

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

PEDRO HENRIQUE DA SILVA

**DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DE
INCÊNDIO POR HIDRANTES E CHUVEIROS AUTOMÁTICOS DO BLOCO 1JCG
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

UBERLÂNDIA

2026

PEDRO HENRIQUE DA SILVA

**DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DE
INCÊNDIO POR HIDRANTES E CHUVEIROS AUTOMÁTICOS DO BLOCO 1JCG
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador:

Prof. Dr. Valério Luiz Borges.

UBERLÂNDIA

2026

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

S586 Silva, Pedro Henrique da, 2004-
2026 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DE
INCÊNDIO POR HIDRANTES E CHUVEIROS AUTOMÁTICOS DO
BLOCO 1JCG DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA [recurso
eletrônico] / Pedro Henrique da Silva. - 2026.

Orientador: Valério Luiz Borges.

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

Modo de acesso: Internet.

Inclui bibliografia.

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

PEDRO HENRIQUE DA SILVA

**DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DE
INCÊNDIO POR HIDRANTES E CHUVEIROS AUTOMÁTICOS DO BLOCO 1JCG
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador:

Prof. Dr. Valério Luiz Borges.

Aprovado em: 29 de julho de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Valério Luiz Borges – Orientador

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dr. Solidônio Rodrigues de Carvalho – Examinador Interno

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Eng. Me. Luciano Reis Infiesta – Examinador Externo

Sustentável SE

UBERLÂNDIA

2026

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cristiane Silva e Francisco Carlos da Silva, expresso toda a minha gratidão pelo apoio, dedicação e incentivo constante aos meus estudos e à minha educação, bem como pelos sacrifícios e batalhas travados ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e pessoal. Agradeço aos meus saudosos avós, Carmelidia Paulina da Silva e Hermes José da Silva, pelos cuidados, pelo carinho e pelas virtudes que me transmitiram.

À minha namorada, Giovanna Campos Fernandes, dedico um agradecimento especial pelo apoio incondicional, pela paciência e pelo companheirismo desde o início do nosso relacionamento, além do incentivo fundamental nesta metade final da minha trajetória acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a todos os amigos que me ajudaram e apoiaram durante o curso. Suas presenças foram fundamentais nos momentos de estudo e de descontração ao longo desses quatro anos. Aos meus tios e primos, agradeço pelo suporte desde o início, auxiliando-me para que este período fosse o mais tranquilo possível.

Ao Laboratório de Transferência de Calor e Massa (LTCM), agradeço pela oportunidade de entrar em contato com os processos industriais e com a gaseificação, bem como pela excelente infraestrutura disponibilizada para a realização de estudos e pesquisas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), à Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPPI) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia (FEMEC/UFU), expresso minha gratidão pelos ensinamentos compartilhados, que foram pilares na minha formação técnica e profissional. Agradeço, em especial, ao Prof. Dr. Valério Luiz Borges, pela disponibilidade, paciência e valiosos conhecimentos transmitidos ao longo do desenvolvimento deste projeto. Estendo também meus agradecimentos ao Prof. Dr. Solidônio Rodrigues de Carvalho, pela oportunidade de atuar no laboratório, absorvendo conhecimentos técnicos e obtendo uma rica experiência com o desenvolvimento da Usina Termoquímica Experimental.

RESUMO

A proteção contra incêndio em edificações é vital para garantir a segurança dos ocupantes e a integridade estrutural, visto que sinistros são altamente destrutivos. Sendo assim, este trabalho apresenta o projeto e o dimensionamento da rede de hidrantes e *sprinklers* para o bloco 1JCG, localizado no Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). O local abriga o Laboratório de Transferência de Calor e Massa e uma Usina Termoquímica Experimental voltada à produção de energia elétrica em ciclo Rankine, utilizando gás de síntese gerado pela gaseificação de CDR (Combustível Derivado de Resíduo). Inicialmente, esse combustível será composto principalmente de *bags* de cigarros apreendidos pela Receita Federal, porém, posteriormente, com o investimento de outras empresas, novos tipos de resíduos serão incorporados. Devido ao armazenamento de materiais com alto poder calorífico no laboratório, a implementação de um sistema eficaz de mitigação e extinção de focos de incêndio mostra-se indispensável. O dimensionamento baseou-se nos critérios da legislação vigente para atender à vazão mínima exigida e na seleção de um conjunto motobomba capaz de suprir todos os pontos de tomada de água.

Palavras-chave: Prevenção contra incêndio. Combustível derivado de resíduo. Gaseificação. Dimensionamento de sistema de hidrante. *Sprinkler*.

ABSTRACT

Fire protection in buildings is vital to ensure the safety of occupants and structural integrity, since fire incidents are highly destructive. Therefore, this work presents the design and sizing of the hydrant and sprinkler network for block 1JCG, located at the Glória Campus of the Federal University of Uberlândia (UFU). The facility houses the Heat and Mass Transfer Laboratory and an Experimental Thermochemical Plant focused on electricity production in a Rankine cycle, using syngas generated by the gasification of RDF (Refuse-Derived Fuel). Initially, this fuel will be mainly composed of bags of cigarettes seized by the Federal Revenue Service; however, subsequently, with investment from other companies, new types of waste will be incorporated. Due to the storage of materials with high calorific value in the laboratory, the implementation of an effective system to mitigate and extinguish fire outbreaks proves to be indispensable. The sizing was based on the criteria of the current legislation to meet the minimum required flow rate and on the selection of a motor pump set capable of supplying all water outlet points.

Keywords: Fire prevention. Refuse-derived fuel. Gasification. Hydrant system design. Sprinkler.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Usina Termoquímica Experimental.....	12
Figura 2.1 – Diagrama de Moody.....	18
Figura 2.2 – Acoplamentos Ranhurados.....	23
Figura 3.1 – Vista Isométrica Sistema de Hidrante.	24
Figura 3.2 – Alcance de Cada Hidrante.....	25
Figura 3.3 – Disposição dos <i>Sprinklers</i>	26
Figura 3.4 – Gráfico do K_v /metro para Velocidade de 2 m/s.	35
Figura 3.5 – Cálculo do K_v da Válvula Angular pelo EES.....	38
Figura 3.6 – Gráfico da Perda de Carga dos Bicos.....	39
Figura 3.7 – Gráfico da Perda de Carga da Mangueira.	39
Figura 3.8 – Desenho Esquemático da Rede Hidráulica.	42
Figura 3.9 – Curva Head x Vazão.....	44
Figura 3.10 – Dados da Bomba <i>Jockey</i>	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tabela de Risco de Edificações.	13
Tabela 2.2 – Tipo de Sistema e Volume de Reserva de Incêndio mínima (m³).	14
Tabela 2.3 – Tipos de Sistema de Proteção por Hidrantes ou Mangotinhos.	14
Tabela 2.4 – Componentes para cada hidrante simples ou mangotinho.	14
Tabela 2.5 – Densidade da Água para Cobertura-Padrão.	15
Tabela 2.6 – Fator C para Hazen-Williams.	16
Tabela 2.7 – Comprimento Equivalente Schneider.	19
Tabela 2.8 – Norma NBR 5580.	20
Tabela 2.9 – Norma NBR 5590.	20
Tabela 2.10 – Dimensões Tubos de Cobre.	21
Tabela 2.11 – Dimensões Tubos de PVC-U 6,3 Até 1,0 MPA.	21
Tabela 2.12 – Dimensões Tubos de PVC-U 6,3 Até 0,75 MPA.	21
Tabela 2.13 – Dimensões Tubos de PVC-U 6,3 Até 0,60 MPA.	22
Tabela 2.14 – Espessuras Mínimas Permitidas.	23
Tabela 3.1 – Classificação das Divisões 1.	27
Tabela 3.2 – Anexo A da IT 09 1.	27
Tabela 3.3 – Carga de Incêndio Conforme Altura de Armazenamento.	28
Tabela 3.4 – Classificação dos Grupos 2.	29
Tabela 3.5 – Anexo A da IT 09 2.	30
Tabela 3.6 – Tabela de Coeficiente de Vazão pela Velocidade.	34
Tabela 3.7 – Catálogo Válvula de Esfera.	37
Tabela 3.8 – Comprimento Equivalente das Válvulas.	38
Tabela 3.9 – Catálogo de Seleção Schneider Motobombas.	43
Tabela 3.10 – Vazões e Recalques dos Hidrantes Isolados.	44
Tabela 3.11 – Resultados dos Modelos de Perda de Carga.	46

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 NORMATIZAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO	12
2.1.1 Classificação da Divisão da Edificação	12
2.1.2 Carga de Incêndio	13
2.1.3 Sistema de Hidrantes e Mangotinhos	13
2.1.4 Sistema de Chuveiros Automáticos	15
2.2 Projeto da Rede Hidráulica	16
2.2.1 Modelos de Perda de Carga	16
2.2.2 Tubulação	20
2.2.3 Conexões	23
3 METODOLOGIA	24
3.1 Distribuição dos Hidrantes e <i>Sprinklers</i>	24
3.2 Seleção dos Hidrantes e <i>Sprinklers</i>	26
3.3 Cálculos Hidráulicos	30
3.3.1 Vazão dos <i>Sprinklers</i>	31
3.3.2 Vazão do Hidrante	32
3.3.3 Vazões do Sistema	32
3.3.4 Diâmetros do Sistema	33

3.3.5	Velocidades do Sistema	33
3.3.6	Coeficientes de Vazão por Metro da Tubulação	34
3.3.7	Comprimentos do Sistema.....	36
3.3.8	Coeficientes de Vazão dos Elementos	37
3.3.9	Coeficientes de Vazão de Cada Trecho.....	40
3.3.10	Equação de Energia	41
3.3.11	Dimensionamento da Bomba.....	42
3.3.12	Bomba Jockey.....	45
3.3.13	Reserva de Incêndio.....	45
3.3.14	Comparação Entre Modelos de Perda de Carga	46
4	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	48
	APÊNDICE A – CÁLCULO DO K_v DA VÁLVULA ANGULAR	50
	APÊNDICE B – DESENVOLVIMENTO DO METAMODELO.....	51
	APÊNDICE C – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE + <i>SPRINKLERS</i>	52
	APÊNDICE D – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO SISTEMA DE <i>SPRINKLERS</i>.....	53
	APÊNDICE E – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 1	54
	APÊNDICE F – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 2.....	55
	APÊNDICE G – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 3.....	56
	APÊNDICE H – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 4.....	57
	APÊNDICE I – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 5	58
	APÊNDICE J – CÁLCULO DA PERDA DE CARGA POR DARCY	59
	APÊNDICE K – CÁLCULO DA PERDA DE CARGA POR HAZEN-WILLIAMS.....	61

1 INTRODUÇÃO

Um sistema de proteção contra incêndio eficaz é de suma importância para a operação segura de uma edificação industrial, a fim de garantir a integridade física dos ocupantes, a continuidade operacional e a preservação do patrimônio estrutural. Sendo assim, as diretrizes nacionais e estaduais vêm se tornando cada vez mais rígidas para assegurar tais padrões de segurança. No local de estudo deste trabalho, o dimensionamento e a execução de sistemas hidráulicos de combate por hidrantes e mangotinhos são regulados pela Instruções Técnicas nº 9, 17, 18 e o Decreto nº 48.028 do CBMMG (Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais) e as Normas Técnicas ABNT NBR 13714, 16400 e 10987 para estabelecer os critérios mínimos de instalação, componentes e manutenção dos dispositivos.

A aplicação de tais normas se torna indispensável quando se trata de ambientes com armazenamento de materiais com alto poder calorífico, como ocorre no bloco 1JCG do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia. Este abriga o Laboratório de Transferência de Calor e Massa em conjunto com a Usina Termoquímica Experimental, a qual produz energia por meio de um ciclo Rankine com a queima de gás de síntese produzido através da gaseificação de CDR (Combustível Derivado de Resíduo). Inicialmente, esse combustível será composto apenas por cigarros apreendidos pela Receita Federal, porém adiante está prevista a chegada de diferentes materiais para compor essa mistura. Sendo assim, é de extrema importância um sistema de hidrantes e *sprinklers* bem projetados para extinguir qualquer foco de incêndio que ocorra no local de estocagem.

Para um dimensionamento adequado, as normas vigentes estabelecem critérios rigorosos a serem seguidos, tais como o diâmetro da tubulação, os tipos de válvulas, os esguichos e as especificações das mangueiras. Ademais, a altura de instalação, os componentes presentes em cada abrigo de hidrante, bem como a vazão e a velocidade da água na tubulação, também são normatizados. Esses parâmetros são indispensáveis para os cálculos de perda de carga e para a seleção da motobomba centrífuga, sendo detalhados no decorrer deste trabalho para proporcionar uma compreensão clara das escolhas de projeto.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo inicial classificar o ambiente quanto à sua carga de incêndio, em conformidade com as diretrizes da Instrução Técnica nº 09 e do Decreto estadual nº 48.098/2020 do CBMMG. A partir dessa definição de risco, busca-se selecionar os modelos e especificações de hidrantes mais adequados para a edificação, atendendo estritamente aos critérios estabelecidos pela Instrução Técnica nº 17 e pela norma ABNT NBR 13714.

Adicionalmente, o projeto visa determinar o posicionamento, a quantidade e o tipo de sprinklers necessários para mitigar os riscos da área a ser protegida. Essa etapa do desenvolvimento fundamenta-se nos parâmetros técnicos da Instrução Técnica nº 18, além das normas complementares ABNT NBR 16400 e ABNT NBR 10897.

Por fim, o escopo do trabalho abrange a realização do cálculo da perda de carga de todo o sistema. Com base nesses resultados, será efetuado o dimensionamento e a seleção do conjunto motobomba centrífuga ideal para a instalação, sendo estes dois últimos itens também regulamentados pela IT nº 17 e NBR 13714.

Figura 1.1 – Usina Termoquímica Experimental.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa seção apresenta os referenciais teóricos para melhor entendimento do problema analisado e desenvolvimento do projeto.

2.1 NORMATIZAÇÃO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

As normas de proteção contra incêndio são fundamentais para regularizar a forma como as edificações são pensadas e construídas para melhor evacuação e proporcionar condições adequadas de combate às chamas. No estado de Minas Gerais, o CBMMG regula essas diretrizes por meio do Decreto Estadual nº 48.028/2020 e de suas Instruções Técnicas (IT) vigentes.

