

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS BM

NESTOR EMIDIO BARBOSA SAMPAIO

PERDA DE CARGA: um estudo de caso envolvendo o uso de hidrante de recalque e o uso do içamento de mangueiras.

São Luís

2021

NESTOR EMÍDIO BARBOSA SAMPAIO

PERDA DE CARGA: um estudo de caso envolvendo o uso de hidrante de recalque e o uso do içamento de mangueiras.

Monografia apresentada ao Curso de Formação de Oficiais CBMMA da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do grau de Bacharel em Segurança Pública e do Trabalho.

Orientador: Rafael da Costa Viana – Cap
QOCBM

São Luís

2021

Sampaio, Nestor Emidio Barbosa.

Perda de carga: um estudo de caso envolvendo o uso de hidrante de recalque e o uso do içamento de mangueiras / Nestor Emidio Barbosa Sampaio. – São Luís, 2021.

90 f

Monografia (Graduação) – Curso de Formação de Oficiais BM-MA, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Cap. QOCBM Rafael da Costa Viana.

1.Perda de carga. 2.Recalque. 3.Pressão dinâmica. 4.Hidrantes. 5.Tática. 6.Combate. I.Título.

CDU: 614.843.1/.2

NESTOR EMIDIO BARBOSA SAMPAIO

PERDA DE CARGA: um estudo de caso envolvendo o uso de hidrante de recalque e o uso do içamento de mangueiras.

Monografia apresentada junto ao Curso de Formação de Oficiais CBMMA da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA para obtenção do grau de Bacharel em Segurança Pública e do Trabalho.

Aprovado em: / /

BANCA EXAMINADORA

Rafael da Costa Viana (Orientador)
Bacharel em Segurança Pública e do Trabalho
Universidade Estadual do Maranhão

Abner Ferreira de Carvalho
Tenente-Coronel QOCBM CBMMA

Marco Aurélio Moreira Saran
Mestre em Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Itajubá

A Deus todo-poderoso que em sua
infinita misericórdia deu o seu único filho
para nos salvar dos pecados do mundo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao bom Deus pelo dom da vida que me concede a cada manhã e pelo discernimento a tomar nas decisões difíceis.

À minha mãe, Maria da Conceição, que com toda paciência sempre me apoiou e me deu forças em todos os momentos.

Ao meu pai, Silvio Serpa, que com seus conselhos sempre me motivou a persistir firme no objetivo.

A minha irmã Kamila Sampaio pelas instruções e ensinamentos ao longo de todo o trabalho.

A minha esposa, Anna Caroline, pelo convívio diário e por ter sempre acreditado em mim.

Aos aspirantes Francisco e David Cardoso pelas tantas orientações e incentivos a este trabalho.

O meus mais sincero obrigado aos cadetes do 2º ano do Curso de Formação de Oficiais Bombeiro Militar tais como, Giulio, Antônio Neto, Dutra, Sobrinho, Pinheiro Silva, Arielly, Jesus Silva, Aitan, Guterres Neto, Alexsander, Phelippe que possibilitaram a realização dos experimentos na torre da Academia de Bombeiros Militar “Josué Montello” com sua ajuda e incentivo.

A toda a guarnição de incansáveis militares da 2º CIBM/ Paço do Lumiar na figura do 1º Ten QOCBM Marques pela inigualável ajuda em todos os testes e experimentos realizados.

Agradeço ao nobre Capitão QOCBM Rafael da Costa Viana pelos valiosos conhecimentos sem o qual este trabalho não se desenvolveria e pelo comprometimento na sua excelente orientação.

*“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre
ombros de gigantes”*

Isaac Newton

RESUMO

A perda de carga é um assunto diretamente associado a movimentação de fluidos em condutos e caminhamentos de tubulação. Nas ocorrências que envolvem a atuação do Corpo de Bombeiros do Estado do Maranhão em combate a incêndio, a pressão efetivamente utilizada pelos militares da guarnição para utilizar na tática de combate dependerá da perda de carga associada na forma de armação de linhas de mangueiras bem como da topologia da tubulação do sistema de hidrantes existente na própria edificação. O conhecimento das diversas táticas de combate e de suas implicações quanto a maior ou menor perda de carga associada norteará um combate mais efetivo com uma maior ou menor pressão final disponível. Neste trabalho, um estudo de caso em perda de carga é feito no ambiente da Torre da Academia de Bombeiros Militar “Josué Montello”. Duas táticas de combate a incêndios são trabalhadas em termos de pressão final disponível para utilização. A primeira tática constitui-se da pressurização pelo conjunto de bombas da viatura Auto Bomba Tanque do hidrante de recalque da instalação. É feita a medição da pressão disponível em cada abrigo de hidrante presente nos andares da torre de estudo. A segunda tática de combate é o içamento de mangueiras por meio de cordas até cada andar considerado e verificada a pressão disponível. Ao final do estudo, é feito o comparativo para determinação da melhor estratégia de combate com base no menor índice de perda de carga. Por fim, uma abordagem teórica das duas táticas é considerada para fins de comparação dos valores coletados no experimento prático e os do verificados nos cálculos.

Palavras-chave: Perda de carga. Recalque. Pressão dinâmica. Hidrantes. Tática. Combate.

ABSTRACT

Pressure drop is an issue directly associated with fluid movement in conduit and pipeline paths. In occurrences involving the performance of the Fire Department of the State of Maranhão in firefighting, the pressure effectively used by the garrison military to use in combat tactics will depend on the loss of cargo associated in the form of armature of hose lines as well as the piping topology of the existing hydrant system in the building itself. The knowledge of the various combat tactics and their implications regarding the greater or lesser loss of associated charge will guide a more effective combat with greater or lesser final pressure available. In this work, a case study on loss of head is made in the environment of the Tower of the Military Fire Academy “Josué Montello”. Two firefighting tactics are worked out in terms of the final pressure available to use. The first tactic consists of pressurizing the pump set of the Auto Bomba Tank vehicle for the installation's booster hydrant. The pressure available in each hydrant shelter present on the study tower floors is measured. The second combat tactic is to hoist hoses by ropes to each floor considered and check for available pressure. At the end of the study, a comparison is made to determine the best combat strategy based on the lowest rate of head loss. Finally, a theoretical approach of the two tactics is considered for purposes of comparing the values collected in the practical experiment and those verified in the calculations.

Key Words: Pressure drop. Repression. Dynamic pressure. Hydrants. Tactics. Combat.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tubo de Escoamento	22
Figura 2 - Teorema de Stevin	22
Figura 3 - Manômetro.....	23
Figura 4 - Escoamento laminar e turbulento.....	24
Figura 5 - Conduto forçado.....	25
Figura 6 - Rugosidade	26
Figura 7 - Curva	29
Figura 8 - Cotovelo	29
Figura 9 - Registro de gaveta.....	29
Figura 10 - Válvula de borboleta	29
Figura 11 - Instalações de Recalque.....	30
Figura 12 - Curva da Bomba	31
Figura 14 - Tipos de sistemas	32
Figura 14 - Combustível sólido.....	35
Figura 15 - Concentração de Oxigênio.....	35
Figura 16 - Calor	36
Figura 17 - Transmissão do Calor.....	37
Figura 18 - Condução	38
Figura 19 - Convecção térmica	39
Figura 20 - Irradiação Térmica	40
Figura 21 - Tetraedro do fogo.....	41
Figura 22 - Retirada do Material.....	42
Figura 23 - Resfriamento	44
Figura 24 - Abafamento.....	45
Figura 25 - Mangueira Tipo 1.....	52
Figura 26 - Esguicho Regulável Pistola	53
Figura 27 - Esguicho Canhão.....	54
Figura 28 - Esguicho agulheta	54
Figura 29 - Divisor	55
Figura 30 - Coletor	56
Figura 31 - Luva de redução	56
Figura 32 - Tampão	57

