileira cujo objetivo é estabelecer requisitos de projetos para sistemas de combate a incêndio de locais de armazenamento de combustíveis.

De acordo com a NBR 17505-7 da ABNT (2024a), o sistema de resfriamento para tanques verticais e horizontais devem conter hidrantes, canhões monitores ou aspersores.

Pela norma NBR 17505-7 da ABNT (2024a), a vazão mínima de água para resfriamento que deve ser lançada para o resfriamento dos tanques verticais vizinhos ao tanque em chama é dada pela Equação 2 abaixo.

$$Q_{min} = 2 \cdot A \text{ (L/min)} \quad (2)$$

Em que A é a área de resfriamento a ser considerada, ela é o somatório da área do teto fixo e um terço da área do costado do tanque. Logo, A é dada pela Equação 3:

$$A = \pi D^2 + 1/3 \cdot \pi DL \quad (3)$$

Em que D é o diâmetro do tanque e L sua altura.

É importante ressaltar que a vazão Q_{min} obtida pela Equação 2 representa a soma da vazão fornecida por cada um dos dispositivos de resfriamento.

4 MODELOS HIDRÁULICOS

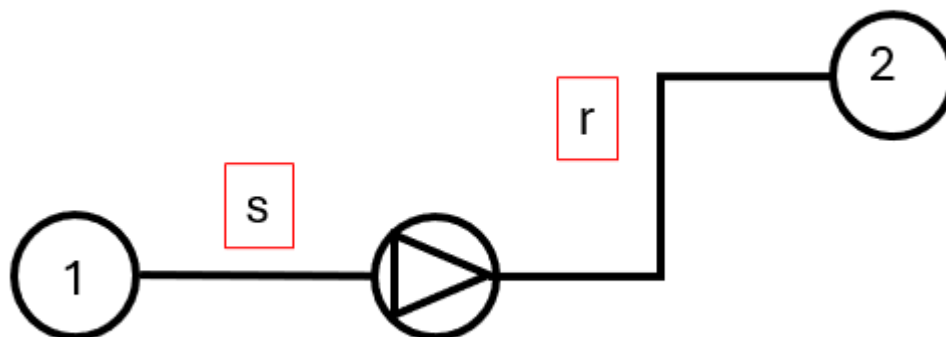
4.1 Equação da energia

Considere um escoamento viscoso em uma tubulação de seção circular como mostrado na Figura 5 abaixo. Os nós 1 e 2, pontos arbitrários ao longo do escoamento, possuem energia total dada pela soma de suas energias cinéticas, de pressão e potencial. De acordo com Borges (2023a), o balanço de energia entre os nós 1 e 2 é dada pela Equação 4:

$$H_1 + \Delta H_{ganho} = H_2 + \Delta H_{perdas} \quad (4)$$

Em que $H_i = \frac{p_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} + z_i$, $i = 1, 2$ é dado em mca (metros de coluna d'água)

Figura 5 – Representação do escoamento entre dois nós.



Fonte: Elaboração Própria

Em sistemas hidráulicos, o equipamento responsável pelo ganho de energia ΔH_{ganho} do fluido é uma bomba. A energia ΔH_{ganho} fornecida pela bomba, porém, depende da vazão Q no sistema. Para uma bomba centrífuga, a relação entre ΔH_{ganho} e Q é dada por uma equação do segundo grau, como representado na Equação 5 abaixo:

$$\Delta H_{ganho} = aQ^2 + bQ + c \quad (5)$$

Q é a vazão em m^3/s e ΔH_{ganho} em mca.

Na Figura 5, s e r são elementos. Os elementos podem ser entendidos como a ligação entre dois nós analisados. Fisicamente, os elementos representam tubulações, válvulas, curvas, reduções e outros acessórios. Esses elementos causam a perda de carga ΔH_{perdas} no sistema.

4.2 Perdas de carga

4.2.1 Perda de carga em tubulações

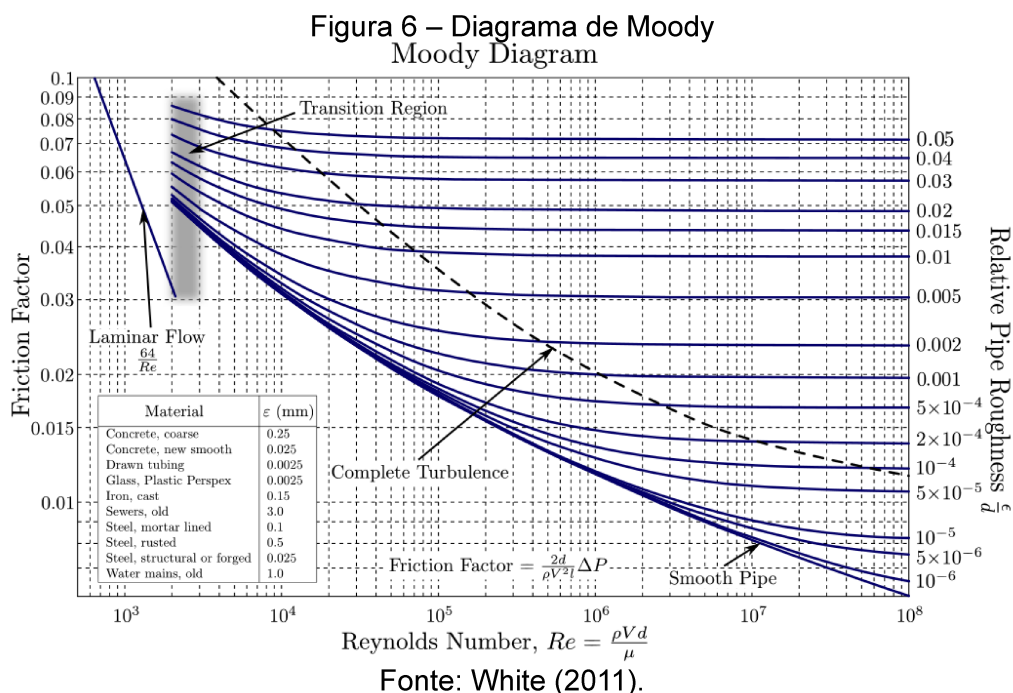
Segundo White (2011), a perda de carga pode ser entendida como a variação da altura geométrica e altura de pressão que é observada ao longo de uma tubulação. A relação entre a perda de carga e as características da tubulação é dada pela equação de Darcy Weisbach:

$$\Delta H_{\text{perdas}} = f \frac{L V^2}{d 2g} \quad (6)$$

Em que f é o fator de atrito, V é a velocidade do fluido em m/s, d é o diâmetro interno do tubo em m e g é a aceleração da gravidade em m/s².

O fator de atrito, por sua vez, depende do número de Reynolds Re , rugosidade da tubulação, diâmetro interno da tubulação e formato do tubo.

Esse fator pode ser obtido através do Diagrama de Moody., como indicado na Figura 6 abaixo.



Percebe-se, portanto, que o fator de atrito depende do número de Reynolds, o qual por sua vez é função da velocidade do escoamento dentro das tubulações. Em tubulações já existentes, a velocidade é calculada pela razão entre a vazão que escoar e a área da tubulação. Dessa maneira, percebe-se que o cálculo do fator de atrito será iterativo quando a vazão do sistema existente for desconhecida.

Como mostra a Equação 6, quanto menor o diâmetro da tubulação maior a perda de carga que ela ocasiona. Na prática, as tubulações possuem diâmetros padronizados. Nesse sentido, as Figuras 7 e 8 abaixo mostram os diâmetros de tubulações de aço carbono padronizados pelas normas NBR 5580 e NBR- 5590.

Figura 7 – Diâmetro nominal e espessura de tubulações de aço de 1/8” até 6”

Tabela A.1 – Diâmetro × espessura × massa									
Diâmetro nominal DN	Diâmetro externo mm			Espessura mm			Massa do tubo preto kg/m		
				Classe			Classe		
	Básico	Mín.	Máx.	L	M	P	L	M	P
6 (1/8)	10,2	9,8	10,6	1,80	2,00	2,65	0,37	0,40	0,49
8 (1/4)	13,5	13,2	13,9	2,00	2,25	3,00	0,57	0,62	0,78
10 (3/8)	17,2	16,7	17,4	2,00	2,25	3,00	0,75	0,83	1,05
15 (1/2)	21,3	21,0	21,7	2,25	2,65	3,00	1,06	1,22	1,35
20 (3/4)	26,9	26,5	27,1	2,25	2,65	3,00	1,37	1,58	1,77
25 (1)	33,7	33,3	34,0	2,65	3,35	3,75	2,03	2,51	2,77
32 (1 ¼)	42,4	42,0	42,7	2,65	3,35	3,75	2,60	3,23	3,57
40 (1 ½)	48,3	47,9	48,6	3,00	3,35	3,75	3,35	3,71	4,12
50 (2)	60,3	59,7	60,7	3,00	3,75	4,50	4,24	5,23	6,19
65 (2 ½)	76,1	75,3	76,3	3,35	3,75	4,50	6,01	6,69	7,95
80 (3)	88,9	88,0	89,4	3,35	4,00	4,50	7,07	8,38	9,37
90 (3 ¼)	101,6	100,3	102,1	3,75	4,25	5,00	9,05	10,20	11,91
100 (4)	114,3	113,1	114,9	3,75	4,50	5,60	10,22	12,18	15,01
125 (5)	139,7	138,5	140,8	X	4,75	5,60	X	15,81	18,52
150 (6)	165,1	163,9	166,5	X	5,00	5,60	X	19,74	22,03

Fonte: NBR 5580 da ABNT (2015).

Figura 8 – Diâmetro nominal e espessura de tubulações de aço de 12"

Tabela A.4 (continuação)

Diâmetro nominal		Diâmetro externo mm (in)	Espessura de parede do tubo mm (in)	Tubo de ponta lisa Massa nominal kg/m (lb/ft)	Classe	Schedule
NPS	DN					
12	300	323,8 (12.750)	3,96 (0,156)	31,24 (21,00)	...	5
			4,57 (0,180)	35,98 (24,19)	...	10
			4,78 (0,188)	37,61 (25,25)	...	...
			5,16 (0,203)	40,55 (27,23)	...	...
			5,56 (0,219)	43,63 (29,34)	...	...
			6,35 (0,250)	49,71 (33,41)	...	20
			7,14 (0,281)	55,75 (37,46)	...	...
			7,92 (0,312)	61,69 (41,48)	...	...
			8,38 (0,330)	65,18 (43,81)	...	30
			8,74 (0,344)	67,90 (45,62)	...	...
			9,52 (0,375)	73,78 (49,61)	STD	...
			10,31 (0,406)	79,70 (53,57)	...	40
			11,13 (0,438)	85,82 (57,65)	...	...

Fonte: NBR 5590 da ABNT (2015).

