

GUILHERME RIBEIRO SILVA

**COMISSIONAMENTO DE UMA REDE
DE HIDRANTES DE UM FRIGORÍFICO**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2018

GUILHERME RIBEIRO SILVA

**COMISSIONAMENTO DE UMA REDE
DE HIDRANTES DE UM FRIGORÍFICO**

Trabalho de conclusão 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 a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Mecânica.**

Área de concentração: Mecânica dos Fluidos

Orientador: Prof. Dr. Valério Luiz Borges

UBERLÂNDIA - MG

2018

GUILHERME RIBEIRO SILVA

**COMISSIONAMENTO DE UMA REDE
DE HIDRANTES DE UM FRIGORÍFICO**

Trabalho de conclusão de curso **APROVADO**
pela Faculdade de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia.

Área de concentração: Mecânica dos Fluidos

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Valério Luiz Borges – FEMEC – UFU – Orientador

Prof. Dr. Edson Alves Figueira Junior – ESAMC

Msc. José Silvio Pessoa Filho

UBERLÂNDIA - MG

2018

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais e avós pelo apoio
imensurável dado a mim.*

AGRADECIMENTOS

A meus pais pelos sábios conselhos e aporte que me ajudaram durante o curso.

A meus avós pelo carinho e amor.

A minha irmã pelo companheirismo.

A minha namorada pela ajuda nos estudos e por me proporcionar momentos de extrema alegria.

Ao professor Valério pela disposição para me orientar neste trabalho e ampliar minha visão sobre a engenharia.

SILVA, G. R. **COMISSIONAMENTO DE UMA REDE DE HIDRANTES DE UM FRIGORÍFICO.**
2018, 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia – MG.

Resumo

Comissionamento é uma das formas de avaliar o desempenho de equipamentos e instalações. Neste trabalho, é realizado o comissionamento de uma rede composta por 20 hidrantes de um frigorífico. Para isso, foi feito um estudo das legislações vigentes aplicáveis a sistema de hidrantes, em seguida uma modelagem hidráulica e uma simulação computacional para obtenção dos resultados. Foi verificado que o sistema atende à legislação quanto às vazões mínimas em cada hidrante, porém a tubulação de sucção encontra-se em desacordo com a legislação.

Palavras-Chave: Projeto de combate a incêndio. Instrução Técnica. Simulação.

SILVA, G. R. **COMMISSIONING OF A HYDRANT NETWORK IN A MEAT FACTORY**. 2018, 55 f. Monograph, Federal University of Uberlandia – MG.

Abstract

Commissioning is one way of assessing the performance of equipment and facilities. In this paper, the commissioning of a network consisting of 20 hydrants of a meat factory is carried out. For this, a study was made of the current legislations applicable to hydrant systems, followed by hydraulic modeling and a computational simulation to obtain the results. It was verified that the system meets the legislation regarding the minimum flows in each hydrant, but the suction pipe is in disagreement with the legislation.

Keywords: Fire fighting project. Technical Instruction. Simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista superior da indústria frigorífica.....	4
Figura 2 - Sala de bombas (Situação anterior).	5
Figura 3 - Painel da central de alarme e monitoramento.	6
Figura 4 - Hidrante e abrigo metálico.....	6
Figura 5 - Especificações da mangueira de incêndio (Flexcasty, 2018).	7
Figura 6 - Esguicho de jato compacto.....	7
Figura 7 - Tipo de Sistema e Volume de Reserva de Incêndio mínima (IT 17 – CBMMG, 2009).	12
Figura 8 – Exigências mínimas para cada tipo de sistema (IT 17 – CBMMG, 2009).	12
Figura 9 - Componentes para cada tipo de sistema (IT 17 – CBMMG, 2009).	13
Figura 10 - Esquema de uma tubulação.	15
Figura 11 - Esquema de tubulação com uma bomba.	16
Figura 12 - Curva característica da bomba KSB Megabloc 32-200 (KSB, 2018).	17
Figura 13 - Ajuste da curva característica da bomba KSB Megabloc 32-200.	17
Figura 14 - Esquema de hidrantes em funcionamento simultâneo.	18
Figura 15 - Gráfico de perda de carga da mangueira em função da vazão (Kidde, 2018).	19

Figura 16 - Ajuste da curva da perda de carga na mangueira em função da vazão.....	20
Figura 17 - Comparação da perda de carga na mangueira.	21
Figura 18 - Valores de vazão para cada diferencial de pressão no esguicho de jato compacto (Akron Brass, 2018).	22
Figura 19 - Ajuste da curva para os valores destacados na figura 18.	23
Figura 20 - Comprimentos Equivalentes em Conexões (SCHNEIDER MOTOBOMBAS, 2016).	26
Figura 21 - Diâmetros nominais dos tubos (NBR 5580).....	28
Figura 22 – Ponto de operação da bomba para o caso mais desfavorável. ...	33
Figura 23 - Tubulação de sucção.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área das 25 ocupações.....	10
Tabela 2 - Classificação das edificações quanto à ocupação de acordo com o decreto Estadual nº44270/06 e a carga de incêndio.	11
Tabela 3 - Vazões mínimas para cada ocupação do frigorífico.....	13
Tabela 4 - Diâmetro, conexões e comprimentos equivalentes de cada trecho da tubulação conforme desenho isométrico.....	27
Tabela 5 - Resultados obtidos para hidrante 1 e 2.....	29
Tabela 6 - Vazão volumétrica em cada hidrante (lpm).	32
Tabela 7 - Vazão volumétrica para o caso mais desfavorável utilizando a bomba antiga.	33

LISTA DE SÍMBOLOS

q_f	Valor da carga de incêndio específica	[MJ/m ²]
M_i	Massa total de cada componente i do material combustível	[kg]
h_i	Potencial calorífico específico de cada componente i	[MJ/kg]
A_f	Área do piso do compartimento	[m ²]
H_i	Energia total no nó “i”	[m]
P	Pressão	[Pa]
V	Velocidade	[m/s]
γ	Peso específico	[N/m ³]
ρ	Massa específica	[kg/m ³]
g	Gravidade	[m/s ²]
z	Cota de altura	[m]
ΔH_{perdas}	Perda de carga	[m]
D	Diâmetro	[m]
A	Área	[m ²]
f	Fator de atrito	[-]
L	Comprimento do tubo	[m]
L_E	Comprimento equivalente dos acessórios	[m]

K Coeficiente de perda de carga	[-]
Q Vazão volumétrica	[m ³ /s]
ε Rugosidade absoluta	[m]
ν Viscosidade cinemática	[m ² /s]
ΔH_{ganho} Ganho de energia	[m]
h_{RI} Altura do reservatório de incêndio	[m]
C_v Coeficiente de fluxo	[gpm/psi ^{1/2}]
K_v Coeficiente de fluxo	[m ³ /h/bar ^{1/2}]
A_e Área do esguicho	[m ²]

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	COMISSIONAMENTO.....	1
2.	OBJETIVO.....	3
3.	APRESENTAÇÃO DO CASO.....	4
4.	COMISSIONAMENTO.....	9
4.1	ESTUDO PRELIMINAR.....	9
4.2	MODELAGEM.....	15
4.3	RESULTADOS.....	30
4.4	ANÁLISE DE ERROS.....	34
5	CONCLUSÃO.....	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
	ANEXO 1 - Folha de cálculo da empresa.....	39
	ANEXO 2 - Desenho isométrico da rede de hidrantes.....	40
	ANEXO 3 Planta Geral.....	41
	ANEXO 4 Curva característica da bomba antiga.....	42

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, não existe um órgão oficial que busca a compilação e divulgação de eventos de incêndio, o que prejudica o estudo e a concepção de políticas públicas e legislação para confrontação do problema. (SPRINKLER, 2017)

Em 2017, o Instituto Sprinkler Brasil (ISB) realizou um levantamento de casos de incêndio noticiados pela imprensa no país, e contabilizou-se 724 episódios de incêndios, sendo o maior número de registros em comércios, com o total de 286 ocorrências, em seguida a indústria, com 153 ocorrências, e em terceiro lugar os depósitos, com 77 ocorrências.

O ISB entende que muitos dessas ocorrências poderiam ser evitados caso houvesse um sistema eficaz de segurança contra incêndio.

Dentro dos casos de incêndio na indústrias estão os episódios ocorridos em frigoríficos, como o registrado em Erval Velho, Santa Catarina, onde um incêndio destruiu a área de defumação e feriu sete pessoas. (Globo, 2017)

Fica evidente a necessidade de estudos em relação a formas de combate a incêndios e a implementação desses sistemas para que se possa reduzir estes números.

1.1 COMISSIONAMENTO

Segundo o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA, 2007), o comissionamento é atividade técnica que consiste em conferir, testar e avaliar o funcionamento de máquinas, equipamentos ou instalações, nos seus componentes ou no conjunto, de forma a permitir ou autorizar o seu uso em condições normais de operação.

Segundo Brito ET. AL. (2010), comissionamento pode ser definido como “conjunto estruturado de conhecimentos, práticas e habilidades aplicável a produtos complexos de engenharia com o objetivo de assegurar a transferência da

unidade industrial do construtor para o operador de forma rápida, ordenada e segura, certificando sua operabilidade em termos de desempenho, confiabilidade e rastreabilidade de informações”.

Para Verri (2013), comissionamento é um conjunto de atividades destinadas à preservação e à verificação de funcionalidade de itens e sistemas, sendo caracterizado por testes, verificações, aferições, calibrações, ajustes e testes de simulação.

2. OBJETIVO

Comissionar, por meio de simulação computacional, um sistema de combate a incêndio composto por 20 hidrantes de uma indústria frigorífica.

3. APRESENTAÇÃO DO CASO

O problema em questão consiste em comissionar o projeto de um sistema de hidrantes de uma indústria frigorífica, situada em Minas Gerais. A empresa prestadora do serviço foi contratada para ampliar a rede de hidrantes para contemplar as novas edificações da planta, aumentando a quantidade de hidrantes de 16 para 20. Além disso, a empresa teve de refazer a central de alarme de monitoramento, instalar uma nova bomba *jockey* e trocar a bomba principal por uma mais potente para se adequar às normas, conforme os cálculos da empresa. A figura 1 mostra a vista superior da indústria.



Figura 1 - Vista superior da indústria frigorífica.

Inicialmente, o sistema de incêndio não estava apto para o funcionamento, não possuindo uma bomba *jockey* e o sistema de alarme e automação estava inoperante. A figura 2 mostra a situação da sala de bombas anteriormente, nota-se a ausência da bomba *jockey*, a bomba principal é da marca KSB, modelo Megabloc 40-160, rotor de 166 mm de diâmetro, com motor de 2 polos, 3500 rpm e 15 cv de potência.



Figura 2 - Sala de bombas (Situação anterior).

A empresa contratada alterou o sistema, atualmente composto de um conjunto de duas bombas, sendo uma bomba monobloco KSB modelo Megabloc N 32-200, ferro fundido, vedação selo mecânico simples, rotor de 209 mm de diâmetro, acoplada ao motor WEG/W22 20cv 220/380/440V, trifásico, 3500rpm, 20 cv de potência, equipado com uma válvula controladora de nível, e todo o sistema é pressurizado por meio de uma bomba *jockey* Marca KSB, modelo MA 202 de 2 CV – trifásica. Todos esses conjuntos são assistidos por uma central de alarme de monitoramento, montada em painel metálico, com um carregador/retificador de baterias, um banco de baterias e uma fonte 24 Vcc para alimentação das baterias. A figura 3 mostra o painel da central de alarme e monitoramento.

Os hidrantes são equipados com abrigo metálico para a mangueira, dois lances de mangueiras do tipo 3 de $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ " (40 mm) e 30 m de comprimento da marca Flexcasty, válvula de bronze angular de $\varnothing 2 \frac{1}{2}$ ", esguicho de jato compacto de 16 mm e duas chaves para hidrante para o engate rápido. A figura 4 mostra um hidrante e o abrigo metálico do frigorífico.