Figura 33 - Hidrante de Coluna	57
Figura 34 - Hidrante de recalque.....	58
Figura 35 - Hidrante de Parede	58
Figura 36 - Ligação	59
Figura 37 - Linha.....	59
Figura 38 - Linha Direta.....	60
Figura 39 - Linha Tripla	60
Figura 40 - Armação completa de mangueira em ligação e linha.....	61
Figura 41 - Jato Compacto.....	61
Figura 42 - Jato Neblinado	62
Figura 43 - Jato Atomizado	62
Figura 44 - Sistema de Hidrantes de Edificação	63
Figura 45 - Armação de mangueiras com o uso do hidrante da edificação	64
Figura 46 - Hidrante de Parede	64
Figura 47 - Bomba de Incêndio	65
Figura 48 - Mangueira conectada ao hidrante de parede.....	66
Figura 49 - Mangueiras ao longo da caixa de escadas	67
Figura 50 - Içamento de Mangueiras.....	67
Figura 51 - Torre da Academia de Bombeiros Militar Josué Montello	69
Figura 52 - Medidor de Pressão Dinâmica	70
Figura 53 - Esguicho Regulável Pistola	71
Figura 54 - Mangueiras de incêndio.....	71
Figura 55 - Auto Bomba Tanque	72
Figura 56 - Medição de pressão dinâmica	73
Figura 57 - Pressurização do sistema de hidrante de recalque.....	73
Figura 58 - Pressão na saída da válvula de hidrante	74
Figura 59 - Içamento de mangueira no 4º andar	75
Figura 60 - Medidor de pressão no final da linha	75
Figura 61 - Içamento de mangueira no 2º andar	75
Figura 62 - Modelagem da tubulação do sistema de hidrantes.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimento Equivalente	28
Tabela 2 - Pressão para os tipos de mangueira	51
Tabela 3 - Sistemas de proteção por hidrante ou mangotinho	65
Tabela 4 – Perda de carga da bomba até a boca expulsora.....	77
Tabela 5 - Perda de carga nos andares da torre pela tubulação do sistema	78
Tabela 6 - Perda de carga nos andares da torre pelo içamento de magueiras.....	79
Tabela 7 - Perda de carga envolvendo o recalque de água pela tubulação.....	80
Tabela 8 - Perda de carga envolvendo o içamento de mangueiras	81
Tabela 9 - Comparação dos valores encontrados – tubulação do sistema de hidrantes .	81
Tabela 10 - Comparação dos valores encontrados – içamento de mangueiras.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Pressão na válvula de hidrante	78
Gráfico 2 - Recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante	78
Gráfico 3 - Içamento de mangueira	79
Gráfico 4 - Perda de pressão na mangueira	79
Gráfico 5 - Comparação entre as táticas	80
Gráfico 6 - Comparativo teórico e prático: sistema de hidrantes	82
Gráfico 7 - Comparativo teórico e prático: Içamento de mangueiras	83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Geral	19
2.2 Específicos.....	19
3 PERDA DE CARGA: CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	20
3.1 Viscosidade	20
3.2 Massa Específica.....	21
3.3 Fluido Ideal.....	21
3.4 Escoamento Incompressível	21
3.5 Pressão	22
3.6 Manômetro	23
3.7 Escoamento laminar e turbulento	24
3.8 Vazão.....	24
3.9 Equação da energia para o fluido real.....	25
3.10 Conduto Forçado.....	25
3.11 Rugosidade.....	26
3.12 Perda de carga distribuída	26
3.13 Perda de carga localizada.....	27
3.14 Instalações de Recalque.....	29
3.15 Análise dos Sistemas de Recalque	31
3.16 Ponto de Operação.....	31
4 TEORIA DO FOGO.....	33
4.1 Combustão	33
4.2 Combustível	33
4.3 Comburente	35
4.4 Calor	36
4.5 Formas de propagação de calor	37
4.5.1 Condução Térmica.....	37
4.5.2 Convecção Térmica	38

4.5.3 Irradiação Térmica.....	39
4.6 Tetraedro do Fogo	40
4.7 Métodos de Extinção do Fogo.....	42
4.7.1 Retirada de Material	42
4.7.2 Resfriamento	43
4.7.3 Abafamento	44
4.7.4 Quebra da reação em cadeia.....	45
4.8 Agentes extintores.....	46
4.8.1 Água.....	46
4.8.2 Pó para extinção de incêndio	47
4.8.3 Espuma	47
4.8.4 Dióxido de Carbono	48
5 MATERIAIS PARA COMBATE A INCÊNDIO URBANO	50
5.1 Materiais Hidráulicos	50
5.1.1 Mangueiras.....	50
5.1.2 Mangotinho	52
5.1.3 Esguicho.....	53
5.1.4 Tipos de Esguicho	53
5.2 Materiais Hidráulicos Acessórios.....	55
5.3 Hidrantes	57
5.4 Manobras com mangueiras para combate a incêndio.....	59
5.5 Tipos de Jatos de Água.....	61
5.6 Sistemas de Hidrantes da Edificação	63
5.6.1 Hidrante de parede.....	64
5.6.2 Bomba de Incêndio.....	65
5.7 Técnicas de Combate a Incêndio no Plano Vertical.....	65
5.7.1 Recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante	66
5.7.2 Armação de mangueiras pré-conectadas utilizando as escadas de emergência da edificação	66
5.7.3 Içamento de mangueiras	67
6 METODOLOGIA	68

6.1 Local de ensaios e experimentações	69
6.2 Equipamentos e materiais utilizados.....	70
6.2.1 Medidor de Pressão Dinâmica	70
6.2.2 Esguicho Regulável Pistola.....	70
6.2.3 Mangueiras.....	71
6.2.4 Auto Bomba Tanque.....	71
6.3 Experimentos	72
6.3.1 Experimento considerando o recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante	73
6.3.1 Experimento considerando o içamento de mangueiras	74
6.3.3 Verificação teórica das perdas de carga.....	76
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
7.1 Análise das perdas de carga no sistema interno da bomba.....	77
7.2 Análise da perda de carga considerando o recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante.....	77
7.3 Análise da perda de carga considerando o içamento de mangueiras.....	78
7.4 Comparativo entre as táticas de combates: valores experimentais.....	79
7.5 Análise da perda de carga considerando a verificação teórica	80
7.5.1 Análise da perda de carga teórica usando o recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante	80
7.5.3 Análise da perda de carga teórica usando o içamento de mangueiras	81
7.6 Comparação entre o método teórico e o experimento usando recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante	81
7.7 Comparação entre o método teórico e o experimento usando içamento de mangueira.....	82
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO	87
ANEXO A – DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE	90

1 INTRODUÇÃO

O dia a dia operacional das guarnições dos corpos de bombeiros se depara com os mais variados tipos de ocorrências envolvendo as diversas áreas de atuação como atendimento pré-hospitalar, salvamento aquático, salvamento terrestre, prestação de socorro nos casos de inundações, alagamentos, deslizamentos, etc. Todas estas atividades requerem do profissional bombeiro militar a proficiência no manejo e uso de ferramentas e técnicas adequadas a cada situação específica, para que possam auxiliar a tomar a melhor decisão diante do sinistro.

Com o passar dos anos, novas e complexas instalações, edificações e empreendimentos em geral estão em construção em nossa sociedade, tornando necessário estudos e atualizações de critérios técnicos de atuação em ocorrências que envolvam incêndio urbano nestas instalações. O adequado estudo e constante treinamento das tecnologias que surgem é de extrema importância para preparação da tropa para enfrentamento das ocorrências.

No tocante às ocorrências envolvendo incêndios urbanos em edifícios, várias são as estratégias de atuação, cabendo ao chefe de socorro, ou seja, o comandante da guarnição que primeiro chegar no local, fazer a primeira avaliação e, de acordo com o cenário encontrado e os recursos possuídos, deliberar pela melhor resposta de atuação ao incêndio. Uma dessas escolhas perpassa pela opção de um combate mais otimizado, com aquele que a pressão no final da linha de mangueira tenha uma maior pressão disponível, ou seja, que possua menos perda de carga, perda de pressão ao longo da linha mangueira ou conduto forçado.

Como forma de organização dessas estratégias de combate a incêndio urbano, diversos manuais operacionais das corporações dos estados trazem as abordagens e técnicas de combate, enumerando os seus diversos tipos de emprego. Uma carência verificada na produção desse material é constatada pela falta de informação referente aos detalhes técnicos de perda de carga para cada método e abordagem de combate a incêndio urbano, com o qual a visualização dos aspectos positivos e negativos ficam mais claros auxiliando os militares na opção da melhor resposta frente à ocorrência, ou seja, informações mais precisas sobre o desenvolvimento do cálculo de perda de carga presente nas diversas abordagens tornam o processo de combate mais claro e fácil de visualizar pela guarnição em serviço.

Muito dos aspectos verificados na prática envolvendo técnicas de abordagens usando mangueiras ou tubulações de água são facilmente perceptíveis pelo costume e práticas corriqueiras pelas guarnições. O que pouco se aborda são critérios técnicos de análise de perda de carga nessas abordagens de combate a incêndio.

Diante desta lacuna encontrada, este trabalho visa apresentar um guia mais detalhado sobre as perdas de cargas, especificamente em dois tipos de táticas de combate a incêndio: uma utilizando o içamento de mangueiras de incêndio e a outra utilizando tubulações de aço galvanizado encontrados nos preventivos de prédios e edificações. Desta forma, a seguinte problemática foi levantada: Como a perda de carga influencia na eficiência hidráulica das estratégias de combate a incêndio utilizando tubulações de aço galvanizado e linhas de mangueiras por içamento?

Por meio da teoria física abordada em mecânica dos fluidos, é sabido que as perdas de pressão em tubulações são influenciadas pelo diâmetro, velocidade e curvas encontradas ao longo do caminhamento de água. Neste contexto, tubulações mais retilíneas, sem grandes curvas, proporcionariam maior eficácia no combate, como sugere-se a utilização das tubulações de aço galvanizado, tais quais as encontradas nos preventivos fixos de edificações. Nas linhas de mangueiras existem várias curvas que são chamadas de “seios” formadas naturalmente devido a pressão da água e que não são calculadas.

O presente trabalho pretende, portanto, com o desenvolvimento mais detalhado e técnico dos desdobramentos da análise de perda de carga nestas duas abordagens de combate, contribuir para uma formação mais técnica dos militares das guarnições dos quartéis de combate a incêndio e nortear a deliberação sobre qual estratégia utilizar diante de um cenário de incêndio urbano.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar a eficiência hidráulica, por meio da influência da perda de carga, nas estratégias de combate a incêndio utilizando tubulações de aço galvanizado e linhas de mangueiras por içamento.

