

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA MECÂNICA

DANIEL CAVALCANTI BRASIL SILVA

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE UMA
REDE DE HIDRANTES ATRAVÉS DE CÁLCULO
ANALÍTICO E SIMULAÇÃO NUMÉRICA**

Dourados
2018

DANIEL CAVALCANTI BRASIL SILVA

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE UMA
REDE DE HIDRANTES ATRAVÉS DE CÁLCULO
ANALÍTICO E SIMULAÇÃO NUMÉRICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte do requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Dr. Reginaldo Ribeiro de Sousa
Orientador

Dourados
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S586d Silva, Daniel Cavalcanti Brasil

Dimensionamento e análise de uma rede de hidrantes através de cálculo analítico e simulação numérica / Daniel Cavalcanti Brasil Silva -- Dourados: UFGD, 2018.

83f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Reginaldo Ribeiro de Sousa

TCC (Graduação em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal da Grande Dourados

Inclui bibliografia

1. Hidrante. 2. Combate a incêndio. 3. Dimensionamento. 4. Ansys Fluent. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



**ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aluno(a): Daniel Cavalcanti Brasil Silva

Título do trabalho: Dimensionamento e análise de uma rede de hidrantes através de cálculo analítico e simulação numérica

BANCA EXAMINADORA

1. Presidente (orientador): REGINALDO RIBEIRO DE SOUZA
2. Membro: Fernando Augusto Alves Mendes
3. Membro: Augusto Salomão Borschlegell

QUADRO DEMONSTRATIVO DAS NOTAS ATRIBUÍDAS AO ALUNO

Avaliador: NOTA

1. Presidente: 10

2. Membro: 10

3. Membro: 10

Média Final: 10

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, conforme demonstrado no quadro acima, nós, da banca examinadora, declaramos aprovado (aprovado/reprovado) o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso.

Local

Data

Dourados, 14 de DEZEMBRO de 2013.

[Assinatura]
Presidente

[Assinatura]
Membro

Augusto Borschlegell
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me dado forças para superar as dificuldades.

Gostaria de agradecer em especial aos meus pais, Orivaldo e Vânia, que além do amor e carinho me deram todo suporte e incentivo necessário para que eu pudesse focar nos estudos.

Ao meu Orientador Reginaldo, que me deu suporte e forneceu conhecimento durante todo o desenvolvimento desse trabalho, e a todos professores que contribuíram para a minha formação.

Aos meus amigos que dividiram aflições e noites sem dormir e ao mesmo tempo tornaram essa experiência mais fácil e prazerosa.

"Não espere o futuro mudar tua vida, porque o futuro é a consequência do presente.."

Racionais MC's

RESUMO

Nas últimas décadas com a forte urbanização da sociedade aumentou-se os casos de incêndio no Brasil, por conta disso rigorosas normas técnicas são exigidas por leis estaduais e federais, sendo essas vistoriadas pelo Corpo de Bombeiros, para determinados tipos de edificações, com o objetivo de se evitar esses desastres. Esse cenário gerou uma grande oportunidade de mercado para empresas que trabalham com projetos de combate a incêndio, portanto em um mercado que se torna cada dia mais competitivo é necessário um projeto muito bem feito para se garantir qualidade, segurança e redução de custos. Neste trabalho foi realizado um dimensionamento analítico de uma rede de hidrantes para uma edificação comercial de materiais de construção na região de Dourados-MS, com intuito de definir os principais parâmetros do sistema. Posteriormente foi realizado uma simulação numérica utilizando o software Ansys Fluent, assim como os softwares Ansys Meshing para a criação da malha, Autocad e SolidWorks para a elaboração do desenho da rede de hidrantes do modelo analítico e numérico, respectivamente. A simulação se mostrou condizente de forma geral e para alguns valores, como de pressão na saída da bomba, obteve-se resultados muito próximos ao analítico com um erro de apenas 2,15%, entretanto para outros valores, como as velocidades, houve uma discrepância de resultados. Com isso, é possível afirmar que a simulação necessita de algumas melhorias futuras, entretanto está no caminho certo para sua validação. Por fim, pode-se afirmar que para atender qualquer princípio de incêndio no local será necessário dois pontos de hidrante, cerca de 57 metros de tubulação alternados entre 2.1/2" e 3" de diâmetro em PEAD ou aço galvanizado, sendo o primeiro utilizado apenas enterrado. Quanto a bomba deverá ser do tipo centrífuga e seu motor deverá ser elétrico com potência de 8,6 cv, pode-se ainda afirmar que não haverá cavitação no sistema, garantindo seu perfeito funcionamento.

Palavras-chave: hidrante. combate a incêndio. dimensionamento. Ansys Fluent.

ABSTRACT

In the last decades, with the strong urbanization of the society, the cases of fire in Brazil have increased, for this reason, rigorous technical norms are required by state and federal laws, and these are inspected by the Fire Department for certain types of buildings, with the objective to avoid such disasters. This scenario has created a great market opportunity for companies that work with fire-fighting projects, so in a business that is becoming more competitive every day, is necessary a good project to guarantee quality, safety and cost reduction. In this work an analytical dimensioning of a hydrant network for a commercial building of construction materials in the region of Dourados-MS was done, in order to define the main parameters of the system. Afterwards, a numerical simulation was performed using the Ansys Fluent software, as well as Ansys Meshing software for mesh creation, Autocad and SolidWorks for the design of the hydrothermal network of the analytical and numerical model, respectively. The simulation was generally satisfactory and for some values, such as pressure at the pump outlet, results were very close to the analytical with an error of only 2.15 %. However, for other values, such as velocities, there were a discrepancy of results. With this, it is possible to affirm that the simulation needs some future improvements. However, it is in the right direction for a validation. Finally, it can be stated that to meet any fire principle in the place will require two hydrant points, about 57 meters of pipe alternating between 2.1/2" and 3" in HDPE or galvanized steel, the first one used just under the ground. As for the pump, it should be of the centrifugal type and its engine should be electric with a power of 8.6 hp, it can also be affirmed that there will be no cavitation in the system, guaranteeing its perfect functioning.

Key words: hydrant. fire fighting. sizing. Ansys Fluent.

LISTA DE FIGURAS

1	Classificação dos tipos de sistemas hidráulicos preventivos	25
2	Perfil de velocidade para escoamento turbulento	30
3	Classificação das Máquinas de Fluido.	30
4	Principais peças de uma bomba centrífuga	32
5	Esquema de instalação de combate a incêndio (Hidrante)	33
6	Coeficientes de Hazen-Williams	35
7	Tabela de comprimento equivalente	36
8	Localização adequada das tomadas de incêndio	41
9	Vista isométrica da rede de hidrantes do Comércio de Material de Construção	43
10	Vista isométrica ampliada parte 1	44
11	Vista isométrica ampliada parte 2	44
12	Vista detalhada de T3 e T4	45
13	Gráfico para seleção da família da bomba	55
14	Gráfico de características da bomba	56
15	Gráfico de potência do motor	57
16	Gráfico de NPSH requerido pela bomba	57
17	Pressão de vapor em função da temperatura e pressão atmosférica em função da altitude	58
18	Vista isométrica da rede exportada para o DesignModeler	60
19	Refino de malha em locais críticos	60
20	Refino de malha para a camada limite	61
21	Modelo de turbulência adotado	62
22	Checagem do pré-processamento	63
23	Gráfico residual	64
24	Gráfico de pressão na entrada e saídas da rede [Pa]	64
25	Quadro de resultados do dimensionamento analítico	65
26	Perfil de escoamento turbulento da rede	66
27	Perda de pressão média ao longo do trecho T2	66
28	Linhas de corrente de velocidade na sucção	67
29	Pressão na saída da bomba (Altura Manométrica Total)	67
30	Varição da velocidade para o trecho RTI - PontoA	68
31	Varição da pressão para o trecho RTI - PontoA	68
32	Escoamento na bifurcação dos trechos T1 e T2	69
33	Pressões atuantes na bifurcação dos trechos T1 e T2	69
34	Velocidades nas saídas H1 e H2	70

LISTA DE TABELAS

1	Detalhes sobre a edificação.	39
---	--------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

CBMMS	Corpo de Bombeiros Militar de Mato Grosso do Sul
H1	Hidrante mais desfavorável hidraulicamente
H2	Segundo hidrante mais desfavorável hidraulicamente
NT	Norma Técnica
PEAD	Polietileno de alta densidade
SHP	Sistema hidráulico preventivo
TSL	Tê de saída lateral
VA	Válvula angular
VG	Válvula gaveta
VH	Válvula horizontal
RTI	Reserva técnica de incêndio

LISTA DE SÍMBOLOS

g	Gravidade local
Re	Número de Reynolds
Z	Altura do ponto em relação ao centro do rotor da bomba
L	Comprimento analisado
C	Coefficiente de Hazzen-Williams
ρ	Massa específica
γ	Peso Específico
\dot{m}	Vazão mássica
\dot{Q}	Vazão Volumétrica
H_{pc}	Perda de carga
H_{pcs}	Perda de carga na sucção
H_{pcr}	Perda de carga no recalque
H	Altura manométrica total
P_a	Pressão no ponto A (bifurcação do sistema)
ΔP_a	Diferença de pressão do ponto A
A_{r1}	Área da secção transversal da tubulação de 2.1/2"
A_{r2}	Área da secção transversal da tubulação de 3"
$NPSH_r$	Altura livre positiva de sucção requerida
$NPSH_d$	Altura livre positiva de sucção disponível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	OBJETIVOS	26
1.1.1	Objetivo geral	26
1.1.2	Objetivos específicos	26
1.2	JUSTIFICATIVA	26
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	Mecânica dos fluidos	29
2.2	Escoamento	29
2.3	Máquina de fluido	30
2.3.1	Classificação das máquinas de fluido hidráulica	30
2.3.1.1	Sentido de transmissão de energia.	31
2.3.1.2	Tipo de energia envolvida no processo.	31
2.3.1.3	Direção do escoamento.	31
2.3.1.4	Posição da bomba.	31
2.4	Bombas	31
2.4.1	Bomba Centrífuga.	32
2.5	Sistema de bombeamento do tipo Hidrante	33
2.5.1	Altura estática de sucção (H_{suc})	33
2.5.2	Altura estática de recalque (H_{rec})	33
2.5.3	Altura estática de elevação (H_{ele})	33
2.5.4	Altura estática da bomba (H_{bom})	34
2.5.5	Vazão	34
2.5.6	Perdas de carga	34
2.5.6.1	Cálculo da perda de carga	34
2.6	Equação de Bernoulli	36
2.6.1	Altura manométrica total (H)	37
2.7	Dinâmica dos fluidos computacional	37
3	METODOLOGIA	39
3.1	Premissas e análises iniciais	39
3.1.1	Descrição do local de estudo	39
3.1.2	Seleção da norma técnica a ser adotada	39
3.1.3	Tipo de sistema de combate a incêndio a ser usado e suas variáveis	40
3.1.4	Lançamento da rede de hidrantes	41

3.2	Método analítico	45
3.2.1	Pressão em A referente ao Trecho 1 (T1)	45
3.2.2	Pressão em A referente ao Trecho 2 (T2)	47
3.2.3	Teste hidrostático	49
3.2.4	Recalculando a pressão em A referente ao Trecho 2 (T2)	50
3.2.5	Refazendo o teste hidrostático	51
3.2.6	Perda de carga no Trecho 3 (T3)	52
3.2.7	Perda de carga no Trecho 4 (T4)	53
3.2.8	Altura manométrica total (H)	54
3.2.9	Seleção do conjunto Moto-Bomba	55
3.3	Verificação por Método Numérico	59
3.3.1	Geometria do sistema	59
3.3.2	Malha	60
3.3.3	Modelo de turbulência	61
3.3.4	Condições de contorno	62
3.3.5	Simulação	63
3.3.6	Pós-processamento	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1	Resultados analíticos	65
4.2	Resultados numéricos	65
4.2.1	Escoamento geral	65
4.2.2	Tubulação de sucção	66
4.2.3	Saída da bomba	67
4.2.4	Trecho RTI ao ponto A	68
4.2.5	Bifurcação entre os trechos T1 e T2	69
4.2.6	Saída H1 e H2	70
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS	71
6	REFERÊNCIAS	73
	ANEXO A - Classificação das edificações quanto a ocupação	75
	ANEXO B - Tabela de carga de incêndio específico por ocupação.	77
	ANEXO B - Classificação do tipo de sistema de combate a incêndio.	79
	ANEXO D - Detalhes sobre os tipos de sistemas de hidrante e mangotinho.	81

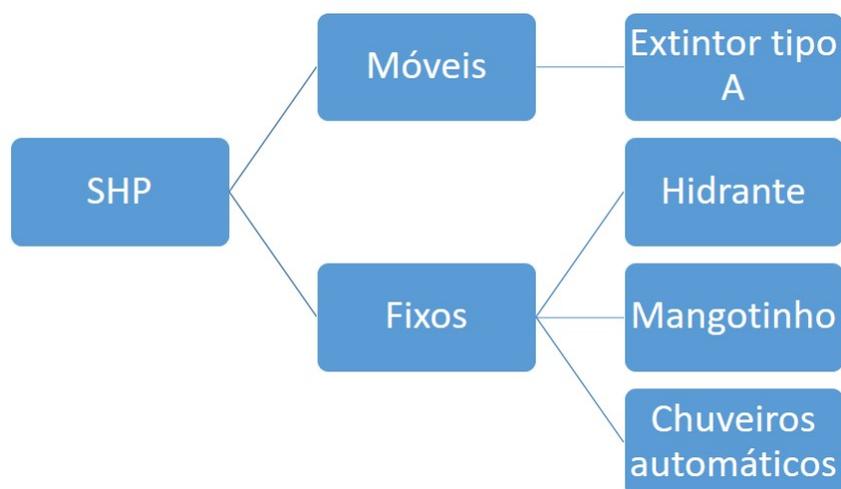
1 INTRODUÇÃO

A descoberta e produção do fogo por nosso ancestral o Homo erectus, a cerca de 7 mil anos A.C., trouxe enormes melhorias para a vida, pois a partir de então tornou-se possível o cozimento dos alimentos, geração de conforto térmico, iluminação e até afugentar animais selvagens. Entretanto, também trouxe uma grande consequência, os riscos de incêndio, problema que se agravou e tornou-se cada vez mais frequente com o crescimento das civilizações e forte urbanização ao longo da história. De acordo com a NBR 13860 (maio 1997) incêndio é definido como “Fogo fora de controle ” e pode ser gerado por três causas diferentes: naturais, acidentais e criminosas.

Em 2017 foram contabilizados pela imprensa 724 incêndios no Brasil, que poderiam ser evitados, segundo o Instituto Sprinkler Brasil. O que torna evidente a necessidade de um eficiente sistema de prevenção contra incêndio para garantir a saúde e segurança das pessoas, além de preservar seus patrimônios.

Segundo Back e Simon (2015), existem diversas formas de se realizar o combate a incêndio, entretanto a mais usual e eficiente é através de sistemas hidráulicos preventivos (SHP). De acordo com Brentano (2016) todo mecanismo que utiliza água como agente extintor de fogo é classificado como SHP e pode ser dividido conforme mostra a Figura 1

Figura 1 – Classificação dos tipos de sistemas hidráulicos preventivos



Fonte: Elaborado pelo autor.

O SHP ideal a ser adotado depende de diversos fatores como, normas técnicas vigentes, local a ser instalado, tipo de atividade realizada, área construída e viabilidade econômica para a empresa. A escolha de um tipo não exclui necessariamente as demais, podendo, portanto, existir mais de um tipo de sistema em operação.

Para fins deste trabalho, adotou-se como foco de estudo uma empresa de materiais de construção, no qual será projetado, segundo as normas técnicas do Corpo de Bombeiros do estado do Mato Grosso do Sul, um sistema de hidrantes que extinga ou controle até a chegada dos bombeiros, um foco de incêndio que inicie em qualquer local de sua área construída. Esse estudo será realizado inicialmente de forma analítica e posteriormente validará simulações numéricas no software Ansys Fluent, visando otimizar o projeto e sugerir aperfeiçoamentos para trabalhos futuros.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Projetar e analisar um sistema de hidrantes capaz de combater um possível incêndio em uma loja de material de construção e propor melhorias para projetos futuros, de acordo com a NT 22 – Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio, do Corpo de Bombeiros Militar do Mato Grosso do Sul (CBMMS)

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Classificar o tipo de sistema e o método de combate a incêndio necessário a instalação.
- b) Dimensionar o reservatório de água de acordo com a necessidade do local.
- c) Dimensionar a tubulação da rede de hidrantes.
- d) Calcular a bomba necessária para gerar a pressão mínima de água na saída da válvula angular, local onde se acopla a mangueira de incêndio, de acordo com a necessidade do sistema.
- e) Análise da ocorrência de fenômenos danosos como a cavitação.
- f) Elaborar um modelo numérico no software Ansys Fluent.
- g) Realizar a validação do modelo numérico com o modelo analítico
- f) Sugerir melhorias para trabalhos futuros.