2.1.1 Classificação da Divisão da Edificação

O dimensionamento do sistema de hidrantes de qualquer edificação deve passar inicialmente pela determinação da divisão à qual o local pertence, para, assim, definir a carga

de incêndio. O Decreto Estadual nº 48.028/2020 do CBMMG fornece a Tabela de Classificação das Edificações e Espaços Destinados ao Uso Coletivo Quanto à Ocupação em seu anexo, permitindo determinar a divisão do local, de acordo com seu grupo e ocupação.

2.1.2 Carga de Incêndio

Determinada a divisão da edificação, torna-se possível identificar sua carga de incêndio para dimensionar corretamente o tipo de hidrante a ser implementado e definir a Reserva de Incêndio (R.I). De acordo com a Instrução Técnica nº 09 do CBMMG, a Tabela A.1 do Anexo A deve ser consultada para verificar se a divisão e a sua respectiva descrição já possuem carga de incêndio predeterminada, ou se os demais anexos devem ser analisados.

Caso a finalidade da edificação seja o armazenamento, o Anexo B fornece a carga de incêndio baseada na altura de estocagem e no material estocado, por meio da Tabela B.1. Todavia, em casos específicos, adota-se o Anexo C, no qual se faz necessário o cálculo da carga de incêndio por meio do método determinístico, descrito pela Equação 1.

$$q_{fi} = \frac{\sum(M_i.H_i)}{A_f} \quad (1)$$

Para o cálculo, a IT fornece, na Tabela C.1, a carga de incêndio específica de diferentes materiais. Por fim, com a carga de incêndio, é possível determinar o risco da edificação por meio da Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Tabela de Risco de Edificações.

CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E ESPAÇOS DESTINADOS AO USO COLETIVO QUANTO À CARGA DE INCÊNDIO	
Risco	Carga de Incêndio (MJ/m²)
Baixo	Até 300 MJ/m²
Médio	Acima de 300 até 1.200 MJ/m²
Alto	Acima de 1.200 MJ/m²

Fonte: CBMMG, 2020.

2.1.3 Sistema de Hidrantes e Mangotinhos

Identificados o risco e a carga de incêndio da edificação, a Instrução Técnica nº 17 do CBMMG permite determinar, por meio da Tabela 2.2, qual tipo de hidrante utilizar e o volume mínimo da RTI, com base na área, carga de incêndio e divisão.

Tabela 2.2 – Tipo de Sistema e Volume de Reserva de Incêndio mínima (m³).

Área das edificações e espaços destinados ao uso coletivo (m²)	Grupo/Divisão				
	A-2, A-3, C-1, D-2, E-1, E-2, E-3, E-4, E-6, F-2, F-3, F-4, F-8, G-1, G-2, G-3, H-1, H-2, H-3, H-5, H-6, I-1, J-1 e J-2		B-1, B-2, C-3, E-5, F-5, F-6, F-7, F-9 e H-4		G-5, L-1 e M-1
	Carga Incêndio >300MJ/m²		Carga Incêndio >300MJ/m²		Carga Incêndio >800MJ/m²
	D-1, D-3, D-4, F-11 e G-4		D-1, D-3, D-4, F-11 e G-4		C-2, F-10, I-2, J-3 e M-3
	Carga Incêndio até 300MJ/m²		Carga Incêndio acima de 300 até 800MJ/m²		Carga Incêndio >300 MJ/m²
	D-1, D-3, D-4, F-1, F-10, F-11, G-4 e M-3		C-2, F-10, I-2, J-3 e M-3		F-1
Até3.000	Tipo 1 R.I. 6m³	Tipo 2 R.I. 8m³	Tipo 3 R.I. 12m³		Tipo 3 R.I. 20m³
De3.001 até6.000	Tipo 1 R.I. 8m³	Tipo 2 R.I. 12m³	Tipo 3 R.I. 18m³		Tipo 4 R.I. 30m³
De6.001 até10.000	Tipo1 R.I. 12m³	Tipo 2 R.I. 16m³	Tipo 3 R.I. 25m³		Tipo 4 R.I. 30m³
De10.001 até15.000	Tipo 1 R.I. 16m³	Tipo 2 R.I. 20m³	Tipo 3 R.I. 30m³		Tipo 5 R.I. 45m³
De15.001 até30.000	Tipo 1 R.I. 25m³	Tipo 2 R.I. 35m³	Tipo 3 R.I. 40m³		Tipo 5 R.I. 50m³
Acima de 30.000	Tipo 1 R.I. 35m³	Tipo 2 R.I. 47m³	Tipo 3 R.I. 60m³		Tipo 5 R.I. 90m³

Fonte: CBMMG, 2022.

Embora a Tabela 2.2 indique qual a RTI mínima, tanto a NBR 13714 quanto a IT-17 recomendam a escolha de um reservatório que atenda aos dois hidrantes mais desfavoráveis em funcionamento simultâneo por pelo menos 30 minutos, podendo o reservatório estar abaixo (sucção negativa) ou acima (sucção positiva) do nível da bomba.

Selecionado o tipo de hidrante, é importante para o projeto conhecer os requisitos a serem cumpridos pelo sistema e os equipamentos necessários em cada abrigo, a fim de garantir seu perfeito funcionamento, conforme disposto nas tabelas 2.3 e 2.4 da IT-17, respectivamente.

Tabela 2.3 – Tipos de Sistema de Proteção por Hidrantes ou Mangotinhos.

Sistema	Tipo	Esguicho	Mangueiras de incêndio		Número de expedições	Vazão mínima ao hidrante mais desfavorável (LPM)*
			Diâmetro (mm)	Comprimento Máximo (m)		
Mangotinho	1	Jato regulável	25 ou 32	45 ¹	Simples	100 ²
Hidrante	2	Jato compacto Ø 13 mm ou regulável	40	30 ³	Simples	125
Hidrante	3	Jato compacto Ø 16 mm ou regulável	40	30	Simples	250
Hidrante	4	Jato compacto Ø 19 mm ou regulável	40 ou 65	30	Simples	400
Hidrante	5	Jato compacto Ø 25 mm ou regulável	65	30	Duplo	650

*as vazões correspondem a cada saída.

Fonte: CBMMG, 2022.

Tabela 2.4 – Componentes para cada hidrante simples ou mangotinho.

Materiais	Tipos de Sistemas				
	1	2	3	4	5
Abriço(s)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Mangueira(s) de incêndio	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Chave(s) para hidrantes, engate rápido	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Esguicho	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Mangueira semi - rígida	Sim	Não	Não	Não	Não

Fonte: CBMMG, 2022.

Em casos específicos, como em edificações dos grupos A-2 e A-3, a norma permite o acoplamento em série de duas mangueiras (uma de 30 metros e outra de 15 metros), totalizando um comprimento máximo de 45 metros. Quanto ao acondicionamento, as mangueiras devem ser armazenadas de forma aduchada ou em zigue-zague dentro do abrigo. Além disso, a tabela de referência estabelece o número mínimo de saídas por hidrante, permitindo o projeto de até duas saídas por ponto.

2.1.4 Sistema de Chuveiros Automáticos

Para ambientes de alta complexidade ou estocagem de materiais de elevado poder calorífico, os sistemas de chuveiros automáticos (*sprinklers*) atuam como a primeira linha de defesa automática. Esses sistemas são regulamentados nacionalmente pelas normas ABNT NBR 10897 (2020) e ABNT NBR 16400 (2018), bem como pela Instrução Técnica nº 18 do CBMMG.

Para iniciar o projeto, segundo a NBR 10897, é necessário enquadrar a edificação em risco leve, ordinário 1 e 2, extraordinário 1 e 2 ou área de armazenamento, de acordo com a tabela A.1 do Anexo A dessa norma. Em seguida, deve ser localizada a densidade de água em L/min/m², de acordo com o risco da ocupação, conforme a Tabela 2.5. Para este caso, serão adotados bicos de cobertura-padrão, decisão essa que será explicada no decorrer deste trabalho.

Tabela 2.5 – Densidade da Água para Cobertura-Padrão.

Categoria de risco	Áreas com altura do teto > 6,1 m até 9 m		Áreas com altura do teto > 9 m até 13,5 m		Áreas com altura do teto > 13,5 m até 18m	
	Densidade L/min/m ²	Área de operação m ²	Densidade L/min/m ²	Área de operação m ²	Densidade L/min/m ²	Área de operação m ²
Leve	4	140	8	230	8	230
Ordinário – Grupos 1 e 2	8	230	8	230	8	230
Extraordinário – Grupos 1 e 2	12	230	12	340	20	280

Fonte: ABNT, 2020.

Conhecida a área da ocupação, é possível calcular a vazão do sistema em litros por minuto, conforme a Equação (2).

$$Q_{sprinkler} = A_{ocupação} \cdot \rho_{sistema} \quad (2)$$

Calculada a vazão, é possível determinar a pressão de operação do *sprinkler*. É válido ressaltar que a pressão de operação varia de acordo com o risco da ocupação e o tipo de

sprinkler. Caso a vazão encontrada não faça com que o sistema opere na pressão adequada, ela deve ser ajustada para atender aos parâmetros.

$$Q_{sprinkler} = K \cdot \sqrt{P} \quad (3)$$

O símbolo K na Equação 3 refere-se ao fator de descarga do *sprinkler*, o qual representa numericamente a vazão do bico quando a pressão de operação é igual a 1 bar; no entanto, esse valor está intrinsecamente ligado à perda de carga do elemento. Geralmente, o fator K possui unidade própria para relacionar vazão e pressão (ex: L/min/bar^{1/2}).

2.2 Projeto da Rede Hidráulica

Após a introdução dos hidrantes e *sprinklers*, é necessário entender como a água da R.I. chega até eles. Neste tópico, serão estudados os modelos de perda de carga, os tipos de conexões e tubulações, bem como o dimensionamento da bomba principal e da bomba *jockey*.

2.2.1 Modelos de Perda de Carga

As normas ABNT NBR 10897 e 13714 estabelecem dois modelos de cálculo para a perda de carga. O primeiro deles é o método de Hazen-Williams, expresso pela Equação (4). O coeficiente de rugosidade C utilizado no cálculo é fornecido pela Tabela 2.8.

$$\Delta H = 2,883L \left(\frac{Q_m^{1,85}}{C^{1,85} d_m^{4,87}} \right) 10^{-6} \quad (4)$$

Tabela 2.6 – Fator C para Hazen-Williams.

Tubo	C^a
Ferro fundido ou dúctil, sem revestimento	100
Aço preto (sistemas secos, inclusive os de ação prévia)	100
Aço preto (sistemas molhados, inclusive os sistemas de dilúvio)	120
Galvanizado (todos)	120
Plástico (certificado) todos	150
Ferro fundido ou dúctil com revestimento de cimento	140
Cobre ou aço inoxidável	150
^a Válidos para tubos novos.	

Fonte: ABNT, 2020.

O segundo método é o de Darcy-Weisbach, representado pela Equação (5).

$$\Delta H = f \frac{LV^2}{D \cdot 2g} \quad (5)$$

O fator f da Equação é um fator de atrito adimensional idealizado por Darcy e provado posteriormente por Colebrook-White, baseado na rugosidade do material e número de Reynolds, na Equação (6).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (6)$$

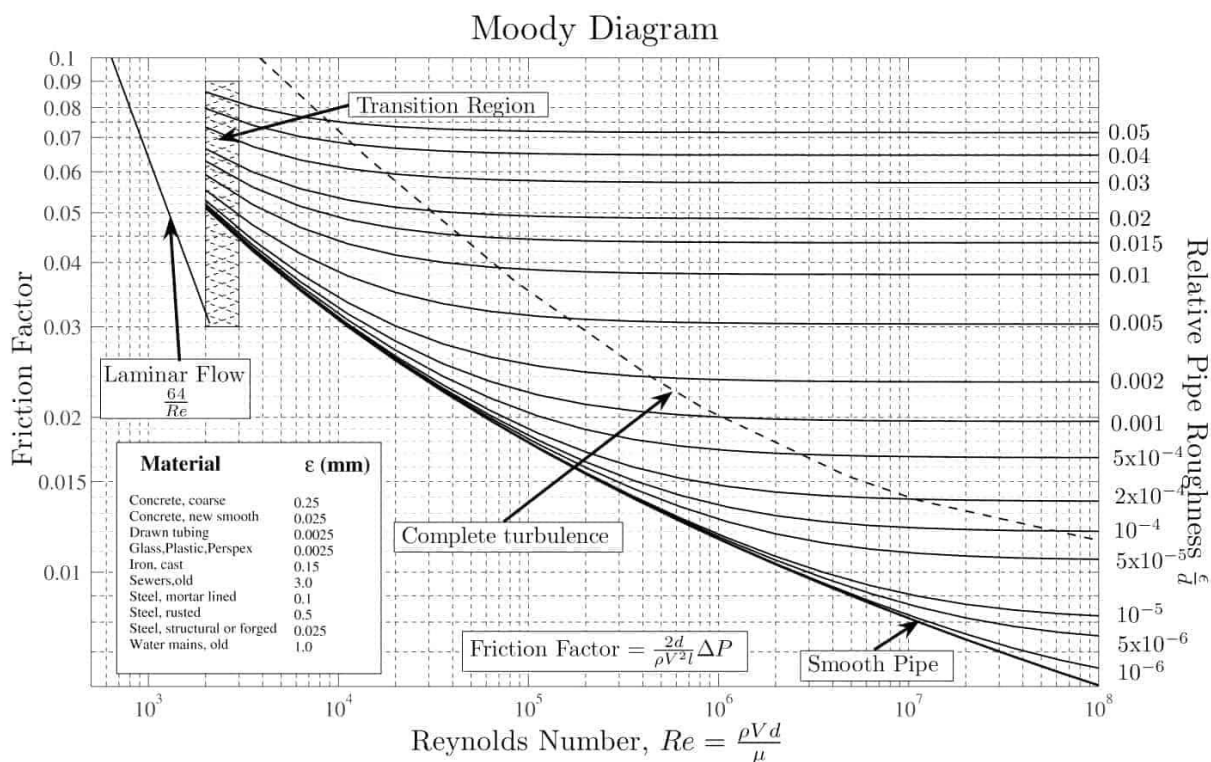
Também é possível determinar o fator de atrito através do Diagrama de Moody, desenvolvido por Lewis Ferry Moody a partir da Equação (6) para regimes de escoamento turbulentos e da Equação (7) para regimes laminares.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (7)$$

No entanto, nenhuma das duas contempla o regime de escoamento transitório. Nesse contexto, Stewart W. Churchill desenvolveu a Equação (8), que abrange o regime turbulento, transitório e laminar.

$$f = 8 \sqrt[12]{\left(\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \left(\left(2,457 \ln \left(\frac{1}{\left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} + 0,27 \cdot \varepsilon} \right) \right)^{16} + \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16} \right)^{-1,5}} \right)} \quad (8)$$

Figura 2.1 – Diagrama de Moody.