2.2 Específicos

- Descrever as diversas táticas e abordagens utilizadas para extinção de incêndio urbano.
- Analisar e calcular as perdas de carga ao longo da tubulação de aço galvanizado de um prédio envolvendo o uso do hidrante de recalque.
- Analisar e calcular as perdas de carga envolvendo o içamento de mangueiras.
- Examinar a eficiência e viabilidade hidráulica de cada estratégia.

3 PERDA DE CARGA: CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Esta é uma importante parte do projeto de pesquisa, em que o tema é fundamentado por teorias já existentes relacionada ao tema de perda de carga. As referências incluem manuais técnicos operacionais das corporações dos Estados e em livros acadêmicos que tratam da temática de mecânica dos fluidos, perda de pressão, fluidodinâmica, etc. A construção do modelo que servirá de base para o cálculo das perdas de carga virá do estudo e aplicação que constam no referencial teórico e, a partir daí, será possível a realização da análise dos objetivos propostos pelo projeto de pesquisa.

As substâncias presentes na natureza apresentam-se de diferentes formas quanto a sua aparência física. Normalmente o conceito de fluido está relacionado a substâncias que possuem aspecto fluido e que apresentam facilidade de escoamento. Em White (2011), o fluido é uma substância que, ao ser submetida a uma tensão de cisalhamento, ele se deforma e isso gera movimento interno das suas partículas, ou seja, enquanto houver a força aplicada sobre o fluido, haverá escoamento e deformação contínua sobre este. Obedecendo a estes comportamentos, duas substâncias são classificadas conforme seu estado molecular: os líquidos e os gasosos. Na fase líquida, as moléculas da substância são unidas por forças que permitem uma certa movimentação ao longo da sua estrutura, conferindo propriedades como adequação do fluido ao recipiente em que está inserido. Na fase gasosa, essas moléculas já estão mais livres em função das forças de coesão serem de baixa intensidade, conferindo maior liberdade de movimentação e dotando os gases de grande compressibilidade. (CALÇADA; SAMPAIO, 1998).

3.1 Viscosidade

Para o presente trabalho, os efeitos de maior interesse estão contidos no comportamento do fluido quando em movimento. As suas características microscópicas traduzidas em termos de força de coesão entre moléculas conferem maior ou menor grau de liberdade, classificando os fluidos em líquido ou gasoso. Quando em movimento, os fluidos apresentam uma viscosidade, fruto da coesão entre as moléculas e das colisões provenientes entre elas, gerando uma dificuldade de escoamento do fluido (BRUNETTI, 2008). O fenômeno da viscosidade, para melhor compreensão, é dividido em dinâmica e cinemática. Na viscosidade dinâmica, seu efeito é percebido na prática quando este está

em movimento indicando maior ou menor dificuldade do fluido em escoar. Seu valor varia de fluido para fluido, sendo influenciado também pela sua temperatura interna. Já a viscosidade cinemática, relaciona-se com a viscosidade dinâmica e o valor da massa específica do fluido (BRUNETTI, 2008).

3.2 Massa Específica

Todo corpo presente no universo, em razão de sua constituição molecular, possui massa e ocupa lugar no espaço. Em se tratando de um corpo homogêneo, a divisão quantitativa entre sua massa e seu volume é definida como sendo a massa específica de um corpo, dada pela equação abaixo em que μ =massa específica, M= massa e V= volume:

$$\mu = \frac{M}{V} \text{ Equação 01}$$

A massa específica é uma grandeza constante para cada substância, e a partir dela, pode-se gerar corpos da mesma substância com densidades diferentes a depender do seu formato adotado (CALÇADA; SAMPAIO, 1998).

3.3 Fluido Ideal

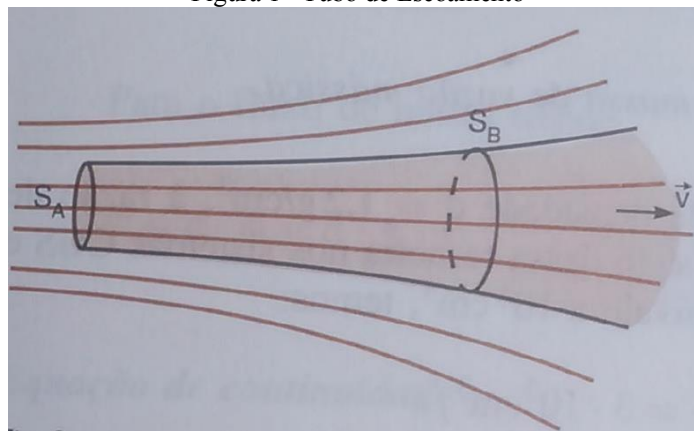
Um fluido é considerado como sendo ideal quando, ao longo do seu deslocamento, a sua viscosidade puder ser reduzida a zero. Na maioria das situações práticas, um fluido em deslocamento possui um atrito que causa perdas de energia de escoamento, ou seja, um fluido ideal não existe. No entanto, para determinados cenários em que as condições se aproximarem do ideal, a existência desse tipo de fluido é concebida de forma matemática e servirá de apoio didática para a discussão de outras teorias (BRUNETTI, 2008).

3.4 Escoamento Incompressível

Durante seu deslocamento, o fluido é submetido a forças de todas as ordens atuando no seu volume líquido, devido as pressões exercidas pela tubulação, conforme figura 1. Ao se exercer uma pressão no fluido e seu volume líquido não sofrer variação, ou seja, se sua massa específica permanecer constante, é dito ser do tipo incompressível. Na prática, essa é uma condição que não acontece na sua integralidade. É observado, no

entanto, que os líquidos possuem um comportamento que mais se aproxima do ideal, sendo considerados, sem grandes erros, como incompressíveis (BRUNETTI, 2008).

Figura 1 - Tubo de Escoamento



Fonte: CALÇADA; SAMPAIO (1998)

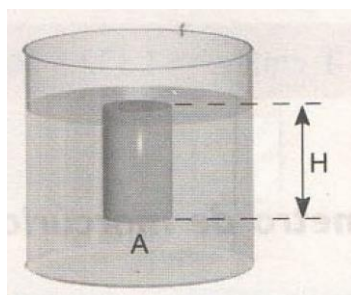
3.5 Pressão

Pressão é uma grandeza responsável por mensurar o grau de intensidade de uma força aplicada em certa área de superfície. Está relacionada a aplicação de uma força em um ponto ao longo de uma área, podendo causar deslocamentos deste ponto (CALÇADA; SAMPAIO, 1998). No âmbito de estudo da mecânica dos fluidos, a diferença de pressão exercida em fluido líquido é a sua principal fonte causadora de escoamento (WHITE, 2011).

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Equação 2}$$

Para o caso de um fluido estático em repouso, como uma água represada em um recipiente, como na figura 2, a pressão nos pontos internos do fluido aumenta a medida que aumenta a profundidade, ou seja, a pressão no líquido, chamada de hidrostática, é em função da coluna d'água acima do ponto considerado (CALÇADA; SAMPAIO, 1998). O teorema de Stevin ilustra esta situação:

Figura 2 - Teorema de Stevin



Fonte: CALÇADA; SAMPAIO (1998)

$$P = P_o + dg \quad \text{Equação 03}$$

Em situações reais, os fluidos escoam por meio de condutos, tubulações e mangueiras que, por possuírem diâmetro interno, causam diferenças de pressão ao longo da seção de escoamento. Quando um fluido está exposto ao ar livre, diz-se que ele está sob pressão atmosférica. Esta é a chamada pressão barométrica, cujo valor é modificado a medida que varia a altura (BRUNETTI, 2008).

As unidades de pressão são também muito importantes na hora de se fazer um estudo de mecânica dos fluidos envolvendo líquidos em deslocamento. Em Brunetti (2008), as principais unidades de pressão são: Pa (Pascal)= N/m^2 ; Bar= daN/cm^2 ; Psi= lb/pol^2 .

3.6 Manômetro

Para a determinação empírica dos valores de pressão em recipientes, em tubos e em condutos que estejam sendo percorridos por fluidos, sejam gasosos ou líquidos, é comum a utilização de um instrumento chamado de barômetro. São vários os modelos disponíveis no mercado. Contudo, para o estudo e aplicação na atividade bombeiro militar, fruto desta pesquisa, o mais utilizado é Manômetro Metálico ou de Bourdon, como mostrado na figura 3 (BRUNETTI, 2008).

Figura 3 - Manômetro



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

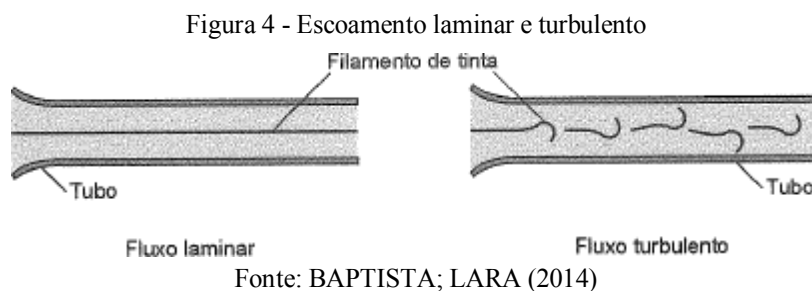
Ao conectar este manômetro em uma tubulação com escoamento de fluido, a parte interna do equipamento fica submetida a pressão e desloca o ponteiro, acusando o valor da pressão naquele ponto (BRUNETTI, 2008). Este é um instrumento importante para se saber o quanto de pressão de água está disponível em um ponto, e através desta

informação, a depender da natureza da ocorrência, é solicitada uma pressão maior ou menor para determinada atividade.