4.2.2 Perda de carga em acessórios

Além da perda de carga nas tubulações, há perdas de cargas localizadas em válvulas e outros acessórios do sistema de tubulação. De acordo com White (2011), as perdas de carga ocorrem na entrada e saída dos tubos, expansões e contrações graduais ou bruscas, em curvas, cotovelos e têes, bem como em válvulas abertas ou parcialmente fechadas.

Nos cálculos das perdas localizadas em válvulas e outros acessórios é comum o uso do coeficiente de vazão (K_v). O K_v é um valor obtido experimentalmente e deve ser indicado pelos fabricantes dos dispositivos. De acordo com Borges (2023a), define-se o coeficiente de vazão como a vazão, em m^3/h , que o fluido passa por uma válvula (ou outro dispositivo) quando a queda de pressão é 1 bar. Assim, K_v pode ser calculado por:

$$Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta p}{\frac{\rho}{1000}}} \quad (7)$$

Quando a vazão e pressão forem utilizadas nas unidades gal e psi, define-se o coeficiente de vazão como C_v . A relação entre K_v e C_v é dada pela Equação 8 abaixo.

$$K_v = 0,86 C_v \quad (8)$$

Quando dois ou mais dispositivos estão conectados em série, isto é, a vazão Q que flui por eles é igual, o valor de K_v equivalente é dado pela Equação 9.

$$\frac{1}{K_{veq}} = \frac{1}{K_{v1}} + \frac{1}{K_{v2}} + \dots + \frac{1}{K_{vn}} \quad (9)$$

Onde K_{vn} é o coeficiente de vazão de cada dispositivo conectado.

Algumas vezes, a perda de cargas de válvulas e outros acessórios é calculado através do comprimento equivalente, o qual representa o comprimento de tubulação que causaria a mesma perda de carga do acessório. Existem diversas tabelas que informam comprimentos equivalentes de acessórios utilizados comumente. Nesse trabalho, a perda de carga de todas as curvas, joelhos e redução serão estimadas por comprimentos equivalentes, conforme Figura 9.

Figura 9 – Comprimento equivalentes de acessórios em função do seu diâmetro

DIÂMETRO D		COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MÉDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D = 1 1/2	CURVA 90° R/D = 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE GLOBO FECHADO	REGISTRO DE ÂNGULO ABERTO	TÊ PASSAGEM DIRETA	TÊ SAÍDA DE LADO	TÊ SAÍDA BILATERAL	VÁLVULA DE PÊ E CRIVO	SAÍDA DA CANALIZAÇÃO	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO LÉVE	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
		mm	pol.																	
13	½	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	¾	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 ¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 ½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 ½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

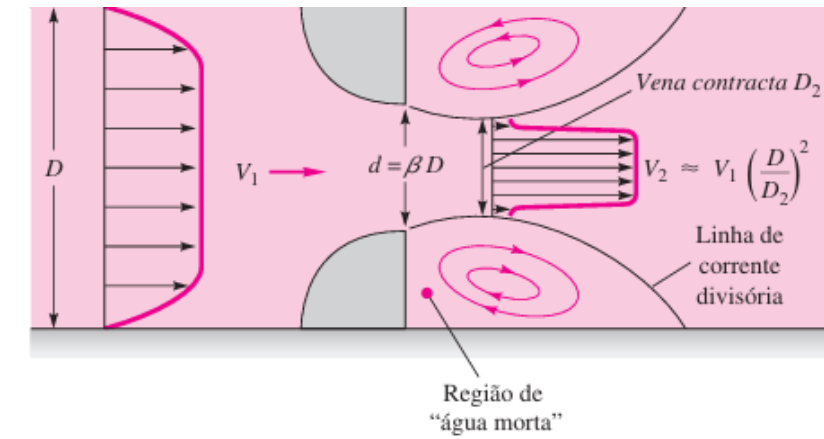
* Os valores indicados para registros de globo, aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.

Fonte: Catálogo KSB (2021)

4.2.3 Orifícios

Orifícios podem ser entendidos como uma obstrução ao longo da passagem de um fluido. Considere na Figura 10 abaixo um fluido com massa específica ρ que escoar em um duto de diâmetro interno D , em que em determinado local há um orifício de diâmetro d .

Figura 10 – Orifício ao longo de uma tubulação



Fonte: White (2011).

De acordo com White (2011), considerando um regime permanente e escoamento incompressível, a vazão do fluido é dada pela Equação 10.

$$Q = C_d A_2 \left[\frac{2(p_2 - p_1) / \rho}{(1 - \beta^4)} \right]^{1/2} \quad (10)$$

Em que $\beta = d/D$, A_2 é a área do orifício, p_2 é a pressão imediatamente após o orifício e p_1 é a pressão antes do orifício. O coeficiente de descarga C_d é determinado experimentalmente e depende de β e Re_d . No entanto, de acordo com Borges (2023a), pode-se adotar um $C_d = 0,61$.

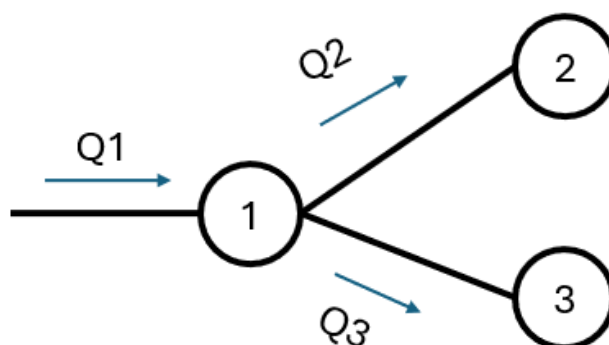
Na Equação 10 acima, considere que $p_2 - p_1 = 100\,000$ Pa, o fluido é água e admita $C_d = 0,61$. Assim, pode-se calcular o K_v , em m^3/h , do orifício pela Equação 11.

$$K_v = 3600 * Q = 3600 * 0,61 * A_2 \left[\frac{2(100000) / 1000}{(1 - \beta^4)} \right]^{1/2} \quad (11)$$

4.3 Equação da continuidade

Considere a ramificação de tubulação como na Figura 11.

Figura 11 – Ramificação de tubulação



Fonte: Elaboração Própria

Pela Equação da continuidade em um escoamento incompressível tem-se que:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (12)$$

Q_i é a vazão no elemento.

5 APRESENTAÇÃO DO CASO ANALISADO

A base de distribuição comissionada é composta por 10 tanques de armazenamento de combustíveis com capacidades entre 450.000 L e 5.000.000 L, 3 tanques de armazenamento de aditivos com capacidade de 20.000 L, plataforma coberta com seis baias de carregamento e quatro baias de descarga, plataforma de amostragem, escritório, barracão de armazenagem de tambores e equipamentos, sala de análise e oficina. Os tanques de combustíveis armazenam gasolina A, biodiesel, diesel S10 A, diesel S500 A, etanol anidro e etanol hidratado. Os referidos tanques podem ser observados na Figura 12.

Figura 12 – Fotografia da bacia de tanques no ano de 2022.



Fonte : Elaboração própria

O sistema de combate a incêndio da base é composto por quatro subsistemas, sendo eles rede de hidrantes, câmaras de espumas, chuveiros e canhões monitores fixos. O subsistema de hidrantes é composto por 12 hidrantes distribuídos ao redor dos tanques e próximos às baias. O subsistema de canhões monitores fixos possui 6 canhões monitores fixos. Além disso, cada tanque possui uma câmara de espuma do tipo 2, isto é, a espuma é direcionada para o costado dos tanques. Por fim, oito dos dez tanques possuem um chuveiro acima dos seus tetos.

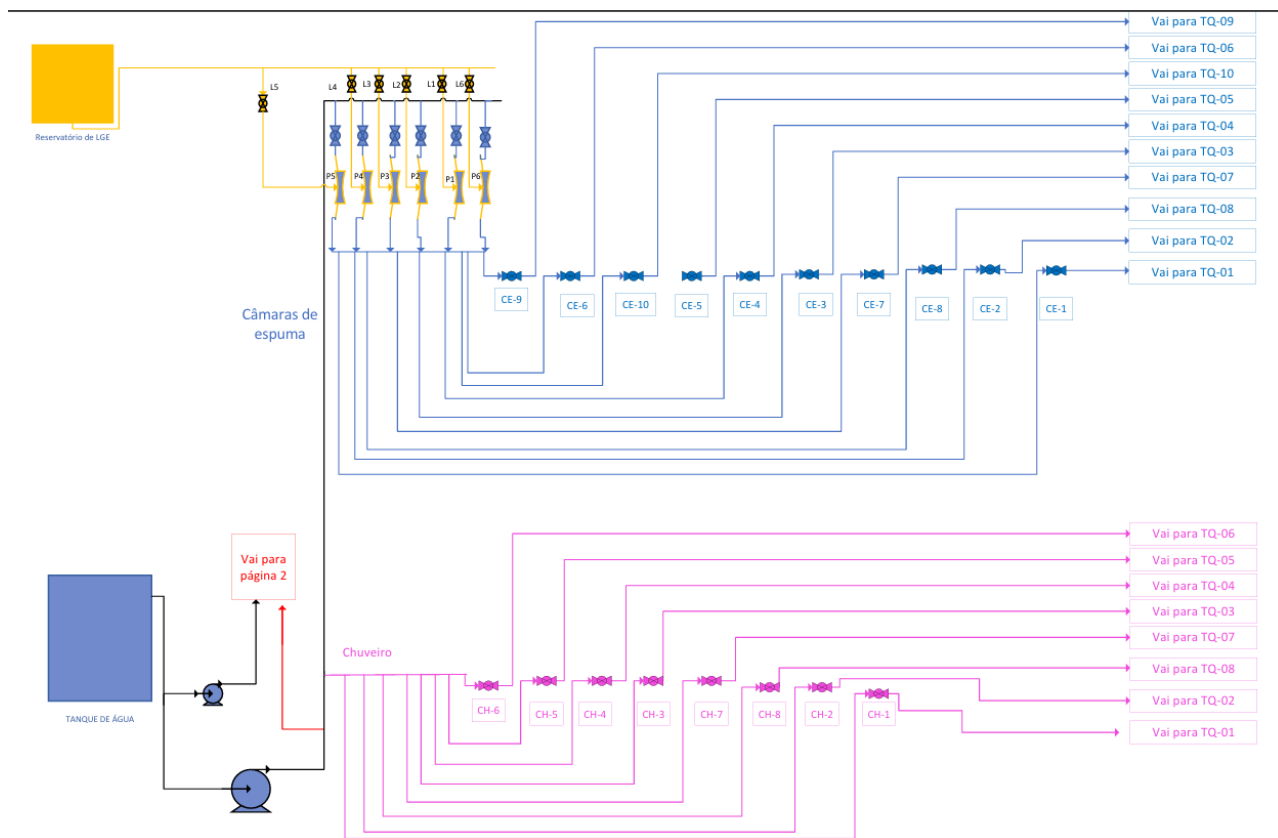
O sistema de combate a incêndio conta com um reservatório de água vertical com capacidade de 1 346 m³ e 9,6 m de altura, com régua de nível e que fica sempre cheio sendo abastecido por água da cisterna. Além disso, possui um reservatório do líquido gerador de espuma (LGE) com capacidade para 5.000 litros tipo AFFF/ARC 3% / 6% além de possuir 6 proporcionadores de linha.