Fonte: Thermal Engineering, 2026.

Em ambos os modelos citados, o comprimento da tubulação é um parâmetro fundamental para os cálculos. No entanto, curvas e conexões impõem resistências adicionais ao escoamento, conhecidas como perdas de carga localizadas. Para simplificar essa análise, utilizam-se tabelas fornecidas pelos fabricantes que estabelecem o conceito de comprimento equivalente, associando a perda de carga de cada acessório ao comprimento de um trecho de tubulação retilínea que geraria a mesma resistência.

Tabela 2.7 – Comprimento Equivalente Schneider.

TABELA 7 - PERDA DE CARGA EM ACESSÓRIOS											
Tabela de perdas de cargas localizadas em conexões, considerando-se os comprimentos equivalentes em metros de canalização											
CONEXÃO		Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização									
		MATERIAL	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90°		PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
		Metálico	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45°		PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
		Metálico	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90°		PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
		Metálico	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45°		PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
		Metálico	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem direta		PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
		Metálico	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de saída lateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
		Metálico	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de saída bilateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
		Metálico	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União		PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
		Metálico	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Saída de canalização		PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
		Metálico	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de redução (*)		PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
		Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto		PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
		Metálico	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto		Metálico	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de ângulo aberto		Metálico	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé com crivo		PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
		Metálico	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Válvula de Retenção	Horizontal 	Metálico	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4
	Vertical	Metálico	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1

Fonte: Franklin Electric, 2026.

Para o cálculo de perda de carga em válvulas, bicos e furos, é utilizada a Equação (8).

$$\Delta H = 132,153 \cdot 10^6 \left(\frac{Q}{K_v} \right)^2 \quad (9)$$

Cabe destacar que a constante $132,153 \times 10^6$ atua como um fator de conversão de unidades, permitindo que a vazão seja inserida em metros cúbicos por segundo (m^3/s) e que a perda de carga resultante seja expressa diretamente em metros de coluna de água (m.c.a.).

Quando utilizamos o modelo de perda de carga pelo coeficiente de vazão, é válido ressaltar que existem duas maneiras de calcular o coeficiente total caso os acessórios estejam ligados em série ou em paralelo, mostradas nas equações (10) e (11) respectivamente.

$$\frac{1}{(Kv_{eq})^2} = \frac{1}{(Kv_1)^2} + \frac{1}{(Kv_2)^2} + \dots + \frac{1}{(Kv_n)^2} \quad (10)$$

$$Kv_{eq} = Kv_1 + Kv_2 + \dots + Kv_n \quad (11)$$

2.2.2 Tubulação

A NBR 13714 determina que o diâmetro nominal mínimo da tubulação do sistema deve ser de 2.1/2" (65 mm), dimensão que deve ser mantida obrigatoriamente na válvula de abertura (válvula angular) do hidrante. Ademais, a tubulação deve ser de classe M e diâmetro externo básico, porém, caso seguir a norma ABNT NBR 5590, o ideal é que se enquadre na schedule 40 (SCH 40), conforme apresentado nas tabelas 2.8 e 2.9, respectivamente.

Tabela 2.8 – Norma NBR 5580.

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 ½)	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: ABNT, 2015

Tabela 2.9 – Norma NBR 5590.

MEDIDAS TÉCNICAS ABNT NBR 5590										
Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo (mm)	Espessura			Peso (kg/m)			Pressão de Trabalho (PSI)		
		SCH 10	SCH 40	SCH 80	SCH 10	SCH 40	SCH 80	SCH 10	SCH 40	SCH 80
15 (1/2")	21,30	2,11	2,77	*	1	1,27	*	350		
20 (3/4")	26,90	2,11	2,87	*	1,29	1,69	*	350		
25 (1")	33,70	2,77	3,38	*	2,11	2,50	*	350		
32 (1 1/4")	42,40	2,77	3,56	*	2,71	3,39	*	600		
40 (1 1/2")	48,30	2,77	3,68	*	3,11	4,05	*	600		
50 (2")	60,3	2,77	3,91	5,54	3,93	4,44	7,48	820	1150	1250
65 (2 1/2")	73,0	3,05	5,16	7,01	5,26	8,63	11,41	750	1250	1250
80 (3")	88,90	3,05	5,49	7,62	6,46	11,29	15,27	610	965	1250
100 (4")	114,30	3,05	6,02	8,56	8,37	16,07	23,32	480	750	1350
125 (5")	141,30	3,40	6,55	9,52	11,56	21,77	30,94	430	835	1215
150 (6")	168,30	3,40	7,11	10,97	13,83	28,26	42,56	365	760	1175
200 (8")	219,10	3,76	8,18	12,70	19,97	42,55	64,64	305	670	1045

Fonte: Aços Positano, 2026.

É permitida a utilização de tubos de cobre, seguindo a norma ABNT NBR 13206 e tubos de PVC, seguindo as normas ABNT NBR 5647-1, 5647-2, 5647-3 e 5647-4.

Tabela 2.10 – Dimensões Tubos de Cobre.

Conversão:
1 MPa = 10,1971621
kgf/cm²

		Classe E				Classe A				Classe I			
Referência	Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo x Espessura de Parede	Peso	Pressão de Serviço		Diâmetro Externo x Espessura de Parede	Peso	Pressão de Serviço		Diâmetro Externo x Espessura de Parede	Peso	Pressão de Serviço	
pol.	mm	mm	kg/m	MPa	kgf/cm²	mm	kg/m	MPa	kgf/cm²	mm	kg/m	MPa	kgf/cm²
1/2"	15	15 x 0,50	0,203	4,25	43,34	15 x 0,80	0,318	6,91	70,46	15 x 1,00	0,392	8,73	89,02
3/4"	22	22 x 0,60	0,360	3,46	35,28	22 x 0,90	0,532	5,24	53,43	22 x 1,10	0,644	6,46	65,87
1"	28	28 x 0,60	0,460	2,70	27,53	28 x 0,90	0,683	4,09	41,71	28 x 1,20	0,901	5,50	56,08
1 1/4"	35	35 x 0,70	0,673	2,52	25,70	35 x 1,10	1,045	4,00	40,79	35 x 1,40	1,318	5,12	52,21
1 1/2"	42	42 x 0,80	0,923	2,40	24,47	42 x 1,10	1,261	3,32	33,85	42 x 1,40	1,593	4,25	43,34
2"	54	54 x 0,90	1,339	2,09	21,31	54 x 1,20	1,775	2,81	28,65	54 x 1,50	2,206	3,52	35,89
2 1/2"	66	66,7 x 1,00	1,839	1,88	19,17	66,7 x 1,20	2,200	2,26	23,05	66,7 x 1,50	2,737	2,84	28,96
3"	79	79,4 x 1,20	2,627	1,90	19,37	79,4 x 1,50	3,271	2,38	24,27	79,4 x 1,90	4,122	3,03	30,90
4"	104	104,8 x 1,20	3,480	1,43	14,58	104,8 x 1,50	4,337	1,80	18,35	104,8 x 2,00	5,755	2,40	24,47

Fonte: Real Fortaleza Hidráulica Industrial, 2025.

Tabela 2.11 – Dimensões Tubos de PVC-U 6,3 Até 1,0 MPA.

Diâmetro nominal (DN)	Diâmetro externo médio (d_{em})		Espessura de parede (e)		Massa aproximada por metro
	mm	Tolerância	mm	Tolerância	
50	60,0	+0,2	4,3	+0,6	1,100
75	85,0	+0,3	6,1	+0,8	2,200
100	110,0	+0,3	7,8	+0,9	3,700

A massa aproximada por metro deve ser usada apenas para fins de transporte e manuseio.

Fonte: ABNT, 2019.

Tabela 2.12 – Dimensões Tubos de PVC-U 6,3 Até 0,75 MPA.

Diâmetro nominal (DN)	Diâmetro externo médio (d_{em})		Espessura de parede (e)		Massa aproximada por metro
	mm	Tolerância	mm	Tolerância	
50	60,0	+0,2	3,3	+0,5	0,870
75	85,0	+0,3	4,7	+0,6	1,760
100	110,0	+0,3	6,1	+0,8	2,950

A massa aproximada por metro deve ser usada apenas para fins de transporte e manuseio.

Fonte: ABNT, 2019.

Tabela 2.13 – Dimensões Tubos de PVC-U 6,3 Até 0,60 MPa.

Diâmetro nominal (DN)	Diâmetro externo médio (d_{em})		Espessura de parede (e)		Massa aproximada por metro kg/m
	mm	Tolerância	mm	Tolerância	
50	60,0	+0,2	2,7	+0,4	0,730
75	85,0	+0,3	3,9	+0,5	1,500
100	110,0	+0,3	5,0	+0,6	2,450
A massa aproximada por metro deve ser usada apenas para fins de transporte e manuseio.					

Fonte: ABNT, 2019.

A ABNT NBR 10897 também apresenta requisitos de tubulação semelhantes, mas com algumas diferenças. No que diz respeito aos tubos de aço, caso as conexões sejam por solda ou união mecânica (ranhurada) para pressões de até 2,07 MPa e o tubo atenda à NBR 5580, eles devem ser da classe leve. Se atenderem à NBR 5590, podem ser de qualquer classe, desde que respeitem a Tabela 2.13, que indica as espessuras mínimas permitidas.

Caso a união seja roscada, os tubos da NBR 5580 devem ser da classe média, e os da NBR 5590 devem seguir a classe normal.

Em caso de tubulação enterrada, é necessária a aplicação de uma fita especial caso o tubo seja de metal, para evitar a corrosão com o passar do tempo, mantendo o bom funcionamento do sistema. Se o tubo for de PVC, o material deve ser resistente a esse fenômeno. Vale lembrar que a tubulação só deve ser enterrada quando estritamente necessário, como na instalação do recalque do Corpo de Bombeiros.

Tabela 2.14 – Espessuras Mínimas Permitidas.

Diâmetro nominal mm	Espessura mínima de parede mm
25	2,77
32	2,77
40	2,77
50	2,77
65	3,05
80	3,05
90	3,05
100	3,05
125	3,4
150	3,4
200	4,78
250	4,78
300	8,38

Fonte: ABNT, 2020.

2.2.3 Conexões

As conexões podem ser roscadas, soldadas ou ranhuradas. Quando roscadas, podem ser de ferro fundido maleável, seguindo as normas ABNT NBR 6925 ou 6043, ou de aço, seguindo a ASTM A234. Quando soldadas ou ranhuradas, devem garantir a estanqueidade e a estabilidade das juntas.

As conexões de cobre devem seguir a norma ABNT NBR 11720, e as conexões de PVC-U devem seguir a ABNT NBR 10351.

Figura 2.2 – Acoplamentos Ranhurados.

Fonte: Unival, 2026.

3 METODOLOGIA

Neste tópico, serão apresentadas as decisões para o projeto da rede de proteção contra incêndio e os cálculos realizados para o dimensionamento, com base na teoria apresentada no Tópico 2.

3.1 Distribuição dos Hidrantes e *Sprinklers*

Para o desenvolvimento do projeto, é fundamental estabelecer uma distribuição estratégica de hidrantes e *sprinklers* que assegure a eficácia no combate a eventuais focos de incêndio. A rede de hidrantes deve garantir a cobertura integral do galpão, eliminando pontos cegos e assegurando que o alcance efetivo das mangueiras contemple todas as áreas de risco. A Figura 3.1 apresenta a planta baixa da Usina Termoquímica Experimental, localizada no Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia, detalhando o layout proposto para a instalação desses dispositivos.

Figura 3.1 – Vista Isométrica Sistema de Hidrante.