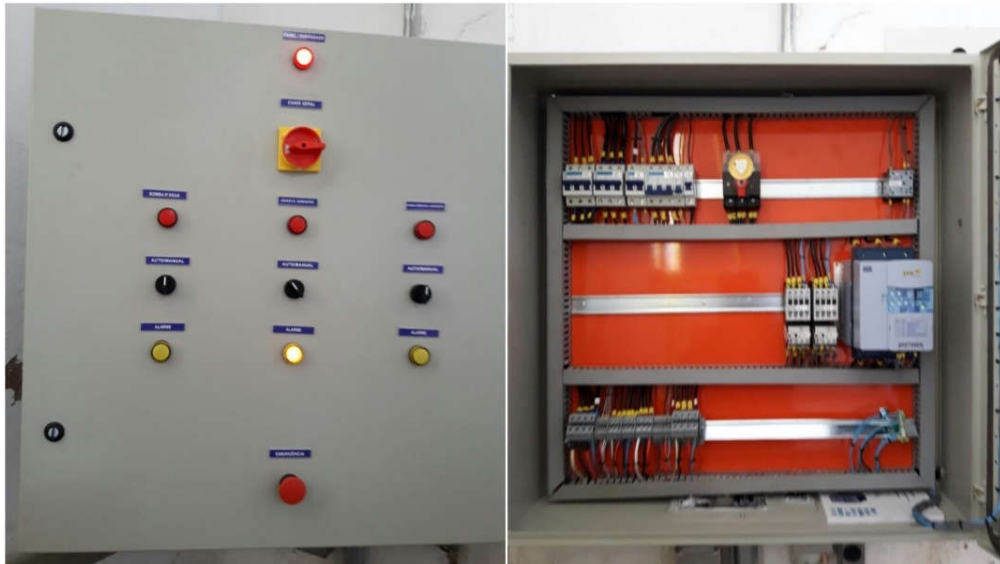


Figura 3 - Painel da central de alarme e monitoramento.



Figura 4 - Hidrante e abrigo metálico.

As mangueiras devem ser confeccionadas de acordo com a NBR 11861 (Mangueira de incêndio - Requisitos e métodos de ensaio). Elas possuem três

camadas de materiais, sendo a interna composta de tubo de borracha, a lona interna de poliéster e outra lona externa também de poliéster. A figura 5 mostra as especificações fornecidas pela fabricante Flexcasty. O esguicho é de jato compacto, com Engate Rápido (Storz) 1.1/2" em Latão Fundido NBR 6941, tubo cilíndrico em Latão e requinte fixo de 16 mm. A figura 6 mostra o esguicho em questão.

MANGUEIRA FLEXCASTY - TIPO 3



Produto Certificado Portaria inmetro Nº 148/2015

Diâmetro	Pressão de trabalho	Pressão de Teste	Pressão de Ruptura
1.1/2"	15 Kgf/cm ²	30 Kgf/cm ²	Acima 63 Kgf/cm ²
2.1/2"	15 Kgf/cm ²	30 Kgf/cm ²	Acima 63 Kgf/cm ²

DESCRIÇÃO: A mangueira Flexcasty tipo 3 é confeccionada respeitando todos os requisitos da norma ABNT-NBR 11861. Seu reforço têxtil duplo é confeccionado 100% em fios de poliéster de alta tenacidade. A Flexcasty tipo 3 está disponível na cor branca e com tubo interno de borracha sintética. Em suas extremidades são acoplados uniões de engate rápido (Storz). Lances de 15, 20, 25 e 30 metros.

TIPOLOGIA: Aplicação destinada para uma maior resistência a abrasão. Utilizada em áreas industriais ou corpo de bombeiros, onde a pressão não ultrapasse 15 kgf/cm².



Figura 5 - Especificações da mangueira de incêndio (Flexcasty, 2018).



Figura 6 - Esguicho de jato compacto.

A tabela no anexo 1 mostra a folha de cálculo da rede de hidrantes do frigorífico feita pela empresa. Nela contém as informações referentes à perda de carga em cada trecho da tubulação e nas mangueiras, bem como as vazões em cada esguicho e pressões disponíveis nos pontos entre outras informações. Nota-se que existem quatro trechos, a saber, H1-A, H2-A, A-EB e IB-RI. O trecho IB-RI representa o trecho da reserva de incêndio até à introdução da bomba, A-EB da expedição da bomba até ao ponto A, que é o ponto onde o fluxo de água é dividido para ir aos dois hidrantes, H1-A do ponto A até ao hidrante 1 e H2-A do ponto A até ao hidrante 2.

O dimensionamento feito pela empresa prestadora do serviço tomou como hidrantes mais desfavoráveis os hidrantes 18 e 19 e o ponto A é o ponto 34 conforme numerações mostradas no desenho isométrico no Anexo 2. Nota-se na tabela do anexo 1 que a vazão obtida no hidrante 18 foi de 250 lpm, enquanto no hidrante 19 foi de 264,61 lpm. Os cálculos da empresa foram feitos por meio do software CADDPROJ Fire System da empresa Highlight.

4. COMISSONAMENTO

4.1 ESTUDO PRELIMINAR

A área total edificada mede 14.600,57 m², distribuídos em 25 ambientes cujas áreas estão descritas na tabela 1. Encontra-se no Anexo 3 a planta geral com a localização de cada área numerada.

É necessário, a priori, a determinação do tipo de ocupação e carga de incêndio de cada edificação, definidos pelo tipo de uso do estabelecimento, para que então se possa encontrar a vazão necessária em cada hidrante. A Instrução Técnica 09 (IT 09) do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) fornece uma tabela de cargas de incêndio específicas por ocupação, assim como um método para levantamento da carga de incêndio específica às edificações destinadas a depósitos.

A tabela 2 indica a classificação das edificações quanto à ocupação, de acordo com o Decreto Estadual nº 44.270/06, e a carga de incêndio, de acordo com a IT 09.

As cargas de incêndio específicas do Depósito de Materiais (06), da edificação das Caldeiras (09) e do Depósito de Embalagens (14) devem ser calculadas, conforme ao anexo B da referida IT, pela seguinte fórmula:

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

Onde:

q_{fi} – Valor da carga de incêndio específica, em megajoule por metro quadrado de área de piso;

M_i – Massa total de cada componente i do material combustível, em quilograma.

h_i – Potencial calorífico específico de cada componente i do material combustível, em megajoule por quilograma, conforme tabela B.1;

A_f – Área do piso do compartimento, em metro quadrado;

Tabela 1 - Área das 25 ocupações.

AMBIENTE	ÁREA (m ²)
01 - PORTARIA	22,14
02 - BALANÇA	22,14
03 - ADMINISTRAÇÃO	531,60
04 - INSPEÇÃO FEDERAL	122,10
05 - REFEITÓRIO	425,91
06 - DEPÓSITO DE MATERIAIS	171,50
07 - VESTIÁRIO/LAVANDERIA	419,18
08 - OFICINA e ANEXOS	900,15
09 - CALDEIRAS	212,80
10 - ANÁLISE	134,66
11 - INDÚSTRIA	7.794,76
12 - GRAXARIA	1.470,45
13 - SALA de MÁQUINAS	444,61
14 - DEPÓSITO EMBALAGENS	916,27
15 - MATADOURO SANITÁRIO	120,62
16 - NECRÓPSIA	44,39
17 - BALANÇA dos CURRAIS	15,78
18 - LAVADOR	209,78
19 - RECEBIMENTO	16,39
20 - SUB-ESTAÇÃO	28,57
21 - E.T.A.	75,60
22 - RELÓGIO de PONTO	61,28
23 - CASA de BOMBAS	19,09
24 - DESCANSO DESOSSA	270,80
25 - ETA	150,00

Juntamente com a IT 17, que trata a respeito do sistema de hidrantes e mangotinhos, pode-se obter as vazões mínimas necessárias nos pontos de hidrantes para cada edificação. Para isso, necessita-se do tipo de ocupação/uso e das áreas das edificações. A figura 7 estabelece o tipo de sistema e a reserva de incêndio (RI) mínima para cada edificação. Para cada tipo de sistema são exigidos requisitos mínimos, como o tipo e diâmetro do esguicho, diâmetro e comprimento das mangueiras, número de expedições e a vazão mínima de cada hidrante, que estão descritos na figura 8.

Tabela 2 - Classificação das edificações quanto à ocupação de acordo com o decreto Estadual nº44270/06 e a carga de incêndio.

AMBIENTE	DECRETO N° 44.270/06	CARGA INCÊN- DIO (MJ/m ²)
01 - PORTARIA	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
02 - BALANÇA	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
03 - ADMINISTRAÇÃO	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
04 - INSPEÇÃO FEDE- RAL	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
05 - REFEITÓRIO	F-8 "LOCAL PARA REFEIÇÃO"	300,00
06 - DEPÓSITO DE MA- TERIAIS	J-4 "TODO TIPO DE DEPOSITO"	5.192,96
07 - VESTIÁRIO/LA- VANDERIA	D-3 "SERVIÇO DE REPARAÇÃO"	300,00
08 - OFICINA e ANE- XOS	D-3 "SERVIÇO DE REPARAÇÃO"	200,00
09 - CALDEIRAS	J-4 "TODO TIPO DE DEPOSITO"	2.146,89
10 - ANÁLISE	D-4 "LABORATÓRIO"	300,00
11 - INDÚSTRIA	I-2 "INDÚSTRIA com médio potencial de incêndio "	800,00
12 - GRAXARIA	I-3 "INDÚSTRIA com alto potencial de incêndio "	2.000,00
13 - SALA de MÁQUI- NAS	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	200,00
14 - DEPÓSITO EMBA- LAGENS	J-4 "TODO TIPO DE DEPOSITO"	3.042,72
15 - MATADOURO SA- NITÁRIO	I-2 "INDÚSTRIA com médio potencial de incêndio "	800,00
16 - NECRÓPSIA	I-2 "INDÚSTRIA com médio potencial de incêndio "	800,00
17 - BALANÇA dos CURRAIS	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
18 - LAVADOR	G-2 "GARAGEM SEM ABASTECIMENTO"	200,00
19 - RECEBIMENTO	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
20 - SUB-ESTAÇÃO	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	200,00
21 - E.T.A.	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	200,00
22 - RELÓGIO de PONTO	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
23 - CASA de BOMBAS	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	200,00
24 - DESCANSO DE- SOSSA	F-8 "LOCAL PARA REFEIÇÃO"	300,00
25 - ETA	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	300,00

Além de tais requisitos, também é estabelecido alguns componentes para cada tipo de sistema, conforme à figura 9. De posse das figuras 7 e 8, e em conjunto com as tabelas 1 e 2, pode-se determinar os tipos de sistema para cada

ambiente e, por conseguinte, as suas respectivas vazões mínimas, em litros por minuto (lpm), mostradas na tabela 3.

Área das edificações e áreas de risco (m ²)	Grupo/Divisão				
		A-2, A-3, C-1, D-2, E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6, F-2, F-3, F-4, F-8, G-1, G-2, G-3, G-4, H1, H-2, H-3, H-5, H-6; I-1, J-1, J-2 e M-3	B-1; B-2, C-3, F-5, F-6, F-7, F-9 e H-4	F-10, G-5, L-1 e M-1	
	Carga Incêndio > 300 MJ/m ² D-1, D-3, D-4	Carga Incêndio > 800 MJ/m ² C-2, I-2, J-3	Carga Incêndio > 300 MJ/m ² F-1	I-3, J-4, L-2 e L-3	
	Carga Incêndio até 300 MJ/m ² D-1, D-3, D-4, F-1	Carga Incêndio acima de 300 até 800 MJ/m ² C-2, I-2 e J-3			
Até 3.000	Tipo 1 R.I. 6 m ³	Tipo 2 R.I. 8 m ³	Tipo 3 R.I. 12 m ³	Tipo 3 R.I. 20 m ³	Tipo 3 R.I. 20 m ³
De 3.001 até 6.000	Tipo 1 R.I. 8 m ³	Tipo 2 R.I. 12 m ³	Tipo 3 R.I. 18 m ³	Tipo 4 R.I. 20 m ³	Tipo 4 R.I. 30 m ³
De 6.001 até 10.000	Tipo 1 R.I. 12 m ³	Tipo 2 R.I. 16 m ³	Tipo 3 R.I. 25 m ³	Tipo 4 R.I. 30 m ³	Tipo 5 R.I. 50 m ³
De 10.001 até 15.000	Tipo 1 R.I. 16 m ³	Tipo 2 R.I. 20 m ³	Tipo 3 R.I. 30 m ³	Tipo 5 R.I. 45 m ³	Tipo 5 R.I. 80 m ³
De 15.001 até 30.000	Tipo 1 R.I. 25 m ³	Tipo 2 R.I. 35 m ³	Tipo 3 R.I. 40 m ³	Tipo 5 R.I. 50 m ³	Tipo 5 R.I. 110 m ³
Acima de 30.000	Tipo 1 R.I. 35 m ³	Tipo 2 R.I. 47 m ³	Tipo 3 R.I. 60 m ³	Tipo 5 R.I. 90 m ³	Tipo 5 R.I. 140 m ³

Figura 7 - Tipo de Sistema e Volume de Reserva de Incêndio mínima (IT 17 – CBMMG, 2009).