Além disso, o sistema possui duas bombas centrífugas P-01 e P-02, em que a P-02 é reserva da bomba P-01, sendo assim utilizada apenas se a P-01 falhar. As duas bombas têm motores de combustão interna alimentados por S500, sendo a rotação e potência dos motores de 1800 rpm e 464 hp respectivamente.

A Figura 13 abaixo apresenta um esquema dos subsistemas de chuveiros, destacado na cor rosa, e câmaras de espumas, destacado na cor azul, da base analisada. Como observado no esquema, o subsistema da câmara de espuma é

composto por válvulas, proporcionadores, tubulações e as próprias câmaras. Já o subsistema de chuveiro é composto por válvulas e tubulações.

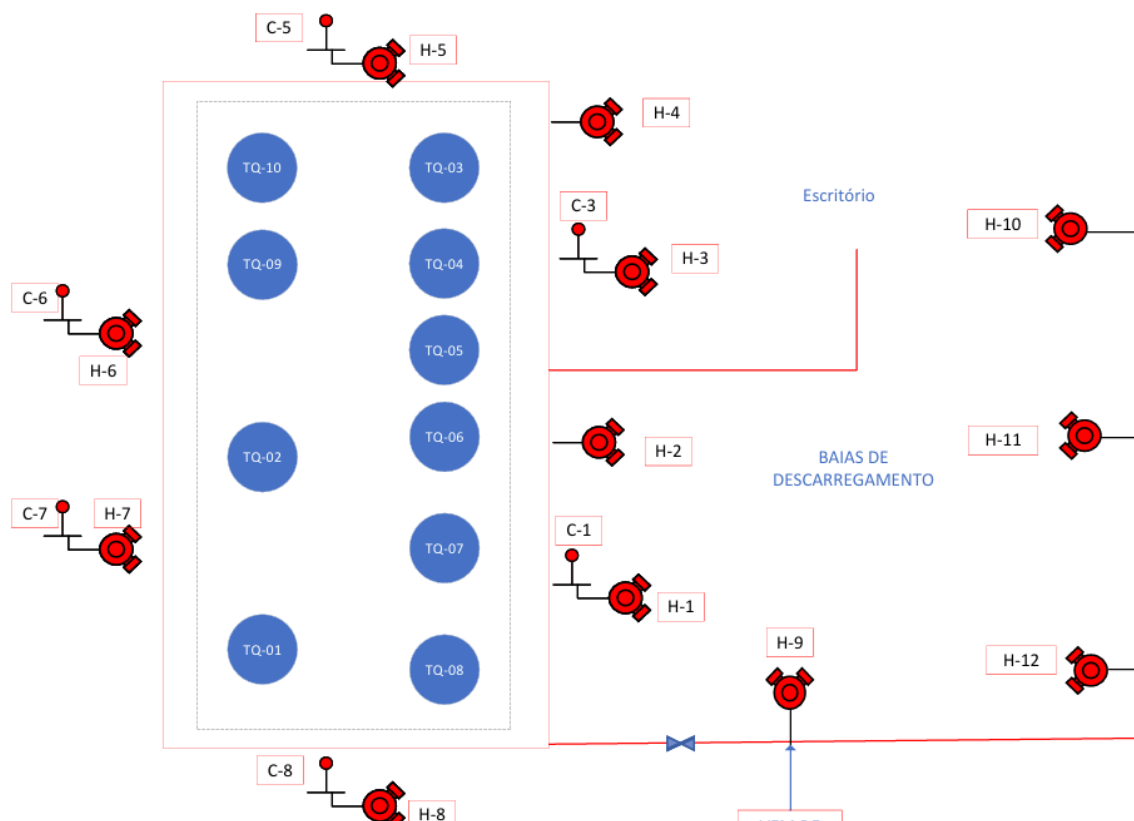
Figura 13 – Subsistemas câmaras de espuma e chuveiros



Fonte: Elaboração própria

A Figura 14 abaixo apresenta o subsistema de hidrantes e canhões. Como pode ser observado no esquema as tubulações do subsistema envolvem todos os tanques de base e derivam em direção as baias de descarregamento e escritório.

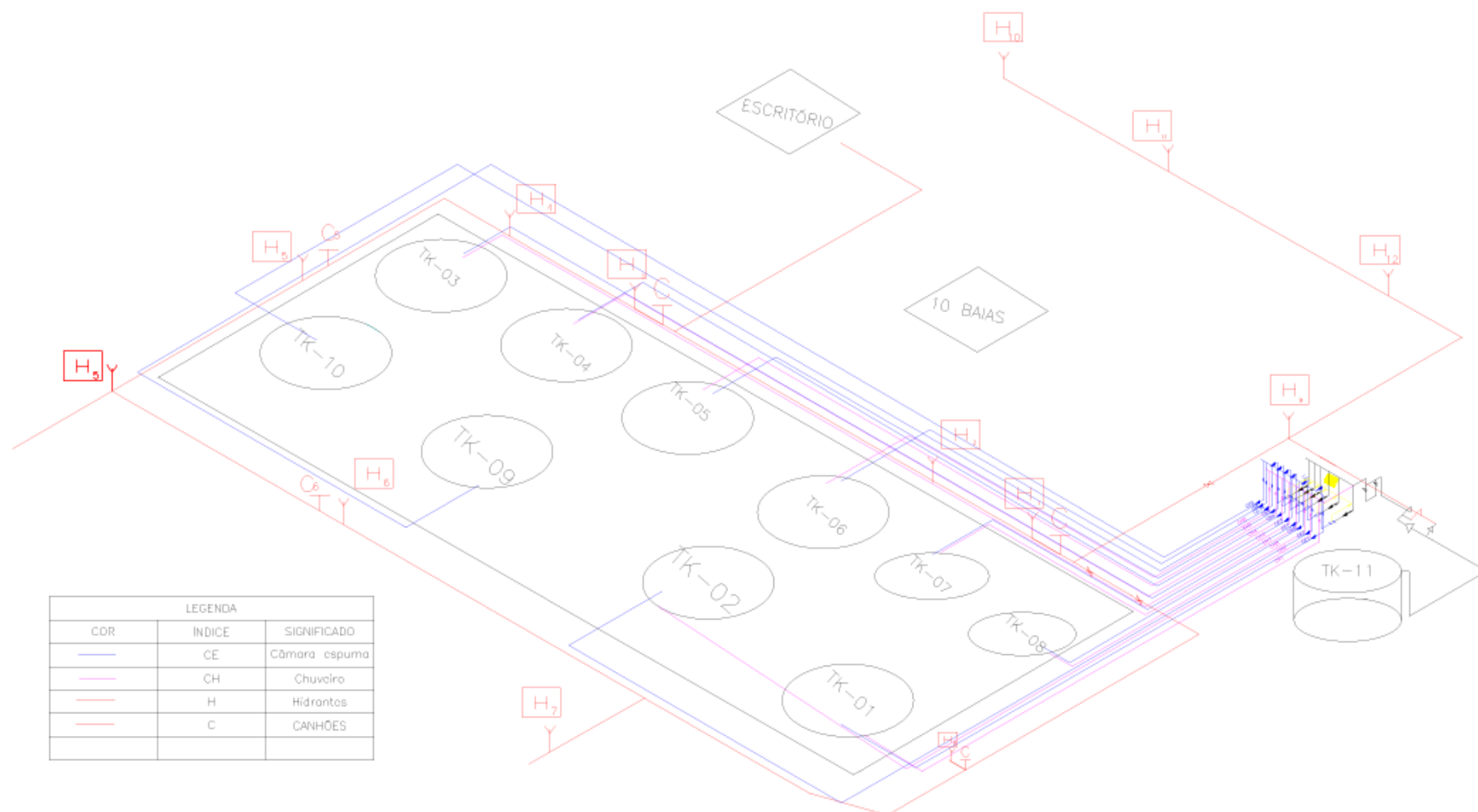
Figura 14 – rede de hidrantes e canhões monitores



Fonte: Elaboração própria

A Figura 15 abaixo mostra o isométrico da base de distribuição de combustível. O isométrico representa a base de maneira simplificada, pois destaca apenas seu sistema de combate a incêndio. Com isso, é possível ter uma melhor visualização dos componentes do sistema, o que facilita no levantamento e organização dos dados necessários para o comissionamento.

Figura 15 – Plano isométrico da base de distribuição



Fonte: Elaboração própria

5.1 Cenário considerado

Nessa seção será descrito e analisado o cenário mais desfavorável. Nesse cenário, inicia-se um incêndio no tanque 10 de gasolina.

5.1.1 Escolha do cenário crítico

A escolha desse cenário como sendo o mais desfavorável foi baseada nos seguintes fatores:

- O produto contido no tanque: A gasolina é o produto mais inflamável dentre todos os produtos operados na base, possuindo o baixo ponto de ignição e rápida propagação de chamas;
- O tanque 10 é o tanque com segunda maior capacidade de armazenamento e o único que armazena gasolina, seu volume é de 4.629.000 L;
- É o tanque mais distante da casa de bombas, possuindo os dispositivos de combate a incêndio mais desfavoráveis;
- Não possui chuveiro, por ser um tanque construído após mudanças em normas de construção operacionais não houve instalação e não há tubulação para implementação desse dispositivo
- Simulados realizados na base, tendo em vista as distâncias e as disponibilidades de equipamentos de combate a incêndio, classificou o dito cenário como o mais crítico dentre os cenários de incêndio.
- Acidentes que ocorreram em tanque de armazenagem de combustíveis em outras localidades, a título de exemplo, o incêndio na bacia de tanques causado por um raio em uma usina em Campo Florido - MG em dezembro de 2024 e, também o incêndio em uma distribuidora de Chapecó – SC em novembro de 2023. Ambos os acidentes citados tiveram fatores que foram considerados na escolha do cenário crítico, tais como o volume do tanque, produto armazenado, e dispositivos disponíveis para o combate a incêndio.

5.2 Análise do cenário

A partir das considerações, no cenário crítico selecionado para ser tratado, inicia-se uma combustão no tanque 10 de capacidade 4629 m³ de Gasolina A. A Tabela

1 abaixo mostra as instruções da brigada de incêndio da base caso ocorra incêndio no tanque 10.