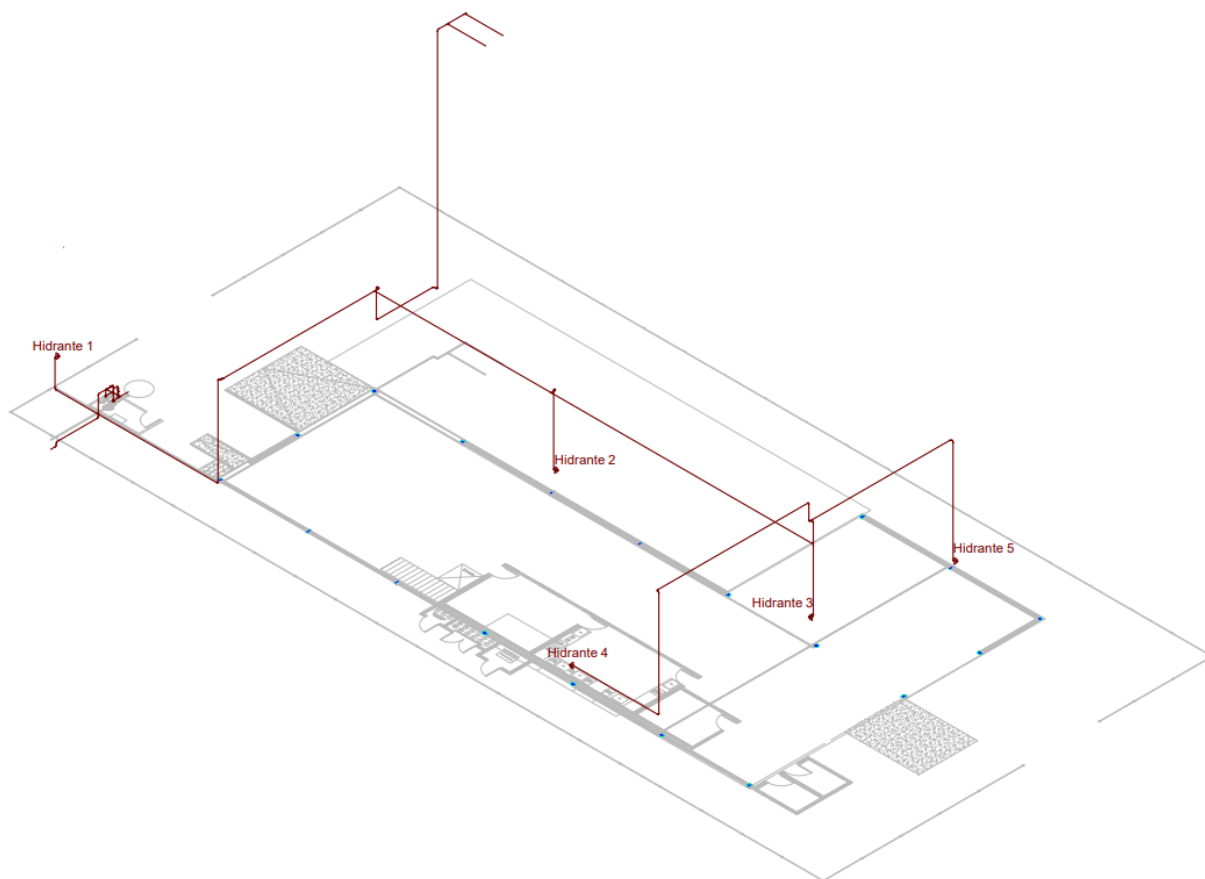
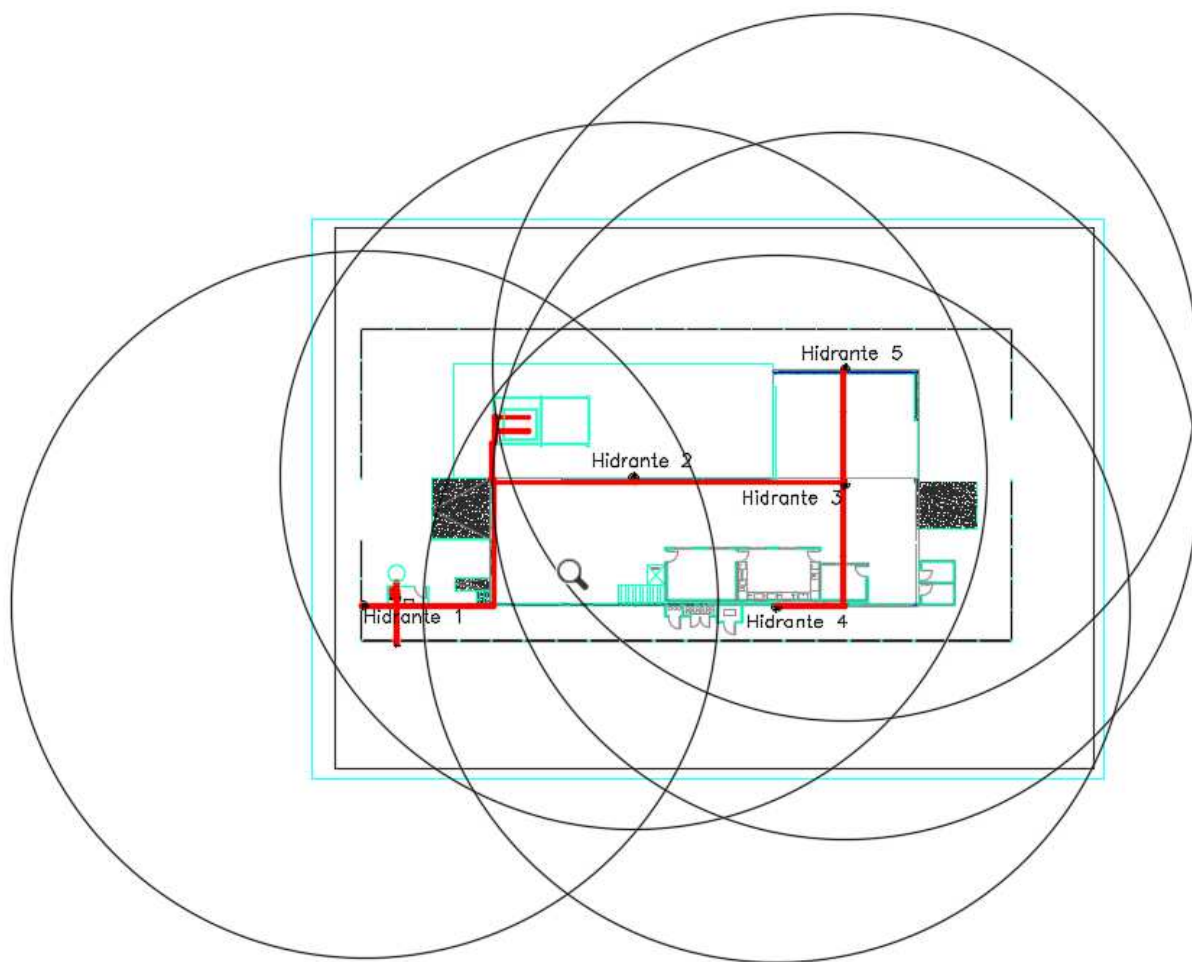
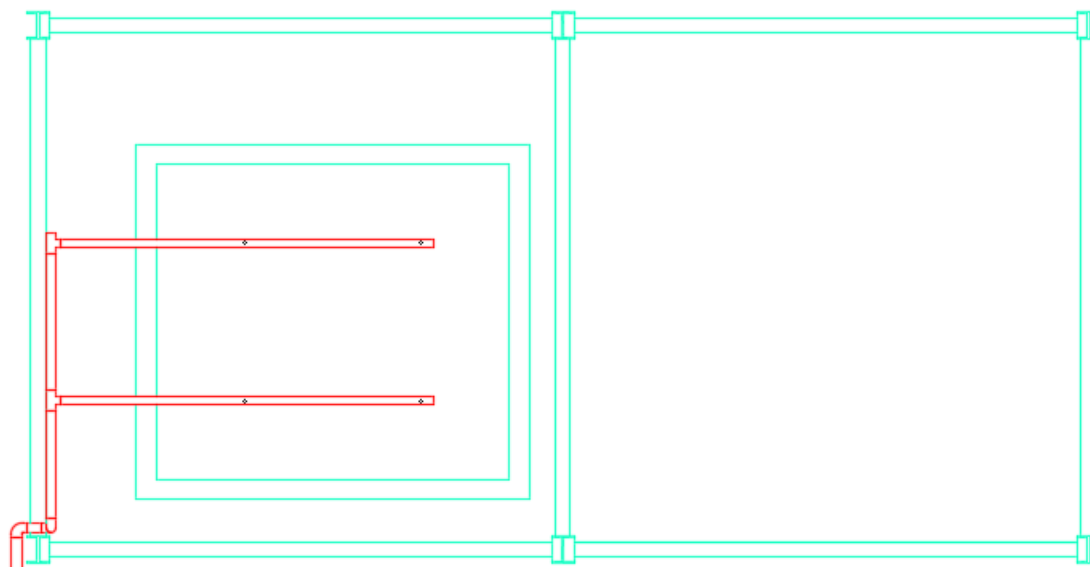


Figura 3.2 – Alcance de Cada Hidrante.

A configuração e o posicionamento dos hidrantes foram dimensionados para garantir a cobertura total da área operacional da usina. Quanto aos *sprinklers*, estes serão instalados na parte superior da estrutura metálica do reator, acima da zona de armazenamento de CDR. O sistema contará com quatro dispositivos operando em conjunto, distribuídos em dois ramais de tubulação, com espaçamento de 1,20 m entre tubos e 1,35 m entre os bicos *sprinklers* subsequentes, assegurando a eficácia da proteção contra incêndio conforme os critérios de projeto.

Figura 3.3 – Disposição dos *Sprinklers*.



É importante notar que a distância entre *sprinklers* é menor do que a mínima estabelecida pela norma, tendo em vista a peculiaridade da aplicação em questão, pois deve-se lembrar que o bocal do silo está a 12,5 metros de altura em relação ao solo.

Em situações de incêndio, um sistema automático, nesse caso, seria mais eficaz do que um hidrante, por exemplo, pois o brigadista leva um certo tempo para alcançar o ponto de água. Além disso, não há espaço suficiente para abrir a mangueira, já que o ambiente é bastante confinado. Logo, não existe outra alternativa a não ser usar um sistema de chuveiros automáticos, garantindo a eficiência da proteção.

3.2 Seleção dos Hidrantes e *Sprinklers*

O interior do bloco 1JCG será destinado ao armazenamento de resíduos com alta carga de incêndio como plásticos, biomassas, cigarros e outros materiais com potencial de gaseificação. Consequentemente, de acordo com o Decreto Estadual nº 48.028/2020 do CBMMG, a edificação enquadra-se na divisão J-4, conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Classificação das Divisões 1.

J	Depósito	J-1	Depósitos de material incombustível.	Edificações sem processo industrial que armazenam tijolos, pedras, areias, cimentos, metais e outros materiais incombustíveis, todos sem embalagem.
		J-2	Depósito com carga de incêndio até 300MJ/m ²	Edificações onde os materiais armazenados apresentam baixa carga de incêndio.
		J-3	Depósitos com carga de incêndio entre 301 e 1.200MJ/m ²	Edificações onde os materiais armazenados apresentam média carga de incêndio.
		J-4	Depósitos com carga de incêndio superior a 1.200MJ/m ² .	Edificações onde os materiais armazenados apresentam alta carga de incêndio.

Fonte: CBMMG, 2020.

A carga de incêndio da edificação (Divisão J-4) não se aplica aos valores tabelados no Anexo A; portanto, foi determinada por meio da metodologia do Anexo B, avaliando a natureza dos resíduos com potencial de gaseificação e a altura máxima de estocagem, cumprindo a diretriz de exceção da Tabela 3.2 da IT 09.

Tabela 3.2 – Anexo A da IT 09 1.

Ocupação/Uso	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (qfi) em MJ/m ²
Depósito	Depósitos e similares de material incombustível (sem embalagem ou com embalagem incombustível)	J-1	Anexo B ou C
	Depósitos e similares com carga de incêndio baixa	J-2	Anexo B ou C
	Depósitos e similares com carga de incêndio média	J-3	Anexo B ou C
	Depósitos e similares com carga de incêndio alta	J-4	Anexo B ou C

Fonte: CBMMG, 2020.

Cabe destacar que o CDR será acondicionado em *big bags* empilhados a uma altura aproximada de 3 metros. Devido a essa configuração física, a determinação da carga térmica recai sobre as diretrizes do Anexo B da IT 09 (especificamente a Tabela B.1 da norma), que correlaciona o potencial calorífico à altura de estocagem. Os valores resultantes dessa análise estão consolidados na Tabela 3.3 deste documento.

Tabela 3.3 – Carga de Incêndio Conforme Altura de Armazenamento.

Tipo de Material	Carga de incêndio (qfi) em MJ/m ²					
	Altura de armazenamento (em metros)					
	1	2	4	6	8	10
Portas de madeira	810	1620	3240	4860	6480	8100
Produtos químicos combustíveis	450	900	1800	2700	3600	4500
Queijos	1125	2250	4500	6750	9000	11250
Resinas sintéticas	1890	3780	7560	11340	15120	18900
Resinas sintéticas, placas de:	1530	3060	6120	9180	12240	15300
Sabão	1890	3780	7560	11340	15120	18900
Sacos de papel	5670	11340	22680	34020	45360	56700
Sacos de plástico	11340	22680	45360	68040	90720	113400
Tabaco em bruto	765	1530	3060	4590	6120	7650
Tabaco, artigos de:	945	1890	3780	5670	7560	9450
Tapeçarias	765	1530	3060	4590	6120	7650
Tecidos em geral	900	1800	3600	5400	7200	9000
Tecidos sintéticos	585	1170	2340	3510	4680	5850
Tecidos, fardos de algodão	585	1170	2340	3510	4680	5850
Tecidos, seda artificial	450	900	1800	2700	3600	4500
Toldos ou lonas	450	900	1800	2700	3600	4500
Velas de cera	10080	20160	40320	60480	80640	100800
Vernizes	1125	2250	4500	6750	9000	11250
Vernizes de cera	2250	4500	9000	13500	18000	22500

Fonte: CBMMG, 2020.

Visando a máxima segurança do projeto, a análise baseou-se no cenário mais crítico de operação. Adotou-se uma altura teórica de armazenamento de 4 metros e considerou-se o acondicionamento exclusivo de plásticos, por tratar-se do material de maior potencial calorífico do lote.

Para a proteção do interior da usina, cuja área construída é de aproximadamente 410 m² (inferior a 3.000 m²), o cruzamento da área com a carga de incêndio estabelecida na Tabela 2.2 da IT 22 resultou na adoção de um sistema de hidrantes do Tipo 3. Conforme a Tabela 2.3, o sistema deverá garantir, no esguicho mais desfavorável, uma vazão mínima de 250 L/min, operando com esguicho de jato regulável (requinte de 16 mm).

A área externa (com cerca de 264 m²) classifica-se no Grupo I-3 (Industrial – Formulação de combustíveis), justificado pela produção do gás de síntese na planta. Sob essa classificação e conforme a mesma Tabela 2.2, determina-se que os 4 hidrantes externos

projetados também sejam do Tipo 3, mantendo a padronização hidráulica e os mesmos parâmetros de vazão e esguicho da rede interna.

Tabela 3.4 – Classificação dos Grupos 2.

I	Indústria	I-1	Indústria com carga de incêndio até 300MJ/m ²	Atividades que manipulam materiais com baixo risco de incêndio, tais como fábricas em geral, onde os processos não envolvem a utilização intensiva de materiais combustíveis (aço; artigos de vidro; aparelhos de rádio e som; armas; artigos de metal; gesso; esculturas de pedra; ferramentas; fotografuras; joias; relógios; sabão; serralheria; suco de frutas; louças; metais; máquinas).
		I-2	Indústria com carga de incêndio entre de 301 e 1.200MJ/m ²	Atividades que manipulam materiais com médio risco de incêndio, tais como: automóveis (pintura), bebidas destiladas; instrumentos musicais; móveis; alimentos marcenarias, fábricas de caixas, processamento de lixo com carga de incêndio média e assemelhados.
		I-3	Indústria com carga de incêndio superior a 1.200MJ/m ²	Atividades industriais que envolvam líquidos e gases inflamáveis, materiais oxidantes, destilarias, refinarias, ceras, espuma sintética, grãos, tintas, borracha, processamento de lixo com alta carga de incêndio e assemelhados.

Fonte: CBMMG, 2020.

Tabela 3.5 – Anexo A da IT 09 2.