3.7 Escoamento laminar e turbulento

Em situações práticas, tais como é encontrado nos serviços operacionais nos quartéis dos bombeiros, quando uma linha de mangueira é armada e percorrida internamente com água, o fluido líquido interage com a parede interna da mangueira devido a um atrito. Essa viscosidade causa no líquido duas possibilidades: o fluido pode ter escoamento laminar e turbulento (FOX, 2010).

Na figura 4, o escoamento laminar é caracterizado por lâminas d'água com filete reto e uniforme, ou seja, partículas de água possuem movimentos sem grandes agitações. Já o turbulento apresenta grande agitação nos filetes d'água bem como velocidades aleatórias da água (BRUNETTI, 2008).



3.8 Vazão

Em um conduto em que passa um fluido líquido tal como água, uma forma de analisar visualmente a quantidade de água que escoar é através da sua vazão. A vazão relaciona a quantidade de água em volume que passa por uma seção de um conduto. A medida da vazão e sua observação visual e empírica fornece uma ideia acerca de quão “grande” está a pressão do fluido dentro do conduto em que escoar (CALÇADA; SAMPAIO, 1998).

3.9 Equação da energia para o fluido real

O fluido real em deslocamento troca energia com o meio ao seu redor por meio dos atritos internos com a parede do conduto em que escoar. Para a formulação da teoria das perdas de carga ao longo da tubulação de escoamento de um fluido, as hipóteses de regime permanente, fluido incompressível, para o caso de fluido líquido, e viscosidade diferente de zero, todas são consideradas para o equacionamento da energia para o fluido real, ou seja, em condições reais de operação, um fluido em deslocamento possui energia decrescente no seu sentido de escoamento. Essa perda é genericamente chamada de perda de carga (BRUNETTI, 2008).

3.10 Conduto Forçado

Os condutos são qualquer estrutura que sirva de transporte de fluidos para atendimento de um objetivo específico. Na aplicação bombeiro militar, existem diversos tipos de mangueiras com estruturas internas, dimensões e comprimentos diferentes que alteram o comportamento da água quando usada em operações de combate (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017).

O fluido no interior do conduto pode escoar por meio de energias gravitacionais e ter a superfície livre, chamado de conduto livre, e pode escoar por meio de uma energia inserida no sistema e estar totalmente coberto pelo conduto, momento no qual é chamado de conduto forçado, como na figura 5 (BRUNETTI, 2008). Nas situações analisadas neste projeto, os fluidos serão, em sua grande maioria, escoados em dutos forçados sob a interação de uma energia inserida no sistema por meio de bombas.

Figura 5 - Conduto forçado

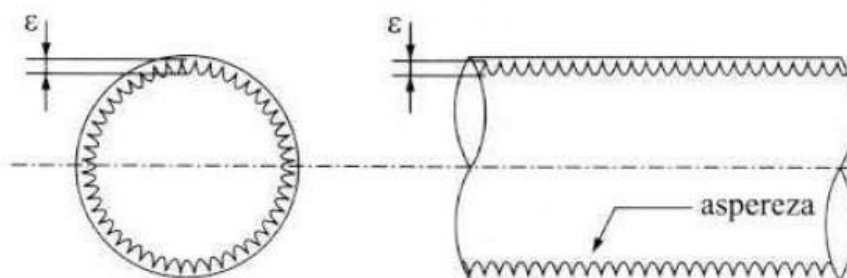


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

3.11 Rugosidade

Os materiais dos condutos, sejam livres ou forçados, possuem em sua estrutura interna asperezas, mesmo diminutas que sejam, que provocam perda de energia por atrito na água em deslocamento. Essas pequenas deformações são em função do método de fabricação do material constituinte da tubulação, como mostrado na figura 6, e é função de um maior ou menor refinamento utilizado na produção. De maneira geral, não obedecem a um padrão na sua localização ao longo da parede interna do conduto, sendo, portanto, de posição aleatória. A altura dessas asperezas é definida como rugosidade uniforme (BRUNETTI, 2008).

Figura 6 - Rugosidade



Fonte: BRUNETTI (2008)

3.12 Perda de carga distribuída

Nos estudos de perdas de cargas, duas grandes classificações ocorrem em função do tipo de trajetória que percorre a água. Em Hibbeler (2016), a perda é chamada de distribuída quando ocorre ao longo de trechos retilíneos e seção de área constante. Nesse tipo de análise, devido ao percurso ser considerado de condições constantes, a dinâmica das velocidades já está estabelecida com rugosidade da tubulação considerada uniforme ao longo do comprimento. A perda de carga distribuída é aquela devida majoritariamente ao atrito entre a parede da tubulação e a camada de fluido imediatamente próximo a parede (BAPTISTE E LARA, 2010). Para a análise de cálculo de perda de carga distribuída, dois métodos são tradicionalmente utilizados: a fórmula universal e fórmula de Hazen – Williams.

$$\Delta H = \frac{fU^2}{D \cdot 2g} L \quad \text{Equação 04}$$

Onde: AH = perda de carga, f =coeficiente de perda de carga, U = velocidade média do escoamento, D =diâmetro do conduto, g = aceleração da gravidade, L = comprimento do conduto.

$$J = \frac{10,64 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}} \quad \text{Equação 05}$$

Onde: J = perda de carga unitária, Q = vazão, D = diâmetro do conduto, C = coeficiente de perda de carga.

Em Manual Operacional de Bombeiros: Bombas Hidráulicas (2018), para a determinação dos valores teóricos das perdas de cargas, foram utilizadas as seguintes equações abaixo:

$$Q = 0,0034 \cdot D^2 \cdot \sqrt{P_v \cdot 60} \quad \text{Equação 06}$$

Onde: Q = vazão em litros por minuto, P_v =Pressão dinâmica em m.c.a, D =diâmetro em mm.

$$\Delta H = C \cdot Q^2 \cdot L \quad \text{Equação 07}$$

Onde: ΔH = perda de carga em KiloPascal (KPa), C =coeficiente fixo e adimensional em que vale 3,17 para mangueiras de 63 mm e 38 para mangueiras de 38 mm, Q =vazão em metros cúbicos por minuto (m^3/min), L =comprimento em m.

3.13 Perda de carga localizada

No mundo prático dos sistemas de transportes de água, as diversas configurações de tubulações são compostas por junções e reunião de vários acessórios que são integrados a rede de água que possuem função de otimizar e conduzir a água pelas tubulações. Esses acessórios são os mais diversos, contendo como principais as válvulas de retenção, curvas, derivações, registros e demais equipamentos que façam parte de toda a malha existente na tubulação (PORTO, 2006). Todos esses aspectos conferem a rede de transporte de água uma complexidade a mais em sua análise, tendo em vista que cada acessório adicionado ao sistema, como as válvulas, curvas, causam uma mudança na velocidade, que por conseguinte, varia consequentemente a pressão naquele ponto exercida pela massa líquida, ou seja, do ponto de vista local, todos esses acessórios contribuem com uma parcela na perda de carga sofrida pelo líquido em escoamento, causando turbulências que são somadas as perdas por atrito devido ao deslocamento da água em seções mais retilíneas da tubulação. Dessa forma, a presença desses acessórios modifica o tipo de regime de escoamento da água, transformando-o momentaneamente

em turbulento (PORTO, 2006). A segunda grande classificação de perda de carga diz respeito aos trechos em que a direção de curso d'água sofre variação brusca e o regime de escoamento transforma-se em turbulento. Essa perda é comumente chamada de perda localizada ou singular. Apesar do nome, os valores dessas perdas são relativamente altos, muito em função da presença de equipamentos e instrumentos como válvula, “joelhos”, “curvas” ao longo da tubulação. Nas figuras 7,8,9 e 10 são mostrados esses elementos.