Tabela 1: Ações para o caso de incêndio no tanque 10

Ação	Descrição
1	Abrir as válvulas T10, C3, C4, P6 e L6
2	Acionar canhões C-05 e C-06
3	Acionar hidrante H5

Fonte: Elaboração própria

Legenda: T: Válvula de liberação de Solução para Tanque, P: Válvula de Liberação de Água para o Proporcionador, L: Válvula de liberação de LGE e C: Válvula de Chuveiro.

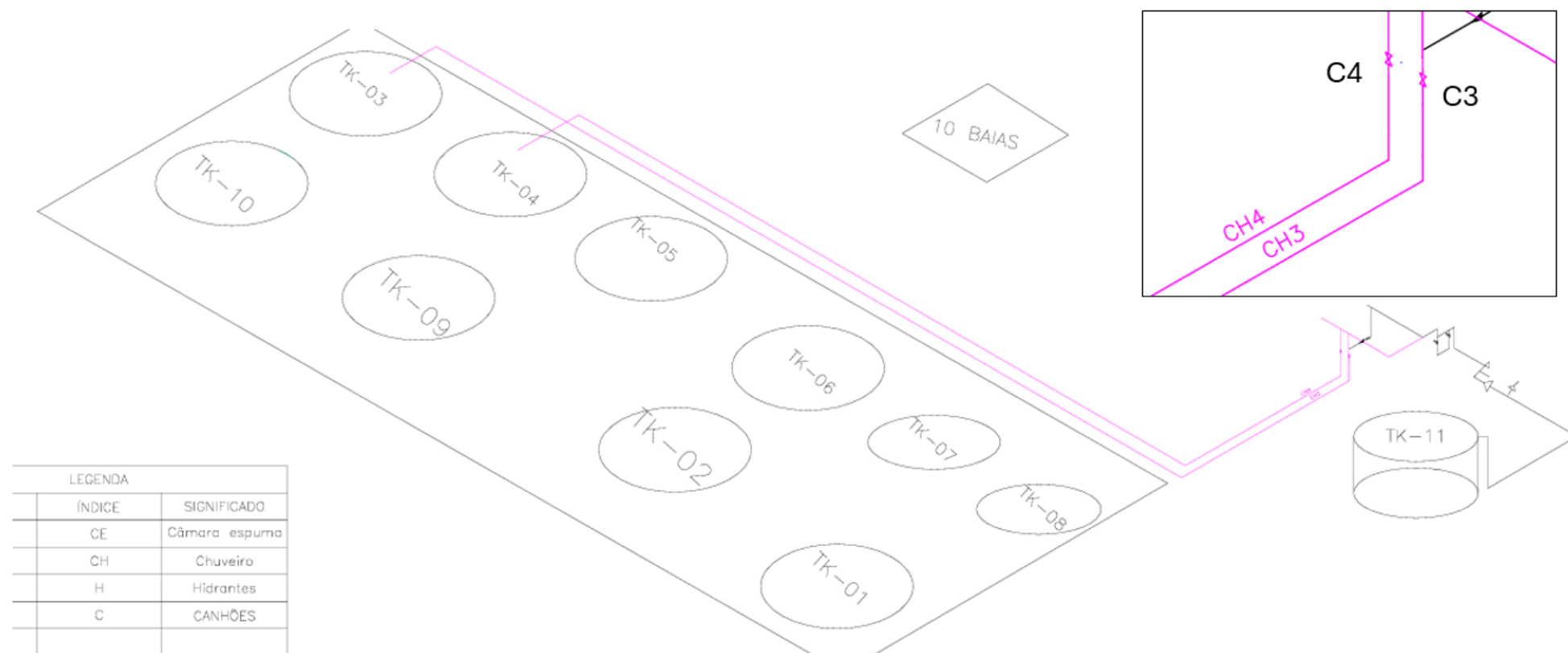
Nesse cenário é necessário extinguir o fogo presente no interior do tanque 10, utilizando espuma. Além disso, é necessário lançar água sobre o tanque 10, resfriando-o. Por fim, é necessário resfriar os tanques vizinhos ao tanque 10, isto é, tanques 3, 4 e 9, a fim de impedir que o incêndio se propague. Dessa maneira, após a realização das ações indicadas na Tabela 1, cada tanque (TQ-03, TQ-04, TQ-09 e TQ-10) terá pelo menos um dispositivo em funcionamento direcionado para ele. Esses dispositivos estão apresentados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2: Dispositivos direcionados para cada tanque no cenário considerado

Tanques	Dispositivos para o combate a incêndio
TQ-10	Câmara de espuma CE-10; Canhão C-05 Hidrante H-05 com 4 lances de mangueira
TQ-03	Chuveiro CH-03
TQ-04	Chuveiro CH-04
TQ-09	Canhão C-06