Ocupação/Usu	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (qfi) em MJ/m²
Indústria	Extração de petróleo e gás natural	I-3	4000
	Extração e beneficiamento de areias betuminosas	I-3	3000
	Extração e beneficiamento de carvão mineral	I-3	3000
	Extração e beneficiamento de xisto	I-3	3000
	Extração e britamento de pedras e outros materiais para construção e beneficiamento associado (ardósia, granito, mármore, calcário, dolomita, gesso, caulim, areia, cascalho, pedregulho, argila, saibro, basalto, etc.)	I-1	40
	Extração, beneficiamento, britamento, pelotização e sinterização de minérios ferrosos e não-ferrosos (ferro, alumínio, estanho, manganês, metais preciosos, minerais radioativos, nióbio, titânio, tungstênio, níquel, cobre, chumbo, zinco, etc.)	I-1	200
	Extração, refino e outros tratamentos de sal	I-1	40
	Farinha de mandioca e derivados (produtos, moagem, beneficiamento)	I-3	2000
	Farinha de milho e derivados, exceto óleos de milho (produtos, moagem, beneficiamento)	I-3	2000
	Farmoquímicos	I-1	300
	Fermentos e leveduras	I-2	800
	Ferramentas	I-1	200
	Ferro (fundição)	I-1	40
	Ferro (outros tubos)	I-1	200
	Ferro-gusa	I-1	200
	Ferroligas	I-1	200
	Fiação de fibras de algodão e fibras têxteis naturais	I-2	700
	Fibras artificiais e sintéticas	I-1	300
	Fios, cabos e condutores elétricos isolados	I-1	300
	Flores artificiais	I-1	300
	Formulação de combustíveis	I-3	4000

Fonte: CBMMG, 2020.

Para a proteção contra incêndio por chuveiros automáticos, especificaram-se sprinklers de cobertura padrão e resposta padrão com fator $K 80$, fundamentados pelas características críticas da área, não obstante as limitações normativas ordinárias para essa aplicação.

A adoção da cobertura padrão restringe a atomização excessiva do jato de água. Diferentemente dos bicos de cobertura estendida, que operam sob pressões que geram uma névoa de partículas leves, facilmente arrastadas pelas correntes de convecção térmica sem penetrar na pluma de fogo, a cobertura padrão assegura o momento linear necessário para que as gotas atinjam a base do combustível. Adicionalmente, essa configuração atenua o efeito de sombreamento causado por eventuais obstruções estruturais ou de processo.

Paralelamente, o elemento de resposta padrão atua no controle do acionamento térmico dos bicos. A especificação impede o fenômeno do *sprinkler skipping*, no qual a abertura precoce de um bico de resposta rápida resfria a atmosfera adjacente e os chuveiros vizinhos. Esse resfriamento localizado resultaria no *cold soldering* (soldagem fria), inibindo a deflagração dos sprinklers subsequentes e comprometendo a eficiência da supressão na zona do incêndio.

3.3 Cálculos Hidráulicos

Nesta seção, serão apresentados os cálculos hidráulicos necessários para o dimensionamento do sistema de proteção contra incêndio. O objetivo é garantir a eficiência do

sistema, integrando a atuação do hidrante hidraulicamente mais desfavorável com a operação simultânea dos chuveiros automáticos (*sprinklers*) da área de cálculo.

3.3.1 Vazão dos *Sprinklers*

Considerando chuveiros automáticos com fator K de 80 (L/min)/bar^{0,5}, realiza-se inicialmente a conversão da unidade para m³/h, conforme a Equação (12). Esse resultado será aplicado na Equação (14) para o cálculo do coeficiente de vazão total dos *sprinklers*.

$$Kv_{sprinkler} = K \cdot \frac{60}{1000} \quad (12)$$

$$Kv_{sprinkler} = 80 \cdot \frac{60}{1000}$$

$$Kv_{sprinkler} = 4,8 \frac{(m^3/h)}{\sqrt{bar}} \quad (13)$$

Agora é possível calcular o coeficiente dos *sprinklers* através da Equação (14), lembrando que todos estão ligados em paralelo.

$$Kv_{eq} = 4 \cdot Kv_{sprinkler} \quad (14)$$

$$Kv_{eq} = 4 \cdot 4,8$$

$$Kv_{eq} = 19,6 \frac{(m^3/h)}{\sqrt{bar}} \quad (15)$$

Com o coeficiente equivalente determinado, é possível calcular a vazão total nos quatro *sprinklers* por meio da Equação (16), considerando uma pressão de operação ideal de 1,89 bar para cada dispositivo.

$$Q_2 = Kv_{eq} \cdot \sqrt{\frac{P_1}{\rho/1000}} \quad (16)$$

$$Q_2 = 19,6 \cdot \sqrt{\frac{1,89}{1000/1000}}$$

$$Q_2 = 26,4 \text{ m}^3/\text{h} \quad (17)$$

Para facilitar os cálculos, a vazão será considerada 27 m³/h.

No trecho 2 temos dois tubos de 2" ligados ao tubo de 2.1/2", logo, a vazão em cada um deles será igual Q_2 dividida pela metade.

$$Q_2^* = 13,5 \text{ m}^3/\text{h} \quad (18)$$

3.3.2 Vazão do Hidrante

Segundo a IT 17 do CBMMG, a vazão de um hidrante tipo 3 deve ser de 250 L/min. No entanto, para a realização dos cálculos, essa unidade deve ser convertida para m³/h, conforme demonstrado pela Equação (18).

$$Q_3 = Q_{l/min} \cdot \frac{60}{1000} \quad (19)$$

$$Q_3 = 250 \cdot \frac{60}{1000}$$

$$Q_3 = 15 \text{ m}^3/\text{h} \quad (20)$$

3.3.3 Vazões do Sistema

O sistema possui 3 vazões distintas, sendo a vazão total (Q_1), que corresponde à soma das vazões dos chuveiros automáticos e hidrante, (Q_2) e (Q_3) respectivamente.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (21)$$

$$Q_1 = 27 + 15$$

$$Q_1 = 42 \text{ m}^3/h \quad (22)$$

3.3.4 Diâmetros do Sistema

Para a linha principal, do hidrante e do sprinkler, serão utilizados tubos da norma NBR 5580 de 2.1/2" classe M (D_1). Já para os dois ramais da linha de *sprinklers*, onde serão fixados os chuveiros automáticos, serão usados tubos da NBR 5580 de 2" classe M (D_2).

$$D_1 = 0,0686 \text{ m} \quad (23)$$

$$D_2 = 0,0528 \text{ m} \quad (24)$$

3.3.5 Velocidades do Sistema

Para identificar os coeficientes do metamodelo necessários ao cálculo do coeficiente de vazão por metro nos três trechos, é indispensável calcular a velocidade do fluido em cada um deles.

- Velocidade do Trecho 1:

$$V_1 = \frac{Q_1 \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot D_1^2} \quad (25)$$

$$V_1 = 3,16 \text{ m/s} \quad (26)$$

- Velocidades do Trecho 2:

$$V_2 = \frac{Q_2 \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot D_2^2} \quad (27)$$

$$V_2 = 2,02 \text{ m/s} \quad (28)$$

$$V_2^* = \frac{Q_2^* \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot D_2^2} \quad (29)$$

$$V_2^* = 1,715 \text{ m/s} \quad (30)$$

- Velocidade do Trecho 3:

$$V_3 = \frac{Q_3 \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot D_1^2} \quad (31)$$

$$V_3 = 1,13 \text{ m/s} \quad (32)$$

3.3.6 Coeficientes de Vazão por Metro da Tubulação

Embora as normas vigentes restrinjam o cálculo da perda de carga em tubulações aos métodos de Darcy-Weisbach ou Hazen-Williams, este trabalho adota um metamodelo desenvolvido pelo Prof. Dr. Valério Luiz Borges. Baseado na formulação de Darcy, esse metamodelo simplifica o método tradicional ao empregar o coeficiente de vazão para o cálculo das perdas na tubulação.

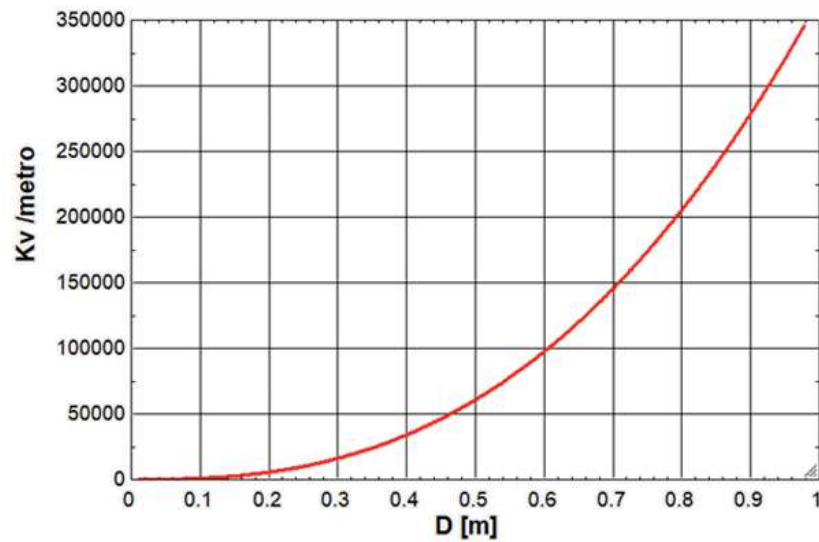
O modelo clássico de perda de carga por coeficiente de vazão é tipicamente aplicado a singularidades locais (como válvulas e placas de orifício) independentemente do fluido. O metamodelo, por sua vez, foi concebido para calcular as perdas ao longo da tubulação de forma equivalente a perdas localizadas por metro linear. Contudo, essas perdas passam a depender do fluido e de sua velocidade, visto que a formulação fundamental baseia-se no número de Reynolds, na viscosidade do escoamento e na rugosidade interna da tubulação.

Tabela 3.6 – Tabela de Coeficiente de Vazão pela Velocidade.

	[m/s]					
	1	2	3	4	5	15
a	357094,39	368987,81	374404,06	377582,55	379695,14	386463,94
b	2,61	2,608	2,607	2,607	2,606	2,606

Para entender como o coeficiente se comporta, foi desenvolvida a Tabela 3.6 com base no problema real que este trabalho busca resolver. Como dito anteriormente, esse modelo depende da rugosidade interna da tubulação, que varia de acordo com o material, da viscosidade cinemática do fluido e da velocidade do escoamento. Sendo assim, os valores da tabela foram calculados considerando água escoando em um tubo de aço em diferentes velocidades.

Figura 3.4 – Gráfico do Kv/metro para Velocidade de 2 m/s.



Esses valores são obtidos através do gráfico apresentado na Figura 3.4, o qual mostra a variação do valor do coeficiente de vazão por metro conforme o diâmetro da tubulação, usados para desenvolver as equações para cada velocidade de escoamento com base na Equação (32).

$$Kv_{metro} = a \cdot D^b \quad (33)$$

Em que o coeficiente a corresponde aos valores da terceira linha da Tabela 3.6, e b corresponde aos valores da última linha. Como exemplo, vamos usar a equação do gráfico da Figura 3.4, o qual representa um escoamento de água em um tubo de aço em uma velocidade de 2 m/s.

$$Kv_{metro} = 368987,81 \cdot D^{2,608}$$

Seguindo o exemplo, é possível determinar o coeficiente Kv por metro de cada trecho cruzando os dados da Tabela 3.6 com as Equações (22), (23), (27), (29) e (31).

- Coeficiente para o Trecho 1:

$$Kv_{metro,1} = 374404,06 \cdot D_1^{2,607} \quad (34)$$

$$Kv_{metro,1} = 346,4 \frac{(m^3/h)/\sqrt{bar}}{m} \quad (35)$$

- Coeficientes para o Trecho 2:

$$Kv_{metro,2} = 368987,81 \cdot D_1^{2,610} \quad (36)$$

$$Kv_{metro,2} = 340,5 \frac{(m^3/h)/\sqrt{bar}}{m} \quad (37)$$

$$Kv_{metro,2}^* = 368987,81 \cdot D_2^{2,610} \quad (38)$$

$$Kv_{metro,2}^* = 172 \frac{(m^3/h)/\sqrt{bar}}{m} \quad (39)$$

- Coeficiente para o Trecho 3:

$$Kv_{metro,3} = 357094,39 \cdot D_1^{2,610} \quad (40)$$

$$Kv_{metro,3} = 327,8 \frac{(m^3/h)/\sqrt{bar}}{m} \quad (41)$$

3.3.7 Comprimentos do Sistema

Para calcular os coeficientes de vazão totais para cada trecho, é necessário conhecer o comprimento total de cada um.

$$L_1 = 25,345 \text{ m} \quad (42)$$

$$L_2 = 18,555 \text{ m} \quad (43)$$

$$L_2^* = 2,852 \text{ m} \quad (44)$$

$$L_3 = 52,936 \text{ m} \quad (45)$$

3.3.8 Coeficientes de Vazão dos Elementos

Além dos coeficientes dos tubos, é necessário conhecer os coeficientes dos elementos, como válvulas, bicos e mangueiras. O primeiro elemento é uma válvula esfera com diâmetro nominal de 2.1/2”.

Tabela 3.7 – Catálogo Válvula de Esfera.

VÁLVULA DE ESFERA TRIPARTIDA PASSAGEM PLENA (PP)																				
BITOLA		PASS.	A*	a'	B	b'	C	D	d'	E	F	G	H	I	J	K	L	N.º DE PARAF.	PESO kg	Coeficiente de Fluxo Kv (m³/h)
POL.	DN																			
1/4"	8	11,1	51,0	-	44,0	-	39,5	125,0	-	44,5	9,5	14,4	11,0	11,1	14,0	-	2,0	4	0,425	5,0
3/8"	10	11,1	51,0	-	44,0	-	39,5	125,0	-	44,5	9,5	17,8	11,0	14,5	17,6	-	2,0	4	0,421	5,0
1/2"	15	14,0	60,0	239,0	46,5	76,0	41,5	125,0	225,0	48,5	9,5	22,0	12,0	18,0	21,8	21,3	2,0	4	0,508	9,8
3/4"	20	20,4	70,0	247,0	78,2	87,0	55,4	165,0	225,0	57,0	12,5	27,4	15,0	23,0	27,1	26,7	2,0	4	0,866	18,7
1"	25	25,4	82,0	252,5	82,0	90,5	59,0	165,0	225,0	83,0	12,5	34,1	16,0	29,6	33,8	33,4	2,0	5	1,310	42,0
1.1/4"	32	31,7	90,7	262,7	102,0	98,5	72,5	182,0	225,0	93,0	12,5	42,9	18,0	38,0	42,6	42,2	2,0	5	2,079	72,0
1.1/2"	40	38,0	102,7	267,0	109,0	103,0	77,0	182,0	225,0	108,2	12,5	49,0	19,0	44,1	48,7	48,3	3,0	5	2,717	107,0
2"	50	50,8	120,1	279,0	126,0	112,5	86,0	255,0	225,0	130,5	16,0	61,4	22,0	56,2	61,4	60,3	3,0	6	4,258	185,0
2.1/2"	65	63,0	152,4	-	146,0	147,5	114,0	267,0	415,0	153,0	16,0	74,1	27,5	70,0	73,8	-	3,0	6	7,593	305,0
3"	80	76,0	169,4	-	154,4	163,0	126,7	335,0	490,0	177,0	16,0	90,1	29,0	84,0	90,1	-	3,0	6	10,110	1050,0
4"	100	101,6	209,0	-	182,0	185,0	-	-	490,0	210,0	19,0	115,4	35,0	112,5	115,5	-	3,0	8	21,900	1980,0

Fonte: MGA, 2024.

$$Kv_{esfera} = 305 \frac{(m^3/h)}{\sqrt{bar}} \quad (46)$$

A válvula do hidrante é do tipo angular, com diâmetro de 2 1/2”. Nesse caso, a tabela fornece apenas o comprimento equivalente do acessório; contudo, visando à padronização, calculou-se o coeficiente de vazão (Kv) da válvula, conforme ilustra a Figura 3.5.