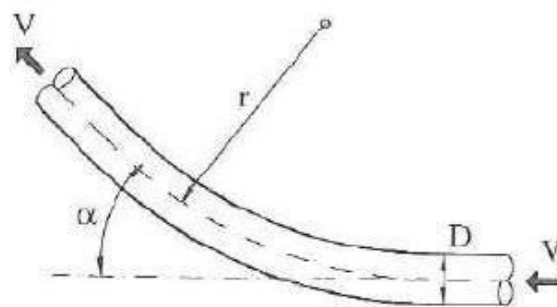
Para os cálculos utilizados de perda de carga, segundo Baptiste e Lara (2014), o coeficiente de rugosidade para o aço galvanizado tem valor de 125 e da mangueira utilizada em incêndio valor de 140. Para a facilitação dos cálculos de perda de carga localizada, segundo Porto (2006), existe a possibilidade de adoção de tabelas de comprimentos equivalente dos principais acessórios utilizados em hidráulica, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Comprimento Equivalente

Acessório	Equação	Figura	Comprimento equivalente (Le/D) (nº de diâmetros)
Cotovelo 90º raio longo	$Le = 0,068 + 20,96 D$		22
Cotovelo 90º raio médio	$Le = 0,114 + 26,56 D$		28,5
Cotovelo 90º raio curto	$Le = 0,189 + 30,53 D$		34
Cotovelo 45º	$Le = 0,013 + 15,14 D$		15,4
Curva 90º R/D = 1,5	$Le = 0,036 + 12,15 D$		12,8
Curva 90º R/D = 1	$Le = 0,115 + 15,53 D$		17,5
Curva 45º	$Le = 0,045 + 7,08 D$		7,8
Entrada normal	$Le = - 0,23 + 18,63 D$		14,7
Entrada de Borda	$Le = - 0,05 + 30,98 D$		30,2
Registro de gaveta aberto	$Le = 0,010 + 6,89 D$		7
Registro de globo aberto	$Le = 0,01 + 340,27 D$		342
Registro de ângulo aberto	$Le = 0,05 + 170,69 D$		171,5
Tê 90º passagem direta	$Le = 0,054 + 20,90 D$		21,8
Tê 90º saída lateral	$Le = 0,396 + 62,32 D$		69
Tê 90º saída bilateral	$Le = 0,396 + 62,32 D$		69
Válvula de pé com crivo	$Le = 0,56 + 255,48 D$		265
Saída de canalização	$Le = - 0,05 + 30,98 D$		30,2
Válvula de retenção, leve	$Le = 0,247 + 79,43 D$		83,6

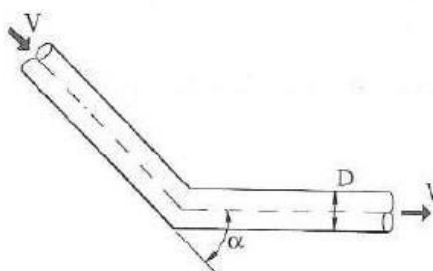
Fonte: PORTO (2006)

Figura 7 - Curva



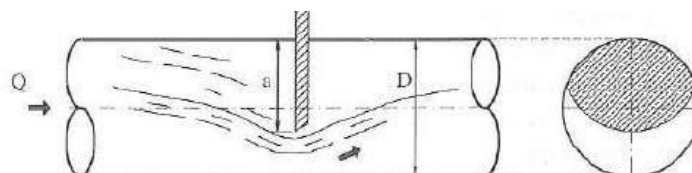
Fonte: PORTO (2006)

Figura 8 - Cotovelo



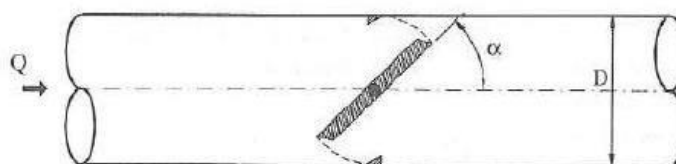
Fonte: PORTO (2006)

Figura 9 - Registro de gaveta



Fonte: PORTO (2006)

Figura 10 - Válvula de borboleta



Fonte: PORTO (2006)

3.14 Instalações de Recalque

A movimentação de água é necessária para diversas atividades humanas e uma delas se concentra no transporte de massas líquidas para diferentes pontos de utilização. Na direção vertical, essa movimentação pode ocorrer em dois sentidos: o

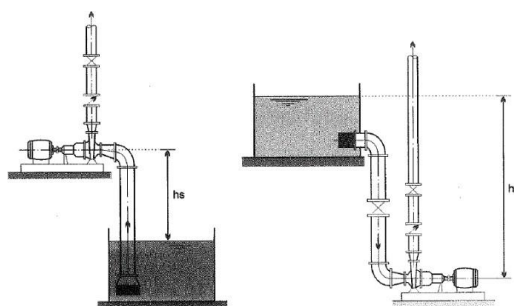
ascendente e o descendente. O sentido descendente é aquele de mais fácil percepção, em que a massa líquida sofre a ação da força da gravidade que auxilia no seu deslocamento. O sentido ascendente somente é possível com a adição de uma bomba hidráulica que fornece energia ao líquido para que este realize o movimento desejado (PORTO, 2006).

Em Bunetti (2008) o conjunto de equipamentos necessários para o projeto de uma instalação de recalque é composto por reservatórios, condutos forçados e tubos, singularidades como válvulas e joelhos, uma máquina que forneça energia cinética ao fluido em questão como uma bomba hidráulica e um reservatório de descarga, como mostrado na figura 11. Toda esta instalação de recalque pode ser dividida em duas partes:

1 – Tubulação de recalque: composta por toda a canalização que liga a bomba ao reservatório superior juntamente com as singularidades como válvula, joelho, instrumentos de medição como manômetros e curvas;

2 – Conjunto Moto-Bomba: composto por máquinas elétricas como os motores que adicionam energia cinética mecânica e transmite ao líquido;

Figura 11 - Instalações de Recalque



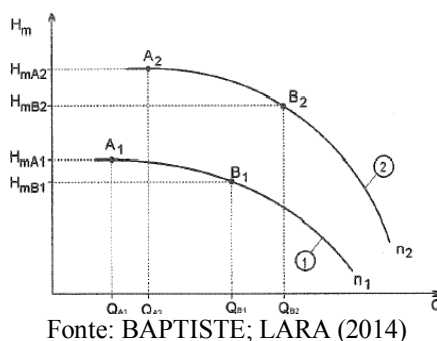
Fonte: BAPTISTE; LARA (2010)

Em Porto (2006), duas principais informações devem ser levadas em consideração durante o projeto desses sistemas de instalações de recalque. A primeira é o diâmetro da tubulação de recalque. Essa variável de projeto permite estimar a vazão e a quantidade de massa líquida disponível para o transporte e, dessa forma, quanto de líquido há disponível para o seu uso em determinada situação. A segunda consiste na potência da máquina hidráulica do sistema moto-bomba. Por meio desse parâmetro, pode-se estimar, por exemplo, até que altura manométrica a massa líquida pode chegar e com que pressão disponível na ponta de uma tubulação. Essas são variáveis importantíssimas no cálculo e projeto de instalações de recalque.

3.15 Análise dos Sistemas de Recalque

As bombas das viaturas de combate a incêndio são acionadas por motores. A pressão que ela disponibiliza varia de acordo com a perda de carga apresentada e com a necessidade surgida com o combate. Para isso, como diz Baptista; Lara (2014, p. 151) “através de ensaios verifica-se que as bombas são capazes de atender outros valores de vazões manométricas, além dos pontos para os quais elas foram projetadas.” Dessa forma, a bomba é acionada de acordo com o motor que é acoplada. Essa mudança de rotação, no entanto, causa mudanças importantes na curva característica da bomba, modificando a sua faixa de aplicação (BAPTISTA; LARA, 2014). A figura 12 mostra exemplo da influência da rotação do motor no deslocamento da curva da bomba.

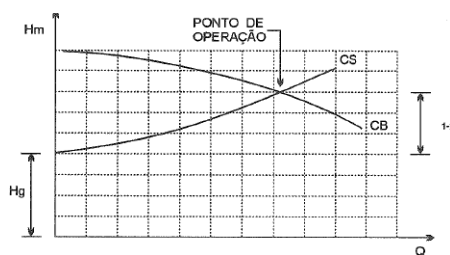
Figura 12 - Curva da Bomba



3.16 Ponto de Operação

Uma bomba é projetada para ser utilizada em uma ampla faixa de valores. Porém, sua operação é bem melhor definida quando se sabe as condições do sistema a qual ela está inserida em termos de altura geométrica e a perda de carga total (BAPTISTA; LARA, 2014). A figura 13 mostra a intersecção das duas curvas para determinação do melhor ponto de operação da bomba.

Figura 13 - Ponto de operação da bomba



Em Baptista; Lara (2014), a equação do sistema da tubulação é dada pela seguinte equação abaixo:

$$H_m = H_g + rQ^n \text{ Equação 08}$$

sendo:

H_m = altura manométrica

H_g = altura geométrica

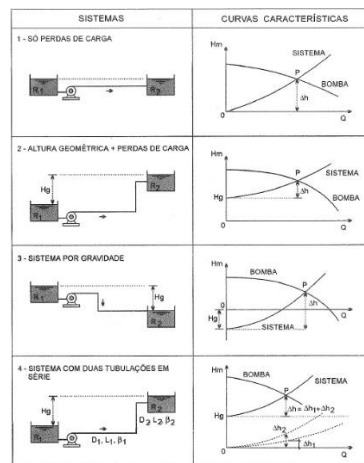
r = perda de carga

Q = vazão do sistema

n = constante a depender da equação utilizada

A figura 14 mostra um exemplo de ponto de operação para diversos tipos de sistemas.

Figura 13 - Tipos de sistemas



Fonte: BAPTISTA; LARA (2014)

4 TEORIA DO FOGO

Para uma melhor explicação e entendimentos dos fenômenos associados ao fogo e suas variantes, faz-se necessário introduzir conceitos e definições que nortearão o estudo sobre este vasto tema quais sejam: combustão, combustível, comburente, calor, reação em cadeia.