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	Simple	100 ²
Hidrante	2	Jato compacto Ø 13 mm ou regulável	40	30 ³	Simple	125
Hidrante	3	Jato compacto Ø 16 mm ou regulável	40	30	Simple	250
Hidrante	4	Jato compacto Ø 19 mm ou regulável	40 ou 65	30	Simple	400
Hidrante	5	Jato compacto Ø 25 mm ou regulável	65	30	Duplo	650

Figura 8 – Exigências mínimas para cada tipo de sistema (IT 17 – CBMMG, 2009).

Materiais	Tipos de Sistemas				
	1	2	3	4	5
Abrigo(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

Figura 9 - Componentes para cada tipo de sistema (IT 17 – CBMMG, 2009).

Tabela 3 - Vazões mínimas para cada ocupação do frigorífico.

AMBIENTE	Tipo de sistema	Vazão (lpm)
01 - PORTARIA	Tipo 3	250
02 - BALANÇA	Tipo 3	250
03 - ADMINISTRAÇÃO	Tipo 3	250
04 - INSPEÇÃO FEDERAL	Tipo 3	250
05 - REFEITÓRIO	Tipo 1	100
06 - DEPÓSITO DE MATERIAIS	Tipo 3	250
07 - VESTIÁRIO/LAVANDERIA	Tipo 2	125
08 - OFICINA e ANEXOS	Tipo 2	125
09 - CALDEIRAS	Tipo 3	250
10 - ANÁLISE	Tipo 2	125
11 - INDÚSTRIA	Tipo 3	250
12 - GRAXARIA	Tipo 3	250
13 - SALA de MÁQUINAS	Tipo 1	100
14 - DEPÓSITO EMBALAGENS	Tipo 3	250
15 - MATADOURO SANITÁRIO	Tipo 3	250
16 - NECRÓPSIA	Tipo 3	250
17 - BALANÇA dos CURRAIS	Tipo 3	250
18 - LAVADOR	Tipo 1	100
19 - RECEBIMENTO	Tipo 3	250
20 - SUB-ESTAÇÃO	Tipo 2	125
21 - E.T.A.	Tipo 2	125
22 - RELÓGIO de PONTO	Tipo 3	250
23 - CASA de BOMBAS	Tipo 2	125
24 - DESCANSO DESOSSA	Tipo 1	100
25 - ETA	Tipo 2	125

De acordo com o item 5.10.3 da IT 17, deve-se ter como base para o dimensionamento da reserva de incêndio o maior risco, portanto o volume mínimo do reservatório é de 25 m³, posto que o ambiente Indústria (11) é o que exige maior capacidade da reserva de combate a incêndio, como destacado na figura 7.

Os hidrantes são dispostos de maneira que qualquer ponto do ambiente a ser protegido seja alcançado por um esguicho no plano horizontal, levando-se em conta o comprimento da mangueira de incêndio, desde o hidrante até o ponto do foco do incêndio, e desprezando o alcance do jato de água, consoante ao item 5.8.2 da IT 17.

É considerado nos cálculos de dimensionamento o uso de dois jatos de água simultaneamente nos hidrantes mais desfavoráveis, aqueles que possuem menor energia cinética na saída do esguicho, respeitando as vazões mínimas indicadas pela tabela 3, conforme item 5.8.4 da IT 17.

A velocidade da água no tubo de sucção das bombas de incêndio não deve ser superior a 2 m/s quando a sucção for negativa ou 3 m/s quando a sucção for positiva (item 5.8.11 da IT 17), nos demais trechos a velocidade não pode exceder 5 m/s (item 5.8.12 da IT 17).

Todos os hidrantes foram instalados no frigorífico como sendo pertencentes ao tipo de sistema 3 (figura 8), portanto as mangueiras e esguichos são de 40 mm e 16 mm, respectivamente.

4.2 MODELAGEM

A modelagem do sistema será feita partindo da equação da energia, onde a perda de carga é dada pela equação de Darcy-Weisbach e o fator de atrito pela equação de Colebrook.

Considerando uma tubulação, representada pela figura 10, de índice “j” e nós “i” demarcando seu início e “i+1” seu final.

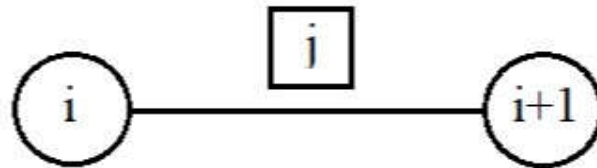


Figura 10 - Esquema de uma tubulação.

Aplicando a equação da energia na tubulação, tem-se:

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} + z_i - \Delta H_{perdas} = \frac{P_{i+1}}{\rho g} + \frac{V_{i+1}^2}{2g} + z_{i+1} \quad (2)$$

Onde:

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = H \quad (3)$$

Substituindo a equação 3 em 2:

$$H_i - \Delta H_{perdas} = H_{i+1} \quad (4)$$

Para o cálculo da perda de carga, utiliza-se a equação Darcy-Weisbach:

$$\Delta H_{perdas} = \left(\frac{8}{\pi^2 g D^4} \right) \left(f \frac{L + \sum L_E}{D} + \sum K \right) Q^2 \quad (5)$$

O fator de atrito para o regime turbulento é dado pela equação de Colebrook (Colebrook, 1939)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{\frac{4Q}{\pi D V} \sqrt{f}} \right) \quad (6)$$

No caso de houver uma bomba neste trecho de tubulação, como mostra a figura 11, a equação toma a seguinte forma:

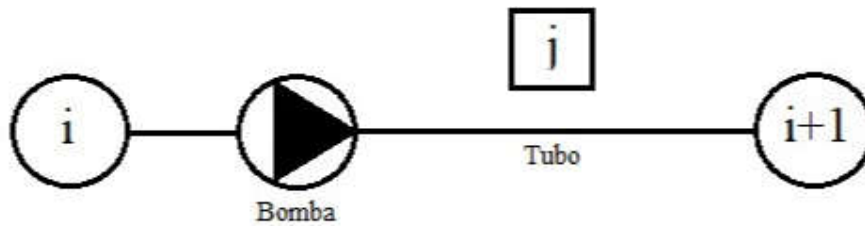


Figura 11 - Esquema de tubulação com uma bomba.

$$H_i + \Delta H_{\text{ganhos}} - \Delta H_{\text{perdas}} = H_{i+1} \quad (7)$$

O ganho de energia do fluido pela ação da bomba é conhecido através da curva característica desta, podendo ser ajustada por uma equação de segundo grau:

$$\Delta H_{\text{ganho}} = (aQ_j^2 + bQ_j + c) \quad (8)$$

Os coeficientes são determinados com os pontos da curva destacada da bomba, que para o caso em estudo trata-se da bomba KSB Megabloc 32-200, rotor de 209 mm, corpo de ferro fundido, vedação selo mecânico simples, acoplada ao motor WEG/W22 20cv 220/380/440V, trifásico, 3500rpm, mostrada na figura 12.

A equação do ganho de energia pela ação da bomba obtida através da curva da figura 13, é:

$$\Delta H_{\text{ganho}} = (-279448Q^2 + 2237Q + 83,719) \quad (9)$$

Como o dimensionamento do sistema de hidrantes deve ser feito com base no item 5.8.4 da IT 17 mencionado anteriormente, será demonstrado uma análise genérica com dois hidrantes em funcionamento simultâneo, conforme a figura 14, utilizando as equações apresentadas neste capítulo.

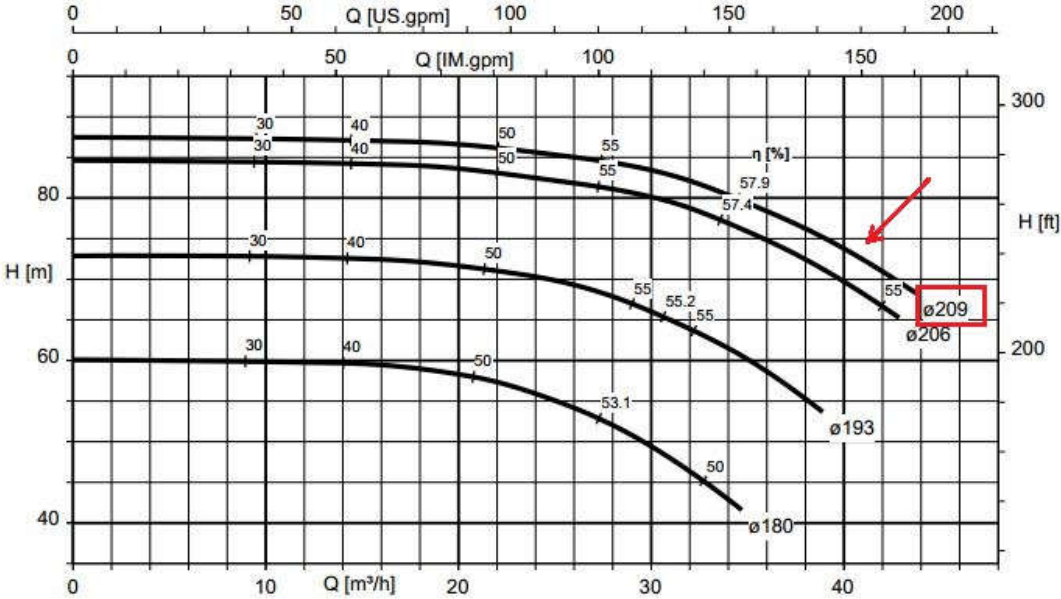


Figura 12 - Curva característica da bomba KSB Megabloc 32-200 (KSB, 2018).

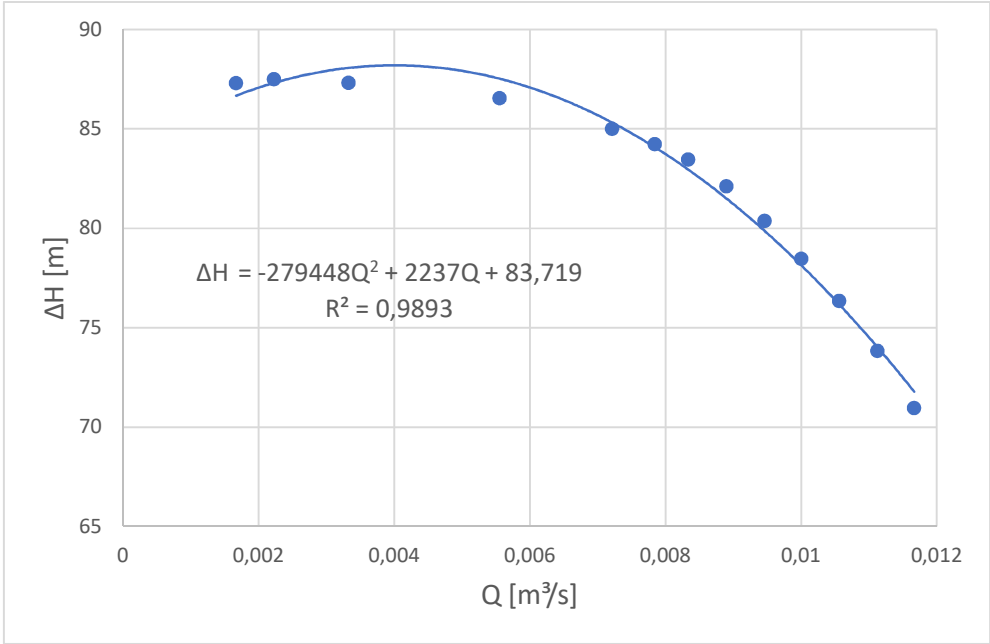


Figura 13 - Ajuste da curva característica da bomba KSB Megabloc 32-200.