Tabela 3.8 – Comprimento Equivalente das Válvulas.

Comprimentos Equivalentes em metros para Bocais e Válvulas									
Diâmetro Nominal	Saída da Tubulação	Entrada Normal	Entrada de borda	Válvulas de Gaveta	Válvulas de Globo Aberto	Válvulas de Ângulo Aberto	Válvula de Pé e Crivo Aberto	Válvula de Retenção	
									
1/2	0,4	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	3,6	1,1	1,6
3/4	0,5	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	5,6	1,6	2,4
1	0,7	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	7,3	2,1	3,2
1 1/4	0,9	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	10,0	2,7	4,0
1 1/2	1,0	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	11,6	3,2	4,8
2	1,5	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	14,0	4,2	6,4
2 1/2	1,9	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	17,0	5,2	8,1
3	2,2	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	20,0	6,3	9,7
4	3,2	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	23,0	8,4	12,9
5	4,0	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	30,0	10,4	16,1
6	5,0	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	39,0	12,5	19,3

Fonte: Tupy, 2009.

Figura 3.5 – Cálculo do Kv da Válvula Angular pelo EES.

$$D = 0,0761 - 2 \cdot 0,00375$$

$$v = 0,000001022$$

$$e = 0,00005186$$

$$L = 10$$

$$f = \text{MoodyChart} \left[\frac{4 \cdot Q}{3,142 \cdot D \cdot v}, \frac{e}{D} \right]$$

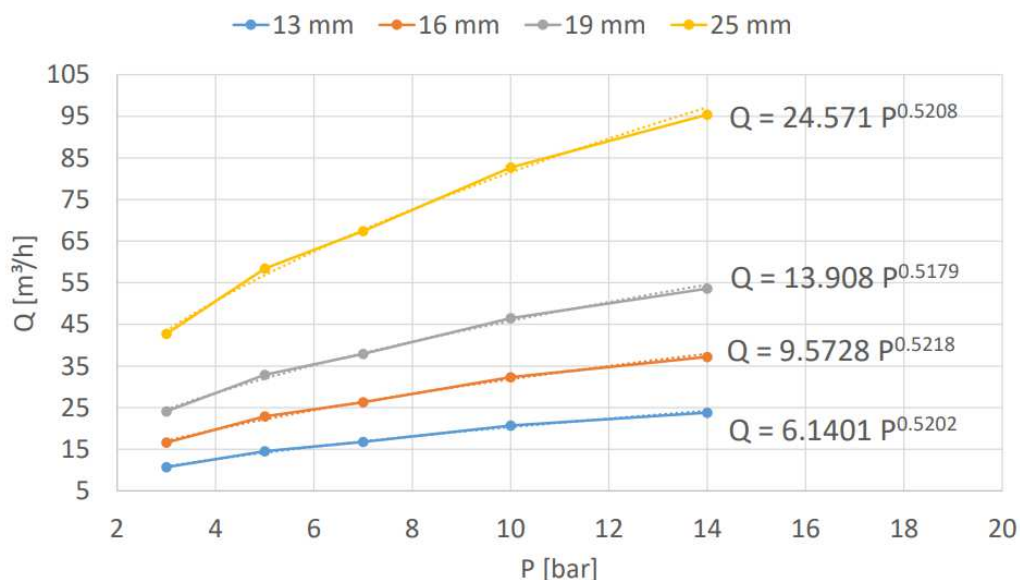
$$P = 10$$

$$P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{3,142^2 \cdot 9,807 \text{ [m/s}^2\text{]} \cdot D^4}$$

$$Kv = Q \cdot 3600$$

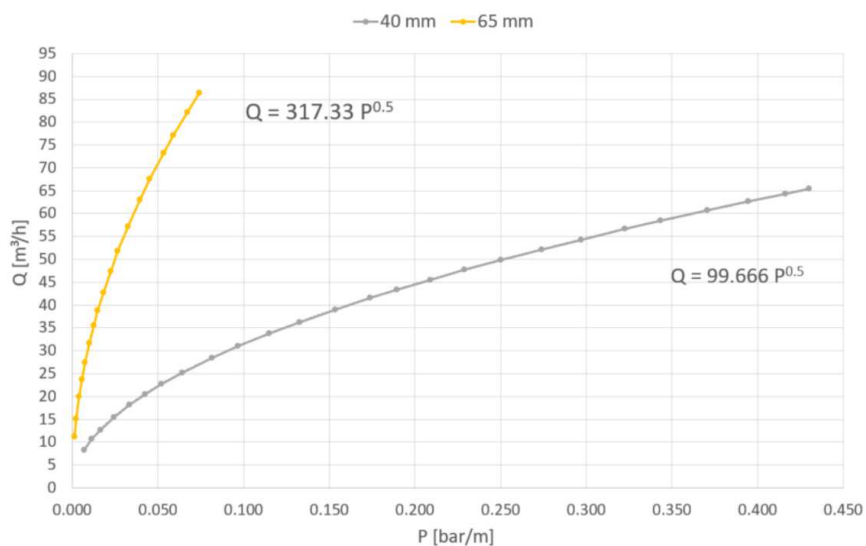
$$Kv_{angular} = 111,6 \frac{\left(\frac{m^3}{h}\right)}{\sqrt{bar}} \quad (47)$$

Para o cálculo do coeficiente de vazão (Kv) do esguicho de jato sólido utilizado no hidrante, emprega-se um gráfico desenvolvido pelo Prof. Dr. Valério Luiz Borges, que correlaciona as curvas de perda de carga aos diferentes diâmetros de bico. Especificamente para o hidrante tipo 3, será adotado o bico de 16 mm.

Figura 3.6 – Gráfico da Perda de Carga dos Bicos.

$$Kv_{bico} = 9,57 \frac{\left(\frac{m^3}{h}\right)}{\sqrt{bar}} \quad (48)$$

Essa mesma lógica aplica-se às mangueiras, cujas curvas de perda de carga variam em função do seu diâmetro nominal. Para o hidrante tipo 3, adota-se a mangueira de 40 mm. Cabe ressaltar que o coeficiente de vazão (Kv) extraído do gráfico corresponde ao valor por metro linear.

Figura 3.7 – Gráfico da Perda de Carga da Mangueira.

$$Kv_{mangueira} = 99,67 \frac{(m^3/h)}{\sqrt{bar}} \quad (49)$$

3.3.9 Coeficientes de Vazão de Cada Trecho

- Trecho 1:

Primeiro, será considerada a perda de carga na tubulação de recalque.

$$\frac{1}{Kv_1^2} = \frac{L_1}{Kv_{metro,1}^2} + \frac{1}{Kv_{esfera}^2} \quad (50)$$

$$\frac{1}{Kv_1^2} = \frac{25,345}{346,4^2} + \frac{1}{305^2}$$

$$Kv_1 = 67,13 \frac{(m^3/h)}{\sqrt{bar}} \quad (51)$$

- Trecho 2:

Os *sprinklers* estão fixados em dois tubos de 2" ambos em paralelo, porém conectados a um tubo de 2.1/2". Assim, é necessário saber o coeficiente de um dos tubos para calcular o coeficiente do trecho 2.

$$\frac{1}{Kv_2^{*2}} = \frac{L_2^*}{Kv_{metro,2}^{*2}} + \frac{1}{(2 \cdot Kv_{sprinkler})^2} \quad (52)$$

$$\frac{1}{Kv_2^{*2}} = \frac{2,852}{172^2} + \frac{1}{(2 \cdot 4,8)^2}$$

$$Kv_2^* = 9,558 \frac{(m^3/h)}{\sqrt{bar}} \quad (53)$$

Com a Equação (52) em mãos, é possível calcular o coeficiente do trecho 2.

$$\frac{1}{Kv_2^2} = \frac{L_2}{Kv_{metro,2}^2} + \frac{1}{(2 \cdot Kv_2^*)^2} \quad (54)$$

$$\frac{1}{Kv_2^2} = \frac{18,555}{340,5^2} + \frac{1}{(2 \cdot 9,559)^2}$$

$$Kv_2 = 18,58 \frac{(m^3/h)}{\sqrt{bar}} \quad (55)$$

- Hidrante:

$$\frac{1}{Kv_3^2} = \frac{L_3}{Kv_{metro,3}^2} + \frac{1}{Kv_{angular}^2} + \frac{30}{Kv_{mangueira}^2} + \frac{1}{Kv_{bico}^2} \quad (56)$$

$$\frac{1}{Kv_3^2} = \frac{52,936}{327,8^2} + \frac{1}{111,6^2} + \frac{30}{99,67^2} + \frac{1}{9,57^2}$$

$$Kv_3 = 8,301 m^3/h \quad (57)$$

3.3.10 Equação de Energia

Para analisar o balanço energético do sistema, contabilizando a energia inicial, os ganhos e as perdas, faz-se necessário o emprego da equação da conservação da energia:

$$H_1 + \text{ganhos} - \text{perdas} = H_2 \quad (58)$$

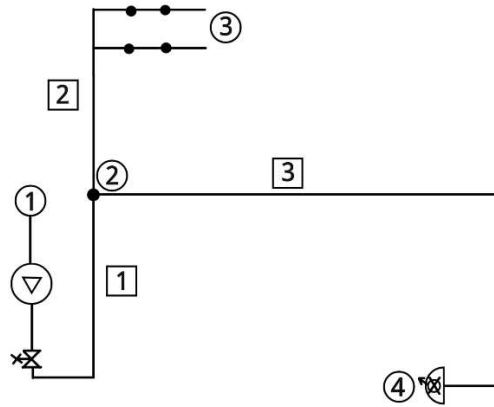
Em que os ganhos representam a energia (carga manométrica) fornecida pela bomba ao fluido, e as perdas correspondem à perda de carga nas tubulações e acessórios, e H_1 e H_2 representam a carga total nos pontos inicial e final do escoamento, respectivamente, expressas em metros de coluna de água (m.c.a.). A carga total (H) em um dado ponto é definida por:

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + z \quad (59)$$

Nesta equação, o primeiro termo está associado à energia de pressão (carga de pressão), o segundo termo relaciona-se à energia cinética (carga de velocidade), e o último termo corresponde à energia potencial gravitacional (carga altimétrica ou de posição).

3.3.11 Dimensionamento da Bomba

Figura 3.8 – Desenho Esquemático da Rede Hidráulica.



$$H_1 = 0 \text{ m. c. a} \quad (60)$$

$$H_3 = 16 \text{ m. c. a} \quad (61)$$

$$H_4 = 1,3 \text{ m. c. a} \quad (62)$$

- Ponto 1 até ponto 2:

$$H_1 + Head - 132,153 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{Q_1}{3600 \cdot Kv_5} \right)^2 = H_2 \quad (63)$$

$$0 + Head - 132,153 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{42}{3600 \cdot 67,13} \right)^2 = H_2$$

- Ponto 2 até o ponto 3:

$$H_2 - 132,153 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{Q_2}{3600 \cdot Kv_3} \right)^2 = H_3 \quad (64)$$

$$H_2 - 132,153.10^6. \left(\frac{27}{3600.18,58} \right)^2 = 16$$

- Ponto 2 até o ponto 4:

$$H_2 - 132,153.10^6. \left(\frac{Q_3}{3600.Kv_4} \right)^2 = H_4 \quad (65)$$

$$H_2 - 132,153.10^6. \left(\frac{15}{3600.8,301} \right)^2 = 1,3$$

Resolvendo as Equações (64), (65) e (66), encontra-se a Equação (67).

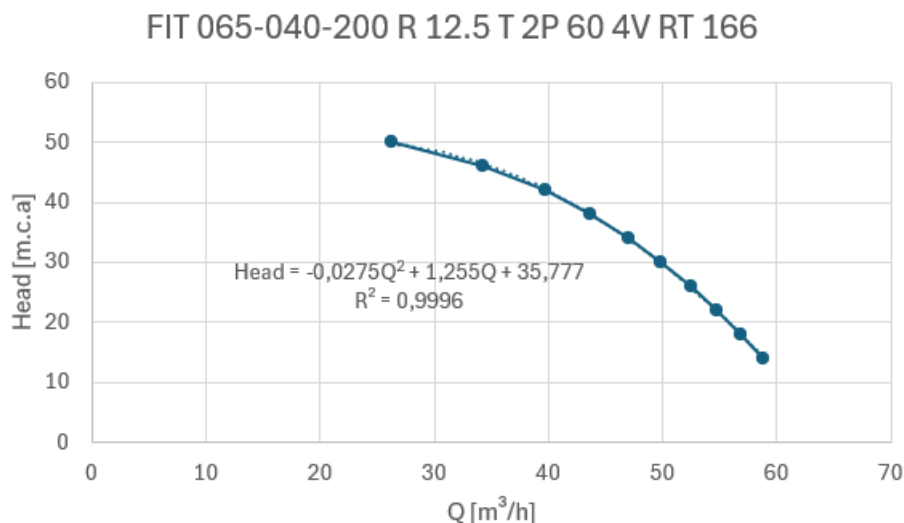
$$Head = 41,52 \text{ m.c.a} \quad (66)$$

Analisando o catálogo de bombas da marca Schneider Motobombas, foi selecionado o modelo FIT Monobloco 065-40-200 R 12.5 T 2P 60 4V RT 166, com um motor de 12,5 cv.

Tabela 3.9 – Catálogo de Seleção Schneider Motobombas.