1.2 JUSTIFICATIVA

O Brasil se alterou, em um curto período de tempo, de um país tipicamente rural para uma sociedade urbanizada, com indústrias e que oferece diversos tipos de serviços, características típicas de uma sociedade moderna. Pode-se dizer que a vida moderna aumenta as chances da ocorrência de um incêndio, devido à grande concentração de

peçoas, existência de substâncias inflamáveis, aumento na quantidade de máquinas e equipamentos, casas e edificações cada vez mais próximas e diversos materiais que entram em combustão com facilidade. Portanto, faz-se necessário um sistema de prevenção contra incêndio eficiente e bem dimensionado, objetivo principal deste trabalho.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos, com o intuito de facilitar a compreensão e organização do mesmo.

Primeiro capítulo: introdução, no qual há uma breve contextualização a respeito de incêndio, tipos de equipamentos de prevenção e itens a avaliar para realizar o dimensionamento do mesmo.

Segundo capítulo: revisão bibliografia, em que se apresentará os conhecimentos teóricos necessários para o entendimento e execução deste trabalho, como NTs dos bombeiros e de combate ao incêndio, conceitos e equações da mecânica dos fluidos e noções básicas a respeito da simulação numérica.

Terceiro capítulo: metodologia, no qual será apresentado o passo a passo para o dimensionamento do sistema de forma analítica e numérica.

Quarto capítulo: resultados e discussões, em que será apresentado os resultados e feito uma análise do sucesso do projeto através da comparação entre resultados analíticos e numéricos, observando se alcançou os resultados demandados pelo projeto.

Quinto capítulo: conclusão, no qual se apresentará as conclusões finais e será proposto melhorias para projetos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mecânica dos fluidos

A mecânica dos fluidos estuda os fluidos em movimento ou em repouso e as leis a que estão submetidos. Possui aplicação em diversas áreas dentro da engenharia, como por exemplo: compressores, projeto de bombas, dutos e tubulações, climatização de ambientes e aerodinâmica de veículos.

Segundo McDonald (2006) “ um fluido é uma substância que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento (tangencial), não importando o quão pequeno seja o seu valor”. Se a aplicação dessa carga gerar uma alteração de sua densidade desprezível, pode-se dizer que se trata de um fluido incompressível, caso contrário, ele será compressível.

2.2 Escoamento

Um escoamento pode ser ordenado e suave enquanto outros podem ser caóticos. Para o primeiro tipo o escoamento é denominado laminar, já para o segundo, turbulento. Para tubulações é possível realizar essa mesma classificação de acordo com o Número de Reynolds, Re , um número adimensional descoberto através de experimentos. Segundo Çengel (2012), para condições industriais, se $Re < 2000$ o escoamento será laminar, se $Re > 2000$ é denominado turbulento.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.1)$$

Em que:

Re - Número de Reynolds [adimensional]

ρ - Massa específica do fluido [kg/m^3]

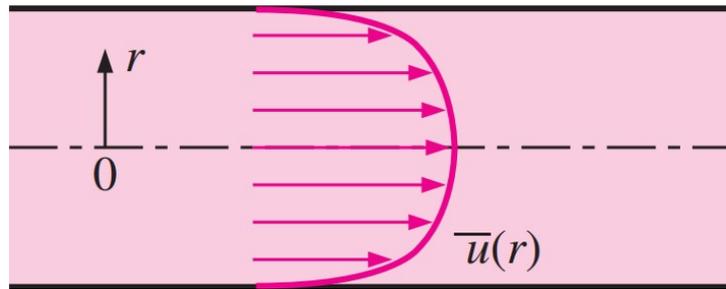
V - Velocidade do fluido [m/s]

D - Diâmetro interno da tubulação

μ - Viscosidade dinâmica do escoamento [m^2/s]

Ao analisar o perfil de velocidade de um escoamento turbulento ele deve se assemelhar a Figura 2

Figura 2 – Perfil de velocidade para escoamento turbulento



Fonte: Çengel (2012).

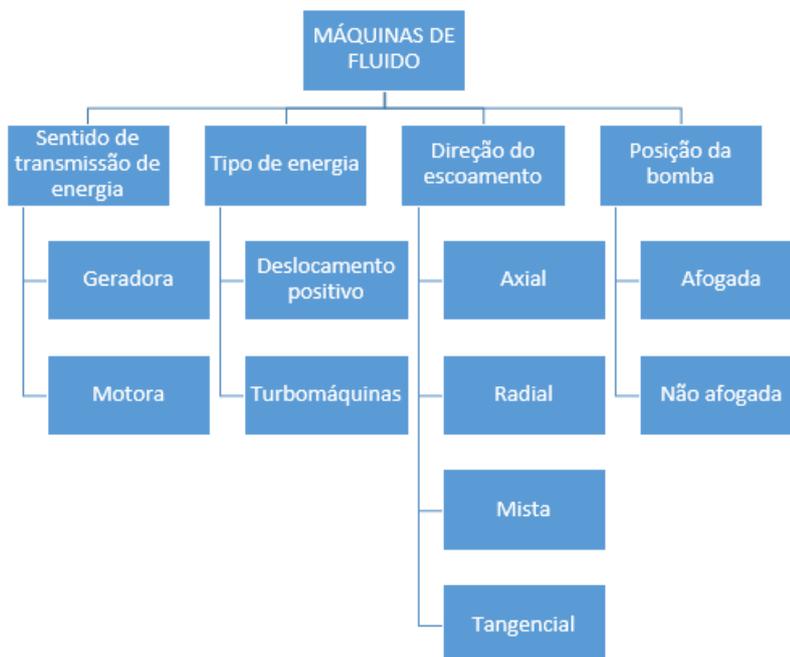
2.3 Máquina de fluido

Trata-se de um equipamento que gera uma troca energética entre um sistema mecânico e um fluido, transformando a energia mecânica em energia de fluido ou vice-versa. Geralmente utiliza-se água, ar ou óleo nesses equipamentos. Se o fluido de trabalho for incompressível trata-se de uma Máquina Hidráulica, caso contrário o equipamento em questão será uma Máquina Térmica.

2.3.1 Classificação das máquinas de fluido hidráulica

De acordo com Germer (2013) existem inúmeros tipos de máquinas de fluido e essas são classificadas de diferentes formas de acordo com características específicas, conforme está resumido de forma simplificada nos tópicos que se seguem e na Figura 3.

Figura 3 – Classificação das Máquinas de Fluido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.1.1 Sentido de transmissão de energia.

Geradora: transformação de energia mecânica em energia de fluido. Exemplo: bombas e ventiladores.

Motora: transformação de energia de fluido em energia mecânica. Exemplo: turbinas e moinhos de vento.

2.3.1.2 Tipo de energia envolvida no processo.

Deslocamento Positivo: Neste tipo de equipamento durante a passagem do fluido parte dele fica confinado no interior de sua carcaça, essa por sua vez, gera uma diferença de pressão devido as variações de volume, gerando assim, energia de fluido ou mecânica. Neste caso praticamente não há influência de energia cinética. Exemplo: bomba de engrenagens e compressor de pistão.

Turbo máquinas: A energia aqui presente é majoritariamente cinética. O fluido entra no equipamento e ocorre a troca de energia ao passar pelas pás do rotor que giram a altas velocidades. O fluido nunca está confinado no interior do equipamento e sim em um movimento contínuo.

2.3.1.3 Direção do escoamento.

Axial: o fluido entra e sai de forma radial do rotor. Conseguir recalcar grandes vazões, entretanto para pequenas alturas.

Radial: o fluido entra de forma axial no rotor e sai radialmente. Ao contrário do caso anterior possui baixa vazão, entretanto atinge grandes alturas.

Mista: mistura entre o modelo axial e radial, portanto nesse caso o fluido sai do rotor de forma diagonal.

Tangencial: escoamento de forma tangente ao rotor

2.3.1.4 Posição da bomba.

Afogada: a bomba é dita afogada, ou de sucção positiva, caso seu eixo esteja abaixo da superfície de água do reservatório de sucção.

Não afogada: a bomba é dita não afogada, ou de sucção negativa, caso seu eixo esteja acima da superfície de água do reservatório de sucção.

2.4 Bombas

São equipamentos alimentados por uma fonte motora que fornecem energia e pressão para o fluido através da transformação de energia cinética e de pressão em energia

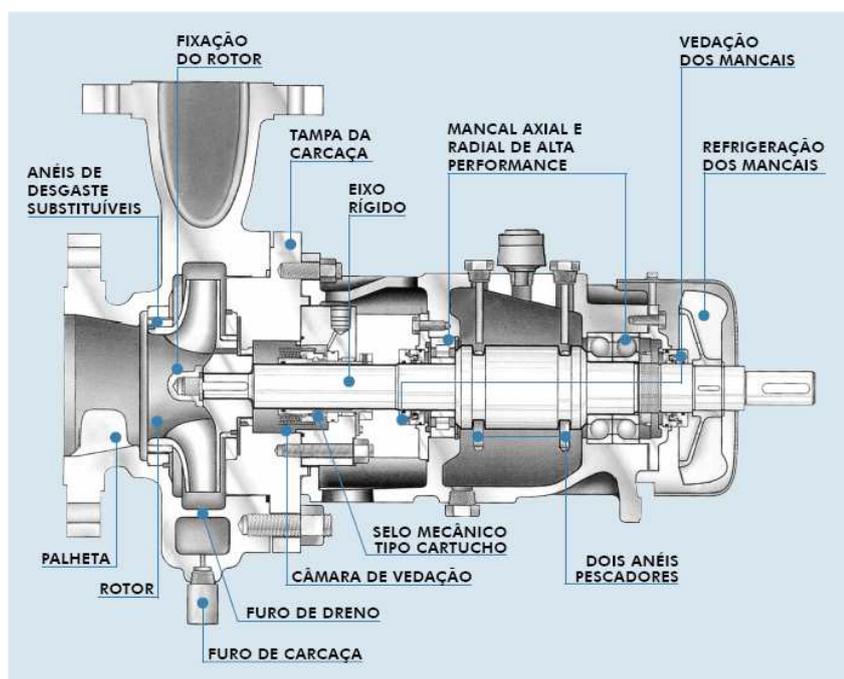
de hidráulica (geradora), com o intuito de transporta-lo, através de tubulações, de um local a outro.

2.4.1 Bomba Centrífuga.

Trata-se de uma Turbomáquina geradora que trabalha com a criação de uma zona de baixa pressão, sucção, e uma de alta pressão, recalque, o que estabelece um fluxo contínuo do fluido. Constituída por três partes principais, como mostrado na Figura 4

- Carcaça: trata-se da estrutura da bomba, que contém o fluido e demais peças, possui um bocal de entrada (sucção) e um de saída (descarga).
- Rotor: responsável por fornecer energia ao fluido.
- Eixo: responsável pela transferência de movimentos rotativos do motor (geralmente elétrico) para o rotor.

Figura 4 – Principais peças de uma bomba centrífuga

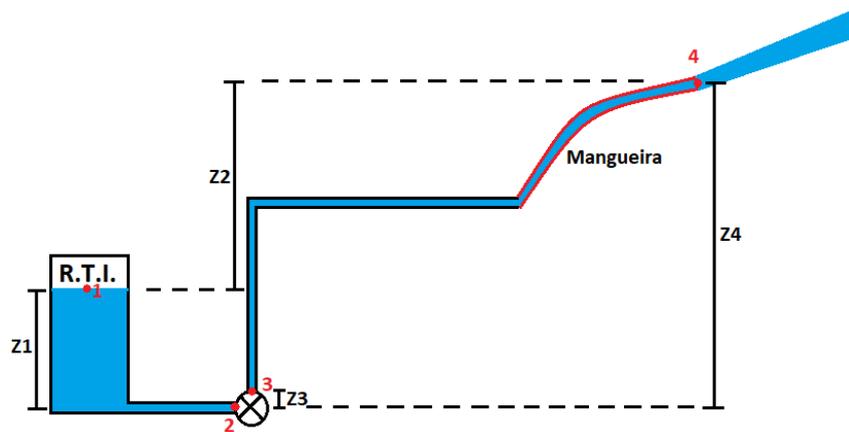


Fonte: TCC Bombas Centrífugas.

2.5 Sistema de bombeamento do tipo Hidrante

O sistema de hidrantes é composto basicamente pela Reserva Técnica de Incêndio (RTI), bomba centrífuga, tubulações e suas conexões, mangueiras e seus acessórios. Um esquema simplificado e geral desse tipo de instalação pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema de instalação de combate a incêndio (Hidrante)



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.5.1 Altura estática de sucção (H_{suc})

Altura entre o eixo do rotor da bomba e o nível de água do reservatório.

$$H_{suc} = Z1 \quad (2.2)$$

2.5.2 Altura estática de recalque (H_{rec})

Altura entre o eixo do rotor da bomba e o nível em que se encontrar a saída da água.

$$H_{rec} = Z4 \quad (2.3)$$

2.5.3 Altura estática de elevação (H_{ele})

Distância entre a superfície de água do reservatório e o nível de saída de água na mangueira.

$$H_{ele} = Z2 \quad (2.4)$$

2.5.4 Altura estática da bomba (H_{bom})

Distância entre o eixo do rotor da bomba e a saída da mesma.

$$H_{bom} = Z_3 \quad (2.5)$$

2.5.5 Vazão

Vazão mássica é a quantidade de massa de um fluido que escoar por unidade de tempo

$$\dot{m} = \rho V A \quad (2.6)$$

Enquanto vazão volumétrica é a relação de volume por unidade de tempo

$$\dot{Q} = V A \quad (2.7)$$

Vale lembrar que para máquinas hidráulicas a variação de ρ é desprezível e pode ser considerado constante.

2.5.6 Perdas de carga

De acordo com Çengel (2012) trata-se da perda de energia que o fluido sofre ao longo de seu escoamento em uma tubulação, podendo ser de dois tipos: perda de carga normal, gerada pelo atrito do fluido com a parede da tubulação em que escoar e a perda de carga localizada, que é gerada por mudanças no escoamento, tais como variações de área, entradas, saídas e acessórios. A perda de carga total será a soma da normal com a distribuída.

2.5.6.1 Cálculo da perda de carga

A perda de carga pode ser calculada por alguns métodos, dentre eles o método de Hazen-Williams é o mais indicado para diâmetros acima de 50 mm e escoamento com água.

$$H_{pc} = \frac{605 \dot{Q}^{1,85} L 10^4}{C^{1,85} D^{4,87}} \quad (2.8)$$

Em que:

Q - Vazão [l/min]

D – Diâmetro interno da tubulação [mm]

L – Comprimento da tubulação reta [m]

H_{pc} – Perda de carga na tubulação [mca]

C – Coeficiente de Hazen-Williams [adimensional]

O coeficiente C pode ser encontrado na Figura 6 , sendo definido de acordo com o material e estado de conservação da tubulação em que ocorre o escoamento.

Figura 6 – Coeficientes de Hazen-Williams

Tipo de tubo	Fator "C"
Ferro fundido ou dúctil sem revestimento interno	100
Aço preto (sistema de tubo seco)	100
Aço preto (sistema de tubo molhado)	120
Galvanizado	120
Plástico	150
Ferro fundido ou dúctil com revestimento interno de cimento	140
Cobre	150

Fonte: NT22 CBMMS

O comprimento da tubulação "L", pode ser encontrado pelo método do comprimento equivalente.

$$L = L_{real} + L_{virtual} \quad (2.9)$$

Através desse método pode-se relacionar perdas de tubo reto com perdas localizada, portanto pretende-se definir a quantidade de perda de carga que determinado acessório, representa se fosse um tubo reto. Por exemplo, uma curva 90 graus de 3" de diâmetro possui uma perda de carga equivalente a um tubo reto de mesmo diâmetro e comprimento de 1,3 metros.