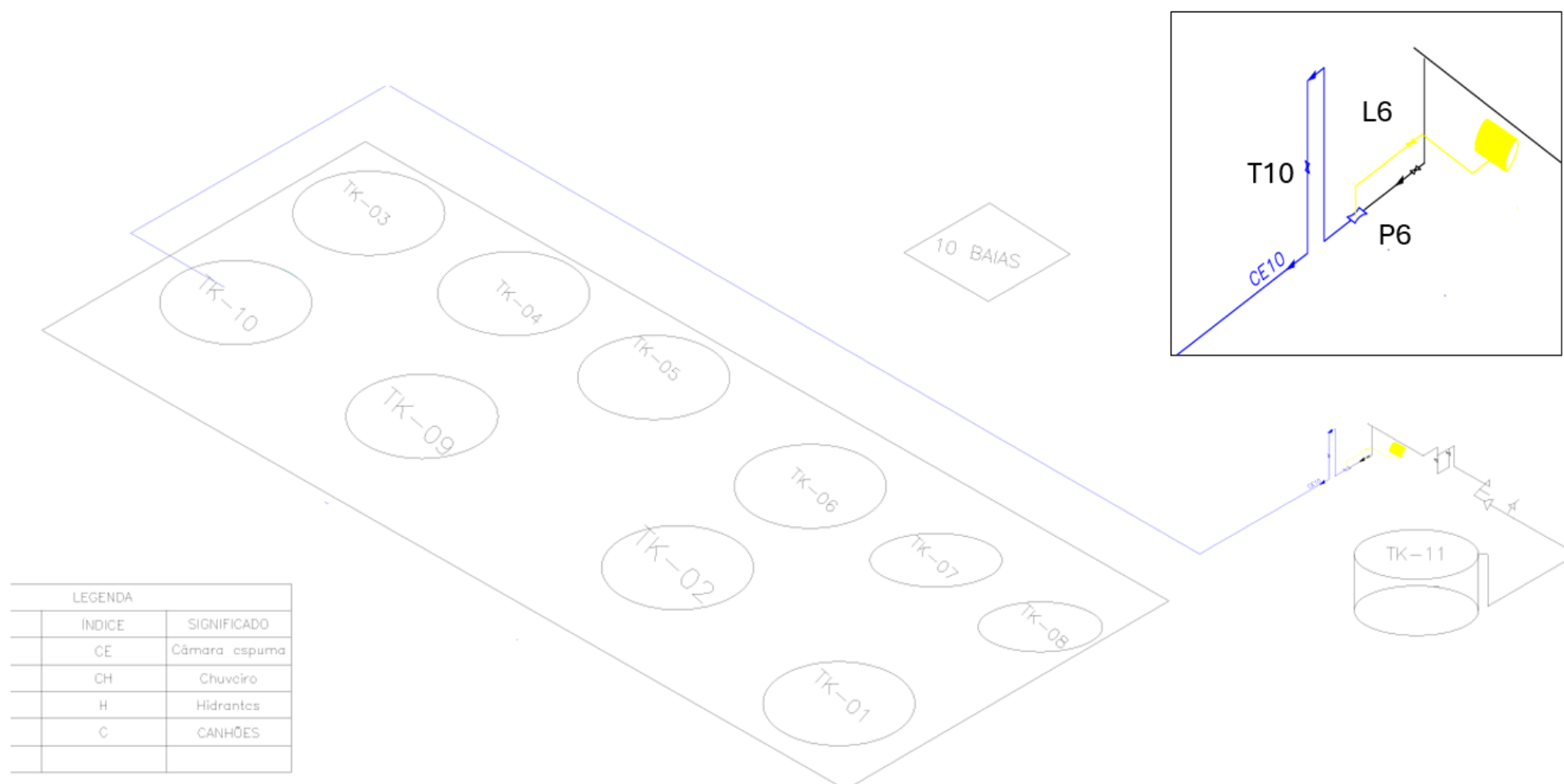
Fonte: Elaboração própria

Figura 16 – Isométrico do subsistema de chuveiros



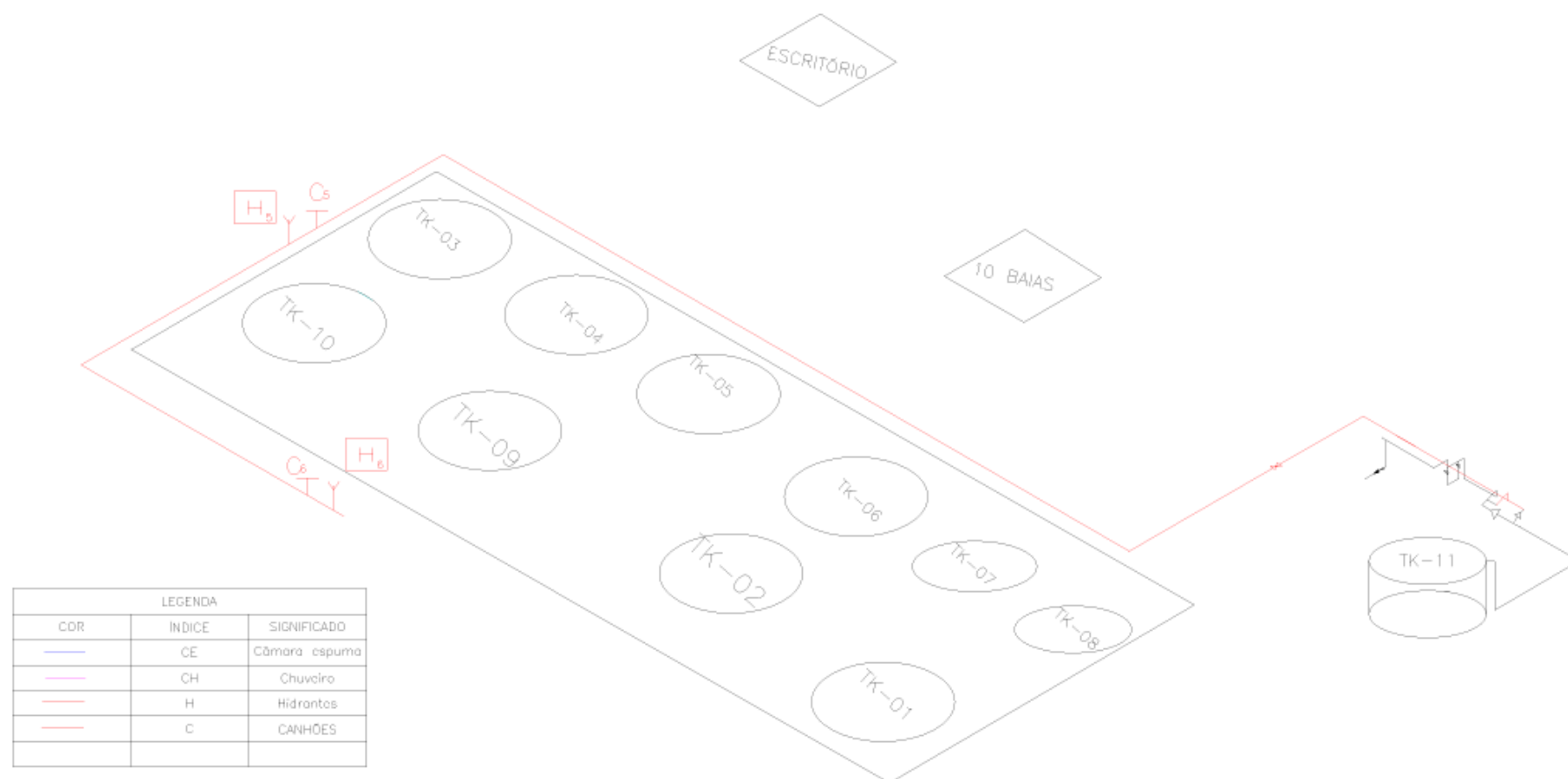
Fonte: Elaboração própria

Figura 17 – Isométrico do subsistema de câmara de espuma



Fonte: Elaboração própria

Figura 18 – Isométrico do subsistema da rede de hidrantes



Fonte: Elaboração própria

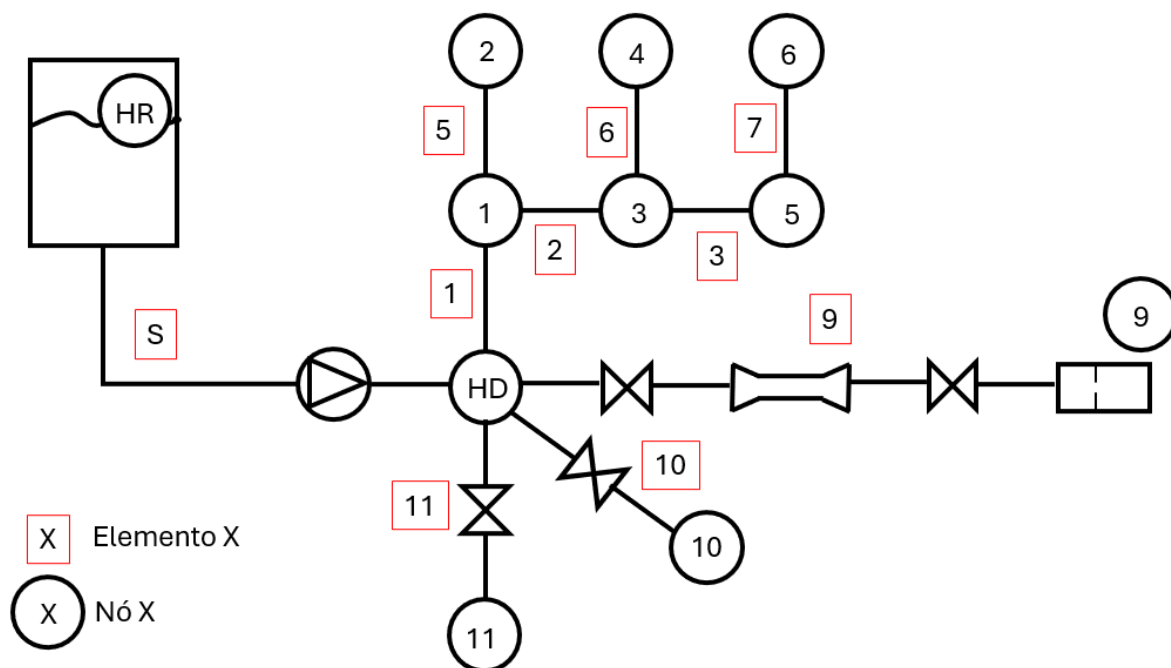
O isométrico na Figura 16 acima representa as tubulações do subsistema de chuveiro com fluxo de água após a abertura das válvulas C3 e C4 de acordo com a Tabela 1. Observa-se que não haverá fluxo de água em todas as tubulações do sistema, apenas nas tubulações em que foram abertas essas válvulas.

Já o isométrico na Figura 17 acima representa as tubulações do subsistema de câmara de espuma com fluxo de água e espuma após a abertura das válvulas T10, P6 e L6. Novamente, o fluxo de água, espuma e solução ocorre apenas nas linhas em que essas válvulas foram abertas. Assim, ainda que as demais linhas estejam pressurizadas, não haverá fluxo de fluido por elas.

Por fim, a Figura 18 acima apresenta o fluxo de água nos subsistemas de hidrantes e canhões após a abertura do hidrante H5 e canhões C-05 e C-06.

Dessa maneira, foi construído o esquema hidráulico de nós e elementos do caso analisado. Esse esquema é apresentado na Figura 19 abaixo. Pode-se observar que no esquema foi considerado apenas as linhas em que ocorrerá fluxo de fluido. Isso porque o fluido em repouso não ocasiona perda de carga.

Figura 19 – Esquema hidráulico



Fonte: Elaboração própria

Os elementos S,1,2,3,9,10,11 representam tubulações, o elemento 6

representa as mangueiras conectadas no hidrante H-05 e os elementos 5 e 7 representam, respectivamente os canhões C5 e C6.

5.3 Levantamento de dados para comissionamento

Essa seção descreve como foram obtidas as informações necessárias para o comissionamento do sistema.

5.3.1 Altura geométrica

Para realizar o comissionamento do sistema, era necessária a obtenção da altura geométrica de cada nó do esquema. Para isso, esses valores foram estimados in loco, visto que a base apresenta diversos taludes. A Tabela 3 apresenta os valores estimados, bem como descreve os componentes que os nós do esquema hidráulico representam.

Tabela 3: Representação dos nós no esquema hidráulico

Nós	Descrição	Altura geométrica em relação à bomba (m)
HR	Nível tanque de água	9,6
HD	Derivação dos subsistemas	
1	Entrada canhão C-05	
2	Saída canhão C-05	-4
3	Entrada hidrante H-05	
4	Saída hidrante H-05	-4
5	Entrada canhão C-06	
6	Saída canhão C-06	-4
9	Saída câmara de espuma CE-10	13
10	Saída chuveiro CH-03	8
11	Saída chuveiro CH-04	8

Fonte: Elaboração própria

5.3.2 Bomba

Para realizar o comissionamento, era necessário calcular a energia fornecida pela bomba. Para isso, utilizou-se testes realizados pela empresa Sigla Fire no ano de 2025 para a bomba P-01. A Tabela 4 abaixo apresenta o resultado desse teste.

Tabela 4: Resultados obtidos em testes

Ponto	Pressão (mca)	Vazão (m³/h)
Shutoff	120	0
1	116	429
2	108	674
3	96	761

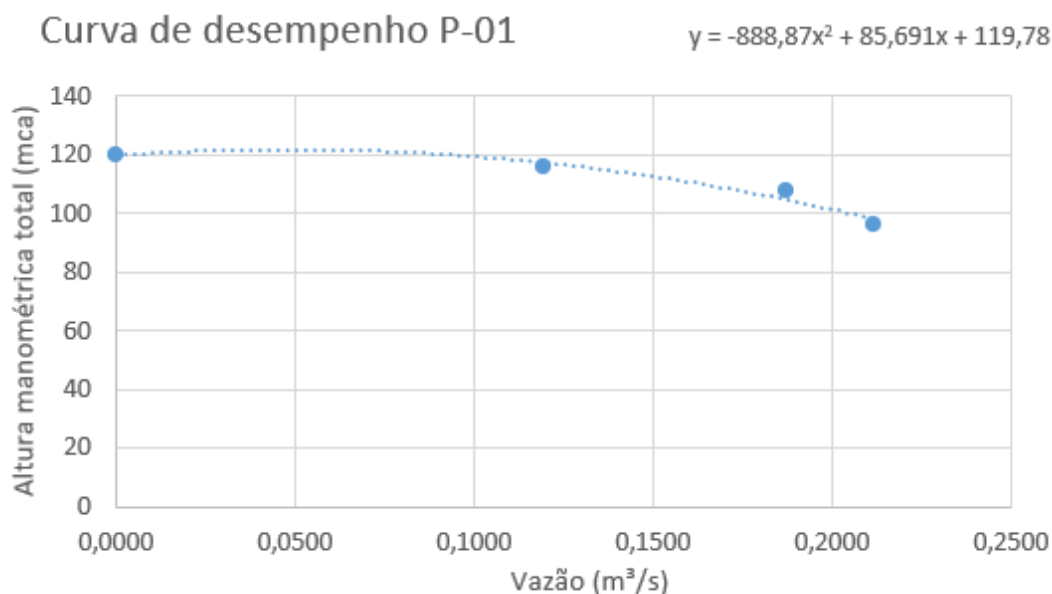
Fonte: Sigla Fire (2025).

A partir da interpolação de segundo grau dos dados da Tabela 3, encontrou-se a curva característica da bomba P-01. Essa curva é dada pela Equação 13 abaixo, em que H é altura manométrica total em mca e Q é a vazão em m³/s.

$$H = -888,87 Q^2 + 85,691 Q + 119,78 \quad (13)$$

A Figura 20 abaixo mostra a curva da bomba.

Figura 20 – Curva da bomba



Fonte: Elaboração própria

5.3.3 Subsistema de hidrante

Para realizar o comissionamento, era necessário calcular as perdas de carga imposta pelo hidrante H-05. Para o hidrante, considerou-se que as perdas de cargas ocorrem devido a válvula angular de saída, mangueiras e esguichos. Para cada componente, primeiramente, buscou-se encontrar informações de perdas de carga do próprio fabricante. No entanto, os catálogos não traziam dados para realização do cálculo das perdas, assim foram utilizadas informações de outras fabricantes.