MODELO	Potência (cv)	Ø Sucção (pol.)	Ø Recalque (pol.)	Ø Rotor (mm)	Altura máxima de sucção (m.c.a.)		Monofásico	Trifásico	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS														Pressão máxima sem vazão (m.c.a.)
									Altura Manométrica Total (m.c.a.)														
									14	18	26	30	34	42	56	62	70	74	78	82	96	98	
									Vazão em m³/h para água a 25 °C, ao nível do mar														
065-040-200 F/R/MANC	12,5	21/2	11/2	166	8	◆	◆	X	58,8	56,9	52,8	49,9	47,7	34,3	26,3								53
	15	21/2	11/2	177	8	◆	◆	X	*	61,1	59	56,7	54,2	51,3	44,1								59
	20	21/2	11/2	189	8	◆		X	*	*	66,2	64,2	59,7	54,3	51	47,3	36,4	24,5				72	
	25	21/2	11/2	201	8	◆		X	*	*	71,7	69,9	67,8	63,4	57,9	51	46,5	40,7	32,1			82	
	30	21/2	11/2	212	8	◆		X	*	*	75,8	73,8	71,7	69,5	64,6	61,7	58,6	55	50,8	48,5	25,8	92	

Fonte: Franklin Eletric, 2026.

Figura 3.9 – Curva Head x Vazão.

Ao aplicar o polinômio do segundo grau da curva da bomba às equações de energia, observa-se que as vazões entregues apresentam ligeira divergência em relação às esperadas no projeto. Contudo, essa diferença não compromete a operação do sistema, resultando nas seguintes vazões: Q_1 igual a 41,67 m³/h, Q_2 igual a 26,27 m³/h e Q_3 igual a 15,4 m³/h.

Esses cálculos foram realizados considerando o funcionamento simultâneo dos chuveiros automáticos e do hidrante mais desfavorável hidráulicamente. Por conseguinte, faz-se necessário verificar se a operação dos demais hidrantes atende às especificações normativas quando acionados isoladamente.

A partir da curva característica da bomba selecionada, efetuaram-se os cálculos para cada hidrante operando de forma isolada, cujos resultados encontram-se dispostos na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Vazões e Recalques dos Hidrantes Isolados.

Hidrante	1	2	3	4	5
Vazão (m³/h)	18,34	18,11	18,00	17,88	17,93
Head (m.c.a)	49,54	49,49	49,46	49,43	49,44
Comprimento (m)	4,211	40,977	58,195	78,281	70,785

Observa-se uma variação mínima de vazão e de pressão entre os hidrantes mais próximos e os mais distantes da bomba, o que demonstra a baixa influência do comprimento da tubulação na perda de carga do sistema. Por sua vez, a análise do sistema de chuveiros

automáticos operando de forma isolada indica uma vazão de 31,66 m³/h, confirmando o dimensionamento adequado da bomba hidráulica.

3.3.12 Bomba Jockey

O projeto contempla um sistema de combate a incêndio do tipo tubulação molhada, mantido continuamente pressurizado a 10 bar (100 m.c.a.). A rede conta com uma bomba jockey projetada para trabalhar acima do dobro da pressão de operação da bomba principal (4 bar / 40 m.c.a.). Sua função é compensar pequenas perdas de carga e vazamentos residuais, assegurando a pressão estática da tubulação sem interferir no acionamento do combate a incêndio.

Ao ocorrer a abertura de um hidrante ou chuveiro automático (*sprinkler*), a demanda de água gera uma queda brusca de pressão que supera a capacidade de vazão da bomba jockey. Ao atingir o patamar mínimo operacional, um pressostato dedicado aciona a bomba principal, garantindo a vazão e a pressão dinâmica necessárias para o sistema de combate. Dessa forma, a bomba *jockey* não interfere no dimensionamento da rede hidráulica de combate.

Sendo assim, a bomba modelo BPI ME-AL 1640V da marca Schneider foi selecionada.

Figura 3.10 – Dados da Bomba *Jockey*.

MODELO	Potência (cv)	Estágios	Monofásico	Trifásico	ØSucção (pol.)	ØRecalque (pol.)	Pressão máx sem vazo (m.c.a.)	ØRotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS															
									Altura Manométrica Total (m.c.a.)															
									15	20	20	35	40	45	50	60	70	75	80	85	95	100	105	110
									Vazão em m³/h para água a 25 °C, ao nível do mar															
BPI ME-AL 1640V	4	6	x	x	1	1	117	8	107	*	*	*	*	8,4	8	7,7	7,3	6,9	6,5	5,6	5	4,4	3,7	2,9

Fonte: Franklin Eletric, 2026.

3.3.13 Reserva de Incêndio

Considerando a condição de maior demanda, o tempo de funcionamento exigido antes da chegada dos bombeiros é de 30 minutos para os hidrantes e 90 minutos para os chuveiros automáticos. Desse modo, contemplando a operação simultânea inicial e a operação isolada dos *sprinklers* na hora final, o cálculo da Reserva Incêndio (*RI*) foi desenvolvido conforme a Equação (70).

$$RI = \left(\frac{Q_1 \cdot 1000}{60} \right) \cdot 30 + \left(\frac{Q_2 \cdot 1000}{60} \right) \cdot 60 \quad (67)$$

$$RI = \left(\frac{41,67 \cdot 1000}{60} \right) \cdot 30 + \left(\frac{26,33 \cdot 1000}{60} \right) \cdot 60$$

$$RI = 47165 \, l \quad (68)$$

3.3.14 Comparação Entre Modelos de Perda de Carga

Para fins de validação do metamodelo usado para calcular as perdas na tubulação, os métodos de Darcy-Weisbach e Hazen-Williams também foram aplicados paralelamente e seus resultados apresentados na Tabela 3.11

Tabela 3.11 – Resultados dos Modelos de Perda de Carga.

	$Q_1 (m^3/h)$	$Q_2 (m^3/h)$	$Q_3 (m^3/h)$	$Head (m.c.a)$
Darcy	41,73	26,33	15,40	40,26
Hazen-Williams	41,11	25,87	15,23	40,90
Metamodelo	41,67	26,27	15,40	40,32

Com base nos resultados da Tabela 3.11, é possível calcular o erro e o desvio padrão entre os modelos tradicionais e o modelo desenvolvido na universidade. Utilizando o metamodelo como referência, obtêm-se um erro de 0,130% e um desvio padrão de 0,092% em relação ao modelo de Darcy, e um erro de 1,352% e um desvio padrão de 0,959% em relação ao modelo de Hazen-Williams.

Dessa forma, se aplicados na prática, as diferenças entre os resultados seriam baixas, quando não imperceptíveis. No entanto, o metamodelo se sobressai pela simplicidade e pela menor quantidade de equações necessárias para sua resolução em comparação aos modelos tradicionais, como é possível verificar nos apêndices C, J e K, além de poder ser resolvido utilizando apenas caneta e papel.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho cumpriu satisfatoriamente o objetivo de projetar e dimensionar a rede de proteção contra incêndio por hidrantes e chuveiros automáticos (*sprinklers*) para o bloco 1JCG (Laboratório de Transferência de Calor e Massa e Usina Termoquímica Experimental) no Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). A relevância do projeto consolidou-se pela natureza crítica das atividades do local, voltadas à gaseificação de Combustível Derivado de Resíduo (CDR) e ao armazenamento de materiais com elevado potencial calorífico, como plásticos e biomassa.

A partir das diretrizes normativas do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) e da ABNT, a edificação foi classificada na divisão J-4 (depósito de material de alto

risco). Diante do cenário mais crítico simulado (armazenamento de plásticos a 4 metros de altura), determinou-se a necessidade de um sistema de hidrantes do Tipo 3. Adicionalmente, devido ao confinamento estrutural do reator e à altura do silo (12,5 metros), justificou-se tecnicamente o uso pioneiro de chuveiros automáticos de cobertura e resposta padrão (fator K 80) para garantir que as gotas vençam as correntes de convecção térmica e suprimam o fogo de forma imediata.

No âmbito dos cálculos hidráulicos, a aplicação do metamodelo baseado no coeficiente de vazão (K_v) por metro linear permitiu uma análise precisa das perdas de carga contínuas e localizadas em substituição aos métodos tradicionais. O dimensionamento integrado determinou uma vazão total de projeto de 42 m³/h em regime de funcionamento simultâneo (hidrante mais desfavorável e área de cálculo dos *sprinklers*). Com base em uma pressão requerida de 41,52 m.c.a, selecionou-se adequadamente o conjunto motobomba FIT Monobloco 065-40-200, com motor de 12,5 cv, cuja curva característica atende com segurança tanto à operação conjunta quanto aos hidrantes acionados de forma isolada. Por fim, a autonomia do sistema foi assegurada pelo cálculo da Reserva de Incêndio (RI), fixada em 47165 litros dimensionada para cobrir os tempos normatizados de combate.

O metamodelo apresentado neste trabalho mostra ser tão eficiente quanto métodos consagrados na literatura, apresentando diferenças ínfimas entre seus resultados, além de ser uma metodologia mais simples e mais direta de cálculo, facilitando o trabalho do engenheiro projetista. Ademais, o metamodelo não foi desenvolvido para este projeto em específico, podendo ser aplicado em futuros trabalhos de dimensionamento hidráulico, seja para indústria, residências ou comércio.

Em suma, as metodologias e soluções de engenharia propostas neste trabalho demonstram-se eficazes, viáveis e essenciais para mitigar os riscos de sinistros na Usina Termoquímica Experimental. O projeto assegura a preservação do patrimônio público da UFU, a continuidade das pesquisas científicas e, fundamentalmente, a proteção da integridade física de seus ocupantes.

REFERÊNCIAS

AÇOS POSITANO. **Medidas Técnicas ABNT NBR 5590**. 2026. Disponível em: <https://www.acospositano.com.br/tubo-de-aco-carbono-sch-40-nbr-5590-c-costura-apollo>. Acesso em: 02 jun. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5580**: Tubos de aço carbono para usos comuns na condução de fluidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10897**: Sistemas de proteção contra incêndio por chuveiros automáticos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16400**: Chuveiros automáticos para controle e supressão de incêndios. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Normas **NBR 5647 (1, 2, 3 e 4)**: Sistemas para adução e distribuição de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

FRANKLIN ELETRIC. **Catálogo de Seleção Schneider Motobombas**. 2026. Disponível em: <https://schneider.ind.br/>. Acesso em: 02 jun. 2026.

MGA. **Catálogo Válvula de Esfera**. 2024. Disponível em: <https://mga.com.br/>. Acesso em: 02 jun. 2026.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG). **Decreto Estadual nº 48.028**: Aprova o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico. Belo Horizonte, 2020.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG). **Instrução Técnica nº 09**: Carga de incêndio nas edificações e espaços destinados ao uso coletivo. Belo Horizonte, 2020.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG). **Instrução Técnica nº 17**: Sistema de hidrantes e mangotinhos para combate a incêndio. Belo Horizonte, 2022.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG). **Instrução Técnica nº 18**: Sistema de chuveiros automáticos. Belo Horizonte.

REAL FORTALEZA HIDRÁULICA INDUSTRIAL. **Dimensões Tubos de Cobre**. 2025. Disponível em: <https://www.realfortaleza.com.br/tabelas>. Acesso em: 02 jun. 2026.

THERMAL ENGINEERING. **Diagrama de Moody**. 2026. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-o-diagrama-moody-definicao/>. Acesso em: 02 jun. 2026.

TUPY. **Comprimento Equivalente das Válvulas**. 2009. Disponível em: <https://conexoes.tupy.com.br/pt/resources/catalogo-tecnico-completo-0a6bcd6b>. Acesso em: 02 jun. 2026.

UNIVAL. **Acoplamentos Ranhurados**. 2026. Disponível em: <https://www.unival.com.br/pt/post/conheca-os-modernos-acoplamentos-ranhurados>. Acesso em: 02 jun. 2026.

APÊNDICE A – CÁLCULO DO K_v DA VÁLVULA ANGULAR

```

D=76,1e-03-(2*3,75e-03)

nu=1,022e-06
e=5,186e-05

L=10

f=moodychart((4*Q)/(pi*D*nu); e/D)

P=10
P=f*(L/D)*(8*Q^2)/(pi^2*g*D^4)

Kv=Q*3600

```

Sendo:

- D: Diâmetro da tubulação;
- nu: Viscosidade Cinemática da água;
- e: Rugosidade do tubo de aço;
- L: Comprimento equivalente da válvula angular;
- f: Fator de atrito;
- P: Perda de carga;
- Q: Vazão

APÊNDICE B – DESENVOLVIMENTO DO METAMODELO

```

e=5,186e-05
nu=1,022e-06

v=2
n=1000
L=1

duplicate i=1;n

D[i]=9,24e-03+(i-1)*(977,9e-03-9,24e-03)/(n-1)
A[i]=pi#*D[i]^2/4
Q[i]=v*A[i];
f[i]=moodychart((4*Q[i])/(pi#*D[i]*nu); e/D[i])
deltaH[i]=f[i]*(L/D[i])*(8*Q[i]^2)/(pi#^2*g#*D[i]^4)
deltaP[i]=(deltaH[i]*1000*g#)*convert(Pa;bar)
Q[i]*3600=Kv[i]*sqrt(deltaP[i])
1/Kv[i]^2=L/Kv|star[i]^2

end

Call CURVEFIT1D('POWER';D[1..n];Kv|star[1..n]:c[1..2])

```

Sendo:

- V: Velocidade de escoamento;
- n: Número de iterações;
- deltaH: Perda de carga em m.c.a;
- deltaP: Perda de carga em bar;
- Kv: Coeficiente de vazão equivalente;
- Kv|star: Coeficiente de vazão por metro
- c[1]: Coeficiente a da equação do metamodelo;
- c[2]: Coeficiente b da equação do metamodelo

APÊNDICE C – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE + *SPRINKLERS*

```

L[1]=25,345
L[2]=18,555
L[3]=52,936
L|star[2]=2,852

Q[1]=Q[2]+Q[3]
//Q[2]=27
Q|star[2]=Q[2]/2
//Q[3]=15

D[1]=0,0686
D[2]=0,0528

A[1]=(pi*D[1]^2)/4
A[2]=(pi*D[2]^2)/4

Q[1]/3600=V[1]*A[1]
Q[2]/3600=V[2]*A[1]
Q|star[2]/3600=V|star[2]*A[2]
Q[3]/3600=V[3]*A[1]

Kv_metro[1]=374404,06*D[1]^2,607
Kv_metro[2]=368987,81*D[1]^2,608
Kv|star_metro[2]=368987,81*D[2]^2,608
Kv_metro[3]=357094,39*D[1]^2,610

Kv_bico=9,57
Kv_sprinkler=4,8
Kv_esfera=305
Kv_angular=111,6
Kv_mangueira=99,67

"Calculando o Kv do Trecho 1"

1/Kv[1]^2=L[1]/Kv_metro[1]^2+1/Kv_esfera^2

"Calculando o Kv do Trecho 2"

1/Kv|star[2]^2=L|star[2]/Kv|star_metro[2]^2+1/(2*Kv_sprinkler)^2
1/Kv[2]^2=L[2]/Kv_metro[2]^2+1/(2*Kv|star[2])^2

"Calculando o Kv do Trecho 3"

1/Kv[3]^2=L[3]/Kv_metro[3]^2+1/Kv_angular^2+30/Kv_mangueira^2+1/Kv_bico^2

H[1]=0
H[3]=16
H[4]=1,3

Head=-0,0275*Q[1]^2+1,255*Q[1]+35,777

H[1]+Head-132,153e+06*((Q[1]/3600)/Kv[1])^2=H[2]
H[2]-132,153e+06*((Q[2]/3600)/Kv[2])^2=H[3]
H[2]-132,153e+06*((Q[3]/3600)/Kv[3])^2=H[4]

RI=Q[1]*convert(m^3/h;l/min)*30+Q[2]*convert(m^3/h;l/min)*60