Figura 7 – Tabela de comprimento equivalente

CONEXÃO	DIÂMETRO NOMINAL X EQUIVALÊNCIA EM METROS DE CANALIZAÇÃO									
	MATERIAL	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"	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	0,03	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
LUIVA 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	10,8	13,0	17,0	21,0
VALVULA 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
VALVULA 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

Fonte: KSB,2001

2.6 Equação de Bernoulli

“A equação de Bernoulli é uma relação aproximada entre pressão, velocidade e elevação e é válida em regiões de escoamento incompressível e em regime permanente, onde as forças de atrito resultantes são desprezíveis. Apesar de sua simplicidade, essa provou ser uma ferramenta muito útil na mecânica dos fluidos. A equação de Bernoulli pode ser vista como um princípio da conservação de energia mecânica”. (Çengel, 2012)

$$E = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z \quad (2.10)$$

Em que:

P – Pressão [Pa]

V – Velocidade [m/s]

z – Altura geométrica [m]

γ – Peso específico [N/m^3]

g – Gravidade no local [m/s^2]

E - Energia no ponto [Joule]

2.6.1 Altura manométrica total (H)

Trata-se da energia por unidade de peso necessária para que o fluido supere todos os obstáculos à sua frente, tais como acessórios da instalação, desníveis e perdas de cargas. E além disso, consiga atingir o ponto 4 com valores de pressão e velocidade estabelecidas por projeto. Considerando os pontos 1 e 4 como referência, pode-se chegar ao seguinte balanço energético.

$$E1 + H = E4 + H_{pcs} + H_{pcr} \quad (2.11)$$

Em que:

H - Altura manométrica total

E - Energia do ponto

H_{pcs} - Perda de carga na sucção

H_{pcr} - Perda de carga no recalque

Caso exista uma ou mais bifurcações ao longo de uma rede de água, Brentano (2016) sugere uma equação mais simples e direta para sistemas de combate a incêndio, em que a pressão dinâmica pode ser desprezada:

$$H = Pa + hab + H_{pcbr} + H_{pcab} \quad (2.12)$$

Em que:

Pa - Pressão na bifurcação da tubulação mais próxima a bomba [mca]

hab - Altura entre a bifurcação e a bomba [m]

H_{pcab} - Perda de carga na tubulação entre a bifurcação e a bomba [mca]

H_{pcbr} - Perda de carga na tubulação entre o RTI e a bomba [mca]

2.7 Dinâmica dos fluidos computacional

A dinâmica dos fluidos computacional estuda sistemas de escoamento de fluidos através da programação de equações e métodos matemáticos típicos da mecânica dos fluidos, dessa forma é possível resolver com maior facilidade e agilidade problemas frequentemente encarados na engenharia, tornando-se a melhor opção, na maioria dos casos, para a área de projeto, pesquisa e desenvolvimento. A resolução de um modelo analítico, quando possível

de ser calculado, pode ser extremamente complexo e extenso. Os métodos experimentais já são mais práticos, entretanto envolvem um custo de planejamento e construção associado. Por esses motivos a utilização de softwares de simulação numérica se torna imprescindível e vantajosa frente aos outros modelos. Entretanto, vale lembrar que a simulação deve ser validada através de outros métodos, uma vez feito isso se tem a liberdade para realizar mudanças e otimizações no mesmo.

Para efeitos desse trabalho será utilizado o Software Ansys Fluent para analisar o escoamento da água dentro da tubulação, assim como verificar se a bomba utilizada realmente fornece a pressão hidráulica suficiente para que o fluido saia da mangueira de incêndio com os valores mínimos de pressão e vazão volumétrica. O modelo será validado através de um estudo analítico.

3 METODOLOGIA

3.1 Premissas e análises iniciais

Um dimensionamento se baseia em uma sequência de etapas a serem concluídas e verificadas para garantir que atendam à demanda do projeto, segurança das pessoas e as normas vigentes. Neste trabalho foram reproduzidas as etapas mais importantes deste processo, as quais são a descrição do local de estudo, seleção da norma técnica a ser adotada, tipo de sistema de combate a incêndio a ser usado e suas variáveis, lançamento da rede de hidrantes, cálculo dos principais parâmetros do sistema por métodos analíticos e características do conjunto moto-bomba.

3.1.1 Descrição do local de estudo

A edificação em questão é um comércio de material de construção situado na cidade de Dourados-MS. Na Tabela 1 é apresentado mais informações sobre a empresa:

Tabela 1 – Detalhes sobre a edificação.

ITEM	DESCRIÇÃO
Área construída	1280 m^2
N de pavimentos	1
Estrutura de sustentação da cobertura	Concreto armado, Metálica
Estrutura principal	Concreto armado
Parede	Alvenaria, Gesso
Forro	PVC
Piso	Cerâmico, Concreto

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que toda parte estrutural utiliza de materiais com poder calorífico extremamente baixo, podendo ser até considerados incombustíveis. Portanto, nenhuma medida especial será necessária para essa edificação no que diz respeito a sua estrutura básica.

3.1.2 Seleção da norma técnica a ser adotada

Deve-se sempre dar preferência para a norma regional, por essa ser mais específica e atender de forma mais completa as necessidades da região, na ausência de informações deve-se consultar a norma nacional ou internacional. Aqui serão utilizado as seguintes

normas:

- NT 22 CBMMS - Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio para o estado de Mato Grosso do Sul

- NBR 13714 - Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio

3.1.3 Tipo de sistema de combate a incêndio a ser usado e suas variáveis

A) Classe de risco da ocupação

Trata-se do tipo de risco de incêndio que o ambiente oferece. Por se tratar de uma loja de material de construção pertence ao grupo comercial (C) e divisão C-2. Consultar o Anexo A

B) Carga de incêndio da edificação

Trata-se do somatório das energias caloríficas possíveis de serem libertas pela combustão de todos os materiais que entrem em combustão contidos em um ambiente, inclusive o revestimento das paredes, pisos, divisórias e tetos. Consultando o Anexo B é possível confirmar a divisão C-2 e identificar a carga de incêndio da edificação como sendo, $q_{fi} = 800 \text{ MJ}/m^2$.

C) Tipo de sistema a ser adotado

Sabendo a divisão, carga de incêndio e área construída do local é possível determinar o tipo de sistema mais indicado que deve ser adotado. Consultando o Anexo C, teremos um sistema de hidrantes do Tipo 3 com RTI de 12 m^3 .

D) Características do sistema

No Anexo D é possível obter mais informações sobre o sistema que foi utilizado, dados que foram de extrema importância para o dimensionamento da rede, dentre eles se destacam a vazão e pressão mínima na válvula angular do hidrante mais desfavorável hidráulicamente (H1), ou seja, aquele que proporciona menor pressão na saída da água, que valem respectivamente, ($\dot{Q}_{H1} = 200 \text{ l}/\text{min}$) e $PH1 = 40 \text{ mca}$. Estes valores foram nosso ponto de partida para o dimensionamento da rede.

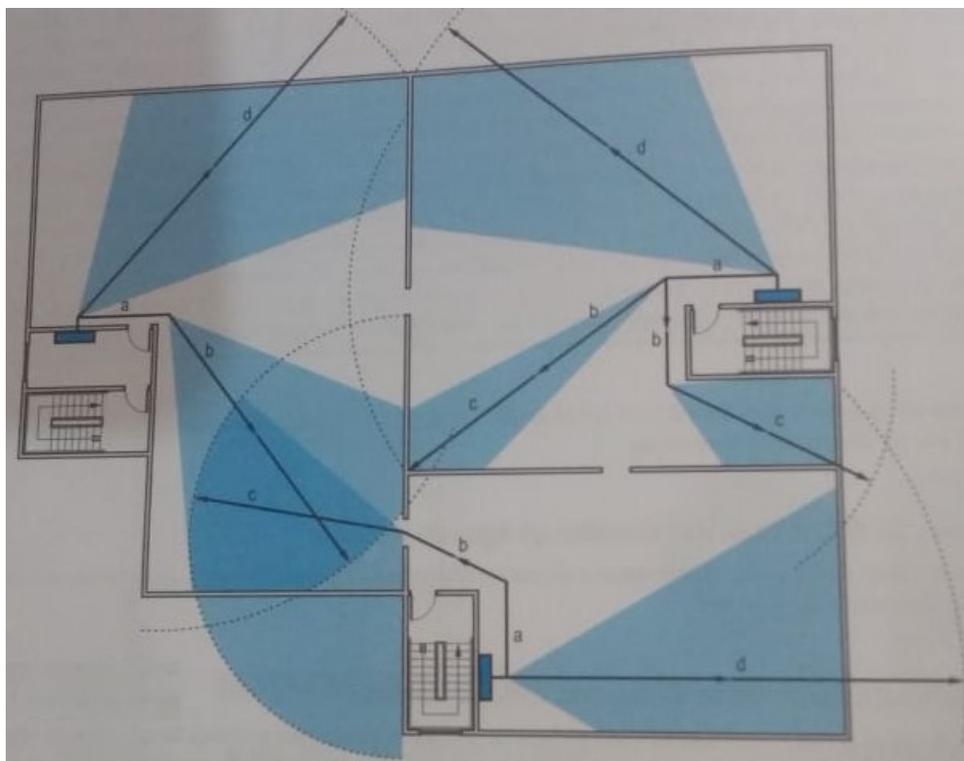
3.1.4 Lançamento da rede de hidrantes

Nessa etapa foi definida toda distribuição física do sistema de hidrantes, ou seja, em que local foi disposto as tomadas de água, RTI, conjunto moto-bomba e caminhamento da tubulação. Está totalmente atrelada ao terreno e construção da empresa, devendo portanto ser uma análise feita em campo. Por se tratar de um estudo de caso real, que demanda experiência na área, está parte do trabalho foi realizada em parceria com a empresa MacGyver - Prevenção Contra Incêndio e por questões de sigilo não será possível divulgar maiores detalhes sobre a edificação de estudo, além de não ser o maior objetivo do presente trabalho.

A) Tomadas de água de incêndio

São pontos de hidrantes localizados no interior ou exterior da edificação. E para o sistema Tipo 3 devem ser distribuídos de tal maneira que qualquer ponto da área a ser protegida seja alcançada por um esguicho, levando em conta o comprimento da mangueira de incêndio (30 m) por meio de sua trajetória real e o alcance mínimo do jato de água sendo 10 m, deve-se também ter contato visual claro a qualquer parte do ambiente, após adentrar no mínimo 1 m em qualquer compartimento. Conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 – Localização adequada das tomadas de incêndio



Fonte: BRENTANO, 2016.

Analisando a planta baixa da empresa, juntamente com a visita a mesma, chegou-se a conclusão de que 2 pontos de tomada de água de incêndio são suficientes para cobrir toda

área construída do comércio. O hidrante mais desfavorável hidraulicamente foi nomeado de H1, enquanto o segundo mais desfavorável hidraulicamente foi nomeado de H2. A NT22 também preconiza que deve haver um Registro de Recalque para ser utilizado pelo Corpo de Bombeiros caso o sistema de hidrantes não consiga extinguir o foco de incêndio. Não será necessário um dimensionamento para esse componente, simplesmente deve possuir uma boca de entrada compatível com aquela utilizada pelos bombeiros.

B) Reserva Técnica de Incêndio (RTI)

Encontra-se ao nível do solo possuindo 1,5m de diâmetro e 7m de altura, produzido em chapas de aço SAE 1015 e elementos mecânicos como tubo, cantoneira, ferro mecânico e barra chata. A legislação não prevê restrições para o posicionamento deste item, mas por bom senso ele foi posicionado considerando as seguintes situações:

-Limitações físicas do local, visto que se trata de um componente consideravelmente grande.

-Local que não obstrua ou atrapalhe as rotas de fuga em caso de incêndio.

-Vontade do cliente (geralmente possui um local em mente).

-Economia de tubulação, ou seja, o mais próximo possível dos hidrantes respeitando os itens anteriores.

C) Conjunto Moto-Bomba

Trata-se do principal componente a ser dimensionado, pois é ele que trará a pressão e vazão necessária ao nosso sistema. Portanto seu posicionamento também é de suma importância. Deve ser localizado o mais próximo possível do RTI evitando dessa forma grandes perdas de carga ao longo da tubulação de sucção. Recomenda-se que o eixo da bomba esteja no máximo a 1/6 da altura do nível d'água, medido a partir do fundo do RTI, isso garantirá que a mesma não afogada e diminuirá sua potência necessária.

D) Tubulações

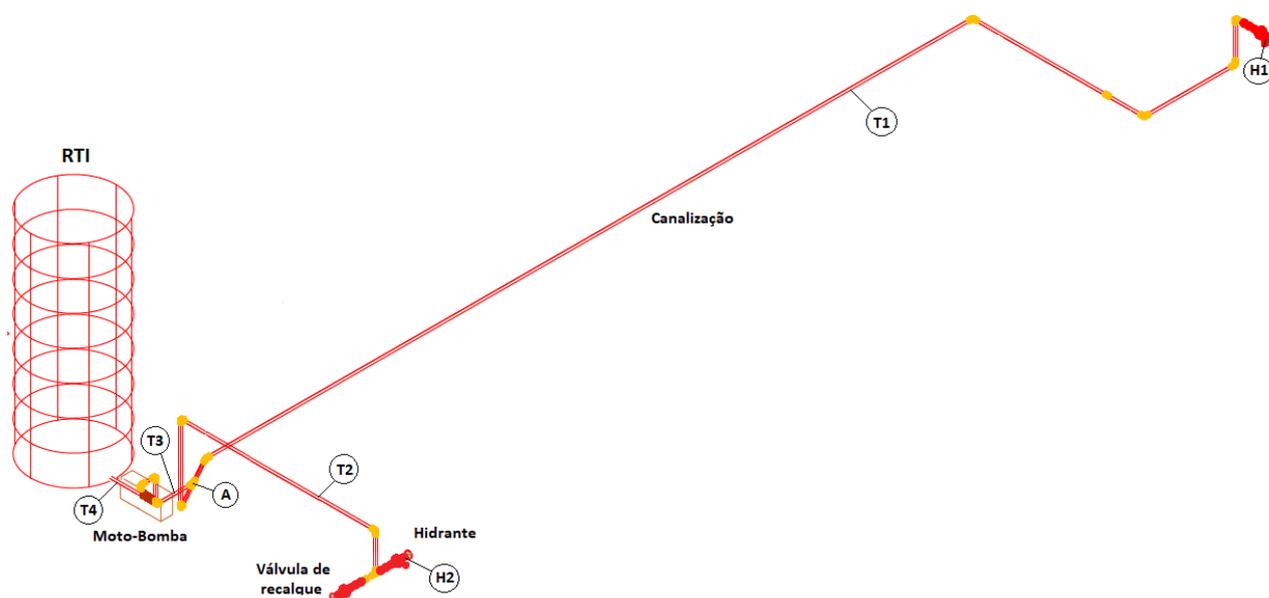
São os elementos que fazem toda conexão entre os itens anteriores. São utilizados dois tipos de materiais o polietileno de alta densidade (PEAD) e o aço galvanizado. O primeiro por ser um plástico possui a vantagem de ser mais barato, maleável portanto fácil de trabalhar e resistente a umidade, entretanto só pode ser usado enterrado pois pode ser facilmente danificado. Já o aço galvanizado foi utilizado em sua grande maioria a vista, possui menor resistência a umidade do que o plástico, mas mesmo assim é muito superior quando comparado a um aço carbono. As tubulações foram posicionadas com

cuidado respeitando os seguintes itens:

- Não deve obstruir ou atrapalhar as rotas de fuga de incêndio ou a passagem de pessoas, portanto em casos como esse devem ser sempre enterradas ou aéreas
- As tubulações enterradas de plástico não podem chegar a menos de 5 metros de qualquer edificação, devido ao risco de sofrer danos de um possível incêndio.
- O PEAD é mais barato e mais fácil de ser instalado do que o aço galvanizado, portanto deve ser utilizado sempre que possível, principalmente enterrado.
- O caminho mais curto possível deve ser levado em conta para garantir a economia de tubos e conexões, o que barateia o projeto.