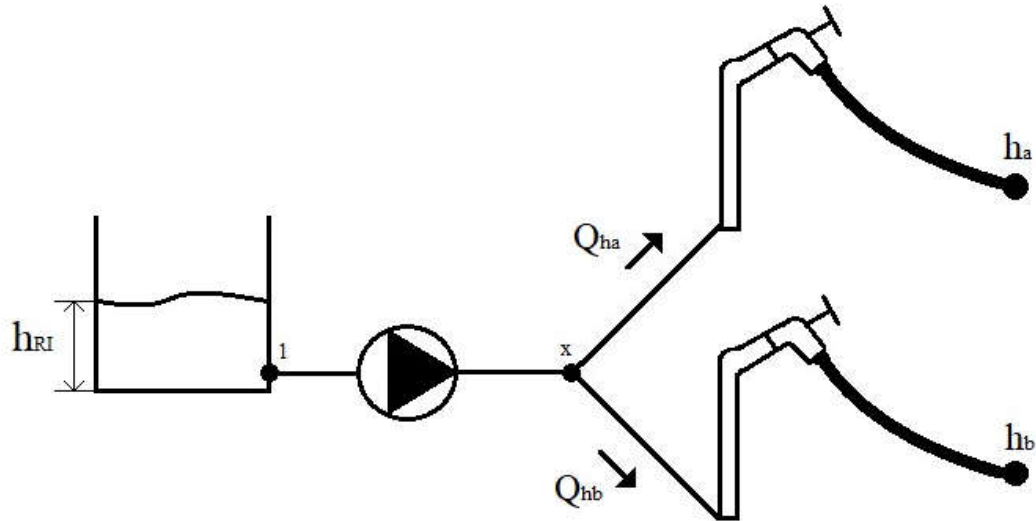


Figura 14 - Esquema de hidrantes em funcionamento simultâneo.

Aplicando a equação da energia no ponto 1, na entrada da tubulação de sucção, tem-se:

$$H_1 = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 \quad (10)$$

Considerando z_1 como cota referencial, logo $z_1 = 0$.

$$H_1 = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} \quad (11)$$

A pressão manométrica no ponto 1 é dado pela coluna de líquido do reservatório:

$$P_1 = \rho g h_{RI} = \gamma h_{RI} \quad (12)$$

Logo:

$$H_1 = \frac{V_1^2}{2g} + h_{RI} \quad (13)$$

Como $V = Q/A$, tem-se:

$$H_1 = \frac{Q^2}{2gA_1^2} + h_{RI} \quad (14)$$

A equação da energia no ponto x, onde ocorre a bifurcação do fluxo de água para os hidrantes, é a seguinte:

$$H_1 + \Delta H_{ganho} - \Delta H_{perdas_{1 \rightarrow x}} = H_x \quad (15)$$

Logo na saída do esguicho de um hidrante “a” (H_{h_a}) qualquer, tem-se:

$$H_x - \Delta H_{perdas_{x \rightarrow h_a}} = H_{h_a} \quad (16)$$

Da mesma forma para o outro hidrante “b” (H_{h_b}):

$$H_x - \Delta H_{perdas_{x \rightarrow h_b}} = H_{h_b} \quad (17)$$

Na equação da perda de energia entre o ponto x e h_a (e h_b) devem ser incluídas as perdas na tubulação do ponto de bifurcação até à válvula angular, na mangueira e no esguicho. A perda de carga na mangueira pode ser calculada da mesma forma que foi calculada na tubulação, alterando a rugosidade absoluta para $\varepsilon = 0,0015 \times 10^{-3} \text{ m}$ (McGovern, 2011), ou também pode ser calculada utilizando os dados fornecidos pelas fabricantes, como mostrado na figura 15. A curva destacada é da mangueira utilizada no frigorífico.

Gráfico de perda de carga

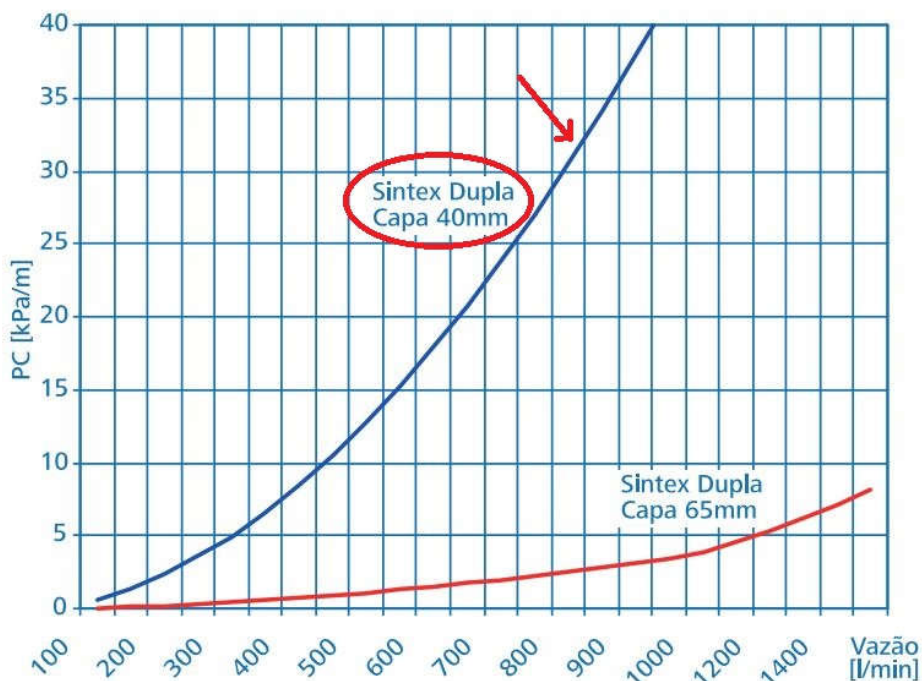


Figura 15 - Gráfico de perda de carga da mangueira em função da vazão (Kidde, 2018).

Convertendo as unidades e fazendo o ajuste de curva, temos a figura 16.

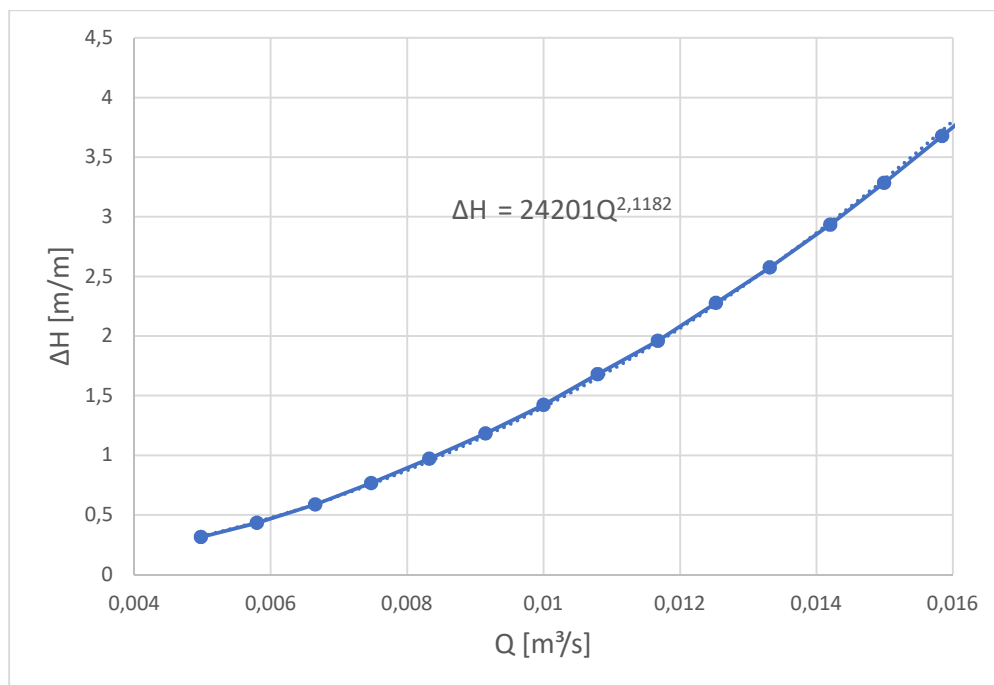


Figura 16 - Ajuste da curva da perda de carga na mangueira em função da vazão.

A equação da perda de carga por metro de mangueira é:

$$\Delta H_{mangueira} = 24201Q^{2,1182} \quad (18)$$

Fazendo uma comparação entre a perda de carga utilizando a equação de Darcy-Weisbach e a curva da fabricante, tem-se a figura 17.

Nota-se que para valores de vazões até 0,006 m³/s (360 lpm), os valores de perda de carga utilizando a equação se aproximaram dos fornecidos pelo fabricante. Em muitos casos, as vazões estão em patamares inferiores a este valor, podendo utilizar a equação para a modelagem da perda de carga. Para valores superiores é aconselhável utilizar os dados do fabricante.

Para determinar a perda de carga no esguicho, necessita-se encontrar o coeficiente de fluxo (K_V ou C_V) do acessório.

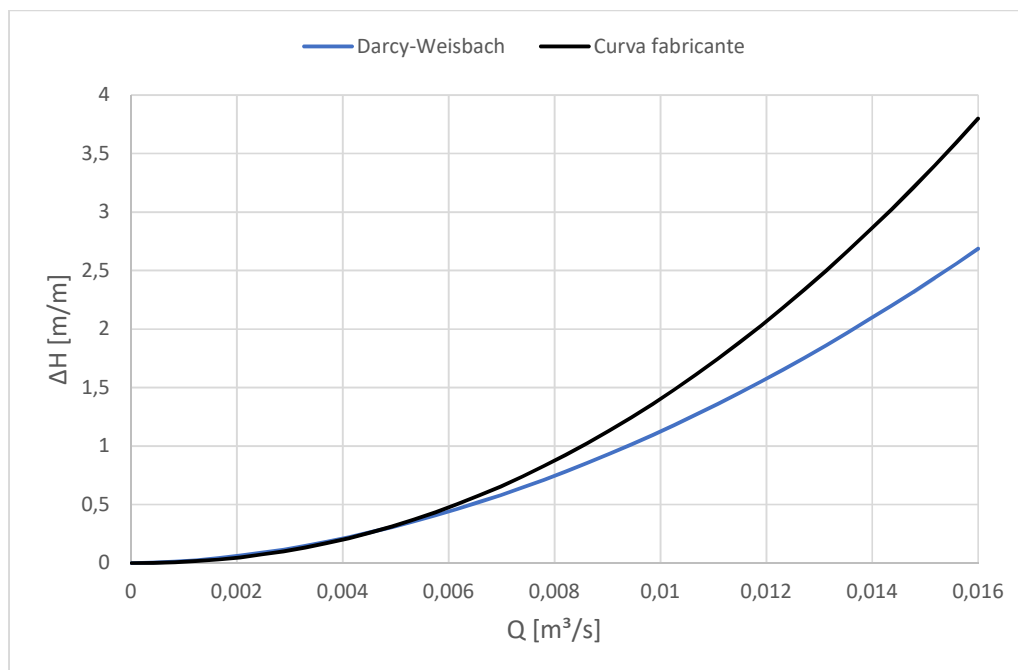


Figura 17 - Comparação da perda de carga na mangueira.

O valor de K_V é um coeficiente de fluxo que corresponde a um fluxo de água em m^3/h à pressão diferencial de 1 *bar* a uma temperatura entre 5 e 30 °C. O sistema de polegada C_V utiliza o coeficiente de fluxo a um fluxo de água em *gal/min* a 1 *psi* de pressão diferencial e 60 °F de temperatura. A Relação entre K_V e C_V é $K_V = 0,86C_V$.