```

APÊNDICE D – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO SISTEMA DE *SPRINKLERS*

$$L=43,9$$

$$D=0,0686$$

$$Kv_{\text{tubo}}=368987,81 \cdot D^{2,608}$$

$$Kv_{\text{sprinkler}}=18,58$$

$$Kv_{\text{esfera}}=305$$

"Calculando o Kv total do sistema"

$$1/Kv_1^2 = L/Kv_{\text{tubo}}^2 + 1/Kv_{\text{sprinkler}}^2 + 1/Kv_{\text{esfera}}^2$$

$$H[1]=0$$

$$H[2]=16$$

$$\text{Head} = -0,0275 \cdot Q^2 + 1,255 \cdot Q + 35,777$$

$$H[1] + \text{Head} - 132,153e+06 \cdot ((Q/3600)/Kv_1)^2 = H[2]$$

APÊNDICE E – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 1

$$L=4,211$$

$$D=0,0686$$

$$Kv_{\text{tubo}}=357094,39 \cdot D^{2,610}$$

$$Kv_{\text{bico}}=9,57$$

$$Kv_{\text{esfera}}=305$$

$$Kv_{\text{angular}}=111,6$$

$$Kv_{\text{mangueira}}=99,67$$

"Calculando o Kv total"

$$1/Kv_1^2 = L/Kv_{\text{tubo}}^2 + 1/Kv_{\text{esfera}}^2 + 1/Kv_{\text{angular}}^2 + 30/Kv_{\text{mangueira}}^2 + 1/Kv_{\text{bico}}^2$$

$$H[1]=0$$

$$H[2]=1,3$$

$$\text{Head} = -0,0275 \cdot Q^2 + 1,255 \cdot Q + 35,777$$

$$H[1] + \text{Head} - 132,153e+06 \cdot ((Q/3600)/Kv_1)^2 = H[2]$$

APÊNDICE F – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 2

$$L=40,977$$

$$D=0,0686$$

$$Kv_{\text{tubo}}=357094,39 \cdot D^{2,610}$$

$$Kv_{\text{bico}}=9,57$$

$$Kv_{\text{esfera}}=305$$

$$Kv_{\text{angular}}=111,6$$

$$Kv_{\text{mangueira}}=99,67$$

"Calculando o Kv total"

$$1/Kv_1^2 = L/Kv_{\text{tubo}}^2 + 1/Kv_{\text{esfera}}^2 + 1/Kv_{\text{angular}}^2 + 30/Kv_{\text{mangueira}}^2 + 1/Kv_{\text{bico}}^2$$

$$H[1]=0$$

$$H[2]=1,3$$

$$\text{Head} = -0,0275 \cdot Q^2 + 1,255 \cdot Q + 35,777$$

$$H[1] + \text{Head} - 132,153 \cdot 10^6 \cdot ((Q/3600)/Kv_1)^2 = H[2]$$

APÊNDICE G – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 3

$L=58,195$

$D=0,0686$

$Kv_{tubo}=357094,39 \cdot D^{2,610}$

$Kv_{bico}=9,57$

$Kv_{esfera}=305$

$Kv_{angular}=111,6$

$Kv_{mangueira}=99,67$

"Calculando o Kv total"

$1/Kv_1^2 = L/Kv_{tubo}^2 + 1/Kv_{esfera}^2 + 1/Kv_{angular}^2 + 30/Kv_{mangueira}^2 + 1/Kv_{bico}^2$

$H[1]=0$

$H[2]=1,3$

$Head = -0,0275 \cdot Q^2 + 1,255 \cdot Q + 35,777$

$H[1] + Head - 132,153e+06 \cdot ((Q/3600)/Kv_1)^2 = H[2]$

APÊNDICE H – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 4

$$L=78,281$$

$$D=0,0686$$

$$Kv_{\text{tubo}}=357094,39 \cdot D^{2,610}$$

$$Kv_{\text{bico}}=9,57$$

$$Kv_{\text{esfera}}=305$$

$$Kv_{\text{angular}}=111,6$$

$$Kv_{\text{mangueira}}=99,67$$

$$1/Kv_1^2 = L/Kv_{\text{tubo}}^2 + 1/Kv_{\text{esfera}}^2 + 1/Kv_{\text{angular}}^2 + 30/Kv_{\text{mangueira}}^2 + 1/Kv_{\text{bico}}^2$$

$$H[1]=0$$

$$H[2]=1,3$$

$$\text{Head} = -0,0275 \cdot Q^2 + 1,255 \cdot Q + 35,777$$

$$H[1] + \text{Head} - 132,153 \cdot 10^6 \cdot ((Q/3600)/Kv_1)^2 = H[2]$$

APÊNDICE I – CÁLCULOS HIDRÁULICOS DO HIDRANTE 5

$L=70,785$

$D=0,0686$

$Kv_{\text{tubo}}=357094,39 \cdot D^{2,610}$

$Kv_{\text{bico}}=9,57$

$Kv_{\text{esfera}}=305$

$Kv_{\text{angular}}=111,6$

$Kv_{\text{mangueira}}=99,67$

"Calculando o Kv total"

$1/Kv_1^2 = L/Kv_{\text{tubo}}^2 + 1/Kv_{\text{esfera}}^2 + 1/Kv_{\text{angular}}^2 + 30/Kv_{\text{mangueira}}^2 + 1/Kv_{\text{bico}}^2$

$H[1]=0$

$H[2]=1,3$

$Head = -0,0275 \cdot Q^2 + 1,255 \cdot Q + 35,777$

$H[1] + Head - 132,153e+06 \cdot ((Q/3600)/Kv_1)^2 = H[2]$

APÊNDICE J – CÁLCULO DA PERDA DE CARGA POR DARCY

```

e=5,186e-05
nu=1,022e-06

L[1]=25,345
L[2]=17,507
L[3]=1,502
L[5]=1,350
L[7]=1,048
L[8]=L[3]
L[10]=L[5]
L[12]=52,936

Q[1]=Q[2]+Q[12]
Q[2]=Q[7]+Q[3]
Q[3]=Q[4]+Q[5]
Q[5]=Q[6]
Q[7]=Q[8]
Q[8]=Q[9]+Q[10]
Q[10]=Q[11]
//Q[2]=27
//Q[4]=6,75
//Q[6]=Q[4]
//Q[9]=Q[4]
//Q[11]=Q[4]
//Q[12]=15

D[1]=0,0686
D[2]=0,0528

"Coeficientes de Vazão"

Kv_bico=9,57
Kv_sprinkler=4,8
Kv_esfera=305
Kv_angular=111,6
Kv_mangueira=99,67

"Fatores de Atrito"

f[1]=moodychart((4*(Q[1]/3600))/(pi#*D[1]*nu); e/D[1])
f[2]=moodychart((4*(Q[2]/3600))/(pi#*D[1]*nu); e/D[1])
f[3]=moodychart((4*(Q[3]/3600))/(pi#*D[2]*nu); e/D[2])
f[5]=moodychart((4*(Q[5]/3600))/(pi#*D[2]*nu); e/D[2])
f[7]=moodychart((4*(Q[7]/3600))/(pi#*D[1]*nu); e/D[1])
f[8]=moodychart((4*(Q[8]/3600))/(pi#*D[2]*nu); e/D[2])
f[10]=moodychart((4*(Q[10]/3600))/(pi#*D[2]*nu); e/D[2])
f[12]=moodychart((4*(Q[12]/3600))/(pi#*D[1]*nu); e/D[1])

"Coeficientes de Vazão em Cada Trecho"

Kv[1]=Kv_esfera
Kv[4]=Kv_sprinkler
Kv[6]=Kv[4]
Kv[9]=Kv[4]
Kv[11]=Kv[4]
1/Kv[12]^2=1/Kv_angular^2+30/Kv_mangueira^2+1/Kv_bico^2

```

"Perdas de Carga em Cada Trecho"

```

DELTA_H[1]=10,197*(Q[1]/Kv[1])^2+f[1]*(L[1]/D[1])*(8*(Q[1]/3600)^2)/(pi#^2*g#*D[1]^4)
DELTA_H[2]=f[2]*(L[2]/D[1])*(8*(Q[2]/3600)^2)/(pi#^2*g#*D[1]^4)
DELTA_H[3]=f[3]*(L[3]/D[2])*(8*(Q[3]/3600)^2)/(pi#^2*g#*D[2]^4)
DELTA_H[4]=10,197*(Q[4]/Kv[4])^2
DELTA_H[5]=f[5]*(L[5]/D[2])*(8*(Q[5]/3600)^2)/(pi#^2*g#*D[2]^4)
DELTA_H[6]=10,197*(Q[6]/Kv[6])^2
DELTA_H[7]=f[7]*(L[7]/D[1])*(8*(Q[7]/3600)^2)/(pi#^2*g#*D[1]^4)
DELTA_H[8]=f[8]*(L[8]/D[2])*(8*(Q[8]/3600)^2)/(pi#^2*g#*D[2]^4)
DELTA_H[9]=10,197*(Q[9]/Kv[9])^2
DELTA_H[10]=f[10]*(L[10]/D[2])*(8*(Q[10]/3600)^2)/(pi#^2*g#*D[2]^4)
DELTA_H[11]=10,197*(Q[11]/Kv[11])^2
DELTA_H[12]=10,197*(Q[12]/Kv[12])^2+f[12]*(L[12]/D[1])*(8*(Q[12]/3600)^2)/(pi#^2*g#*D[1]^4)

```

"Equações dos Nós"

```

H[1]+Head-DELTA_H[1]=H[2]
H[2]-DELTA_H[2]=H[3]
H[3]-DELTA_H[3]=H[4]
H[4]-DELTA_H[4]=H[5]
H[4]-DELTA_H[5]=H[6]
H[6]-DELTA_H[6]=H[7]
H[3]-DELTA_H[7]=H[8]
H[8]-DELTA_H[8]=H[9]
H[9]-DELTA_H[9]=H[10]
H[9]-DELTA_H[10]=H[11]
H[11]-DELTA_H[11]=H[12]
H[2]-DELTA_H[12]=H[13]
H[1]=0
H[5]=16
H[7]=16
H[10]=16
H[12]=16
H[13]=1,3

```

```
Head=-0,0275*Q[1]^2+1,255*Q[1]+35,777
```

APÊNDICE K – CÁLCULO DA PERDA DE CARGA POR HAZEN-WILLIAMS

```

L[1]=25,345
L[2]=17,507
L[3]=1,502
L[5]=1,350
L[7]=1,048
L[8]=L[3]
L[10]=L[5]
L[12]=52,936

Q[1]=Q[2]+Q[12]
Q[2]=Q[7]+Q[3]
Q[3]=Q[4]+Q[5]
Q[5]=Q[6]
Q[7]=Q[8]
Q[8]=Q[9]+Q[10]
Q[10]=Q[11]
//Q[2]=27
//Q[4]=6,75
//Q[6]=Q[4]
//Q[9]=Q[4]
//Q[11]=Q[4]
//Q[12]=15

D[1]=0,0686
D[2]=0,0528

"Coeficiente de Hazen-Williams"

C=120

"Coeficientes de Vazão em Cada Trecho"

Kv[1]=Kv_esfera
Kv[4]=Kv_sprinkler
Kv[6]=Kv[4]
Kv[9]=Kv[4]
Kv[11]=Kv[4]
1/Kv[12]^2=1/Kv_angular^2+30/Kv_mangueira^2+1/Kv_bico^2

"Perdas de Carga em Cada Trecho"

DELTA_H[1]=10,197*(Q[1]/Kv[1])^2+2,883e-06*L[1]*(Q[1]^1,85/(C^1,85*D[1]^4,87))
DELTA_H[2]=2,883e-06*L[2]*(Q[2]^1,85/(C^1,85*D[1]^4,87))
DELTA_H[3]=2,883e-06*L[3]*(Q[3]^1,85/(C^1,85*D[2]^4,87))
DELTA_H[4]=10,197*(Q[4]/Kv[4])^2
DELTA_H[5]=2,883e-06*L[5]*(Q[5]^1,85/(C^1,85*D[2]^4,87))
DELTA_H[6]=10,197*(Q[6]/Kv[6])^2
DELTA_H[7]=2,883e-06*L[7]*(Q[7]^1,85/(C^1,85*D[1]^4,87))
DELTA_H[8]=2,883e-06*L[8]*(Q[8]^1,85/(C^1,85*D[2]^4,87))
DELTA_H[9]=10,197*(Q[9]/Kv[9])^2
DELTA_H[10]=2,883e-06*L[8]*(Q[10]^1,85/(C^1,85*D[2]^4,87))
DELTA_H[11]=10,197*(Q[11]/Kv[11])^2
DELTA_H[12]=10,197*(Q[12]/Kv[12])^2+2,883e-
06*L[12]*(Q[12]^1,85/(C^1,85*D[1]^4,87))

"Equações dos Nós"

```

```
H[1]+Head-DELTA_H[1]=H[2]
H[2]-DELTA_H[2]=H[3]
H[3]-DELTA_H[3]=H[4]
H[4]-DELTA_H[4]=H[5]
H[4]-DELTA_H[5]=H[6]
H[6]-DELTA_H[6]=H[7]
H[3]-DELTA_H[7]=H[8]
H[8]-DELTA_H[8]=H[9]
H[9]-DELTA_H[9]=H[10]
H[9]-DELTA_H[10]=H[11]
H[11]-DELTA_H[11]=H[12]
H[2]-DELTA_H[12]=H[13]
H[1]=0
H[5]=16
H[7]=16
H[10]=16
H[12]=16
H[13]=1,3

Head=-0,0275*Q[1]^2+1,255*Q[1]+35,777
```