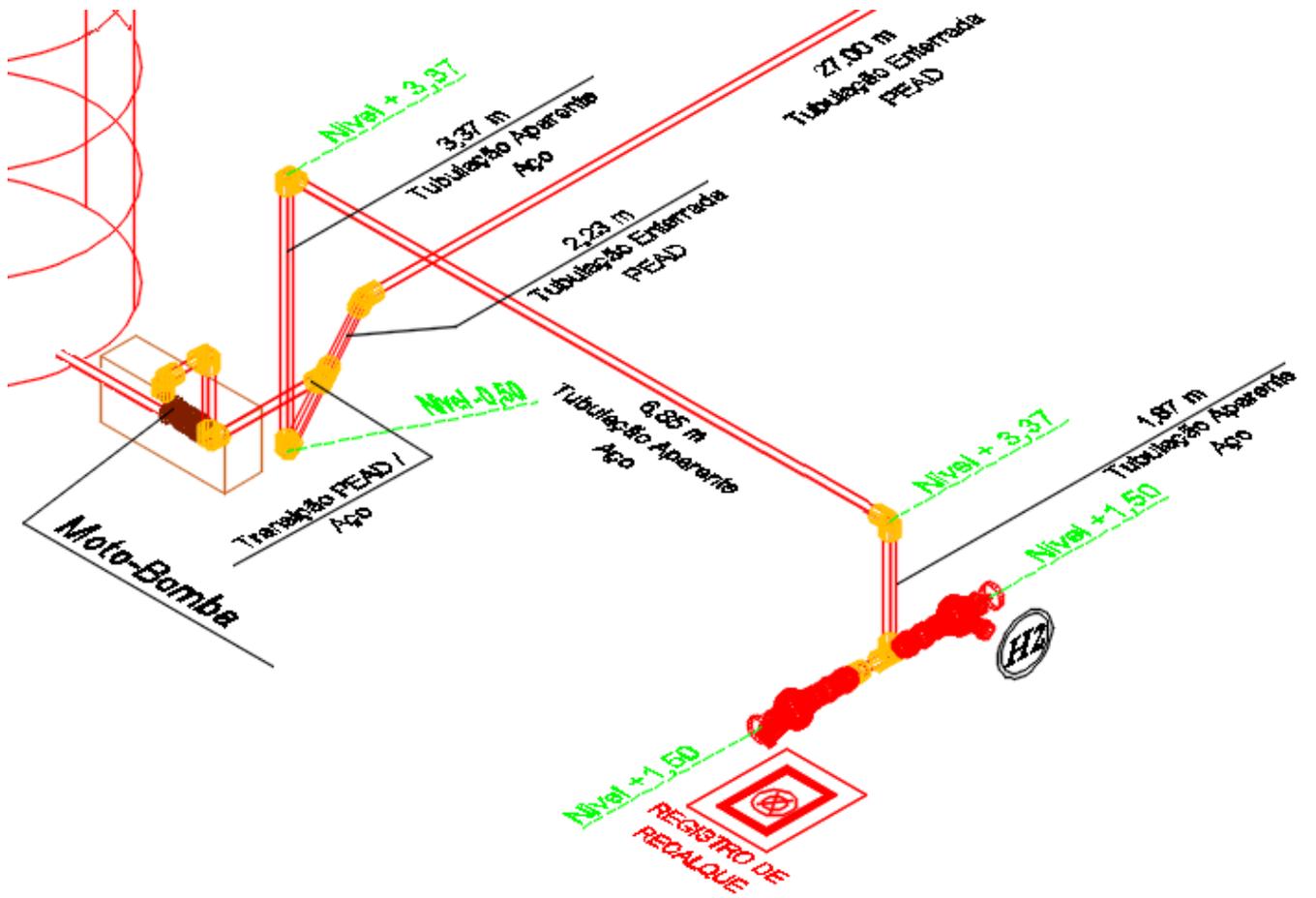
Unindo as informações dos tópicos anteriores é possível traçar a rede de hidrantes do projeto, que foi desenhada no Software AutoCAD, conforme mostra as Figuras 9, 10, 11 e 12.

Figura 9 – Vista isométrica da rede de hidrantes do Comércio de Material de Construção



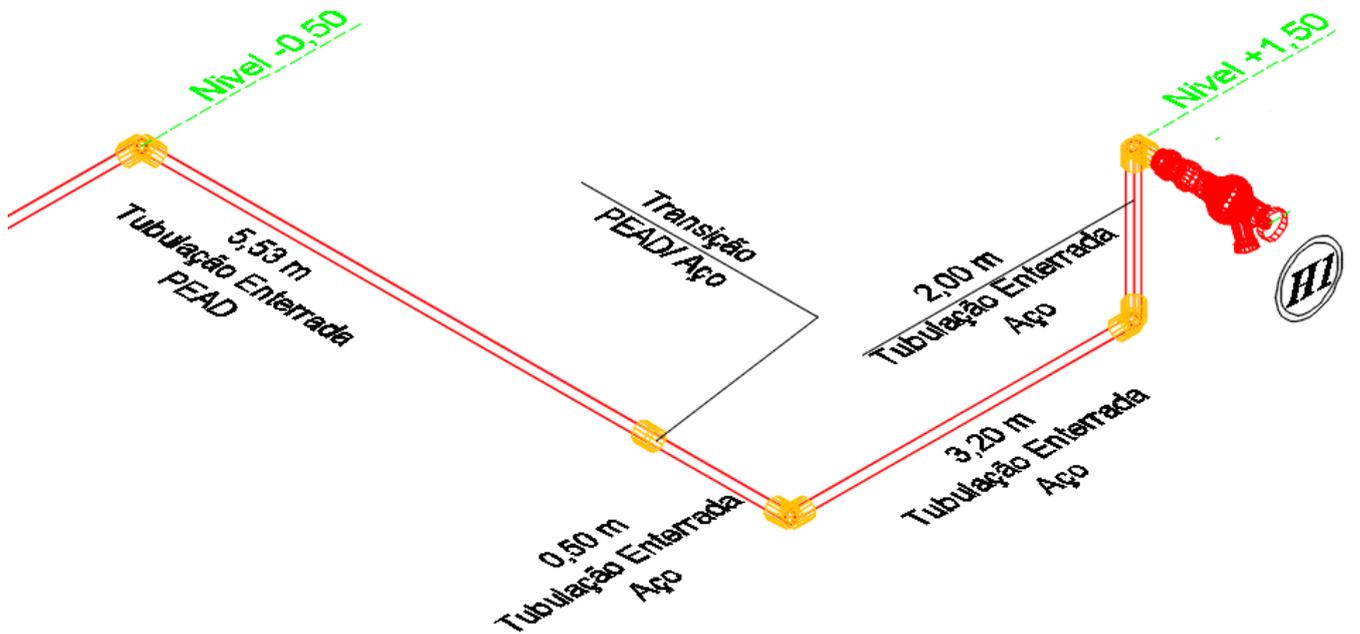
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10 – Vista isométrica ampliada parte 1



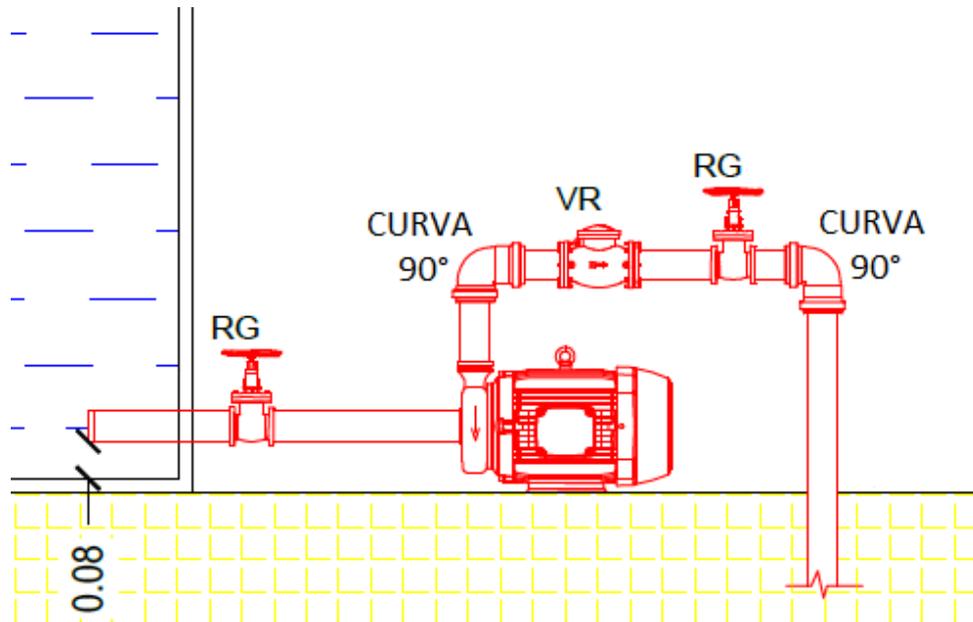
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 – Vista isométrica ampliada parte 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 – Vista detalhada de T3 e T4



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Método analítico

A partir daqui se inicia o dimensionamento do sistema de hidrantes, o método adotado se baseia no livro do Brentano (2016). Para realizar o dimensionamento com sucesso foi necessário todos os valores apresentados até agora, principalmente as cotas contidas nas Figuras 10 e 11 e dados de entrada das NT's.

Segundo a NT 22 o diâmetro interno das tubulações não podem ser inferiores a 2,5" (63,5 mm). Portanto, será adotado esse valor para a tubulação de recalque e, se necessário, será feita alguma mudança no decorrer do dimensionamento.

$$dr1 = 63,5\text{mm} \quad (3.1)$$

Calculando a área da secção transversal da tubulação de recalque, tem-se:

$$Ar1 = \frac{\Pi dr1^2}{4} = 3,167 * 10^{-3} m^2 \quad (3.2)$$

3.2.1 Pressão em A referente ao Trecho 1 (T1)

O Trecho 1 pode ser identificado na Figura 9 e vai de H1 até o Ponto A (bifurcação entre T1 e T2). As contas aqui realizadas foram entre eles. Para o primeiro hidrante temos em sua válvula angular de saída: $\dot{Q}H1 = 200\text{l/min}$ e $PH1 = 40\text{ mca}$.

A) Elevação de H1 (Sempre em relação ao centro do rotor da bomba).

$$ZH1 = 1,5m \quad (3.3)$$

B) Calculando sua velocidade linear e Número de Reynolds

$$VH1 = \frac{\dot{Q}H1}{Ar1} = 1,05m/s \quad (3.4)$$

Segundo a NT22 a velocidade do escoamento de recalque não pode ser superior a 5 m/s dentro das tubulações, portanto VH1 está dentro da faixa permitida.

Calculando o número de Reynolds do escoamento através da equação 2.1

$$Re = \frac{(\rho)(VH1)(dr1)}{\mu} = \frac{(1000)(1,053)(0,0635)}{0,001003} = 66665,5 \quad (3.5)$$

C) Perda de carga na tubulação

Perda de carga na tubulação de PEAD

Através da Equação 2.9 e dos valores de comprimento equivalente retirados da Figura 7, tem-se:

$$Lreal = 1,115 + 27 + 5,53 = 33,645m \quad (3.6)$$

$$Lvirtual = 1x(curva90) + 1x(curva45) = 2,2m \quad (3.7)$$

Portanto,

$$Lpead = 35,845m \quad (3.8)$$

Pela Figura 6 percebe-se que $C = 150$ para o plástico. Calculando a perda de carga através da Equação 2.8, tem-se:

$$Hpcpead = \frac{605\dot{Q}H1^{1,85}Lpead10^4}{C^{1,85}dr1^{4,87}} = 0,61mca \quad (3.9)$$

Os mesmos passos foram feitos para calcular a perda de carga para a tubulação em Aço Galvanizado:

Através da Equação 2.9 e dos valores de comprimento equivalente retirados da Figura 7, tem-se:

$$L_{real} = 0,5 + 3,2 + 2 = 5,7m \quad (3.10)$$

$$L_{virtual} = 3x(curva90) + 1x(va) + 1x(transição) = 13,1m \quad (3.11)$$

Portanto,

$$Laço = 18,8m \quad (3.12)$$

Pela Figura 6 percebe-se que $C = 120$ para o aço galvanizado. Calculando a perda de carga através da Equação 2.8, tem-se:

$$H_{pcaço} = \frac{605\dot{Q}h^{1,85}Laço10^4}{C^{1,85}dr^{4,87}} = 0,49mca \quad (3.13)$$

Logo,

$$H_{pc1} = H_{pcpead} + H_{pcaço} = 1,10mca \quad (3.14)$$

D) Pressão no Ponto A referente ao H1

Encontrando a pressão no ponto A referente ao H1:

$$Pa' = PH1 + ZH1 + H_{pc1} = 42,60mca \quad (3.15)$$

3.2.2 Pressão em A referente ao Trecho 2 (T2)

O Trecho 2 pode ser identificado na Figura 9 e vai de H2 até o Ponto A. As contas aqui realizadas foram entre eles. Como não temos a vazão para o segundo hidrante deve-se adotar um valor e posteriormente conferir se este é satisfatório, portanto, em sua válvula angular de saída: $\dot{Q}H2 = 200l/min$. Para o trecho 2 foram repetidos os mesmos passos do

item anterior.

A) Elevação de H2

$$ZH2 = 1,5m \quad (3.16)$$

B) Calculando sua velocidade linear

$$VH2 = \frac{\dot{Q}H2}{Ar1} = 1,05m/s \quad (3.17)$$

Possui a mesma velocidade que H1 e portanto também está dentro da faixa permitida pela NT 22

C) Perda de carga na tubulação

Perda de carga na tubulação de PEAD

Através da Equação 2.9 e dos valores de comprimento equivalente retirados da Figura 7, tem-se:

$$Lreal = 1,115 = 1,115m \quad (3.18)$$

$$Lvirtual = 0 \quad (3.19)$$

Portanto,

$$Lpead = 1,115m \quad (3.20)$$

Calculando a perda de carga através da Equação 2.8, tem-se:

$$Hpcpead = \frac{605\dot{Q}H2^{1,85}Lpead10^4}{C^{1,85}dr^{14,87}} = 0,02mca \quad (3.21)$$

Os mesmos passos foram feitos para calcular a perda de carga para a tubulação em Aço Galvanizado:

Através da Equação 2.9 e dos valores de comprimento equivalente retirados da Figura 7, tem-se:

$$L_{real} = 3,37 + 6,85 + 1,87 = 12,09m \quad (3.22)$$

$$L_{virtual} = 2x(curva90) + 1x(curva45) + 1x(TSL) + 1x(va) = 16,8m \quad (3.23)$$

Portanto,

$$Laço = 28,89m \quad (3.24)$$

Calculando a perda de carga através da Equação 2.8, tem-se:

$$H_{pcaço} = \frac{605\dot{Q}H2^{1,85}Laço10^4}{C^{1,85}dr^{14,87}} = 0,747mca \quad (3.25)$$

Logo,

$$H_{pc2} = H_{pcpead} + H_{pcaço} = 0,767mca \quad (3.26)$$

D) Utilizando a Equação 2.10 para encontrar PH2, tem-se:

$$PH2 = \left(\frac{VH1^2 - VH2^2}{2} + \frac{PH1}{\rho} - gZH2 \right) \rho = 403080,03Pa = 41,10mca \quad (3.27)$$

Portanto,

$$Pa'' = PH2 + ZH2 + H_{pc2} = 43,367mca \quad (3.28)$$

3.2.3 Teste hidrostático

A primeiro momento pode não fazer sentido o ponto A ter duas pressões diferentes, mas isso ocorre por que H1 e H2 possuem demandas de pressão diferentes em relação ao

ponto A, ou seja, $P_{a'}$ é o valor de pressão necessária nesse ponto para que PH1 valha 40 mca. De forma análoga $P_{a''}$ fornece a pressão necessária para que PH2 seja igual a 41,10 mca. Entretanto, para que haja equilíbrio no sistema a diferença entre $P_{a''}$ e $P_{a'}$ não deve ser maior do que 0,5 mca. Conferindo:

$$\Delta Pa = Pa'' - Pa' = 0,767m \quad (3.29)$$

Como $\Delta Pa > 0,5$ mca, o equilíbrio hidráulico não foi atingido e, portanto, é necessário realizar alguma alteração no projeto. As duas mudanças que causariam mais impacto para resolver este problema é diminuir a vazão do H2 ou aumentar o diâmetro da tubulação do T2. Como \dot{Q}_{H2} já está a menor possível por norma, aumentou-se o diâmetro do T2 para 3" (76,2mm). Por conta desta alteração o passo 3.2.2 deverá ser refeito.