Nesse sentido, o hidrante H-05 é do tipo duplo Y, em que cada saída possui uma válvula globo angular de 2 ½". Porém, não foram encontradas documentações que indicasse a fabricante das válvulas globo nas saídas dos hidrantes. Dessa maneira, para estimar o Kv dessas válvulas utilizou-se o catálogo do fabricante Argus. De acordo com catálogo da Argus, para válvulas de diâmetro nominal 2 ½", o coeficiente de vazão Kv é 90 m³/h. A Figura 21 foi retirada do catálogo da Argus, observe que o coeficiente de vazão é diretamente indicado pela fabricante.

Figura 21 – Catálogo Argus de válvula globo

 		KV - Coeficiente de Vazão	
DIÂMETRO NOMINAL (Pol.)	DIÂMETRO NOMINAL (mm)	Kv	
2,0	50	62	
2,5	65	90	
3,0-2,0-3,0	80-50-80	62	
3,0	80	155	
4,0	100	200	
6,0	150	470	

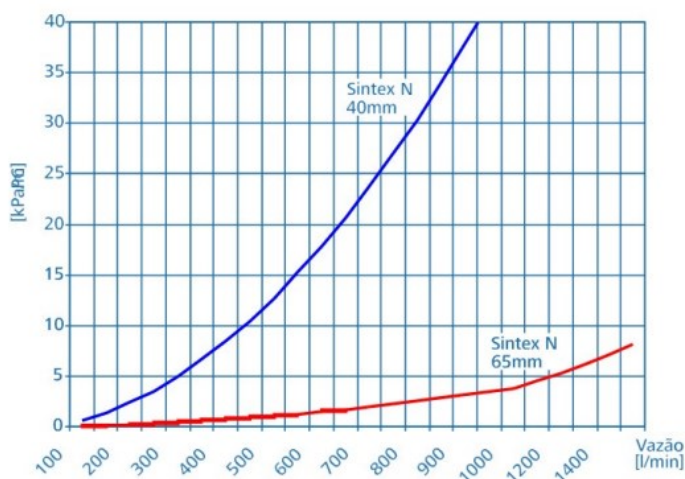
Válvula RAF Globo Angular Roscada

Fonte: Borges (2023b).

As mangueiras possuem diâmetro de 2 ½" e são da fabricante Metcalsty. Como essa fabricante não indicava as perdas de cargas na mangueira, foi utilizado o catálogo da Kiddle. Nesse catálogo, foi selecionada a mangueira Modelo Sintex N tipo 2, diâmetro nominal 65 mm. O catálogo indicava a perda de carga em função da vazão na mangueira, conforme Figura 22 abaixo.

Figura 22 – Catálogo da Metcalsty para mangueiras de combate a incêndio

Gráfico de perda de carga

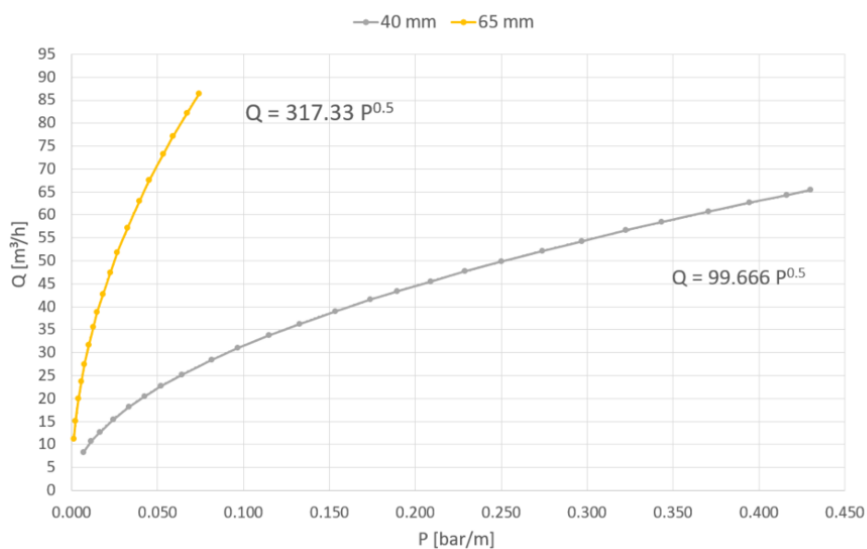


Fonte: Borges (2023b).

Foi possível, através do Software Web Plot Digitalizer, obter as coordenadas dos pontos do gráfico fornecido pelo fabricante. Interpolando esses dados e utilizando

a Equação 7 acima encontra-se que o Kv da mangueira de 65 mm é 317,33 m³/h/m. Os gráficos da vazão em função da pressão nas mangueiras são mostrados na Figura 23 abaixo.

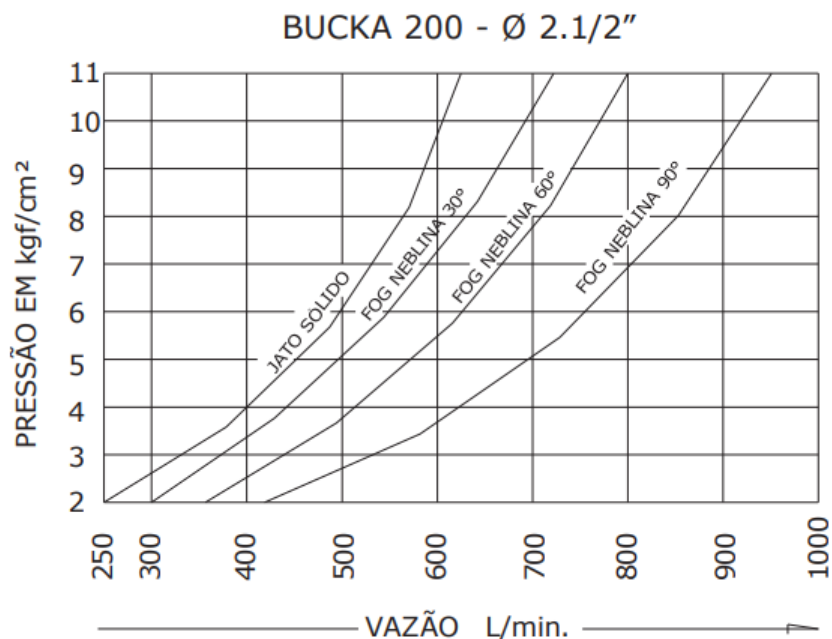
Figura 23 – Gráfico de vazão em função da pressão.



Fonte: Borges (2023b)

O esguicho do hidrante H-05 também é da fabricante Metalcasty. Como não foram encontrados dados para o cálculo da perda de carga, foram utilizados os dados fornecidos pelo fabricante Bucka. O esguicho escolhido é um modelo semelhante ao da Metalcasty, possuindo entrada de 2 ½”.

Figura 24 – Perda de carga no esguicho da mangueira



Fonte: Bucka (2025).

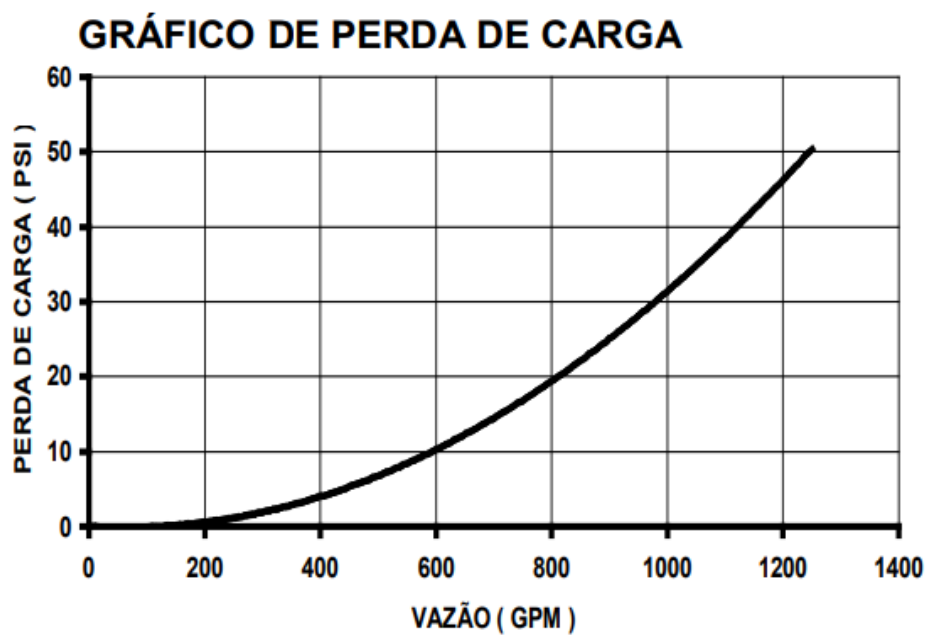
Como pode ser observado pela Figura 24 acima, a perda de carga nos esguichos depende de como ele será regulado. Interpolando separadamente os dados de cada curva e utilizando a Equação 7 acima encontrou-se o valor de Kv para cada jato. Nesse sentido, o valor de Kv usado foi de 11,63 m³/h, o menor valor.

5.3.4 Subsistema de canhões monitores

Para realizar o comissionamento, foi necessário calcular a perda de carga no sistema imposta pelos canhões C-05 e C-06. As perdas de carga nos canhões ocorrem devido seu formato, o qual impõe mudanças de direção no fluido, e esguicho de saída.

Assim, tentou-se obter os dados da perda de carga através de informações da Mecânica Reunida, fabricante dos canhões. Nesse sentido, o catálogo da fabricante apresentava o gráfico da Figura 25 abaixo, o qual representa a perda de carga do canhão e esguicho. A partir desses dados, obteve-se que o valor de Kv de cada conjunto canhão e esguicho é 143,55 m³/h.

Figura 25 – Perda de carga nos canhões monitores



Fonte: Catálogo Mecânica Reunida (2025).

5.3.5 Subsistema de câmara de espuma

Para realizar o comissionamento, foi necessário calcular a perda de carga no sistema imposta pelo proporcionador P6. Sabia-se que o proporcionador P6 é da fabricante Kiddle e do tipo PL-1100. O catálogo da fabricante indicava o Cv do proporcionador, conforme indicado na Figura 26 abaixo.

Figura 26 – Perda de carga no proporcionador

Tipo	Tabela de dimensões (mm)								Vazão		Peso (kg)		Fator K
	A	B	C	D	E	F	G	H	lpm	Usgpm	Rosca	Flang.	
PL-150	1 1/2"	1/2"	1 1/2"	46	63	132	253	330	185	49	3	6	4,4
PL-250	1 1/2"	1/2"	1 1/2"	46	64	133	261	338	284	75	3	6	6,7
PL-350	2 1/2"	1/2"	2 1/2"	51	73	140	362	432	379	100	6	10	8,9
PL-550	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	568	150	9	13	15,0
PL-650	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	644	170	9	13	17,0
PL-700	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	698	185	9	13	18,5
PL-750	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	757	200	9	13	20,0
PL-950	2 1/2"	1"	2 1/2"	60	105	172	403	473	946	250	9	13	25,0
PL-1100	2 1/2"	1"	3"	63	114	181	460	530	1136	300	11	18	30,0
PL-1300	2 1/2"	1"	3"	63	114	181	460	530	1325	350	11	18	35,5

Fonte: Kiddle Brasil (2025b)

Assim, pela Equação 8, encontrou-se que o Kv do proporcionador é 25,8 m³/h.