4.1 Combustão

O planeta Terra é palco de inúmeras reações químicas que acontecem a todo momento transformando e modificando estruturas, compostos e substâncias. A comida que ingerimos, os líquidos que bebemos são frutos de reações entre substâncias que ocorrem nesta imensidão que é a natureza que vivemos. Como forma de iniciar uma reação química, modificando e alterando a estrutura molecular, pode-se usar uma fonte térmica, uma fonte que propicie calor o que fará com que o estado natural da substância seja alterado, iniciando-se então uma mudança na sua estrutura (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017). Em Fonseca (2013), diz-se que as reações químicas são representadas por equações que fornecem as seguintes informações:

- A equação química indica os reagentes e produtos participantes;
- Indica se houve ou não fornecimento de energia externa para os reagentes;

De acordo com o que diz o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndios (2017), uma experiência clássica de verificação de transformação de substâncias por meio de uma reação química envolvendo a combustão é a queima de papel, em que é verificado que a sua queima produz gases cuja composição diferem da sua estrutura original, ou seja, de fato com a aproximação do fogo, ocorre uma combustão em que a reação química modifica totalmente sua estrutura.

4.2 Combustível

Nas reações químicas que envolvem combustão, o combustível é o material ou substância responsável por contribuir e alimentar a reação de pirólise, ou seja, é capaz de queimar fazendo com que a reação permaneça por mais tempo (MANUAL

OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017). Nesse processo, o combustível é decomposto formando gases que variam de acordo com o tipo de combustível queimado na reação, sendo, portanto, uma reação do tipo exotérmica, ocorrendo com liberação de energia para o meio externo (FONSECA, 2013). No Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017) há a categorização dos combustíveis de acordo com o seu estado físico podendo ser:

- Sólido: materiais como madeira, borracha, papel, etc;
- Líquido: materiais como a gasolina, diesel, etc;
- Gasoso: Petróleo e seus derivados, acetileno, etc;

Diversas formas são necessárias para uma queima ideal de material combustível. A área de exposição é de fundamental importância pois demandará a quantidade de energia necessária para a efetivação da reação química. Ou seja, diminuindo a área de exposição, o início da queima do material combustível acontece de forma mais rápida e mais rapidamente é consumido o material queimado. Como exemplo, pode-se citar a queima da madeira. Tentar queimar esse material em um formato inteiro, como em um tronco, demandaria muita energia, em troca que, dividindo-o em pedaços menores, otimiza a queima. Em contrapartida, o combustível se exaure de forma rápida (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017).

De acordo com Fonseca (2013), na combustão, o material de queima que necessita na sua reação com um comburente disponível, geralmente o oxigênio do ar, em que há uma produção grande de energia liberada para o meio ambiente, energia essa em superior a energia necessária para iniciar a combustão, ou seja, o balanço energético é positivo com grande liberação de energia. E para que esta reação de forma otimizada, deve haver uma faixa ideal de concentração e proporção entre o combustível e comburente para que, dessa forma, possa se iniciar uma combustão. A figura 14 demonstra um tipo de combustível sólido.

Figura 14 - Combustível sólido

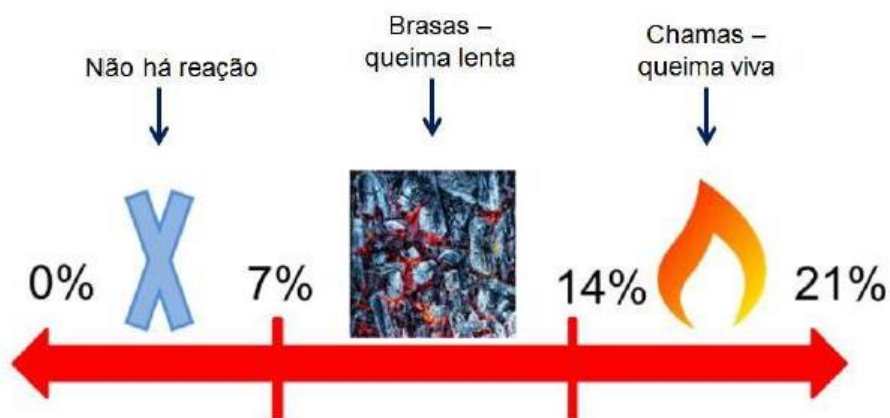


Fonte: MARCONDES (2020)

4.3 Comburente

Como diz o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017), o Comburente é aquele elemento que entra em contato com os gases e vapores liberados pela pirólise e atua como continuador do processo de combustão, ou seja, ele reage com o combustível, que pode ser sólido, líquido ou gasoso, juntamente com a adição de calor na reação química e faz com que se desenvolva a reação de combustão. Nos acontecimentos de ordem prática, o comburente mais encontrado nas diversas ocorrências envolvendo incêndios se trata do Oxigênio, encontrado no ar atmosférico na porcentagem de 21%. O desenvolvimento e evolução do incêndio depende de fatores como o confinamento ou não do foco de incêndio e consequentemente da concentração do oxigênio presente no local.

Figura 15 - Concentração de Oxigênio



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

A figura 15 demonstra a Concentração de Oxigênio e suas consequências no aparecimento de chamas bem como na rapidez ou não de queima (MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2020). Em locais em que a oferta de oxigênio atmosférico está em torno de 21%, o incêndio caracteriza-se por

ter chamas vivas. Quando da diminuição progressiva da oferta de oxigênio, as chamas diminuem sobremaneira bem como a velocidade de queima, quando o oxigênio está por volta de 14%. Abaixando ainda mais o nível de concentração deste comburente presente na atmosfera do local, na ordem de 4%, a reação já não possui efetividade, isto é, não ocorrerá a combustão (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017).

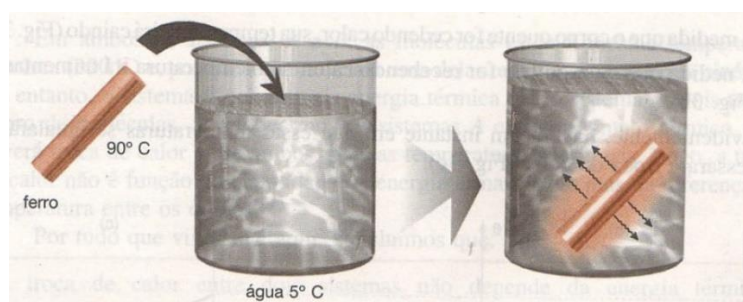
4.4 Calor

De acordo com Fonseca (2013), a combustão é representada pela seguinte equação química envolvendo reagente e produtos abaixo:



De acordo com a equação de combustão, não basta ter uma mistura entre combustível e comburente para se iniciar a reação. É necessário que aconteça uma mistura numa faixa ideal bem como a presença de uma fonte de energia para desencadear o processo de combustão (FONSECA, 2013). Em outras palavras, é essencial a presença de calor para servir como elemento de ativação para o início da combustão (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017). O calor é conceituado como uma energia que é transferida de um corpo mais quente para um corpo mais frio, ou seja, é uma energia em trânsito capaz de elevar a temperatura da substância mais fria (CALÇADA;SAMPAIO, 1998) A figura 16 ilustra o processo de transferência de energia entre um ferro com temperatura de 90° C e a água numa temperatura de 5° C. É verificado na prática que decorrido certo tempo a temperatura do sistema é se iguala, ou seja, o ferro fica com a mesma temperatura que a água.

Figura 16 - Calor



Fonte: CALÇADA; SAMPAIO (1998)

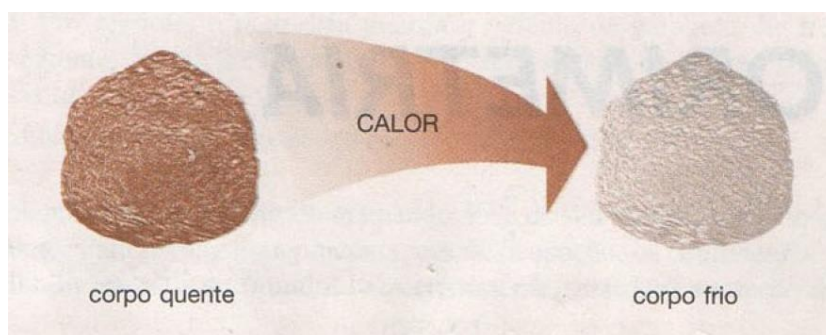
O calor é o elemento responsável por provocar a degradação térmica do material combustível liberando e propiciando a ignição necessária para a ocorrência da

combustão, ou seja, o calor oferece a energia de ativação para o desenvolvimento da reação de combustão, fazendo reagir o combustível com o comburente dentro de uma faixa de mistura que promova a inflamabilidade (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017). Em se tratando de ocorrências práticas, o calor como fonte de ignição pode ser qualquer superfície com temperatura elevada capaz de ocasionar a pirólise do material combustível e promover a reação com o comburente, o oxigênio do ar, provocando a reação de combustão.