3.2.4 Recalculando a pressão em A referente ao Trecho 2 (T2)

Com exceção da área o procedimento de cálculo para o novo diâmetro ($dr_2 = 76,2\text{mm}$) será exatamente o mesmo do item 3.2.2, portanto não se faz necessário apresentar todos cálculos novamente, apenas o mais importantes. Calculando a nova área, tem-se:

$$Ar_2 = \frac{\Pi dr_2^2}{4} = 4,56 * 10^{-3} m^2 \quad (3.30)$$

A) Elevação de H2

$$ZH_2 = 1,5m \quad (3.31)$$

B) Velocidade linear

$$V_{H_2} = \frac{\dot{Q}_{H_2}}{Ar_2} = 0,73m/s \quad (3.32)$$

Assim como H1 o H2 também possui velocidade menor do que 5 m/s, portanto está dentro da faixa permitida pela NT 22

C) Perda de carga na tubulação

Perda de carga na tubulação de PEAD

$$L_{pead} = 1,115m \quad (3.33)$$

Calculando a perda de carga através da Equação 2.8, tem-se:

$$H_{pcpead} = \frac{605\dot{Q}H^{2^{1,85}}L_{pead}10^4}{C^{1,85}dr^{2^{4,87}}} = 0,02mca \quad (3.34)$$

Os mesmos passos foram feitos para calcular a perda de carga para a tubulação em Aço Galvanizado:

$$L_{aço} = 33,49m \quad (3.35)$$

Calculando a perda de carga através da Equação 2.8, tem-se:

$$H_{pcaço} = \frac{605\dot{Q}H^{2^{1,85}}L_{aço}10^4}{C^{1,85}dr^{2^{4,87}}} = 0,356mca \quad (3.36)$$

Logo,

$$H_{pc2} = H_{pcpead} + H_{pcaço} = 0,376mca \quad (3.37)$$

D) Utilizando a Equação 2.10 para encontrar o novo PH2, tem-se:

$$PH2 = \left(\frac{VH1^2 - VH2^2}{2} + \frac{PH1}{\rho} - gZH2 \right) \rho = 403332,2 = 41,13mca \quad (3.38)$$

Portanto,

$$Pa'' = PH2 + ZH2 + H_{pc2} = 43,03mca \quad (3.39)$$

3.2.5 Refazendo o teste hidrostático

$$\Delta Pa = Pa'' - Pa' = 0,405mca \quad (3.40)$$

Como $\Delta Pa < 0,5$ mca, o equilíbrio hidráulico está garantido.

3.2.6 Perda de carga no Trecho 3 (T3)

O Trecho 3 pode ser identificado na Figura 9 e vai do Ponto A até a Bomba. As contas aqui realizadas foram entre eles. Utilizou-se o maior valor de pressão no ponto A, portanto $P_a = 43,01$. Já sua vazão será a soma das vazões de T1 e T2, portanto $\dot{Q}_3 = 400$ l/min

A) Elevação de A (em relação ao centro do rotor da bomba)

$$Z_A = -0,5m \quad (3.41)$$

B) Calculando sua velocidade linear

$$V_{H3} = \frac{\dot{Q}_3}{Ar_1} = 2,11m/s \quad (3.42)$$

Segundo a NT22 a velocidade do escoamento não pode ser superior a 5 m/s dentro das tubulações, portanto está dentro da faixa permitida.

C) Perda de carga na tubulação

Não há tubulação em PEAD nesse trecho, portanto:

$$H_{pcpead} = 0 \quad (3.43)$$

Perda de carga na tubulação de Aço Galvanizado:

Através da Equação 2.9 e dos valores de comprimento equivalente retirados da Figura 7, tem-se:

$$L_{real} = 2 + 1 + 0,5 = 3,5m \quad (3.44)$$

$$L_{virtual} = 3x(curva90) + 1x(TSL) + 1x(RG) + 1(VR) = 12,9m \quad (3.45)$$

Portanto,

$$L_{aço} = 16,4m \quad (3.46)$$

Calculando a perda de carga através da Equação 2.8, tem-se:

$$H_{pcaço} = \frac{605\dot{Q}^{31,85}Laço10^4}{C^{1,85}dr^{14,87}} = 1,53mca \quad (3.47)$$

Logo,

$$H_{pc3} = H_{pcpead} + H_{pcaço} = 1,53mca \quad (3.48)$$

3.2.7 Perda de carga no Trecho 4 (T4)

O Trecho 4 pode ser identificado na Figura 9 e vai da bomba até a saída do reservatório (zona de sucção). As contas aqui realizadas foram entre eles. A vazão para T4 é a mesma de T3, logo $\dot{Q}_4 = 400$ l/min. Segundo Brentano (2016) a tubulação de sucção deve ser uma medida comercial acima da tubulação de recalque, portanto será usado um diâmetro de 3" (76,2 mm). Esta prática é recomendada por três motivos principais:

-O fornecimento de água para a bomba será sempre maior do que o necessário no sistema, garantindo assim a vazão mínima.

-Com o aumento do diâmetro da tubulação a velocidade do fluido será menor, o que proporciona um escoamento mais tranquilo, com menos turbulência e perdas de carga.

-Diminui a chance do fenômeno da cavitação.

A) Elevação do RTI. Obs: é desconsiderado a coluna de água do mesmo.

$$Z_B = 0 \quad (3.49)$$

B) Calculando sua velocidade linear

$$V_{H4} = \frac{\dot{Q}_4}{Ar_2} = 1,46m/s \quad (3.50)$$

Segundo a NT22 a velocidade do escoamento de sucção não pode ser superior a 3 m/s dentro das tubulações, portanto está dentro da faixa permitida.

C) Perda de carga na tubulação

Não há tubulação em PEAD nesse trecho, portanto:

$$H_{pcpead} = 0 \quad (3.51)$$

Perda de carga na tubulação de Aço Galvanizado:

Através da Equação 2.9 e dos valores de comprimento equivalente retirados da Figura 7, tem-se:

$$L_{real} = 0,5 = 0,5m \quad (3.52)$$

$$L_{virtual} = 1x(RG) = 0,5m \quad (3.53)$$

Portanto,

$$Laço = 1m \quad (3.54)$$

Calculando a perda de carga através da Equação 2.8, tem-se:

$$H_{pcaço} = \frac{605\dot{Q}4^{1,85}Laço10^4}{C^{1,85}dr^{24,87}} = 0,039mca \quad (3.55)$$

Logo,

$$H_{pc4} = H_{pcpead} + H_{pcaço} = 0,039mca \quad (3.56)$$

3.2.8 Altura manométrica total (H)

Para descobrir a altura manométrica total, aplica-se a Equação 2.12. Assim:

$$H = Pa + Z3 + H_{pc3} + H_{pc4} = 44,08mca \quad (3.57)$$

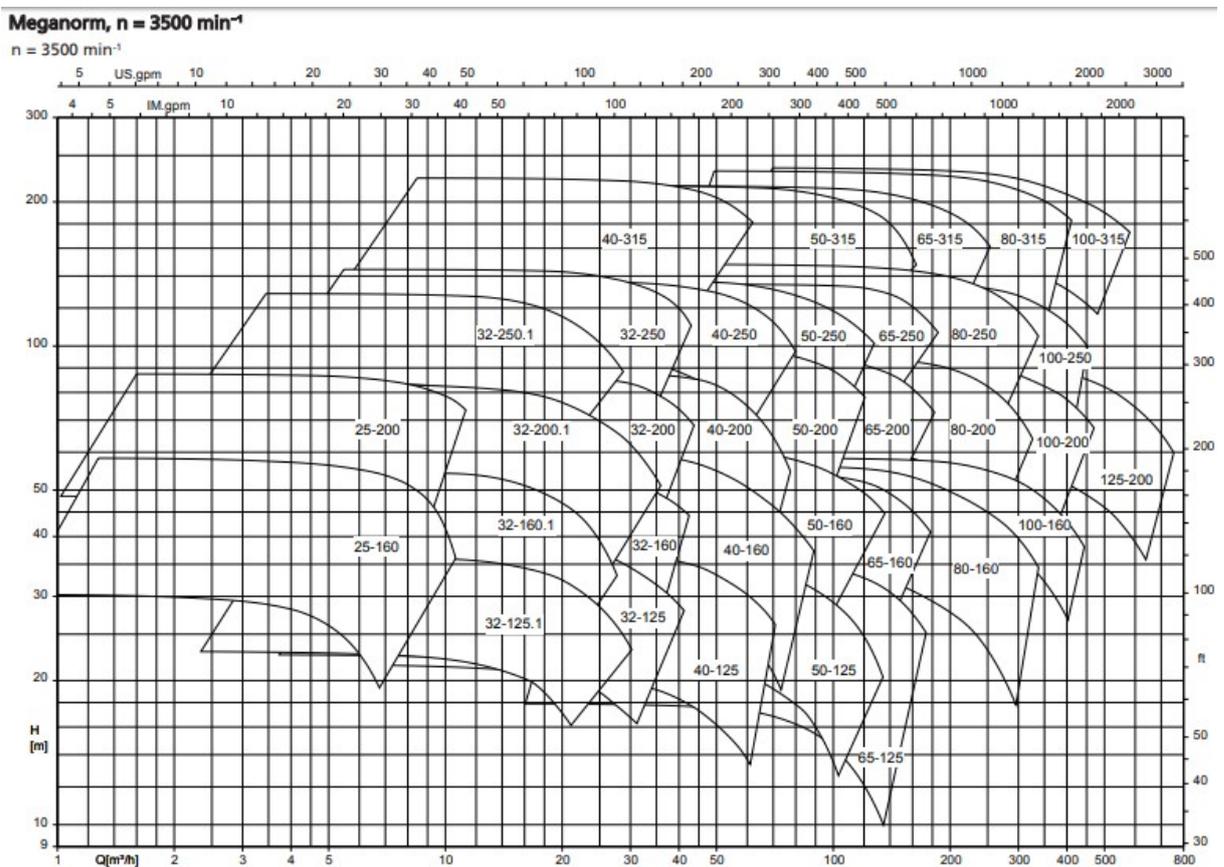
3.2.9 Seleção do conjunto Moto-Bomba

Para sistemas de combate a incêndio se utiliza bombas centrífugas de 3500 rpm, geralmente do modelo Meganorm. Quanto ao motor pode ser elétrico e usualmente é trifásico. O modelo do equipamento será escolhido de acordo com o diagrama de seleção e as curvas características da bomba. Outra opção seriam as tabelas práticas fornecidas pelos fabricantes, entretanto essas são menos precisas. Tem-se como parâmetro de entrada para os gráficos $H = 44,08$ mca e $\dot{Q}_3 = 400$ l/min

A) Identificando a família da bomba

Entrando com os valores de H e \dot{Q}_3 na Figura 13 tem-se, para este caso, a família 32-200, que representam o diâmetro de recalque e média dos diâmetros dos rotores, respectivamente.

Figura 13 – Gráfico para seleção da família da bomba



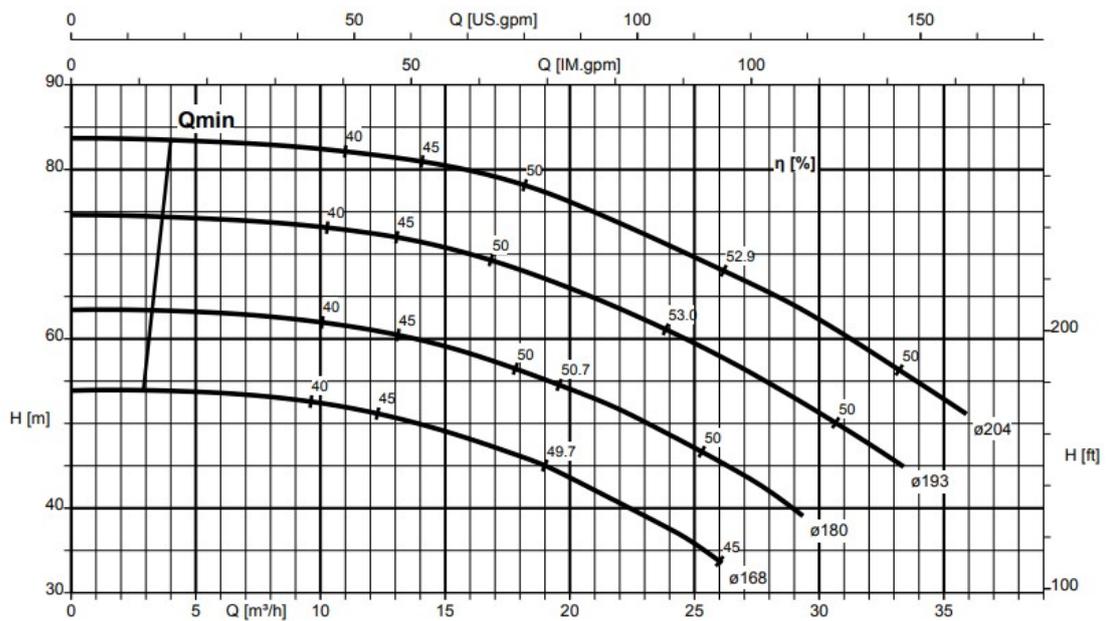
Fonte: Folheto de curvas características KSB.

B) Características da bomba

Com os mesmo dados de entrada é possível verificar na Figura 14 que a bomba possui diâmetro do rotor de 180mm e rendimento de aproximadamente 50%. Obs: Na hora de analisar o gráfico se o ponto ficar entre duas curvas, escolher a curva imediatamente acima deste.

Figura 14 – Gráfico de características da bomba

Meganorm 050-032-200.1, n = 3.500 rpm

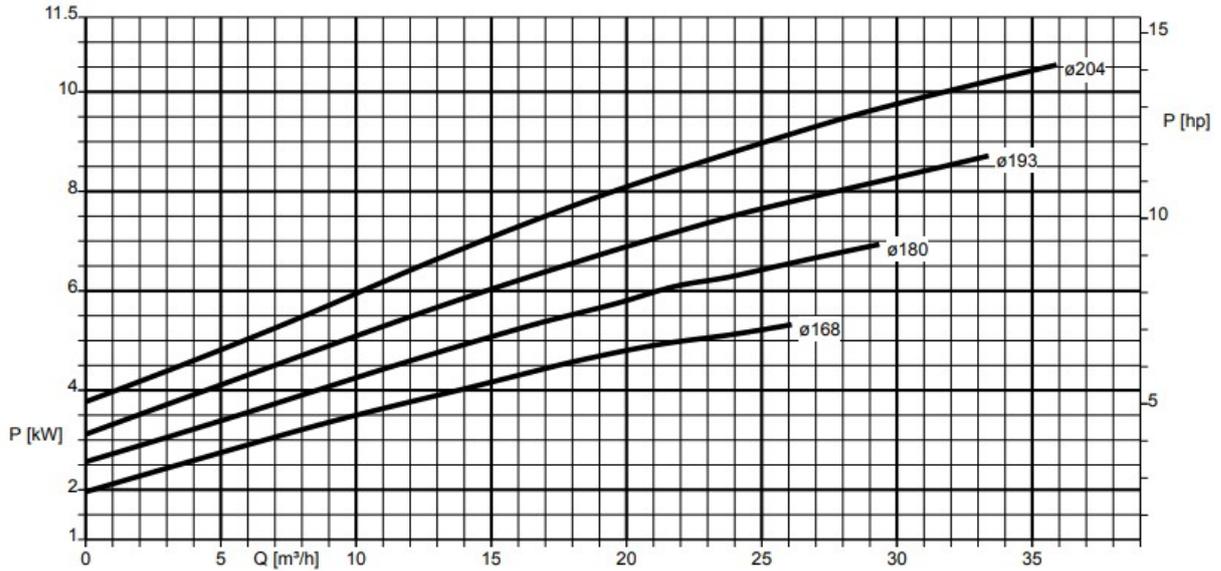


Fonte: Folheto de curvas características KSB.

C) Potência do motor

Na Figura 15 foi possível identificar uma potência de 6,3 kW ou 8,56cv para o motor elétrico

Figura 15 – Gráfico de potência do motor

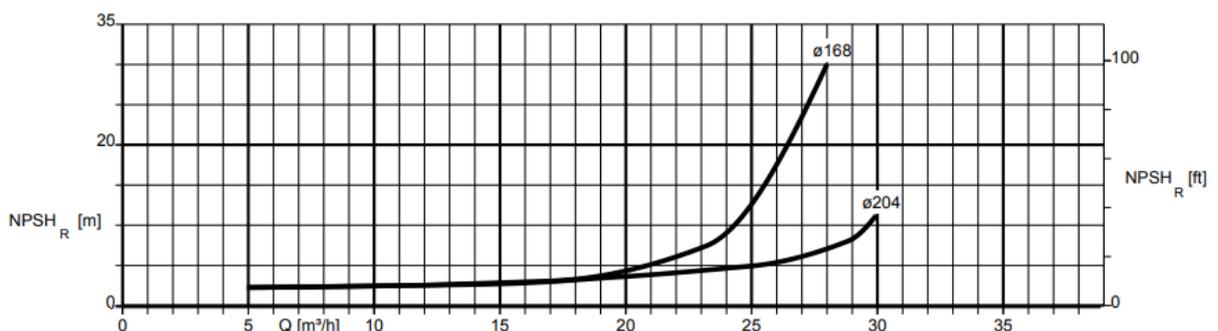


Fonte: Folheto de curvas características KSB.

D) NPSH_r

Percebe-se que na Figura 16 não existe uma curva para o rotor de 180mm, portanto será usado a curva de 168 mm, por esta ser ainda mais conservativa. Logo, se o valor NPSH_r satisfizer nosso sistema para este rotor, também será válido para o de 180mm. Analisando o gráfico retirou-se que NPSH_r = 9m

Figura 16 – Gráfico de NPSH requerido pela bomba



Fonte: Folheto de curvas características KSB.