A equação que relaciona a vazão à perda de carga é:

$$Q = K_V \sqrt{\Delta H} \quad (19)$$

A fabricante Akron Brass Company, empresa estadunidense especializada em fabricação equipamentos e acessórios para incêndio, possui uma vasta biblioteca de informações técnicas de seus produtos, inclusive do esguicho semelhante ao utilizado no frigorífico (esguicho de jato sólido, ou *solid bore nozzle*). A figura 18 indica a vazão para cada diferencial de pressão ΔH , ou perda de carga. A saída do esguicho possui $\phi 16 \text{ mm}$ ou $\phi 5/8''$ (valores da coluna destacada).

Solid Bore Nozzles																		
Nozzle Pressure* (PSI)	Gallons Per Minute (GPM)									Pounds Reaction Force † (RF)								
	Solid Bore Diameter (Inches)																	
	3/8"	1/2"	3/4"	1/2"	7/8"	1 1/16"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	1 3/4"	2"	2 1/4"	2 1/2"	2 3/4"		
40	26	47	73	106	144	165	188	238	294	355	423	575	752	951	1174	1421		gpm
	9	16	25	35	48	55	63	79	98	119	141	192	251	318	393	475		rf
45	28	50	78	112	153	175	199	252	311	377	448	610	797	1009	1246	1507		gpm
	10	18	28	40	54	62	71	89	110	134	159	216	283	358	442	534		rf
50	30	53	82	118	161	185	210	266	328	397	473	643	840	1064	1313	1589		gpm
	11	20	31	44	60	69	79	99	123	148	177	240	314	397	491	594		rf
55	31	55	86	124	169	194	220	279	344	417	496	675	881	1115	1377	1666		gpm
	12	22	34	49	66	76	86	109	135	163	194	264	345	437	540	653		rf
60	32	58	90	129	176	202	230	291	360	435	518	705	921	1165	1438	1740		gpm
	13	24	37	53	72	83	94	119	147	178	212	288	377	477	589	712		rf
65	34	60	94	135	183	211	240	303	374	453	539	734	958	1213	1497	1811		gpm
	14	26	40	57	78	90	102	129	159	193	230	313	408	517	638	772		rf
70	35	62	97	140	190	218	249	315	388	470	559	761	994	1258	1554	1880		gpm
	15	27	43	62	84	97	110	139	172	208	247	337	440	556	687	831		rf
75	36	64	101	145	197	226	257	326	402	486	579	788	1029	1303	1608	1946		gpm
	17	29	46	66	90	103	118	149	184	223	265	361	471	596	736	890		rf
80	37	66	104	149	203	234	266	336	415	502	598	814	1063	1345	1661	2010		gpm
	18	31	49	71	96	110	126	159	196	237	283	385	502	636	785	950		rf
85	39	68	107	154	210	241	274	347	428	518	616	839	1096	1387	1712	2071		gpm
	19	33	52	75	102	117	133	169	209	252	300	409	534	676	834	1009		rf
90	40	70	110	159	216	248	282	357	440	533	634	863	1127	1427	1762	2132		gpm
	20	35	55	79	108	124	141	179	221	267	318	433	565	715	883	1069		rf
95	41	72	113	163	222	255	290	366	452	547	652	887	1158	1466	1810	2190		gpm
	21	37	58	84	114	131	149	189	233	282	336	457	597	755	932	1128		rf
100	42	74	116	167	227	261	297	376	464	562	668	910	1188	1504	1857	2247		gpm
	22	39	61	88	120	138	157	199	245	297	353	481	628	795	981	1187		rf

Figura 18 - Valores de vazão para cada diferencial de pressão no esguicho de jato compacto (Akron Brass, 2018).

Utilizando os dados destacados da figura 18 e fazendo o ajuste de curva, obteve-se o gráfico da figura 19.

Comparando a equação mostrada na figura 19 com a equação 19, observa-se que o esguicho segue a relação estabelecida por esta, tendo em vista que a perda de carga está aproximadamente representada pela raiz quadrada. Portanto, o coeficiente $C_V = 11,506$ o que implica em $K_V = 9,895$.

Logo:

$$Q = 9,895\sqrt{\Delta H} \quad (20)$$

Então a perda de carga no esguicho, fazendo as conversões para as unidades utilizadas neste trabalho, onde a vazão é em m^3/s e a perda de carga em mca , assume a seguinte forma:

$$\Delta H_{esguicho} = 1,3236 \times 10^6 Q^2 \quad (21)$$

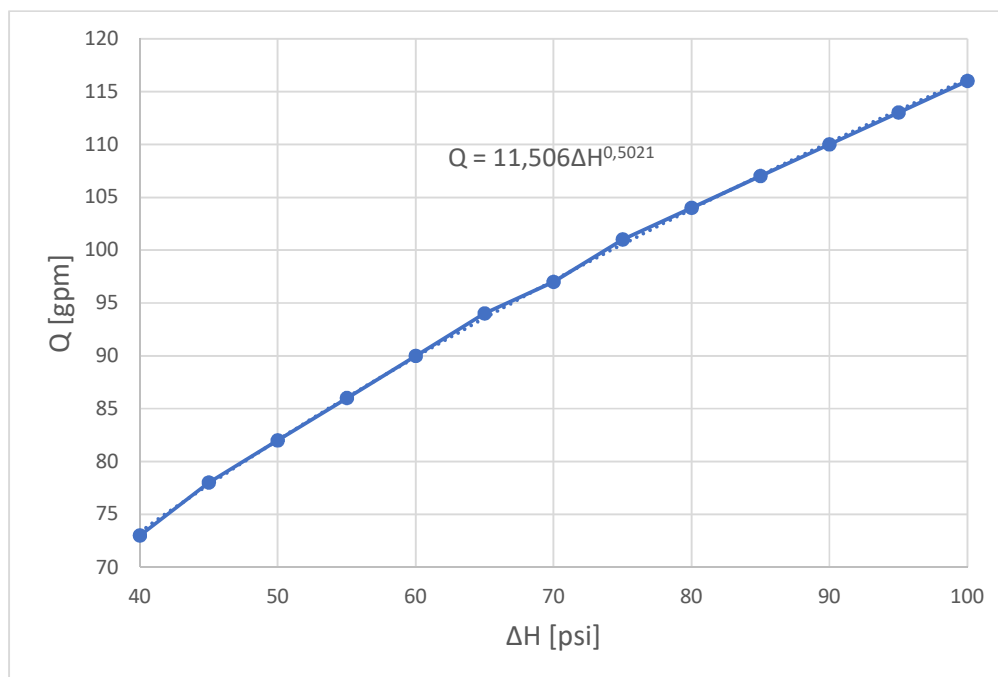


Figura 19 - Ajuste da curva para os valores destacados na figura 18.

Desta forma, a equação da perda de energia neste trecho toma a seguinte forma:

$$\Delta H_{perdas_{x \rightarrow h_a}} = \left(\frac{8}{\pi^2 g D^4} \right) \left(f \frac{L + \sum L_E}{D} + \sum K \right) Q_{h_a}^2 + 30 \times 24201 Q_{h_a}^{2,1182} + 1,3236 \times 10^6 Q_{h_a}^2 \quad (22)$$

O primeiro termo da equação é devido às perdas nos tubos, conexões, acessórios, etc., do ponto de bifurcação até chegar à mangueira, o segundo termo é devido à perda nos 30 metros de mangueira e o último termo é devido à perda no esguicho.

Nas energias nas saídas dos esguichos (H_{h_a} e H_{h_b}) são nulas as energias associadas à pressão, por se tratar de pressão manométrica, restando as energias em razão da cota da altura e as energias cinéticas, portanto:

$$H_{h_b} = z_{h_b} + \frac{Q_{h_b}^2}{2gA_e} \quad (23)$$

$$H_{h_a} = z_{h_a} + \frac{Q_{h_a}^2}{2gA_e} \quad (24)$$

Deve-se então resolver o sistema de equações. Organizando o conjunto de equações não-lineares, chega-se:

$$H_1 + \Delta H_{ganho} - \Delta H_{perdas_{1 \rightarrow x}} = H_x \quad (25)$$

$$H_x - \Delta H_{perdas_{x \rightarrow h_a}} = H_{h_a} \quad (26)$$

$$H_x - \Delta H_{perdas_{x \rightarrow h_b}} = H_{h_b} \quad (27)$$

$$Q = Q_{h_a} + Q_{h_b} \quad (28)$$

A equação de Colebrook (9) calcula os fatores de atrito.

A equação 25 é a equação da energia aplicada na tubulação do ponto 1 ao ponto x, a equação 26 do ponto x ao ponto h_a , a equação 27 do ponto x ao ponto h_b e a equação 28 é a aplicação do princípio da conservação da massa no nó x, onde a vazão que entra no nó x, Q , deve ser igual à soma das vazões de saída, Q_{h_a} e Q_{h_b} , visto que as massas específicas na entrada e saída são as mesmas.

O processo de cálculo é iterativo e deve-se estabelecer um critério de parada (erro) razoável. A IT 17, em seu item 5.8.14, admite uma variação na pressão nos nós de cálculo de no mínimo 0,50 mca ou 5,0 kPa. Logo, a diferença de

pressão do ponto x calculada pelas equações 26 e 27 não deve ultrapassar o valor mencionado e pode ser definido como critério de parada.

O sistema de equações pode ser facilmente resolvido via *software* como EES (*Engineering Equation Solver*), que é o *software* utilizado neste trabalho.

Para o cálculo do comprimento equivalente de cada trecho, foi utilizado a tabela fornecida pela fabricante Schneider (Figura 20). A tabela 4 mostra o diâmetro, conexões e seus comprimentos equivalentes de cada trecho de tubulação, conforme numeração do desenho isométrico em anexo.

Os diâmetros mostrados na tabela 4 são os diâmetros nominais dos tubos, mas para fins de projeto hidráulico deve-se utilizar os internos. A norma NBR 5580 (Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluidos - Requisitos e ensaios), fornece uma tabela para cálculo desse diâmetro interno, de acordo com a classe do tubo, dividido em leve, médio e pesado (figura 21). Os tubos utilizados são de aço carbono 1010 galvanizados.

















A classe dos tubos utilizados é a leve, e tomando o diâmetro externo básico da sucção (trecho 1):

$$D_1 = 60,3 - (2 \times 3,00) = 54,30 \text{ mm}$$

Ressaltando que o diâmetro nominal mínimo não deve ser inferior a 65 mm (2 ½"), portanto a tubulação de sucção está em desacordo com o item 5.16.1 da IT 17.

Os diâmetros dos demais trechos valem:

$$D = 76,1 - (2 \times 3,35) = 69,40 \text{ mm}$$

Comprimentos Equivalentes em Conexões											
Tabela de comprimentos equivalentes em metros de canalização, para cálculo das perdas de carga localizadas											
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
		Metal	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
		Metal	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
		Metal	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
		Metal	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
		Metal	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
		Metal	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
		Metal	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
		Metal	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
		Metal	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
		Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de Globo Aberto		Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de Ângulo Aberto		Metal	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
		Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Válvula de Retenção	Horizontal 	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4
	Vertical 	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1

Observações: 1 - Os valores acima estão de acordo com a NBR-5626/82 e Tabela de Perda de Carga da Tigre para PVC rígido e cobre, e NBR-92/80 e Tabela de Perda de Carga Tupy para ferro fundido galvanizado, bronze ou latão.

2 - (※) Os diâmetros indicados referem-se à menor bitola de reduções concêntricas, com fluxo da maior para a menor bitola, sendo a bitola maior uma medida acima da menor.
Ex.: 1 1/4" x 1" - 1 1/2" x 1 1/4".

Figura 20 - Comprimentos Equivalentes em Conexões (SCHNEIDER MOTO-BOMBAS, 2016).

Tabela 4 - Diâmetro, conexões e comprimentos equivalentes de cada trecho da tubulação conforme desenho isométrico.