Já a câmara de espuma CE-10 do tanque 10 é da fabricante Kiddle, do tipo MCS-33. Como mostrado na Figura 27, essa câmara possui um orifício, o qual ocasiona uma perda de carga. De acordo com o catálogo da Kiddle, o orifício da câmara MCS-33 pode ser estar entre 31,04 mm e 46,36 mm.

Figura 27 – Câmaras de espumas modelo MCS

Modelo da Câmara	Limite	Ø Orifício	Pressão no aerador		Vazão de Solução
		mm	kgf/cm ²	kPa	l/mim
MCS-9	Min.	15,76	2,1	207	143
	Máx.	23,01	7,0	690	560
MCS-17	Min.	23,01	2,1	207	303
	Máx.	31,04	7,0	690	1026
MCS-33	Min.	31,04	2,1	207	583
	Máx.	46,36	7,0	690	2373
MCS-55	Min.	45,92	2,1	207	1287
	Máx.	59,18	7,0	690	3917

Fonte: Kiddle Brasil (2025a)

O valor medido do orifício da câmara de espuma é 45,42 mm. Com esse valor do diâmetro, calculou-se Kv = 58,76 m³/h.

Como não foi possível determinar o fabricante das válvulas de esfera do subsistema de espuma, estimou-se o Kv das válvulas a partir das informações do catálogo da Engineered Valves.

Figura 28 – Perda de carga em válvulas de esfera

Class 150 Flanged and Buttweld

Degrees Open From Closed	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1/2"	–	–	0.1	0.3	0.9	1.4	2.2	3.5	8.4
3/4"	–	–	0.2	1.2	2.2	3.7	5.4	8.0	17.0
1"	–	–	0.2	1.1	2.5	4.6	7.6	12.8	30.0
1 1/2"	–	–	1.0	3.0	5.5	11.0	17.5	33.5	73.0
2"	–	0.5	3.0	6.5	11.5	21.0	39.0	81.5	160.5
3"	–	0.5	3.7	12.4	22.9	42.4	81.5	181.0	355.0
4"	–	1.1	7.8	26.1	48.4	89.7	172.5	383.4	751.6
6"	–	–	–	–	–	–	–	–	1500

Fonte: Engineered Valves (2025)

A Figura 28 acima mostra os valores de Cv para válvulas de esfera de diferentes diâmetros e diferentes ângulos de abertura. A coluna 90 ° indica que a válvula está totalmente aberta. Assim, considerando a Equação 8, os valores de Kv das válvulas de esfera de 3" e 4" quando estão totalmente abertas são 305,3 m³/h e 646,38 m³/h, respectivamente.

5.3.6 Subsistema de chuveiros

Os chuveiros sobre os tanques não serão modelados como aspersores. Isso porque, foi identificado que o chuveiro se assemelha mais a uma tubulação, pois não possui bicos aspersores.

Assim como as válvulas de esferas da câmara de espuma, não foi encontrado o fabricante das válvulas de esfera do subsistema de chuveiros. Dessa maneira, utilizou-se as válvulas de esfera da Engineered Valves em que o valor de Kv é 305,3 m³/h.

5.3.7 Tubulações

As tubulações do sistema são de aço carbono, possuindo diâmetros nominais que variam de 3" até 12". Para tubulações com diâmetro nominal menor ou igual a 6", considerou-se classe M. Já para as tubulações acima de 6" considerou-se SCH 40. Assim, os diâmetros internos das tubulações foram calculados de acordo com as Figuras 8 e 9 acima.

A Tabela 5 indica os diâmetros nominais, comprimento L das tubulações e comprimento equivalente Leq, o qual é calculado a partir da quantidade de curvas nos trechos de tubulações. Os dados apresentados na Tabela 5 foram medidos durante levantamentos em campo.

Tabela 5: Dados da tubulação

Elemento	Diâmetro nominal (pol)	L (m)	Quantidade curva 90 °	Leq (m)
1	6	240	3	246,3
2	6	2	-	2
3	6	92	1	94,1
9	4	275	6	284,6
10	3	335	3	339,5
11	3	300	3	304,5
S	12	15	2	24,2

Fonte: Elaboração própria

5.3.8 Tabela resumo das perdas de carga

O resumo dos valores de Kv dos subsistemas de hidrantes, canhões, câmara de espuma e chuveiro é mostrado na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6: Resumo dos subsistemas utilizados no cenário analisado

Descrição	Kv (m³/h)
Hidrantes H5	
Válvula globo angular	Kv = 90 m³/h
Mangueira	Kv = 317,33 m³/h por metro
Esguicho	Kv = 11,63 m³/h
Canhões C-05 e C-06	
	Kv = 143,55 m³/h
Câmara de espuma CE-10	
Proporcionador	Kv = 25,8 m³/h
Válvula de esfera 1: 3"	Kv = 305,3 m³/h
Válvula de esfera 2: 4"	Kv = 646,38 m³/h
Chuveiro CH-3 e CH-4	
Válvula de esfera 3"	Kv = 1120 m³/h

Fonte: Elaboração própria

5.3.9 Tanques de combustíveis

Como será ressaltado na seção 6, para realizar o comissionamento do sistema, deve-se calcular as vazões mínimas de água e solução de LGE dos tanques 3,4,9 e 10. Para isso, foram obtidos os dados geométricos de cada tanque. Esses valores estão resumidos na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7: Dados geométricos dos tanques 3, 4, 9 e 10

TQ	Diâmetro (m)	Altura (m)
3	11,448	8,595
4	11,446	7,14
9	19,1072	18,521
10	19,107	18,518

Fonte: Elaboração própria

6 RESULTADOS

O comissionamento do sistema foi feito utilizando as Equações 4, 6 e 12 acima bem como os comprimentos equivalentes e valores de Kv das tabelas 5 e 6 acima. A partir dessas equações e parâmetros foi elaborado um código no software EES para cálculo das perdas de cargas e enfim, as vazões de cada subsistema. O código utilizado é apresentado no Anexo B.

Os resultados obtidos através desses cálculos são mostrados na Tabela 8 abaixo. Nela, é indicado o elemento de cada dispositivo considerando o esquema de nós na Figura 19 acima.

Tabela 8: Vazões de água de cada subsistema obtidas no comissionamento

Dispositivo	Elemento	Vazão calculada (lpm)
Hidrantes H5	6	334
Canhão C-05	5	4328
Canhão C-06	7	3899
Câmara de espuma CE-10	9	1179
Chuveiro CH-3	10	1508
Chuveiro CH-4	11	1587

Fonte: Elaboração própria

Como descrito na seção 5.1.2, os dispositivos foram ligados a partir da análise feita pela Brigada de Incêndio da base e estão resumidos na Tabela 2. A Tabela 9 abaixo resume as vazões do sistema.

Após o cálculo das vazões no sistema atual, foram calculadas as vazões mínimas requeridas de acordo com a NFPA 11 e NBR 17505-7. Nesse sentido, utilizou-se as Equações 2 e 3 acima, bem como dados geométricos dos tanques 3, 4,

9 e 10 apresentados na Tabela 7 acima. Os valores calculados também são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9: Comparação entre vazões requeridas e calculadas

Tanques	Vazão requerida de água (lpm)	Vazão requerida de solução de LGE (lpm)	Vazão calculada de água (lpm)	Vazão calculada de solução de LGE (lpm)
TQ-10	1314,648	1175,598	4662	1179
TQ-03	411,943	-	1508	-
TQ-04	376,955	-	1587	-
TQ-09	1314,648	-	3899	-

Fonte: Elaboração própria

7 CONCLUSÃO

Como pode-se observar pela Tabela 9, a vazão calculada de solução de LGE para o tanque em chamas (TQ-10) é maior do que a prevista pela NFPA 11. Ainda sobre o tanque 10, a vazão de resfriamento calculada, utilizando um hidrante e um canhão, correspondeu a 3,5 vezes a vazão mínima necessária segundo a NBR 17505.

Da mesma forma, as vazões dos chuveiros do tanque 3 e do tanque 4, que serão resfriados para evitar a propagação do incêndio, também estão adequadamente dimensionadas, visto que superam a vazão mínima de resfriamento recomendada pela norma brasileira em 3 e 4 vezes, respectivamente.

Para o resfriamento do tanque 9, a vazão mínima necessária era de 1314,64 lpm, de acordo com os cálculos, encontrou-se a vazão fornecida de 3899 lpm, que corresponde a 2,2 vezes mais que a mínima necessária.

Com todo o disposto, conclui-se que o sistema de combate a incêndio da base analisada está apropriado para a função a qual é proposto. Essa afirmação deve-se ao fato de que, mesmo considerando o caso mais crítico, visto o produto ser o mais inflamável, ser o tanque de maior volume e o mais distante da casa de bombas e não possuir chuveiro, a bomba do sistema fornece uma vazão de água total 2,8 vezes maior que a vazão mínima total necessária segundo as normas NFPA 11 e NBR 17505.

Dessa maneira, através desse trabalho, pode-se afirmar que uma possível substituição do conjunto de bombas do sistema não é justificada pelo não atendimento normativo do sistema. Isso porque, ainda que o sistema seja de 1997, ele está em conformidade com as normas NFPA 11 e NBR 17505-7. No entanto, para decidir se é viável a substituição do conjunto de bombas, a empresa deve considerar outros aspectos, como frequência de falhas e análise de corrosão dos componentes. No entanto, caso a empresa opte pela substituição das bombas, será necessário o levantamento de todas as informações obtidas no trabalho.

Portanto, uma possível melhoria no trabalho desenvolvido é indicar um conjunto motobomba que também atenda ao sistema de combate a incêndio atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11861**: Mangueira de incêndio - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12615**: Sistema de combate a incêndio por espuma - Espuma de baixa e média expansão. Rio de Janeiro: ABNT, 2024b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13714**: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15511**: Líquido gerador de espuma (LGE), de baixa expansão, para combate a incêndios em combustíveis líquidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5580**: tubos de aço-carbono com ou sem costura — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5590**: tubos de aço-carbono com ou sem solda longitudinal, pretos ou galvanizados — requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BOMBEIROSWALDO. **Proporcionadores**: equipamentos formadores de espuma. Bombeiroswaldo, [S,l], 2015. Disponível em: <<https://bombeiroswaldo.blogspot.com/2015/06/proporcionadores-equipamentos.html>> . Acesso em: 18 abr. 2025.