E) NPSH_d

Este valor está contido no sistema de hidrantes e pode ser calculado através da equação 3.57. Mas antes de calculá-lo precisou-se conhecer a pressão atmosférica da região (Dourados possui 437 m de altitude) e a pressão de vapor da água no local (20°C é a temperatura média da água dentro do RTI). Esses valores podem ser obtidos na Figura 17, sendo $P_v = 0,238$ mca e $P_{atm} = 9,79$ mca

Figura 17 – Pressão de vapor em função da temperatura e pressão atmosférica em função da altitude

Pressão de vapor				Pressão atmosférica			
Temperatura		Pressão de vapor		Altitude		Pressão atmosférica	
°C	°F	mca	psi	m	ft	mca	psi
0	32	0,062	0,90	0	0	10,33	15,00
4	40	0,083	0,12	300	984	9,96	14,44
10	50	0,125	0,18	600	1970	9,59	13,90
15	59	0,174	0,25	900	2950	9,22	13,37
20	68	0,238	0,35	1000	3280	9,11	13,21
25	77	0,323	0,47	1200	3940	8,88	12,88
30	86	0,433	0,63	1500	4920	8,54	12,38
40	104	0,752	1,09	1800	5900	8,20	11,89
50	122	1,258	1,82	2100	6890	7,89	11,44
60	140	2,032	2,95	2400	7870	7,58	10,99
80	176	4,827	7,00	2700	8860	7,31	10,60
100	212	10,332	15,00	3000	9840	7,03	10,19

Fonte: BRENTANO, 2016.

Para calcular o valor de NPSHd, utiliza-se a equação 3.58

$$NPSHd = \frac{Patm}{\gamma} + \frac{Pv}{\gamma} - Hpc4 + Z1g \quad (3.58)$$

Em que:

Patm - Pressão atmosférica da região [kgf/m²]

Pv - Pressão de vapor da água a 20°C [kgf/m²]

Hpc4 - Perda de carga no trecho de sucção (T4) [m]

γ - Massa específica da água [kgf/m²]

Z1 - Distância entre a superfície de água do RTI e o eixo da bomba

g - Aceleração da gravidade local

Em caso de incêndio o hidrante será aberto e consumirá a água do RTI, diminuindo assim o volume de água do mesmo e por consequência a cota Z1, com isso tem-se uma redução do valor do NPSHd do sistema, podendo gerar cavitação. Portanto, por questões de segurança Brentano (2016) sugere que a coluna de água do reservatório não seja levada em consideração, tendo assim um valor mais conservativo. Sendo Z1 = 0, tem-se:

$$NPSHd = \frac{Patm}{\gamma} + \frac{Pv}{\gamma} - Hpc4 = 9,21m = 9,21mca \quad (3.59)$$

F) Verificando o fenômeno da cavitação

Em sistemas de bomba afogada dificilmente ocorre a cavitação, entretanto esse fenômeno foi calculado para se ter certeza, afinal de contas a cavitação além de prejudicar a eficiência do sistema diminui a vida útil da bomba. Para isso, a seguinte situação deve ser respeitada:

$$NPSH_d \geq NPSH_r \quad (3.60)$$

Como $9,21 \text{ mca} > 9 \text{ mca}$ está garantido, com um grande fator de segurança, que não haverá cavitação no sistema.

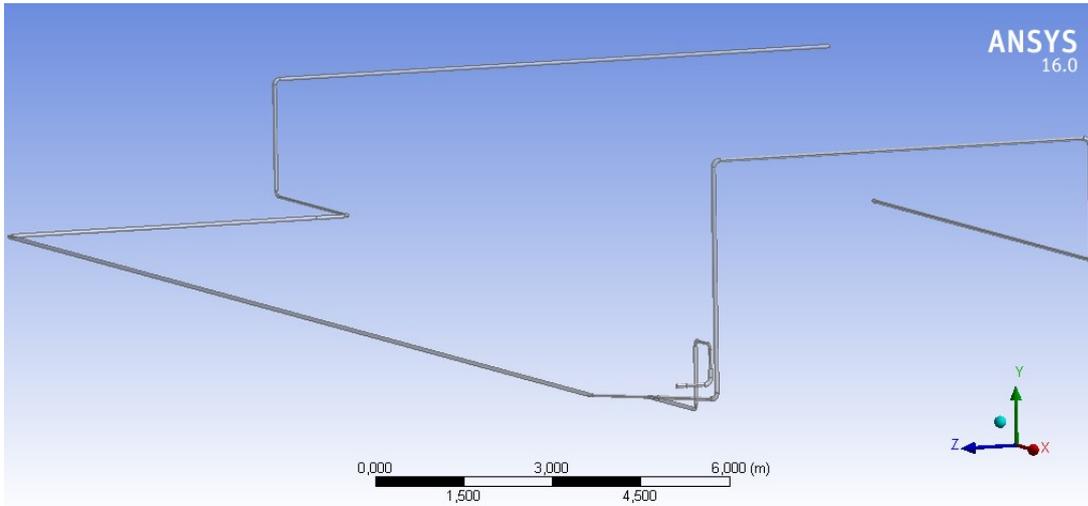
3.3 Verificação por Método Numérico

Para melhor compreensão deste capítulo ele foi dividido em três principais etapas: pré-processamento, simulação e pós-processamento. O pré-processamento abrange o desenho do sistema em CAD, elaboração da malha, escolha do modelo de escoamento e condições de contorno, esta etapa é fundamental para se obter resultados satisfatórios e condizentes com a realidade. Já na simulação, o software Ansys Fluent resolveu todas as equações do modelo selecionado para o presente problema, aplicando as condições de contorno pré estabelecidas e chegando aos resultados. Na última etapa, pós-processamento, foi possível visualizar os resultados obtidos através de imagens e gráficos.

3.3.1 Geometria do sistema

Para efeito de simulação a rede de hidrantes foi desenhada no software SolidWorks utilizando algumas simplificações. As válvulas, registros e a bomba não foram representadas e serão portanto desconsideradas da análise. Considerou-se apenas as válvulas angulares devido sua importância para o projeto e elevada perda de carga, o que geraria resultados muito divergentes. Elas foram representadas por comprimento equivalente de tubulação, para esse caso equivalem a 10 metros cada. O desenho foi então exportado para o DesignModeler, um dos ambientes do Ansys, conforme mostra a Figura 18

Figura 18 – Vista isométrica da rede exportada para o DesignModeler

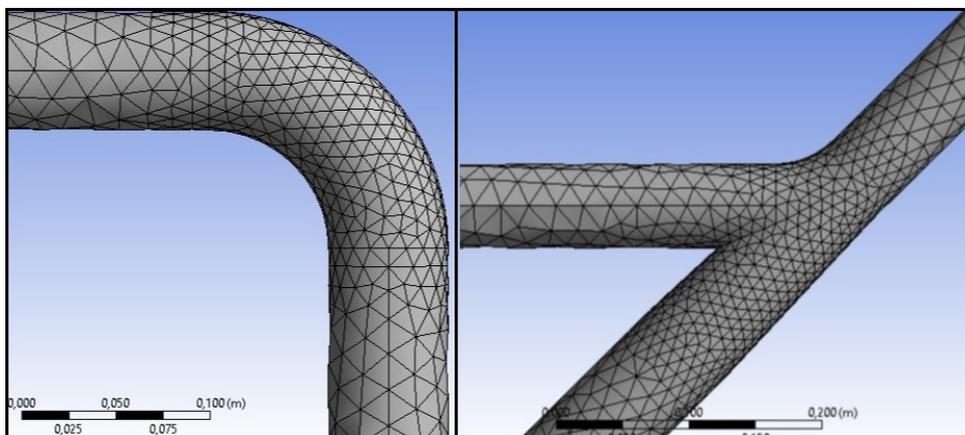


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.2 Malha

Para a criação da malha utilizou-se também um ambiente do Ansys denominado Meshing. Trata-se de uma etapa de extrema importância pois todas as equações de resolução do problema estão ligadas a malha e portanto essa deve ser refinada de tal forma que garanta a convergência e satisfatoriedade dos resultados, para este trabalho utilizou-se cerca de 506 mil elementos. Com intuito de garantir bons resultados sem utilizar muito processamento do computador, e também pela limitação da licença para estudantes, foi realizado um refino de malha mais profundo apenas em pontos críticos do sistema, em que ocorrem rápidas variações nas principais variáveis como pressão e velocidade, em locais como curvas e bifurcações, conforme mostra a Figura 19

Figura 19 – Refino de malha em locais críticos

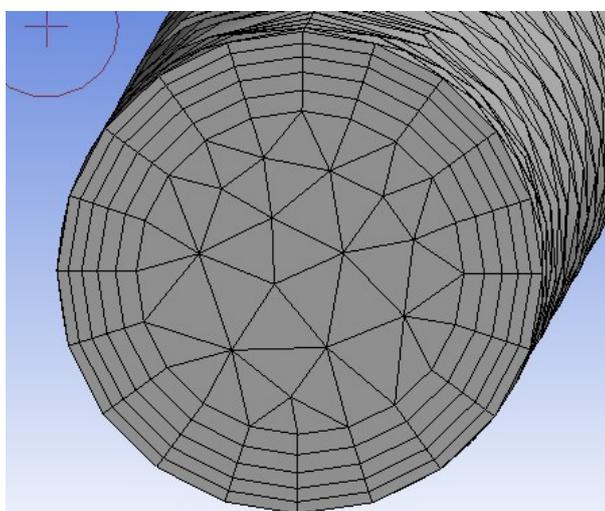


Fonte: Elaborado pelo autor.

Adotou-se uma condição de não escorregamento para o escoamento e portanto a

velocidade do fluido diminui não linearmente até atingir zero nas paredes da tubulação. Assim, se torna essencial uma análise mais cuidadosa da camada limite e portanto foi realizado um refino da malha nessa região, através do comando inflation, conforme mostra a Figura 20. Dessa forma, houve uma resolução mais precisa da camada limite.

Figura 20 – Refino de malha para a camada limite

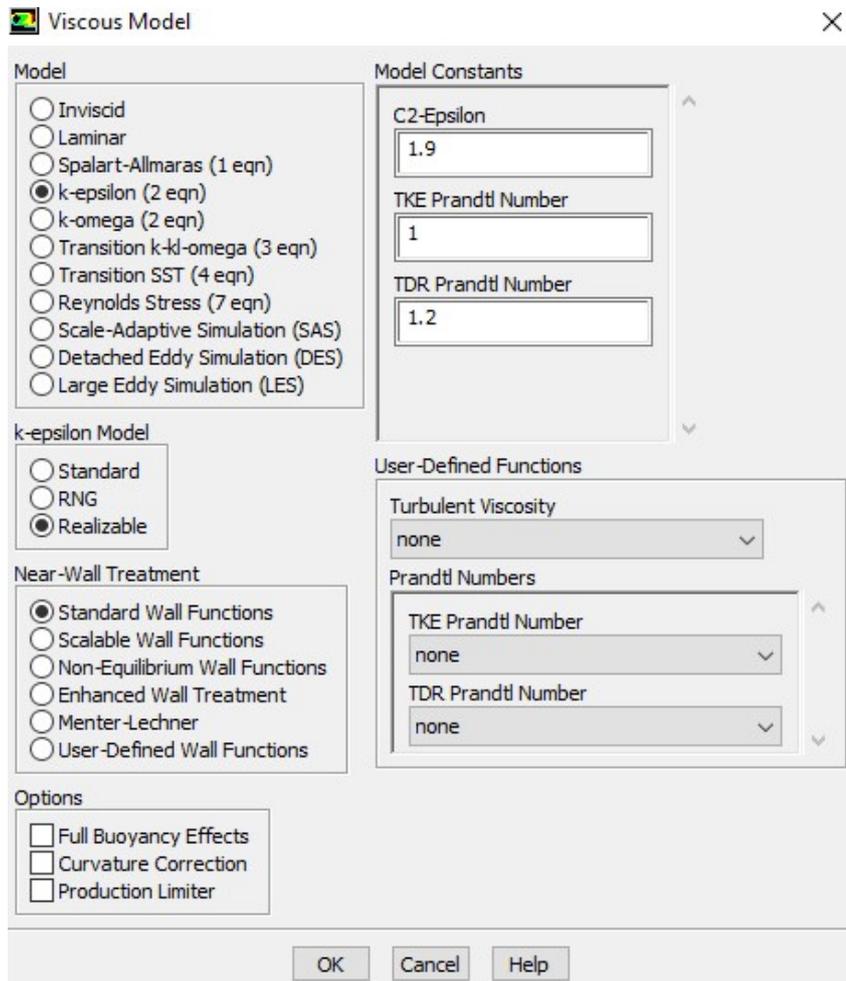


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.3 Modelo de turbulência

O Ansys Fluent possui diversos modelos de turbulência, entretanto para o presente trabalho será utilizado o k-epsilon (2eqn), muito usado devido a sua economia de processamento, robustez e boa precisão para diversos tipos de escoamentos turbulentos. Alguns outros cuidados foram tomados para tornar a simulação mais precisa tais como: utilizar métodos de segunda ordem para a resolução das equações e usar o modelo K-epsilon Realizable, por se adequar mais ao presente trabalho, sendo sugerido pelo próprio Ansys Fluent. Ver Figura 21.

Figura 21 – Modelo de turbulência adotado



Fonte: Elaborado pelo autor.

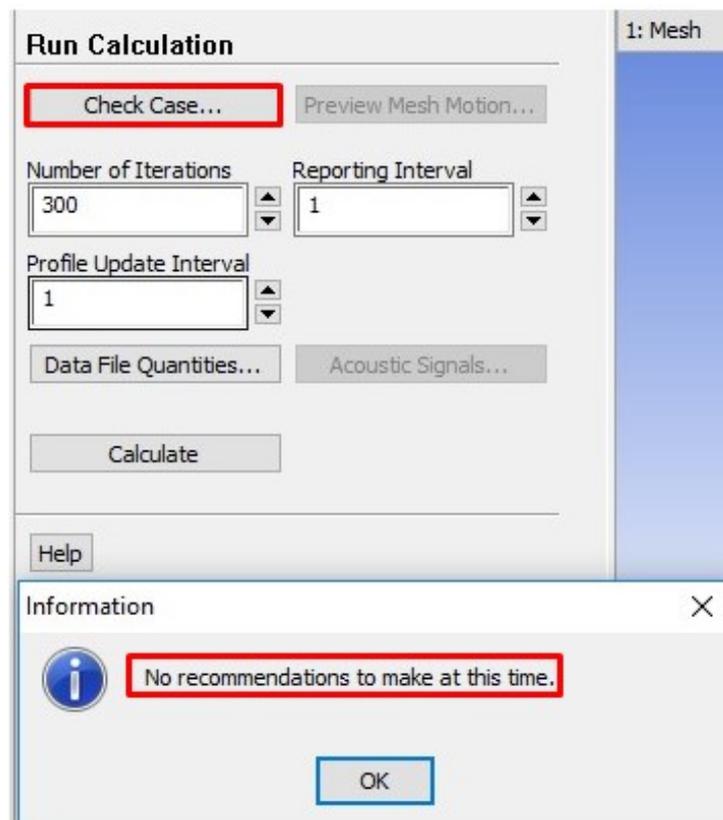
3.3.4 Condições de contorno

Algumas condições de contorno foram adotadas para a simulação. As trocas térmicas são desprezíveis para o estudo e portanto focou-se apenas no escoamento. Como dados de entrada adotou-se os valores pré-estabelecidos pelas Normas Técnicas ou obtidos ao longo deste trabalho, com o intuito de checar se os resultados da simulação seriam compatíveis com os calculados de forma analítica, validando assim o método numérico. Foram utilizados, portanto:

- $VH4 = 1,46 \text{ m/s}$ (Inlet)
- $PH1 = 40 \text{ mca}$ (OutletH1)
- $PH2 = 41,13 \text{ mca}$ (OutletH2)
- $g = -9,81 \text{ m/s}^2$

O Ansys Fluent calcula a perda de carga distribuída através da rugosidade do material, diferentemente do método analítico, que se baseia no coeficiente de Hazzen-Williams, portanto já existe um pequeno erro associado aos resultados. Tem-se que a rugosidade dos materiais são $\epsilon_{\text{plastico}} = 0,0000015\text{m}$, enquanto o $\epsilon_{\text{aço}} = 0,00015\text{m}$, conforme indica o Anexo E. Tendo todas as propriedades, condições de contorno e métodos de resolução do sistema bem definidos é possível checar se está tudo certo com a fase de pré-processamento. Conforme pode ser percebido na Figura 22 nenhuma alteração é necessária para o presente estudo, portanto tudo indica que a simulação trará bons resultados e está pronta para ser rodada.