4.5 Formas de propagação de calor

Por ser uma energia em trânsito, que ocorre entre dois sistemas com temperaturas diferentes, há várias formas de ocorrências de transmissão, que sofre influência do tipo de material combustível que está queimando, bem como da capacidade do material de server a energia térmica. Outra característica importantíssima que interfere na transmissão do calor é a distância entre o material combustível e a fonte de calor que fornece a energia térmica. São 3 as formas de transmissão de calor: condução térmica, convecção térmica e irradiação térmica (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017). A figura 17 ilustra uma forma genérica de transmissão de calor envolvendo um corpo quente e um corpo frio:

Figura 17 - Transmissão do Calor



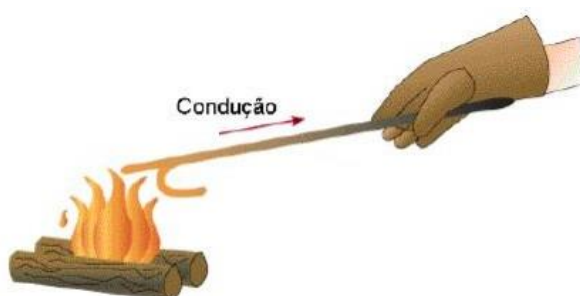
Fonte: CALÇADA; SAMPAIO (1998)

4.5.1 Condução Térmica

Nesse tipo de propagação de energia térmica do tipo condução, o calor é transferido em corpos de material sólido devido ao fenômeno de vibração molecular, em que, em face do aquecimento provocado pela fonte de calor, as moléculas do material se agitam afetando as demais moléculas próximas, conduzindo, dessa forma, a energia

térmica ao longo do material (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017). Esse deslocamento e transferência de energia térmica ocorre majoritariamente em corpos sólidos em função da estrutura molecular que estes materiais apresentam, sendo, portanto, necessário que ambas os corpos que estiverem em contato sejam sólidos.

Figura 18 - Condução



Fonte: MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO (2009)

A figura 18 ilustra o processo de condução térmica em que um pedaço de material sólido é aproximado de uma fonte de calor. Essa aproximação é o suficiente para causar o aquecimento do sólido, que por condução térmica, transmite essa energia até a outra extremidade. Um dos fatores que causam o aparecimento de focos de incêndio a aproximação de superfícies sólidas como panos, toalhas em contato com uma superfície metálica aquecida. Esse contato promove o aquecimento do material, elevando sua temperatura e possibilitando o surgimento de um foco de incêndio.

4.5.2 Convecção Térmica

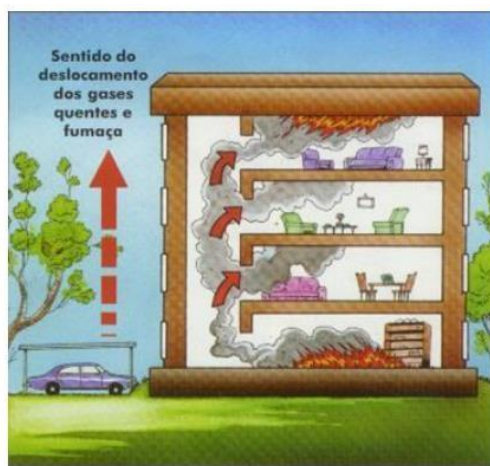
Essa é uma modalidade de propagação de calor que ocorre predominantemente em massas fluidas como os líquidos e gases. Os fluidos possuem como característica o comportamento de modificar sua forma quando aquecidos devido a mudança de densidade que ocorrem em seu interior, ou seja, a transferência de energia térmica ocorrida na convecção térmica é através da movimentação de constituintes de densidades diferentes, onde a parte menos densa sobe e a mais densa desce. (CALÇADA; SAMPAIO, 1998).

Numa ocasião prática, como em um incêndio, por exemplo, as massas de ar quente que são menos densas são levadas facilmente pela ação do vento, podendo, dessa forma, provocar o surgimento de outros focos de incêndio devido as massas de ar quente.

Em um cômodo fechado, as massas de ar quente se movimentam na direção vertical no sentido ascendente, o que pode ser percebido pela concentração de fumaça no teto dos cômodos (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017).

De um modo geral, quando um fluido é aquecido e ocorre a movimentação de partes menos densa para cima e a parte mais densa para baixo, essa movimentação dá origem ao que é chamado Correntes de Convecção que alternadamente variam seus sentidos, ora para cima e ora para baixo. Essa constante movimentação é o que permite que, num incêndio em um local fechado, haja a troca de energia e consequente propagação da energia térmica entre um ambiente e outro.

Figura 19 - Convecção térmica



Fonte: MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2017)

A figura 19 mostra o efeito da convecção térmica no deslocamento da fumaça em edifício com vários pavimentos. Com a presença do fogo de incêndio na base do edifício, o aquecimento provocado pelo fogo faz com que a fumaça alcance os andares superiores e propague as chamas aumentando a possibilidade de surgimento de novos focos de incêndio devido ao aquecimento de outros materiais combustíveis encontrados ao longo do caminhamento da fumaça (MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2020).

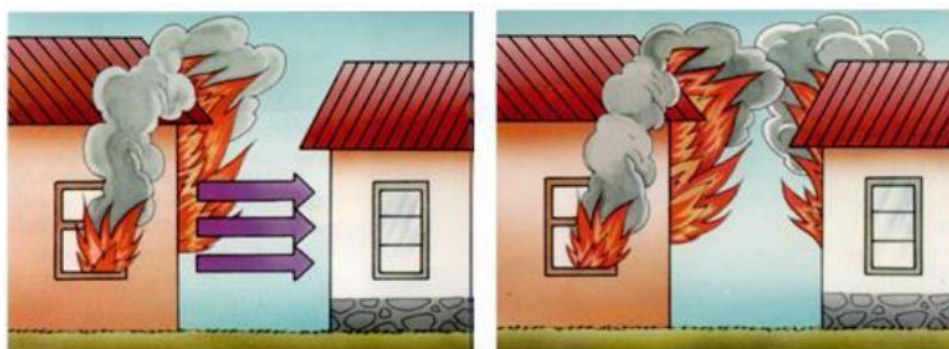
4.5.3 Irradiação Térmica

Nesta forma de transmissão de energia, os raios infravermelhos emitidos pela fonte de calor se propagam pelo espaço até atingir demais superfícies causando o seu aquecimento. Da mesma forma como nas demais formas de propagação, os raios

infravermelhos atingem o material ou substância e causa a agitação das suas moléculas constituintes causando a elevação de temperatura. A irradiação térmica não precisa de meios materiais para tornar possível sua propagação, pois é possível sua ocorrência mesmo em locais onde exista vácuo (CALÇADA; SAMPAIO, 1998).

Em se tratando de ocorrências de incêndio, a propagação do tipo irradiação térmica não necessita de contato entre os materiais para que seja efetivada. Desta forma, devido aos efeitos da irradiação térmica, os efeitos dos incêndios podem atingir materiais que estejam distantes do foco de incêndio e atingir em todas as direções pelo efeito das ondas eletromagnéticas. O ar exerce um papel importante na absorção da energia térmica. Com o aquecimento do ar pelas ondas eletromagnéticas, este efeito pode causar a pirólise e iniciar uma combustão. Retirando-se estrategicamente o ar do ambiente evitará que novas ignições ocorram (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017).

Figura 20 - Irradiação Térmica



Fonte: MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2017)

A figura 20 demonstra o efeito da irradiação térmica no incêndio em residência. O calor provocado pelas chamas é propagado por irradiação térmica pelo ar, e sem haver contato entre as residências, surge o foco de incêndio na residência vizinha, ou seja, através da irradiação térmica a propagação é possibilitada somente pela ação dos raios infravermelhos com a ação do calor das chamas.

4.6 Tetraedro do Fogo

O fenômeno da combustão necessita de combustível, comburente e uma energia de ativação para iniciar sua reação química. De acordo com o Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano, (2020, p.45) “foi verificado que, uma vez estabelecida, a reação só é mantida caso haja um quarto elemento, que é a reação em

cadeia. A inclusão da reação em cadeia no Triângulo do fogo incrementou a Teoria do triângulo para a teoria do Tetraedro do fogo”. A figura 21 detalha um exemplo.

Figura 21 - Tetraedro do fogo



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

A reação em cadeia, como é abordado no Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p.10) diz que:

Isso ocorre pelo fato de que, uma vez iniciada, surge a reação em cadeia, ou seja, a queima das moléculas que se desprendem gera calor suficiente para quebrar o combustível e desprender mais moléculas em quantidade suficiente para continuar a reagir com o oxigênio, gerando mais calor e assim por diante.

Na reação em cadeia, portanto, durante a queima do material combustível haverá a liberação de subprodutos intermediários que são provenientes da queima dos materiais em decomposição. Como diz o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 14):

Durante este processo ocorre a liberação de mais energia, na forma de luz e calor, retroalimentando o processo de combustão, fazendo com que novas moléculas sejam quebradas, formando novos intermediários reativos que manterão o ciclo de queima até que ocorra o exaurimento do combustível ou comburente ou haja interferência externa.

Como diz no Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 29), “A reação em cadeia torna a queima autossustentável. O calor irradiado das chamas atinge o combustível e este é decomposto em partículas menores, que se combinam com oxigênio e queimam, irradiando outra vez o calor para o combustível, formando um ciclo constante.”

4.7 Métodos de Extinção do Fogo

O tetraedro do fogo apresenta as condições necessárias para que haja a combustão e a manutenção exigente da reação química. O tetraedro é composto, portanto, pelo combustível, comburente, pela fonte de energia térmica, calor, e a reação em cadeia. Os métodos de extinção são baseados na eliminação de um dos quatro fatores básicos ligados ao aparecimento da reação química de combustão e são classificados como: retirada de material, resfriamento, abafamento e a quebra da reação de cadeia (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017).