Trecho	Diâmetro nominal (pol)	Curva 90°	Curva 45°	Tê passagem direta	Tê passagem direta e saída lateral	Tê saída lateral	Válvula de gaveta aberta	Válvula de ângulo aberta	Expansão	Redução	Válvula de pé e crivo	Entrada de borda	Leq
1	2			2			1						19,14
2	2 1/2	1	2	1			1			1	1	1	6,5
3	2 1/2					1			1				4,3
4	2 1/2	1		1									3,3
5	2 1/2				1			1					14,3
6	2 1/2	2		1				1					15,3
7	2 1/2				1								4,3
8	2 1/2				1			1					14,3
9	2 1/2	2		1				1					15,3
10	2 1/2					1							4,3
11	2 1/2				1								4,3
12	2 1/2	1			1			1					16,3
13	2 1/2			1									1,3
14	2 1/2	1			1			1					16,3
15	2 1/2	2						1					14
16	2 1/2	1		1									3,3
17	2 1/2			1									1,3
18	2 1/2	1			1			1					16,3
19	2 1/2			1									1,3
20	2 1/2	1			1			1					16,3
21	2 1/2	2		1									5,3
22	2 1/2				1			1					14,3
23	2 1/2	1		1									3,3
24	2 1/2	1		1				1					13,3
25	2 1/2	1			1			1					16,3
26	2 1/2				1								4,3
27	2 1/2	1			1			1					16,3
28	2 1/2			1									1,3
29	2 1/2	1			1			1					16,3
30	2 1/2	1		1									3,3
31	2 1/2				1			1					14,3
32	2 1/2	1			1			1					16,3
33	2 1/2			1									1,3
34	2 1/2				1			1					14,3
35	2 1/2				1			1					14,3
36	2 1/2	1		1				1					13,3
37	2 1/2			1									1,3
38	2 1/2	2				1		1					18,3
39	2 1/2	2				1		1					18,3

Diâmetro nominal	Diâmetro externo mm			Espessura mm			Massa do tubo preto kg/m		
				Classe			Classe		
DN	Básico	Mín.	Máx.	L	M	P	L	M	P
6 (1/8)	10,2	9,7	10,4	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	26,4	27,1	2,25	2,65	3,00	1,37	1,58	1,77
25 (1)	33,7	33,2	34,0	2,65	3,35	3,75	2,03	2,51	2,77
32 (1 ¼)	42,4	41,9	42,7	2,65	3,35	3,75	2,60	3,23	3,57
40 (1 ½)	48,3	47,8	48,6	3,00	3,35	3,75	3,35	3,71	4,12
50 (2)	60,3	59,6	60,7	3,00	3,75	4,50	4,24	5,23	6,19
65 (2 ½)	76,1	75,2	76,3	3,35	3,75	4,50	6,01	6,69	7,95
80 (3)	88,9	87,9	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	113,0	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

Figura 21 - Diâmetros nominais dos tubos (NBR 5580).

Utilizando os hidrantes 1 e 2 em funcionamento simultâneo, mostrados no desenho isométrico em anexo, como exemplo para a verificação dos requisitos de vazões da tabela 3, partindo das informações contidas na tabela 4, e utilizando o EES para a resolução do sistema não-linear, obtêm-se os resultados presentes na tabela 5.

Quanto à vazão, ambos hidrantes estão de acordo com a IT 17 (superior a 250 lpm). Já a velocidade na sucção se encontra superior ao valor máximo permitido (3 m/s), o que já era esperado, pois o diâmetro nominal da sucção está em desacordo com a norma mencionado anteriormente. A velocidade dos demais trechos (recalque) encontra-se consoante à norma (velocidade inferior a 5 m/s).

Tabela 5 - Resultados obtidos para hidrante 1 e 2

Q	618,26 <i>lpm</i> (37,10 m^3/h)
Q_1	312,31 <i>lpm</i>
Q_2	305,97 <i>lpm</i>
P_5	5,14 <i>bar</i> (Manométrica)
V_s	4,50 <i>m/s</i> (Sucção)
V_r	2,72 <i>m/s</i> (Recalque)

4.3 RESULTADOS

A tabela 6 mostra os valores de vazão, em litros por minuto (lpm), para cada hidrante em uso simultâneo com um outro hidrante, ou seja, combinação de 2 em 2. Lê-se a vazão do hidrante nas linhas da tabela quando operado simultaneamente com outro hidrante representado pela coluna da tabela. Por exemplo, a vazão do hidrante 10 quando operado simultaneamente com o hidrante 8 está localizada na célula linha 10 e coluna 8. A diagonal principal representa os valores de vazão do hidrante quando operado isoladamente.

Todos os hidrantes apresentam vazões superiores ao requisitado pela norma mostrados na tabela 3. Merece atenção especial os hidrantes 18, 19 e 20, que possuem as menores vazões, e quando operados com certos hidrantes têm vazões muito próximas ao valor mínimo necessário. O hidrante 18 possui vazão de 262,31 lpm quando operado em conjunto com o hidrante 17 (289,35 lpm), sendo este o menor valor de vazão encontrado no sistema e, portanto, são considerados os hidrantes mais desfavoráveis do sistema e estão destacados de vermelho na tabela 6.

Comparando os dados da tabela 6 com os da tabela no Anexo 1, nota-se que a escolha dos hidrantes mais desfavoráveis feita pela empresa não representa de fato a condição onde se obtém o menor valor de vazão, pois foi escolhido os hidrantes 18 e 19, que apesar de apresentarem uma das menores vazões quando operado conjuntamente (267,71 lpm e 280,05 lpm respectivamente), não representa a situação mais desfavorável mencionada anteriormente. Outras duas situações também se mostraram mais desfavoráveis, são elas: hidrantes 15 com 18 e hidrantes 16 com 18. Na primeira, tem-se vazões de 293,85 lpm e 265,60 lpm, e na segunda tem-se vazões 293,10 lpm e 265,89 lpm.

Apesar de a diferença das vazões no caso mais desfavorável escolhido pela empresa com caso mais desfavorável encontrado neste trabalho ser pequena e não comprometer o sistema, isso mostra a importância de fazer uma análise geral nos vários hidrantes que potencialmente podem ser os mais desfavoráveis para prever o desempenho do sistema nestas condições. Uma primeira análise visual indica que os hidrantes mais distantes e mais elevados em relação

à bomba serão os mais desfavoráveis, portanto os hidrantes 14 ao 20 possuirão as menores vazões. Entretanto, com esta primeira análise não é possível afirmar ao certo qual par de hidrantes será o caso mais desfavorável, por isso é imprescindível calcular as vazões para a combinação de operação entre estes.

Os hidrantes mais próximos à bomba possuem as maiores vazões dentre todos devido à menor perda de carga, como esperado, e os hidrantes considerados mais desfavoráveis obtiveram os maiores valores de vazão quando operados com estes. Por exemplo, o hidrante 18 tem vazão de 297,35 lpm e o hidrante 1 tem vazão de 337,09 lpm quando operados em conjunto.

A perda de carga na mangueira da tabela do Anexo 1 é de 11,14 m para o hidrante 18 (250 lpm) e de 12,38 m para o hidrante 19 (264,61 lpm). Utilizando a equação 18 para calcular esta perda de carga, temos 6,59 m para a primeira mangueira e 7,44 m para a segunda mangueira, o que mostra um superdimensionamento da perda de carga neste elemento.

Da tabela 5, verifica-se que a velocidade da sucção quando os hidrantes 1 e 2 estão operando é de 4,50 m/s , e na situação mais desfavorável (hidrantes 17 e 18) a velocidade de sucção é de 4,01 m/s . Até neste último caso a velocidade é superior ao máximo permitido pela legislação, que é de 3 m/s . Quanto a velocidade de recalque para os hidrantes 1 e 2, ela vale 2,72 m/s , estando, portanto, abaixo de 5 m/s , valor este o máximo permitido pela norma IT 17.

Para a determinação do ponto de operação da bomba no caso mais desfavorável (hidrantes 17 e 18) é necessário considerar a curva característica individual de cada tubulação (35 e 36, conforme isométrico no anexo 2) a partir do ponto de bifurcação do fluxo (ponto 35), e a curva característica combinada, que é obtida somando as vazões de cada curva característica individual para cada valor de altura. A curva característica da bomba deve ser subtraída pela perda de carga da tubulação que liga o reservatório de incêndio ao ponto de bifurcação de fluxo (ponto 1 ao ponto 35) para se obter a curva líquida da bomba. O ponto de operação do sistema é conhecido através da interseção da curva característica combinada com a curva líquida da bomba (Houghtalen; Akan; Hwang, 2010).

Tabela 6 - Vazão volumétrica em cada hidrante (lpm).

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
H1	388,63	312,31	326,99	328,69	330,01	330,00	330,77	329,35	330,53	331,32	331,92	331,93	330,57	332,13	332,44	332,63	332,79	337,09	335,43	335,43
H2	305,97	377,78	318,82	320,47	321,76	321,76	322,51	321,13	322,27	323,03	323,62	323,63	322,31	323,82	324,12	324,31	324,46	328,58	327,02	327,02
H3	328,19	330,32	389,89	321,41	330,97	330,96	331,73	330,30	331,49	332,28	332,88	332,89	331,53	333,09	333,41	333,60	333,76	338,08	336,41	336,41
H4	321,66	323,75	313,14	381,23	324,38	324,38	325,13	323,74	324,90	325,67	326,26	326,27	324,94	326,46	326,77	326,95	327,11	331,73	329,70	329,70
H5	326,14	328,19	325,90	327,54	384,56	312,00	312,91	321,25	322,52	323,35	323,96	323,97	322,56	324,20	324,53	324,73	324,91	330,08	328,09	328,09
H6	326,17	328,19	325,93	327,55	312,29	383,75	306,50	321,34	322,59	323,50	324,02	324,18	322,63	324,25	324,58	324,78	324,95	329,51	327,70	327,70
H7	323,13	325,12	322,89	324,49	309,36	302,64	379,75	318,34	319,58	320,39	320,99	321,00	319,62	321,22	321,54	321,74	321,91	326,40	327,70	327,70
H8	328,77	330,80	328,53	330,16	324,62	324,59	325,40	387,17	313,54	314,49	315,14	315,15	316,09	317,93	318,30	318,52	318,71	324,13	321,82	321,82
H9	324,06	326,09	323,82	325,45	319,91	319,88	320,69	307,28	381,81	305,93	306,60	306,61	311,36	313,19	313,56	313,78	313,97	319,34	317,08	317,08
H10	320,92	322,93	320,68	322,29	316,80	316,40	317,58	304,28	301,94	377,67	297,03	297,04	308,32	310,13	310,50	310,72	310,91	316,20	313,98	313,98
H11	318,52	320,48	318,29	319,86	314,49	314,47	315,25	302,24	299,94	294,46	373,24	289,86	306,19	307,96	308,31	308,53	308,71	313,87	311,72	311,72
H12	318,49	320,45	318,26	319,83	314,46	313,88	315,22	302,21	299,91	294,43	289,83	373,67	306,16	307,93	308,28	308,50	308,68	313,83	311,69	311,69
H13	323,91	325,94	323,67	325,30	319,75	319,73	320,54	309,71	311,17	312,09	312,74	312,75	381,61	307,23	307,62	307,86	308,07	313,99	311,39	311,39
H14	317,68	319,66	317,45	319,04	313,60	313,59	314,37	303,74	305,15	306,06	306,70	306,71	299,34	373,41	290,84	291,10	291,33	298,23	295,02	295,02
H15	316,42	318,39	316,19	317,77	312,35	312,34	313,12	302,52	303,93	304,83	305,47	305,48	298,13	289,21	371,74	286,34	286,34	293,85	290,40	290,40
H16	315,65	317,61	315,42	316,99	311,59	311,58	312,36	301,79	303,19	304,09	304,73	304,74	297,40	288,49	285,35	370,73	285,86	293,10	289,67	289,67
H17	314,99	316,95	314,76	316,33	310,94	310,93	311,71	301,16	302,55	303,45	304,09	304,10	296,78	287,88	285,35	285,01	369,87	289,35	286,83	286,83
H18	297,35	299,34	297,11	296,79	291,01	293,17	293,96	283,04	284,45	285,38	286,06	286,06	278,41	268,97	265,60	265,89	262,31	351,47	267,71	267,71
H19	304,21	306,09	303,99	305,49	298,76	300,29	300,29	290,83	292,16	293,02	293,65	293,66	286,54	277,84	274,75	275,02	272,96	280,05	355,72	265,59
H20	304,21	306,09	303,99	305,49	298,76	300,29	300,29	290,83	292,16	293,02	293,65	293,66	286,54	277,84	274,75	275,02	272,96	280,05	265,59	355,32

A figura 22 mostra o ponto de operação da bomba, onde a vazão vale 0,00919 m³/s (551,66 lpm) e a vazão em cada hidrante é 0,00482 m³/s (289,35 lpm) para o hidrante 17 e 0,00437 m³/s (262,31 lpm) para o hidrante 18.