Figura 22 – Checagem do pré-processamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

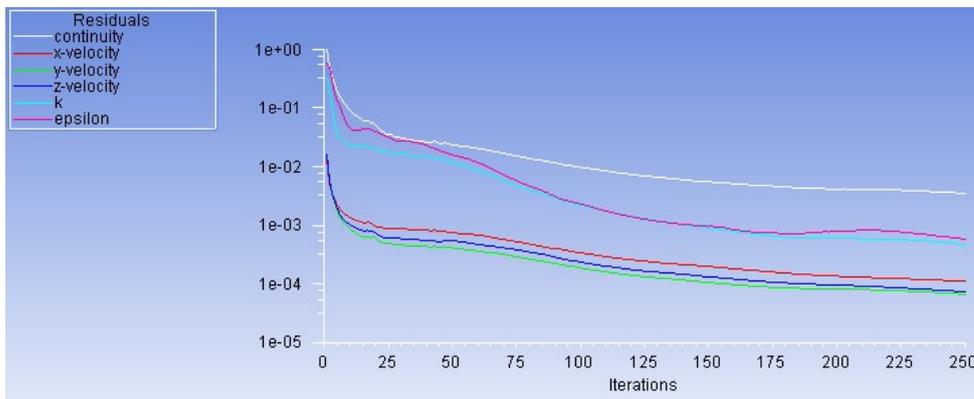
3.3.5 Simulação

Atribuiu-se 250 iterações para que o processo tivesse tempo de convergir. Vale lembrar que os resultados não podem ser em função do número de iterações, ou seja, os resultados finais devem ser os mesmos independente das iterações. A velocidade de execução desta etapa está diretamente ligada ao poder de processamento da máquina, para este trabalho demorou cerca de 10 minutos para concluir a simulação.

3.3.6 Pós-processamento

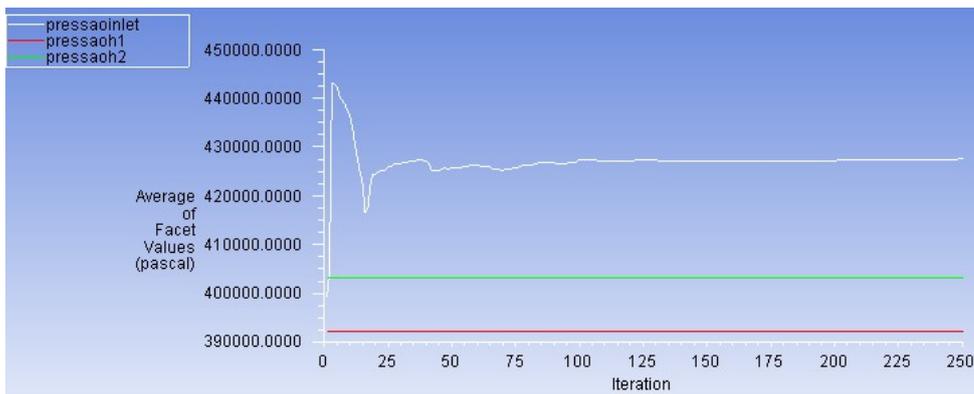
O pós-processamento, ainda no Fluent, permite observar se a simulação ocorreu da forma correta e sem grandes divergências. Para garantir isso foi analisado o gráfico residual e o gráfico dos resultados que se deseja analisar, a partir de 125 iterações eles possuem oscilações muito pequenas, o que significa que o resultado convergiu. Isso pode ser observado nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 – Gráfico residual



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 – Gráfico de pressão na entrada e saídas da rede [Pa]



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados analíticos

Em um dimensionamento espera-se que através das análises e equacionamentos seja possível extrair informações, dimensões e valores necessários para validar o projeto, tornando-o seguro e confiável, de forma que esteja apto para a etapa de construção. Os principais resultados obtidos pelo método analítico estão expostos na Figura 25.

Figura 25 – Quadro de resultados do dimensionamento analítico

QUADRO DE RESULTADOS					
Equipamentos		Sistema de hidrantes		Sistema de bomba	
Canalizações	Aço Galvanizado e/ou PEAD	Carga de incêndio	800 MJ/m ²	Modelo	KSB Meganorm 32-200
H1-A	2.1/2"	Reservatório	Térreo	Rotação	3500 RPM
H2-A	3"	Capacidade do Reservatório	12 mil litros	Altura manométrica	44,08 mca
A-B	2.1/2"	Pontos de tomada	2	Vazão máxima	400 litros/min
B-RTI	3"	Uso simultâneo	Um	Potência	8,56 cv
Mangueira dos hidrantes		Tempo de operação	1 hora	Ø rotor	180 mm
Diâmetro nominal	40 mm	Vazão mínima	20 litros/min	Rendimento	50%
Comprimento	30 m	Vazão máxima	40 litros/min	NPSHr	9 mca
Esguicho		Pressão na válvula do H1	40 mca	NPSHd	9,21 mca
Tipo	Regulável	Pressão na válvula do H2	41,13 mca		
Diâmetro nominal	13 mm				

Fonte: Elaborado pelo autor.

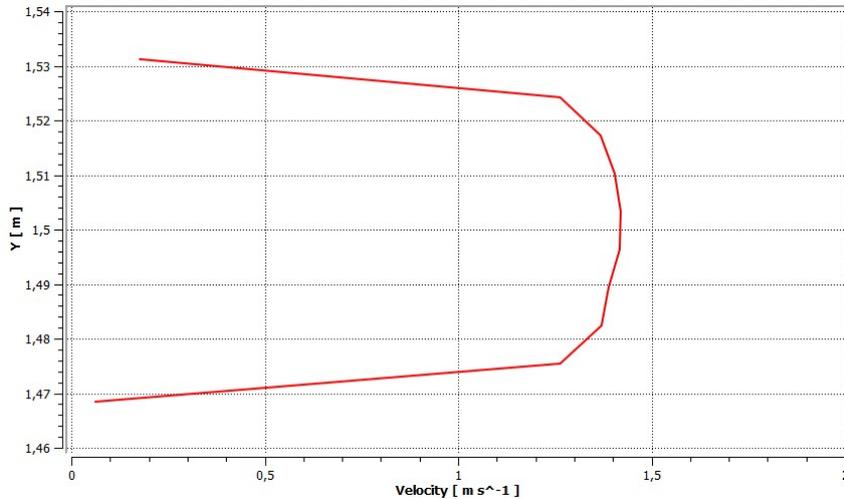
4.2 Resultados numéricos

Por se tratar de uma rede muito extensa se torna difícil visualizar todos os resultados de uma vez, portanto eles foram divididos em seções, sendo elas: escoamento geral, tubulação de sucção, saída da bomba, trecho RTI ao ponto A, bifurcação entre os trechos T1 e T2 e saída H1 e H2

4.2.1 Escoamento geral

Comparando o perfil de velocidade da Figura 26, retirado do trecho T2, com o perfil teórico da Figura 2 pode-se concluir que realmente se trata de um escoamento turbulento.

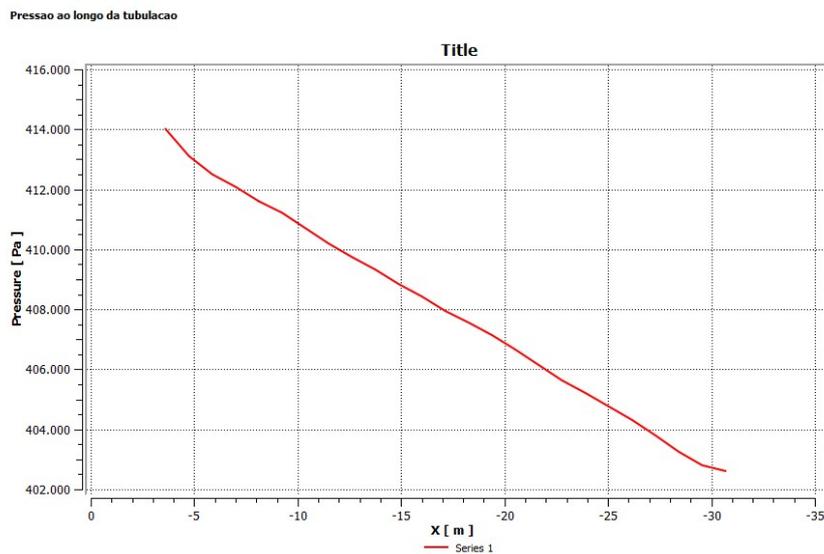
Figura 26 – Perfil de escoamento turbulento da rede



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o fluido avança pela tubulação este perde pressão devido as perdas de carga e desníveis do sistema, conforme pode ser exemplificado na Figura 27.

Figura 27 – Perda de pressão média ao longo do trecho T2

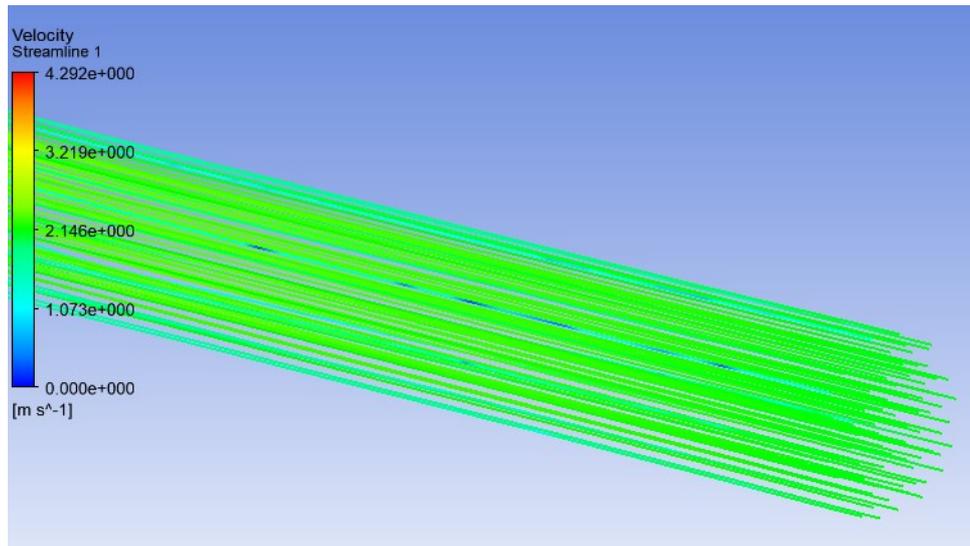


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Tubulação de sucção

Possui um diâmetro comercial acima da tubulação de recalque, com o intuito de diminuir a velocidade do fluido e gerar um escoamento na entrada da bomba menos turbulento, diminuindo as chances de ocorrência do fenômeno da cavitação. Na Figura 28 pode-se observar as linhas de corrente de velocidade para essa tubulação, percebe-se que não possuem mudança de sentido e há poucas mudanças de intensidade, em torno de 2,11 m/s, caracterizando um escoamento mais suave e homogêneo.

Figura 28 – Linhas de corrente de velocidade na sucção

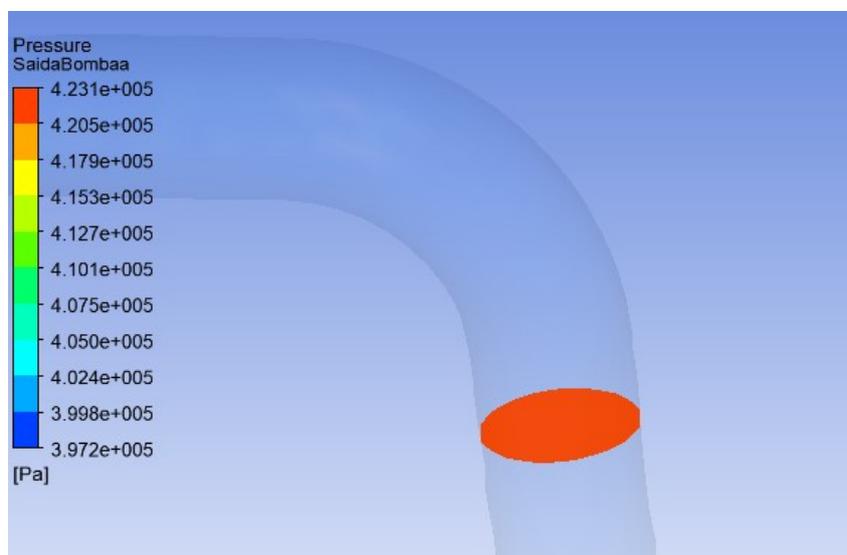


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 Saída da bomba

Esta é uma das zonas mais críticas de nosso modelo pois é a partir dos valores de vazão e pressão dela que definiu-se as características necessárias a bomba. Através da Figura 29 conclui-se que $H = 4,231 \times 10^5 Pa = 43,15$ mca, valor extramente satisfatório visto que o analítico foi de 44,1 mca.

Figura 29 – Pressão na saída da bomba (Altura Manométrica Total)

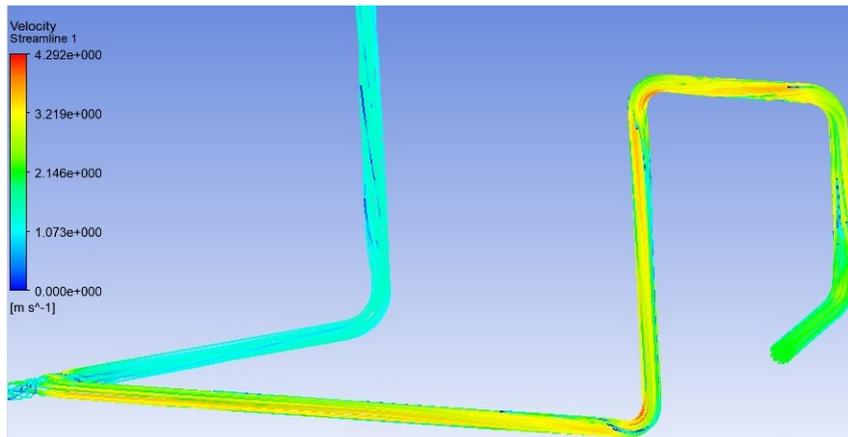


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.4 Trecho RTI ao ponto A

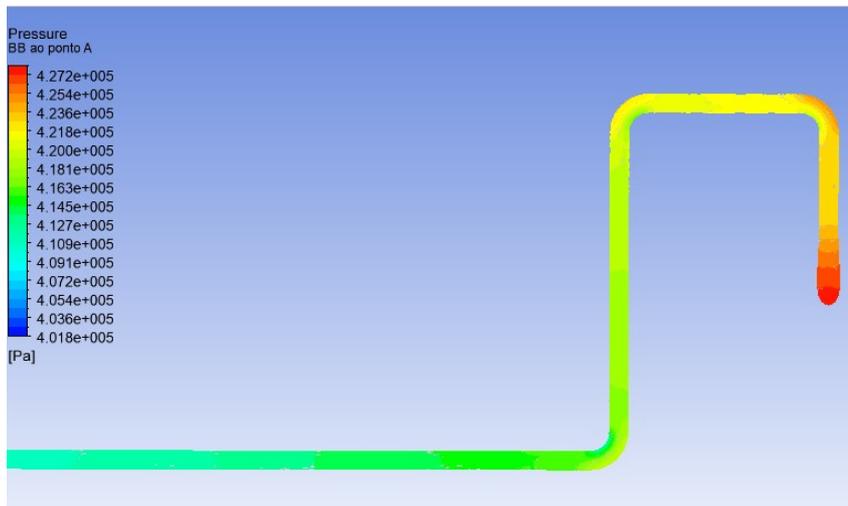
Esse trecho compreende todo deslocamento do fluido desde que sai do RTI até chegar na bifurcação entre os trechos T1 e T2. Analisando as Figuras 30 e 31 é possível se ter uma noção do comportamento do fluido nesse trajeto.