BORGES, V. L. **Máquinas de fluxo e projeto de redes hidráulicas**: Notas de Aula 1. Uberlândia, 2023a.

BORGES, V. L. **Máquinas de fluxo e projeto de redes hidráulicas**: Notas de Aula 2. Uberlândia, 2023b.

BUCKA Indústria e Comércio LTDA. **Esguicho BUCKA 200** — Jato sólido e neblina fina. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.bucka.com.br/downloads-combate-incendio/manuais/esguicho_bucka_200_2.pdf> . Acesso em: 28 abr. 2025.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. **Manual de procedimentos para verificação do exercício profissional**. Brasília: Confea, 2015.

Disponível em: <<https://www.confea.org.br/manual-de-procedimentos-para-verificacao-do-exercicio-profissional>>. Acesso em: 6 mai. 2025.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **Tópicos introdutórios: ciências do fogo**. 1.ed. Florianópolis. [S.], 2018

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Norma Técnica nº 44/2022-CBMDF** - Segurança contra incêndio por sistema fixo de água nebulizada. Distrito Federal: CBMDF, 2022.

FIGUEREDO, R.C.R; RIBEIRO, F.A.L; SABADINI, E. **Ciência de espuma** – Aplicação na Extinção de Incêndio. Química Nova, Campinas-SP, v. 22, n.1, p.127 – 130. 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000100019>.

ITT Engineered Valves. **Top Entry Metal Ball Valve**. Lancaster, PA, 2025. Disponível em: <<https://www.engvalves.com/products/cam-tite-top-entry-metal-ball-valve>>. Acesso em: 28 abr. 2025.

KIDDE BRASIL. Câmara de Espuma Modelo MCS. Folha de dados técnicos. [S.I.]. 2025a. Disponível em: https://www.br.kidde.com/fire-safety/pt/br/media/camaramcs_tcm530-64659.pdf. Acesso em: 28 abr. 2025.

KIDDE Brasil. **Proporcionador PL**. São Paulo, 2025b. Disponível em: <https://www.br.kidde.com/fire-safety/pt/br/media/proporcionador%20pl_tcm530-64919.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2025.

MECÂNICA REUNIDA. **Canhão Monitor Fixo Rosca ou Flange** – Ref. MR.402. São Paulo, 2025. Disponível em: <<https://www.mecanicareunida.com.br/wp-content/uploads/2021/11/BOLETIM-TECNICO-CANHAO-MONITOR-FIXO-REF.-MR.-402.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2025.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 11** – Standard for Low, Medium, and High-Expansion Foam. Chicago: NFPA, 2016.

PROTECTOR FIRE. **Câmara de espuma modelo MCS**. [S.I.], 2025a. Disponível em: <<https://www.protectorfire.com.br/produtos/camara-de-espuma-modelo-mcs/>>. Acesso em 18 abr. 2025.

PROTECTOR FIRE. **Proporcionador de Linha Tipo PL**. [S,l], 2025b. Disponível em: <https://www.protectorfire.com.br/produtos/proporcionador-de-linha-tipo-pl/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SOARES, P.R.F.T. Inspeção, teste e manutenção de canhões monitores elétricos instalados em uma unidade de coqueamento retardado presentes em uma refinaria de petróleo. In: Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe. 2016, Sergipe. Anais do VIII SIMPROD. Sergipe. 2006. p. 1-10.

WHITE, F.M. **Mecânica dos Fluidos**. 6.ed. São Paulo: AMGH Ltda, 2011.

ANEXO A – IMAGENS DO SISTEMA ANALISADO





Esguicho
canhão

EMCE - ESTAÇÃO DE MANOBRA DE CHUVEIRO E ESPUMA

Incêndio no Tanque	Abrir as válvulas
1	T1, C2, C7, C8, P4 E L4
2	T2, C1, C5, C6, P4 E L4
3	T3, C4 P1+P2 E L1+L2
4	T4, C3, C5, P1+P2 E L1+L2
5	T5, C4, C6, P1+P2 E L1+L2
6	T6, C5, C7, P1+P2 E L1+L2
7	T7, C6, C8, P1 E L1
8	T8, C7, P1 E L1
9	T9, C2, C4, C5, P6 E L6
10	T10, C3, C4, P6 E L6

T: Válvula de Liberação de Solução para Tanque
P: Válvula de Liberação de Água para o Proporcionador
L: Válvula de Liberação de LGE
C: Válvula do Chuveiro

Proporcionador 3: Reserva dos Proporcionadores 1 e 2
Proporcionador 2: Reserva do Proporcionador 1
Proporcionador 5: Reserva do Proporcionador 4
Proporcionador 6: Dedicado aos tanques 9 e 10

Instruções Brigada de
Incêndio

ANEXO B – EQUAÇÕES DO CÓDIGO EES

$$e = 0,00005186 \quad v = 0,000001022$$

$$n = \text{NLookupRows} ('bomba')$$

$$x_i = \text{Lookup} ('bomba'; i; 'vazao') \quad \text{for } i = 1 \text{ to } n$$

$$y_i = \text{Lookup} ('bomba'; i; 'recalque') \quad \text{for } i = 1 \text{ to } n$$

$$\text{Call CURVEFIT1D} ('Polynominal2'; x_{1..n}; y_{1..n}; a_{1..3})$$

$$\text{head} = a_3 \cdot (QS - 3600)^2 + a_2 \cdot QS - 3600 + a_1$$

$$DS = 0,3238 - 2 \cdot 0,01031$$

$$LS = 15 + 4,6 + 4,6$$

$$KvS = 375663,13 \cdot DS^{2,8054}$$

$$HR = 9,6$$

$$HR + \text{head} - 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{\frac{QS}{KvS}}{\sqrt{LS}} \right]^2 = HD$$

$$Q_1 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11} = QS$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_5$$

$$Q_2 = Q_3 + Q_8$$

$$Q_3 = Q_7$$

$$D_1 = 0,1651 - 2 \cdot 0,005 \quad D_2 = 0,1651 - 2 \cdot 0,005$$

$$D_3 = 0,1651 - 2 \cdot 0,005$$

$$Kv_5 = 143,55 \quad Kv_7 = 143,55$$

$$\frac{1}{Kv_8^2} = \frac{1}{90^2} + \frac{60}{317,33^2} + \frac{1}{11,63^2}$$

$$L_1 = 240 + 2,1 + 2,1 + 2,1 \quad L_2 = 2 \quad L_3 = 92 + 2,1$$

$$Kv_1 = 375663,13 \cdot D_1^{2,6054} \quad Kv_2 = 375663,13 \cdot D_3^{2,6054}$$

$$Kv_3 = 375663,13 \cdot D_3^{2,6054}$$

$$HD - 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{\frac{Q_1}{Kv_1}}{\sqrt{L_1}} \right]^2 = H_1$$

$$H_1 - 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{\frac{Q_2}{Kv_2}}{\sqrt{L_2}} \right]^2 = H_3$$

$$H_3 - 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{\frac{Q_3}{Kv_3}}{\sqrt{L_3}} \right]^2 = H_5$$

$$H_1 - 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_5}{Kv_5} \right]^2 = H_2$$

$$H_3 - 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_6}{Kv_6} \right]^2 = H_4$$

$$H_5 - 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_7}{Kv_7} \right]^2 = H_6$$

$$H_2 = -4$$

$$H_4 = -4$$

$$H_6 = -4$$

$$HIDRANTE_1 = Q_6 \cdot \left| 60000 \cdot \frac{l/min}{m^3/s} \right|$$

$$CANHAO_1 = Q_5 \cdot \left| 60000 \cdot \frac{l/min}{m^3/s} \right| \quad CANHAO_2 = Q_7 \cdot \left| 60000 \cdot \frac{l/min}{m^3/s} \right|$$

GERADOR ESPUMA

$$D_9 = 0,0889 - 2 \cdot 0,004 \quad D_9 = 0,1143 - 2 \cdot 0,0045$$

$$L_9 = 1,5 + 1,5 \quad L_9 = 275 + 6 \cdot 1,6$$

$$\frac{1}{Kv_9^2} = \frac{1}{(355 \cdot 0,86)^2} + \frac{1}{(751,6 \cdot 0,86)^2} + \frac{1}{(0,86 \cdot 30)^2} + \frac{1}{Kv_{espuma2}^2}$$

$$Kv_9 = 375663,13 \cdot D_9^{2,6054} \quad Kv_9 = 375663,13 \cdot D_9^{2,6054}$$

$$HD = 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_9}{Kv_9} \right]^2 - 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_9}{Kv_9} \right]^2 - 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_9}{Kv_9} \right]^2 = H_9$$

$$H_9 = 18 - 4 - 1$$

$$ESPUMA_1 = Q_9 \cdot \left| 60000 \cdot \frac{l/min}{m^3/s} \right| + \frac{1000 \cdot Q_9 \cdot 0,06}{1000} \cdot \left| 60000 \cdot \frac{l/min}{m^3/s} \right|$$

CHUVEIROS

$$D_{10} = 0,0889 - 2 \cdot 0,004 \quad D_{11} = 0,0889 - 2 \cdot 0,004$$

$$D_{10} = 0,2191 - 2 \cdot 0,00818$$

$$L_{10} = 335 + 3 \cdot 1,5 \quad L_{11} = 300 + 3 \cdot 1,5 \quad L_{10} = 4$$

$$Kv^*_{10} = 335 \cdot 0,86 \quad Kv^*_{11} = 335 \cdot 0,86$$

$$Kv_{10} = 375663,13 \cdot D_{10}^{2,6054} \quad Kv_{11} = 375663,13 \cdot D_{11}^{2,6054} \quad Kv_{10} = 375663,13 \cdot D_{10}^{2,6054}$$

$$HD = 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_{10}}{Kv_{10}} \right]^2 = 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_{10}}{Kv^*_{10}} \right]^2 = 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_{10}}{Kv_{10}} \right]^2 = H_{10}$$

$$HD = 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_{11}}{Kv_{11}} \right]^2 = 1,32153 \times 10^8 \cdot \left[\frac{Q_{11}}{Kv^*_{11}} \right]^2 = H_{11}$$

$$H_{10} = 12 - 4$$

$$H_{11} = 12 - 4$$

$$CHUVEIRO_1 = Q_{10} \cdot \left| 60000 \cdot \frac{l/min}{m^3/s} \right| \quad CHUVEIRO_2 = Q_{11} \cdot \left| 60000 \cdot \frac{l/min}{m^3/s} \right|$$

$$Kv_{espuma} = 53,52$$

$$\beta = \frac{0,04542}{0,1143 - 0,009}$$

$$Kv_{espuma2} = \text{Interpolate} ('CAMARAESPUMA'; 'beta'; 'Kv_{miller}'; 'beta' = \beta)$$