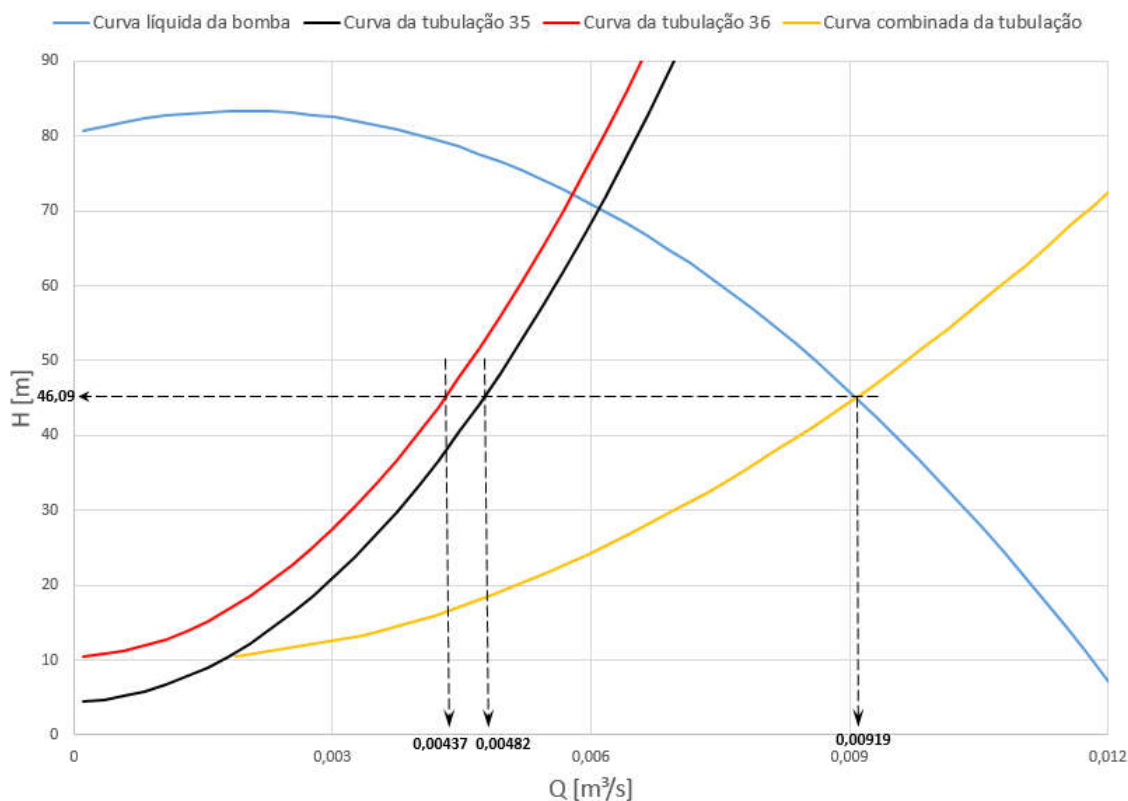


Figura 22 – Ponto de operação da bomba para o caso mais desfavorável.

Verificou-se também, para o caso mais desfavorável, a utilização da bomba principal que estava instalada na sala de bombas anteriormente, da marca KSB, modelo Megabloc 40-160, rotor de 166 mm de diâmetro, conforme tabela 7. Sua curva característica se encontra no anexo 4.

Tabela 7 - Vazão volumétrica para o caso mais desfavorável utilizando a bomba antiga.

	Hidrante 17	Hidrante 18
Vazão obtida (lpm)	241,80	211,06
Vazão exigida (lpm)	250	250

Esta bomba, portanto, não atende aos valores de vazões exigidos pela IT 17.

4.4 ANÁLISE DE ERROS

A figura 23 mostra a tubulação de sucção. Nota-se que há uma bomba utilizada para irrigação de jardim ligada a ela, o que é proibido pela IT 17, visto que a reserva de incêndio deve ser destinada exclusivamente para sistemas usados para o combate de incêndio, podendo comprometer o funcionamento da bomba principal e consumir boa parte da água do sistema. É necessário a retirada da bomba de jardim para garantir a operação e a adequação às normas.



Figura 23 - Tubulação de sucção.

A tubulação de sucção, mostrado na figura acima, possui diâmetro nominal de duas polegadas ($\phi 2''$), portanto se encontra em desacordo com a IT 17, que diz que as tubulações de sucção devem ter diâmetro nominal mínimo de duas polegadas e meia ($\phi 2 \frac{1}{2}''$).

Outro problema encontrado foi a velocidade no trecho da sucção da bomba superior aos limites da norma, isto se deve ao diâmetro da tubulação da sucção e a troca de bitola da tubulação de $\phi 2''$ para $\phi 2 \frac{1}{2}''$ corrige ambos os problemas.

5 CONCLUSÃO

Verificou-se, por meio do comissionamento deste trabalho, que os níveis de vazão estão em conformidade com a legislação atual, porém o sistema não atende a alguns pontos, como o diâmetro da sucção ser inferior ao mínimo requerido ($\phi 65 \text{ mm}$), a velocidade de sucção ultrapassar a velocidade de 3 m/s e a tomada de água para uso na jardinagem estar ligado diretamente à tubulação de incêndio, de modo que a reserva de incêndio não seja preservada, não respeitando a IT 17 e com isso colocando em risco o desempenho do sistema como um todo.

Foi comparado os valores obtidos no comissionamento deste trabalho com os dados de projeto da empresa prestadora de serviço e verificou-se uma divergência quanto aos hidrantes mais desfavoráveis. Este trabalho concluiu que eram os hidrantes 17 e 18, em contraste com a empresa, que adotou os hidrantes 18 e 19 como sendo os mais desfavoráveis. Além disso, notou-se um superdimensionamento da perda de carga na mangueira quando comparado com o método de cálculo feito neste trabalho.

Também foi possível, por meio deste trabalho, um enfoque diferente em relação a modelagem e verificação do sistema de hidrantes, utilizando as equações de Darcy-Weisbach e Colebrook, com o auxílio do EES, ao invés da maneira usualmente adotada, com o uso da fórmula de Hazen-Williams e fator de atrito adotado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5580:2015 - Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluidos – Especificação.

Azevedo Netto, J. M. Fernández, M. F. Manual de hidráulica. 9. ed. São Paulo: Bucher, 2015.

Borges, Valério Luiz. Máquinas de fluxo e projeto de redes hidráulicas, 21 de janeiro de 2017. Notas de Aula.

Borges, Valério Luiz. Máquinas de fluxo e projeto de redes hidráulicas - Complemento, 23 de outubro de 2017. Notas de Aula.

Brito, A. S.; Ribeiro, H.; Matos, L. M. Comissionamento em Sistemas de Tubulações de Utilidades: Aplicação do Comissionamento a um Sistema de Resfriamento. 2010. 195 f.

Akron Brass Company. Catálogo. Disponível em <<https://smhttp-ssl-61500.nexcesscdn.net/media/pdf/theoretical-discharge-solid-bore-nozzles.pdf>>. Acesso em: 1 de novembro de 2018.

Flexcasty. Catálogo. Disponível em:<http://www.metalcasty.com.br/wp-content/uploads/2016/10/cat%C3%A1logo-completo_-mangueiras-FLEX-CASTY_out-2016.pdf>. Acesso em: 1 de novembro de 2018.

Kidde. Catálogo. Disponível em: <<http://www.kidde.com.br/Documents/mangueirasintexduplatp32011.pdf>>. Acesso em: 1 de novembro de 2018.

C. F. Colebrook, Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between smooth and rough pipe laws, Jour. 1st. Civil Engrs., Londres, 1939.

CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. Manual de Procedimentos Para a Verificação e a Fiscalização do Exercício e da Atividade Profissional, 2007. Disponível em: <<http://www.confed.org.br/media/manual2007.pdf>>. Acesso em: 10 novembro de 2018

KSB. Manual Técnico. Disponível em: <http://www.ksb.com.br/php/produutos/download.php?arquivo=manual_curvas_li-nha_mega_a2740_42_44_1p_e_s_7.pdf&tipo=curvas>. Acesso em: 28 de abril de 2018.

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. Informações Técnicas. Disponível em: <<http://www.schneider.ind.br/media/205092/tabela-2016-b-internet.pdf>>. Acesso em: 28 de abril de 2018.

Houghtalen, Robert J., A. Osman Akan, Ned H. C. Hwang. Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems. Boston: Pearson, 2017.

INSTRUÇÃO TÉCNICA. IT 09: Carga de incêndio nas edificações e área de risco. Minas Gerais, 2009.

INSTRUÇÃO TÉCNICA. IT 17: Sistema de hidrantes e mangotinhos para combate a incêndio. Minas Gerais, 2009.

Incêndio em frigorífico deixa duas pessoas mortas em Capanema, no interior do Paraná. Globo. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/incendio-em-frigorifico-deixa-duas-pessoas-mortas-em-capanema-no-interior-do-parana.ghtml>> Acesso em: 25 de julho de 2018.

McGovern, J. Nota Técnica: Friction Diagrams for Pipe Flow. Dublin Institute of Technology, 2011.

MINAS GERAIS. Decreto N° 44.270, de 31 de março de 2006: aprova as normas técnicas de prevenção de incêndios e determina outras providências. Belo Horizonte, Governo do Estado de Minas Gerais, 2006.

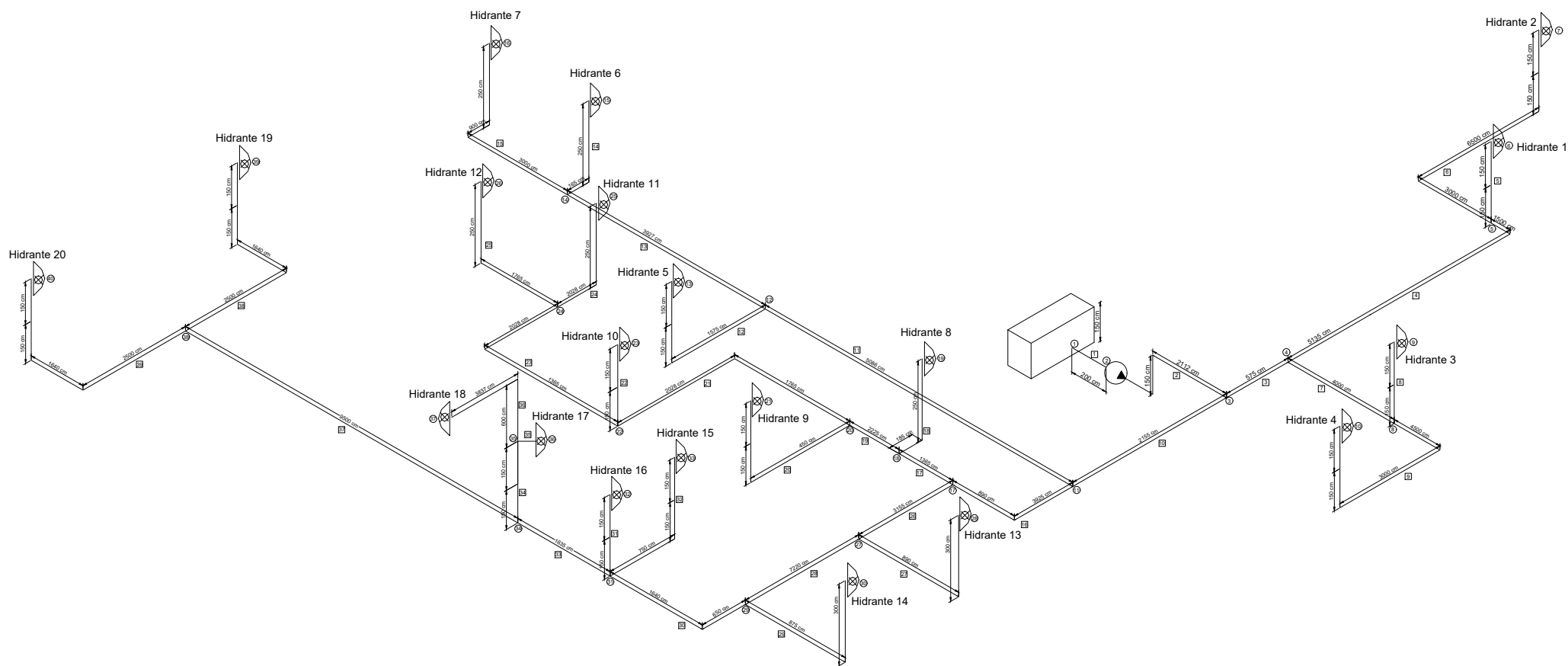
SPRINKLER. Estatísticas Sprinkler Brasil. Disponível em: <<https://www.sprinklerbrasil.org.br/instituto-sprinkler-brasil/estatisticas/estatiticas-2017-anual/>>.