Figura 30 – Variação da velocidade para o trecho RTI - PontoA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 – Variação da pressão para o trecho RTI - PontoA



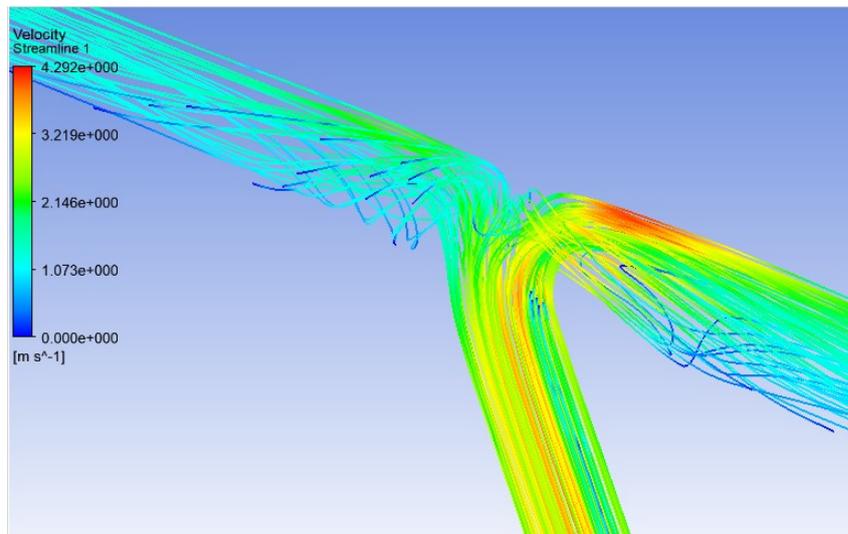
Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se que a velocidade do fluido aumenta ao passar do trecho de sucção para o de recalque, isso se deve a diminuição de diâmetro da tubulação, pode-se observar também que o escoamento se torna mais turbulento. Já ao passar pela bifurcação sua velocidade volta a cair, devido a divisão da vazão para os trechos T1 e T2. No que diz respeito a pressão do sistema ela diminui progressivamente ao passo que percorre as tubulações, devido a ação da gravidade e perdas de carga ao longo do caminho.

4.2.5 Bifurcação entre os trechos T1 e T2

Pode-se observar na Figura 32 que se trata de uma zona de alta turbulência devido a mudança brusca do sentido do escoamento, principalmente aquele desviado para o trecho T2.

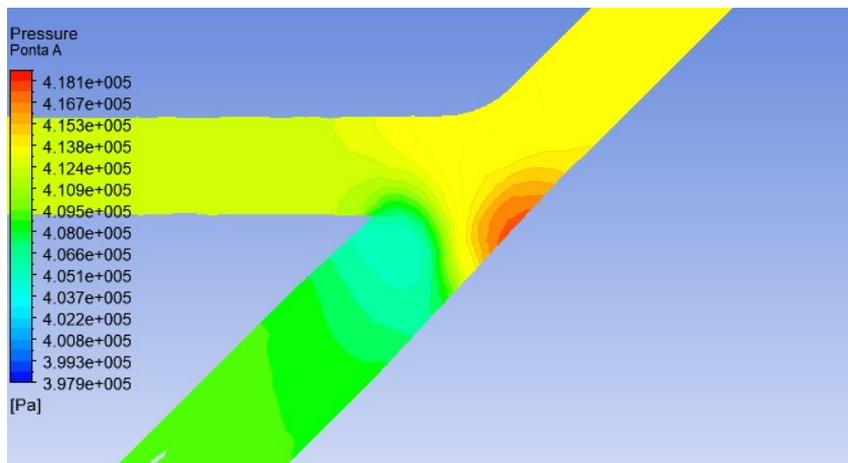
Figura 32 – Escoamento na bifurcação dos trechos T1 e T2



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando o mesmo trecho é possível notar a partir da Figura 33 pontos com diferentes pressões, que variam em torno de $4,148 \times 10^5 \text{ Pa}$ (42,3 mca), resultado também satisfatório quando comparado com os cálculos analíticos, sendo $P_{a'} = 42,60 \text{ mca}$ e $P_{a''} = 43,01 \text{ mca}$.

Figura 33 – Pressões atuantes na bifurcação dos trechos T1 e T2

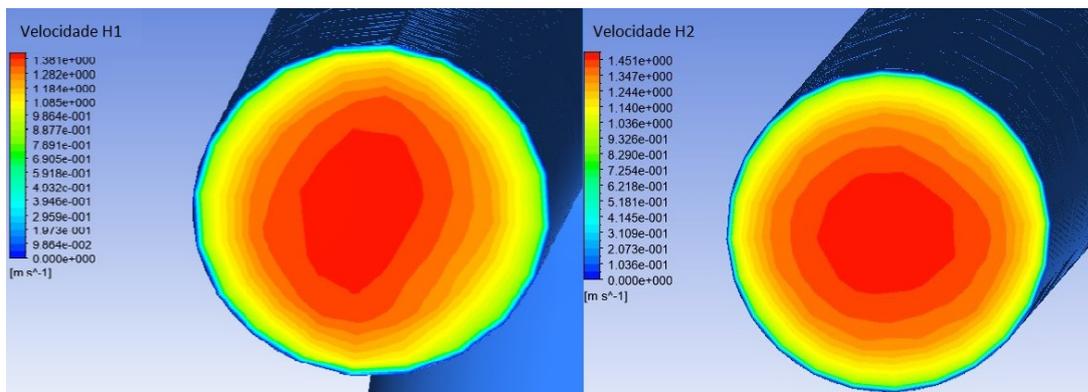


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.6 Saída H1 e H2

Nas saídas H1 e H2 foi fixado seus respectivos valores de pressão conforme citado anteriormente, com o objetivo de descobrir as velocidades de saída nas válvulas angulares dos hidrantes. A partir da Figura 34 obtém-se a variação das velocidades e pode-se retirar as velocidades médias de $VH1 = 1,145 \text{ m/s}$ e $VH2 = 1,190 \text{ m/s}$. Apesar de ambos os valores calculados algebricamente estarem dentro da faixa de velocidades o resultado apresentado não é satisfatório uma vez que $VH2$ deveria ser menor do que $VH1$.

Figura 34 – Velocidades nas saídas H1 e H2



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Esse trabalho propôs o dimensionamento analítico de uma rede de hidrantes para um comércio de material de construção localizado na cidade de Dourados/MS e posteriormente uma validação dos resultados através de uma modelagem numérica no software Ansys Fluent. Realizou-se algumas simplificações no modelo numérico para tornar possível sua execução. Com isso, pode-se tirar algumas conclusões:

I. O dimensionamento analítico ocorreu de forma satisfatória apresentando, dentro das Normas Técnicas estabelecidas, as dimensões e grandezas necessárias para criar um sistema funcional e eficiente.

II. O sistema não sofrerá com o fenômeno da cavitação, garantindo assim a vida útil da bomba e, ainda mais importante, garante os valores de vazão e altura manométrica estipulados no projeto.

III. O modelo numérico convergiu de forma rápida e sem grandes problemas

IV. A simulação se mostrou condizente com a realidade e as leis da física de forma geral, respeitando a ação da gravidade, perdas de carga, e mudanças de velocidade e pressão ao longo da rede de hidrantes.

V. Os resultados das pressões na simulação foram muito próximos quando comparado com os analíticos, entretanto os resultados das velocidades não foram tão satisfatórios.

Ao final do trabalho pode-se concluir que o sistema de hidrantes dimensionado será capaz de extinguir/controlar qualquer foco de incêndio que se inicie na edificação. Quanto a simulação numérica pode-se afirmar que foi validada em partes pelo método analítico, devido a proximidade de alguns resultados. Recomenda-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de um modelo com menos simplificações e que se atenha mais a realidade, para que seja possível validar completamente o modelo numérico aqui desenvolvido. Também é indicado realizar um teste de malha, que não foi feito no presente trabalho devido a limitação de elementos, para verificar se os resultados obtidos pela simulação numérica não estão sofrendo influência do número de elementos. Por se tratar de um sistema de segurança seria interessante coletar a rugosidade real das tubulações através de um rugosímetro, para se ter resultados ainda mais precisos. Além disso, poderia ser feito um uso mais refinado dos modelos de turbulência para se certificar que é o melhor modelo para o problema em questão. Por fim, seria interessante testar novas formas de se diminuir as perdas de carga ao longo das tubulações, assim diminuindo a potência da bomba do sistema e por consequência barateando o item mais caro do projeto.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13860: glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13714: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Mato Grosso do Sul. 2003.

Brentano, Telmo. Instalações hidráulicas de combate a incêndios nas edificações. 5 ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2016.

Brunetti, F. Mecânica dos Fluidos. 2 ed. Person Prentice Hall. 2008.

Çengel, Y. A.; CIMBALA J.M.; Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e aplicações. 3 ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 2006.

ESTATÍSTICAS 2017.SPRINKLERBRASIL. Disponível em: <<https://www.sprinklerbrasil.org.br/institucional/sprinkler-brasil/estatisticas/estatiticas-2017-anual/>>. Acesso em: junho de 2018.

FOX, R.W.; MCDONALD, A.T.; PRITCHARD, P.J. Introdução à Mecânica dos Fluidos. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

GERMER, E. Máquinas de Fluxo. 2013. 109f. Apostila – UTFPR-CT, Brasil, 2013.

GOUVEA, M. M. R. Estudo de confiabilidade em bombas centrífugas. 2008. 48f. Monografia – Universidade São Francisco, Brasil, 2008.

HENN, E.A.L. Máquinas de Fluido. 2ª ed. Porto Alegre: EditoraUFSM, 2006.

KSB. Manual de Treinamento – Seleção e aplicação de bombas centrífugas. 4ª Ed. 2001.

KSB. Manual de Curvas Características – Seleção e aplicação de bombas centrífugas. 1ª Ed. 2013.

NORMA TÉCNICA. NT 22: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Mato Grosso do Sul.

POVH, P.H.; ARAUJO, M.F.; VANZ, A.L. Simulação numérica do Vertedouro da UHE Santo Antônio In Anais do XXIX Seminário Nacional de Grandes Barragens. Abril 2013. Porto de Galinhas. T 107 – A21.

SEITO, L et al. A Segurança Contra Incêndio no Brasil. 1ed. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

SOUZA Z.; Fuchs R. D.; Santos A. H. M.; Centrais Hidro e Termelétricas: estudos para implantação. 1 ed. Rio de Janeiro: ELÉTROBRAS, 1999.

ANEXO A - Classificação das edificações quanto a ocupação

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Casas térreas ou assobradadas (isoladas e não isoladas) e condomínios horizontais
		A-2	Habitação multifamiliar	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Capacidade máxima de 16 leitos
B	Serviço de Hospedagem	B-1	Hotel e assemelhado	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, pousadas, albergues, casas de cômodos e divisão A-3 com mais de 16 leitos
		B-2	Hotel residencial	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais) e assemelhados
C	Comercial	C-1	Comércio com baixa carga de incêndio	Artigos de metal, louças, artigos hospitalares e outros
		C-2	Comércio com média e alta carga de incêndio	Edifícios de lojas de departamentos, magazines, armarinhos, galerias comerciais, supermercados em geral, mercados e outros
		C-3	Shoppings centers	Centro de compras em geral (shopping centers)
D	Serviço profissional	D-1	Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros, centros profissionais e assemelhados
		D-2	Agência bancária	Agências bancárias e assemelhados
		D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
		D-4	Laboratório	Laboratórios de análises clínicas sem internação, laboratórios químicos, fotográficos e assemelhados
E	Educativa e cultura física	E-1	Escola em geral	Escolas de ensino fundamental, médio e superior, cursos supletivos e pré-universitário e assemelhados
		E-2	Escola especial	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira, escolas religiosas e assemelhados
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais, ginástica (artística, dança, musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e assemelhados
		E-4	Centro de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escola	Creches, escolas maternas, jardins de infância
		E-6	Escola para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e assemelhados

Fonte: Lei N. 4.335, de 10 de abril de 2013.

**ANEXO B - Tabela de carga de incêndio específico por
ocupação.**

Ocupação/Us	Descrição	Divisão	Carga de incêndio (qfi) em MJ/m ²
Residencial	Alojamentos estudantis	A-3	300
	Apartamentos	A-2	300
	Casas térreas ou sobrados	A-1	300
	Pensionatos	A-3	300
Serviços de hospedagem	Hotéis	B-1	500
	Motéis	B-1	500
	Apart-hotéis	B-2	500
*Comercial varejista, Loja *Ver item 5.1.2	Açougue	C-1	40
	Animais ("pet shop")	C-2	600
	Antiguidades	C-2	700
	Aparelhos eletrodomésticos	C-1	300
	Aparelhos eletrônicos	C-2	400
	Armarinhos	C-2	600
	Armas	C-1	300
	Artigos de bijouteria, metal ou vidro	C-1	300
	Artigos de cera	C-2	2100
	Artigos de couro, borracha, esportivos	C-2	800
	Automóveis	C-1	200
	Bebidas destiladas	C-2	700
	Brinquedos	C-2	500
	Calçados	C-2	500
	Couro, artigos de	C-2	700
	Drogarias (incluindo depósitos)	C-2	1000
	Esportes, artigos de	C-2	800
	Ferragens	C-1	300
	Floricultura	C-1	80
	Galeria de quadros	C-1	200
	Joalheria	C-1	300
	Livrarias	C-2	1000
	Lojas de departamento ou centro de compras (shoppings)	C-2/ C-3	800
	Materials de construção	C-2	800

Fonte: NT14 CBMMS.

ANEXO C - Classificação do tipo de sistema de combate a incêndio.

Área das edificações e áreas de risco	CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO CONFORME TABELA 1 DA LEI Nº 4.335/2013				
	A-2, A-3, C-1, D-1(até 300 MJ/m ²), D-2, D-3 (até 300 MJ/m ²), D-4 (até 300 MJ/m ²), E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6, F-1 (até 300 MJ/m ²), 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	D-1 (acima de 300 MJ/ m ²), D-3 (acima de 300 MJ/ m ²), D-4 (acima de 300 MJ/ m ²), B-1, B-2, C-2 (acima de 300 até 1000 MJ/m ²), C-3, F-1 (acima de 300 MJ/m ²), F-5, F-6, F-7, F-9, F-10, H-4, I-2 (acima de 300 até 800 MJ/m ²), J-2 e J-3 (acima de 300 até 800 MJ/m ²)	C-2 (acima de 1000 MJ/m ²), I-2 (acima de 800 MJ/m ²), J-3 (acima de 800 MJ/m ²), L-1, M-1, M-5	G-5, I-3, J-4, L-2 e L-3	
Até 2.500 m ²	Tipo 1 RTI 5 m ³	Tipo 2 RTI 8 m ³	Tipo 3 RTI 12 m ³	Tipo 4 RTI 28 m ³	Tipo 4 RTI 32 m ³
Acima de 2.500 m ² até 5.000 m ²	Tipo 1 RTI 8 m ³	Tipo 2 RTI 12 m ³	Tipo 3 RTI 18 m ³	Tipo RTI 32 m ³	Tipo 4 RTI 48 m ³
Acima de 5.000 m ² até 10.000 m ²	Tipo 1 RTI 12 m ³	Tipo 2 RTI 18 m ³	Tipo 3 RTI 25 m ³	Tipo 4 RTI 48 m ³	Tipo 5 RTI 64 m ³
Acima de 10.000 m ² até 20.000 m ²	Tipo 1 RTI 18 m ³	Tipo 2 RTI 25 m ³	Tipo 3 RTI 35 m ³	Tipo 4 RTI 64 m ³	Tipo 5 RTI 96 m ³
Acima de 20.000 m ² até 50.000 m ²	Tipo 1 RTI 25 m ³	Tipo 2 RTI 35 m ³	Tipo 3 RTI 48 m ³	Tipo 4 RTI 96 m ³	Tipo 5 RTI 120 m ³
Acima de 50.000 m ²	Tipo 1 RTI 35 m ³	Tipo 2 RTI 48 m ³	Tipo 3 RTI 70 m ³	Tipo 4 RTI 120 m ³	Tipo 5 RTI 180 m ³

Fonte: NT22 CBMMS.

ANEXO D - Detalhes sobre os tipos de sistemas de hidrante e mangotinho.

Tipo	Esguicho regulável (DN)	Mangueiras de incêndio		Número de expedições	Vazão mínima na válvula do hidrante mais desfavorável (L/min)	Pressão mínima no hidrante mais desfavorável (mca)
		DN (mm)	Comprimento (m)			
1	25	25	30	simples	100	80
2	40	40	30	simples	150	30
3	40	40	30	simples	200	40
4	40	40	30	simples	300	65
	65	65	30	simples	300	30
5	65	65	30	duplo	600	60

Fonte: NT22 CBMMS.

ANEXO E - Coeficiente de rugosidade dos materiais.

Surface Material	Absolute Roughness Coefficient - ϵ in mm
Aluminum, Lead	0.001 - 0.002
Drawn Brass, Drawn Copper	0.0015
Aluminum, Lead	0.001 - 0.002
PVC, Plastic Pipes	0.0015
Fiberglass	0.005
Stainless steel	0.015
Steel commercial pipe	0.045 - 0.09
Stretched steel	0.015
Weld steel	0.045
Galvanized steel	0.15
Rusted steel	0.15 - 4
Riveted steel	0.9 - 9

Fonte: EnggCyclopedia