Acesso em: 25 de julho de 2018.

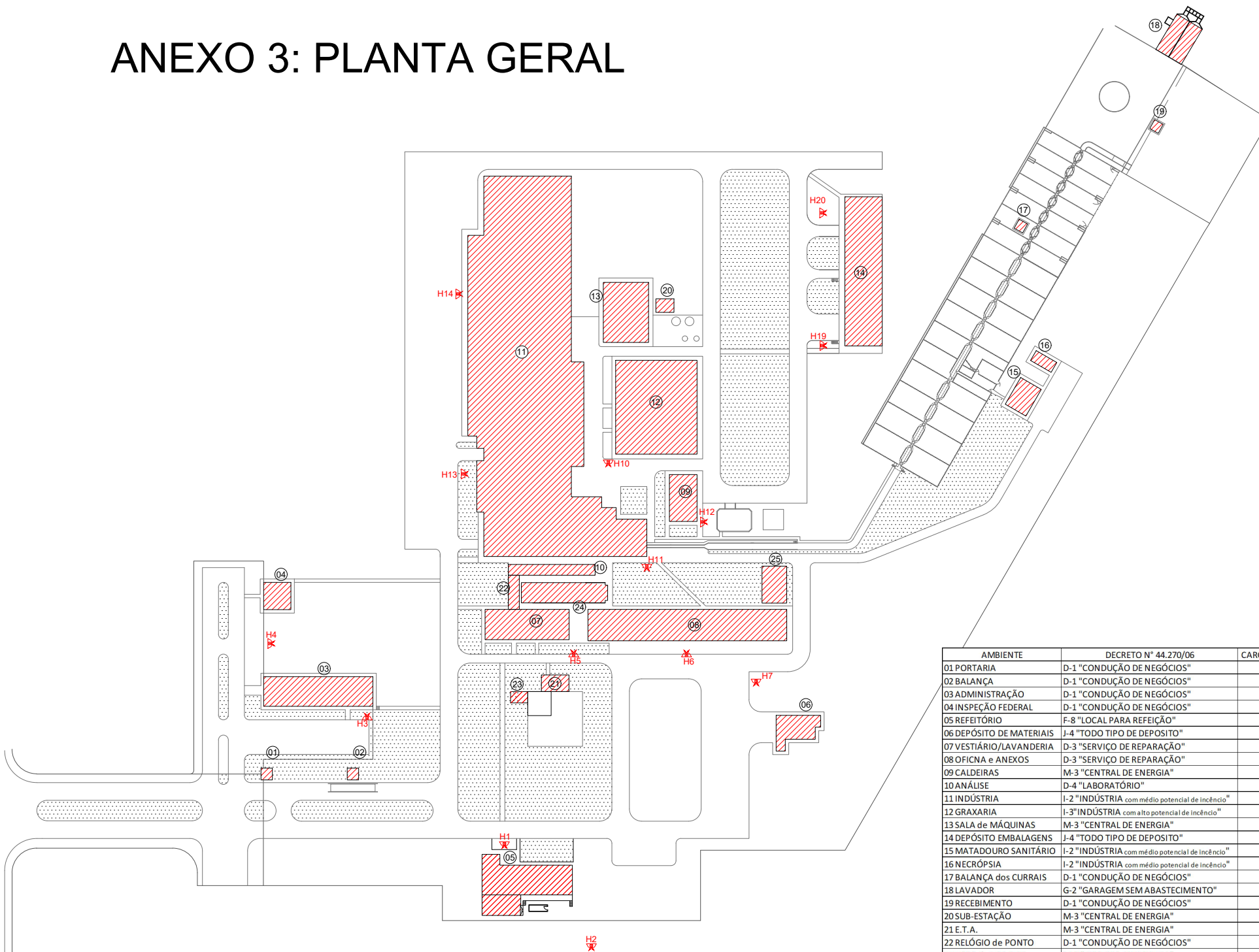
VERRI, L. A. Gestão de ativos: o comissionamento antecipado na construção e montagem como vetor positivo na preservação da confiabilidade. *XXVII Congresso da Abraman*, Rio de Janeiro: 2013. Disponível em: <<http://www.verriveritatis.com.br/Toro/marco2013/ABRAMAN.pdf>>. Acesso em:

04 de novembro de 2018.

ANEXO 2: DESENHO ISOMÉTRICO DA REDE DE HIDRANTES




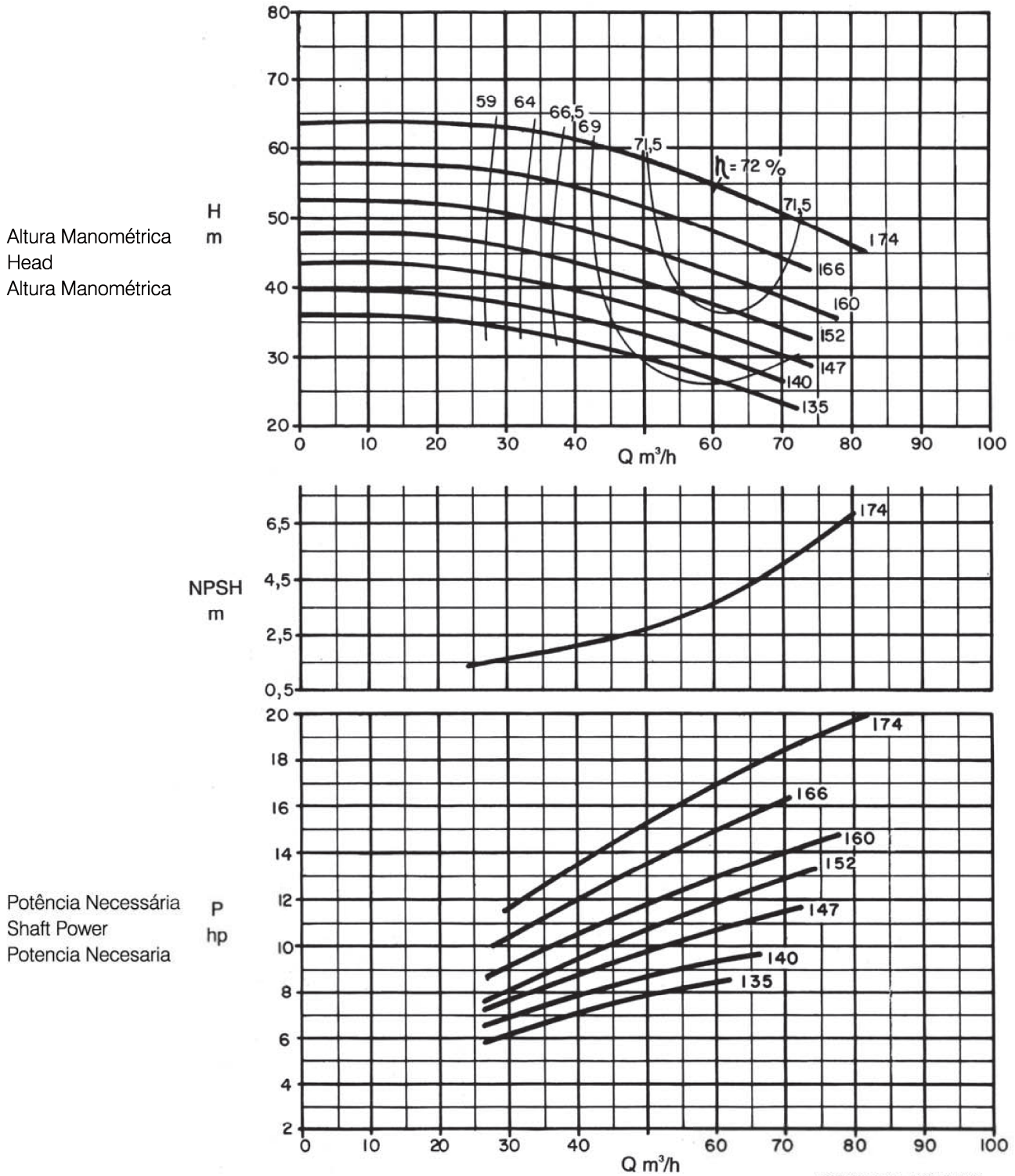
ANEXO 3: PLANTA GERAL



AMBIENTE	DECRETO Nº 44.270/06	CARGA INCÊNDIO (MJ/m ²)
01 PORTARIA	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
02 BALANÇA	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
03 ADMINISTRAÇÃO	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
04 INSPEÇÃO FEDERAL	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
05 REFEITÓRIO	F-8 "LOCAL PARA REFEIÇÃO"	300,00
06 DEPÓSITO DE MATERIAIS	J-4 "TODO TIPO DE DEPOSITO"	5.192,96
07 VESTIÁRIO/LAVANDERIA	D-3 "SERVIÇO DE REPARAÇÃO"	300,00
08 OFICINA e ANEXOS	D-3 "SERVIÇO DE REPARAÇÃO"	200,00
09 CALDEIRAS	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	2.146,89
10 ANÁLISE	D-4 "LABORATÓRIO"	300,00
11 INDÚSTRIA	I-2 "INDÚSTRIA com médio potencial de Incêndio"	800,00
12 GRAXARIA	I-3 "INDÚSTRIA com alto potencial de Incêndio"	2.000,00
13 SALA de MÁQUINAS	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	200,00
14 DEPÓSITO EMBALAGENS	J-4 "TODO TIPO DE DEPOSITO"	3.042,72
15 MATADOURO SANITÁRIO	I-2 "INDÚSTRIA com médio potencial de Incêndio"	800,00
16 NECRÔPSIA	I-2 "INDÚSTRIA com médio potencial de Incêndio"	800,00
17 BALANÇA dos CURRAIS	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
18 LAVADOR	G-2 "GARAGEM SEM ABASTECIMENTO"	200,00
19 RECEBIMENTO	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
20 SUB-ESTAÇÃO	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	200,00
21 E. T. A.	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	200,00
22 RELÓGIO de PONTO	D-1 "CONDUÇÃO DE NEGÓCIOS"	700,00
23 CASA de BOMBAS	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	200,00
24 DESCANSO DESOSSA	F-11 "AUDITÓRIO"	300,00
25 ETA	M-3 "CENTRAL DE ENERGIA"	300,00

ANEXO 4 - Curva característica da bomba antiga

Bomba Tipo Pump Type Tipo de Bomba	KSB MEGANORM KSB MEGABLOC KSB MEGACHEM KSB MEGACHEM V	Tamanho Size Tamaño	40-160	
Oferta nº Project - No. Oferta - nº	Item nº Item - No. Pos - nº	Velocidade Nominal Nom. Rotative Speed Velocidad Nominal	3500 rpm	



K2740/42/44.462-B-012

Dados válidos para densidade de 1 kg/dm³ e viscosidade cinemática até 20 mm²/s.
 Data applies to a density of 1 kg/dm³ and Kinematic viscosity up to 20 mm²/s.
 Datos válidos para densidad 1 kg/dm³ y viscosidad cinemática hasta 20 mm²/s.

Garantia das características de funcionamento conforme ISO 9906 Grau 2B.
 Operating data according to ISO 9906 Grade 2B.
 Garantía de las características de funcionamiento según ISO 9906 Grado 2B.