4.7.1 Retirada de Material

Como diz o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p.24)

Este método consiste basicamente em retirar o material combustível ainda não atingido pela combustão da área do incêndio, quebrando a continuidade destes materiais, ou controlar os combustíveis de forma a impedir que o fogo se propague para outros cômodos.

Retirando o material do cenário, o combustível conseqüentemente sofre alteração. Assim como diz o Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 63), essa modalidade “consiste no afastamento físico dos combustíveis próximos que ainda não sofreram o aquecimento pelo calor e, portanto, permite o controle do incêndio”.

Figura 22 - Retirada do Material



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

A figura 22 retrata a ação do bombeiro retirando objetos que pouco entraram em contato com o fogo, diminuindo o material combustível disponível para queima, reduzindo a área de concentração do foco de incêndio. Essa modalidade é a forma mais fácil de se controlar e debelar um incêndio. Como citado no Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 56) “se o combustível é o campo de propagação das chamas, controlando o campo de propagação, dirige-se o incêndio ou interrompe-se sua propagação.” Com esta modalidade, o material combustível é retirado, cortado do ambiente interrompendo o suprimento da combustão por meio dos materiais contidos nos ambientes, como é o caso da figura 22 em que o bombeiro retira de cena os objetos capazes de se tornarem materiais combustíveis para servir de alimentação do incêndio.

4.7.2 Resfriamento

De acordo com o Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 56), resfriamento “é o método mais utilizado. Consiste em diminuir a temperatura do material combustível que está queimando, diminuindo, conseqüentemente, a liberação de gases ou vapores inflamáveis.”

Como falado em Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 25), “é o método de extinção que atuará diretamente na retirada do calor envolvido no processo de combustão. Por esta técnica, diminui-se a temperatura do combustível que está queimando, diminuindo, por consequência, a liberação de vapores inflamáveis.” O resfriamento, portanto, age diretamente no calor, através da retirada de energia, impedindo que ela possa continuar. Em Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p.56), “a redução da temperatura está ligada à quantidade e à forma de aplicação da água (jatos), de modo que ela absorva mais calor que o incêndio é capaz de produzir.”

Figura 23 - Resfriamento



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

A figura 23 retrata a aplicação do jato de água combatendo o incêndio através da aplicação do método de extinção de fogo de Resfriamento. Como diz o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 25) “a água é o agente extintor mais utilizado para se obter o resfriamento, por possuir grande capacidade de absorver calor e ser facilmente encontrada.”

Como abordado no Manual Básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 90), “apesar de ser feita, na maioria das vezes, com o uso de água, uma ação de ventilação tática também constitui uma ação de resfriamento. Isso porque, ao escoar a fumaça do local sinistrado, se remove também calor do ambiente”.

Segundo Manual Básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 90), “em todos os casos, ao retirar calor do ambiente sinistrado, evita-se que os outros materiais combustíveis atinjam seu ponto de ignição, restringindo as chamas somente ao combustível já afetado.”

4.7.3 Abafamento

Como descrito Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 57), o abafamento “consiste em diminuir ou impedir o contato do oxigênio com o material combustível. Não havendo comburente para reagir com o combustível, não haverá fogo. Como exceção estão os materiais que têm o oxigênio em sua composição [...]”. Conforme o incêndio foi acontecendo e a substância comburente for entrando em contato com o combustível, o oxigênio vai diminuindo de concentração e tornando a combustão mais lenta. Ou seja, o método de extinção do tipo

abafamento consiste, portanto, em focar na retirada ou diminuição do comburente para impedir que reaja com o combustível e inicie a reação de combustão.

Como encontrado e explicado no Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p.25) “este método é indicado para pequenos focos de incêndio e para materiais combustíveis que não possuam oxigênio na sua composição, haja vista que estes materiais, ao queimarem, liberam o oxigênio que alimentará a queima.”

Como forma de exemplificação deste método de extinção, conforme é descrito no Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 57):

Colocar uma tampa sobre um recipiente contendo álcool em chamas, ou colocar um copo vornado de boca para baixo sobre uma vela, são duas experiências práticas que mostram que o fogo se apagará tão logo se esgote o oxigênio em contato com o combustível. Pode-se abafar o fogo com o uso de materiais diversos, como areia, terra, cobertores, vapor d’água, espumas, pós, gases especiais, etc.

Figura 24 - Abafamento



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

Na figura 24 é mostrado o método de extinção de incêndio por meio do abafamento, em que consiste na utilização de uma cobertura de pano envolvendo o foco do incêndio visando diminuir a concentração de oxigênio presente no local.

4.7.4 Quebra da reação em cadeia

Segundo o Manual Básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 92) este método “é o processo que se vale da introdução de substâncias inibidoras da capacidade reativa do comburente com o combustível,

impedindo a formação de novos íons (radicais livres produzidos pela combustão).” Conforme diz no Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 57) “certos agentes extintores, quando lançados sobre o fogo, sofrem a ação do calor, reagindo sobre a área das chamas, interrompendo assim a ‘reação em cadeia’ (extinção química)”.

Assim como retrata o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p.35) este método “consiste na utilização de substâncias químicas que inibem a capacidade de reação entre combustível e comburente, impedindo a formação de intermediários reativos decorrentes da queima e, por consequência, a retroalimentação do incêndio.”

4.8 Agentes extintores

Segundo o Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 58) “existem vários agentes extintores, que atuam de maneira específica sobre a combustão, extinguindo o incêndio através de um ou mais métodos[...]”.

4.8.1 Água

Conforme descrito no Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p.35)

A água é o agente extintor mais utilizado no combate a incêndio em decorrência da facilidade de ser encontrada e de sua capacidade de absorver calor. Age principalmente por resfriamento e abafamento, podendo servir como agente diluidor em incêndios em líquidos inflamáveis solúveis em água. Por possuir alto calor latente de vaporização a água se torna um ótimo agente extintor atuando por resfriamento.

Quando a água é aplicada no ambiente em que esteja ocorrendo um incêndio, ela absorve energia havendo elevação da sua temperatura passando posteriormente para o estado de vapor. (MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2020).

Ainda conforme descrito no Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 65) “[...] estando na condição de vapor, a água tende a ocupar

o máximo possível do volume interno do cômodo incendiado, e isso ‘empurra’ os gases combustíveis e comburentes, impedindo que eles reajam entre si.”

4.8.2 Pó para extinção de incêndio

Segundo o que afirma Manual Básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 98) “esse material é definido como um pó composto de partículas muito pequenas, normalmente de bicarbonato de sódio e líquidos (ou gases) inflamáveis, e de fosfatomonoamônico para extintores ditos polivalentes, ou seja, para incêndios em sólidos, líquidos (ou gases)”.

De acordo com o que afirma no Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 67)

Os extintores de incêndio com carga de pó atuam pelas seguintes propriedades extintoras: inicialmente promovem um abafamento da reação de combustão, pois impedem o contato do comburente com gás combustível. Ainda, quando o pó é aquecido, ele sofre uma quebra de sua estrutura molecular, liberando dióxido de carbono, que contribui no abafamento. Além do dióxido de carbono, o pó para extinção de incêndio também é decomposto em produtos que reagem com os gases combustíveis, dificultando ou impedindo a continuidade da combustão, atuando, portanto, na quebra da reação em cadeia.

Quando aplicado diretamente em um foco de incêndio, o pó combate diretamente por meio do método de resfriamento, tendo em vista que as substâncias contidas no pó absorvem imediatamente o calor que é liberado durante uma combustão (MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO, 2009).

4.8.3 Espuma

Segundo o que fala Manual Básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 109):

As espumas líquidas se assemelham a bolhas. São sistemas constituídos por uma fase contínua líquida (superfície) e uma dispersão gasosa (no interior), apresentando uma estrutura formada pelo agrupamento de várias células (bolhas) originadas a partir da introdução de agentes tensoativos e ar na água.

Conforme está escrito no Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 27):

Por possuir densidade menor que a da água, as espumas tem o potencial de se espalhar sobre a superfície dos líquidos inflamáveis, isolando-os do contato com o comburente e eliminando a liberação de vapores combustíveis, agindo por abafamento, o que a torna mais eficiente neste tipo de combate do que a água. Age secundariamente por resfriamento, haja vista possuir água em sua composição.

A espuma é considerada um agente extintor classificado como polivalente, por poder ser instalado das mais diversas formas como em extintores portáteis, do tipo móveis e nas instalações fixas de proteção (CURSO DE FORMAÇÃO DE BRIGADISTAS PROFISSIONAIS: PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO, 2016). O principal tipo de espuma utilizada é a mecânica conforme diz o Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p.62) em que

A espuma mecânica é adequada para instalações de proteção fixa de unidades de armazenamento de combustíveis, por exemplo, ou outros riscos que envolvam líquidos combustíveis e inflamáveis. As espumas mecânicas classificam-se basicamente em espumas de baixa, média e alta expansão, consoante a respectiva capacidade dos líquidos geradores de espuma de formar volume após a aeração da mistura com água.

4.8.4 Dióxido de Carbono

O Dióxido de Carbono é considerado um gás do tipo inerte, ou seja, com uma propriedade que o faz não reagir com nenhum outro gás. Dessa forma, quando devidamente utilizado como agente extintor, ele atua impedindo que o comburente entre em contato com o com o combustível, atuando, portanto, por abafamento (MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2020)

Como abordado no Manual básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 102)

É um gás sem cheiro e sem cor e não conduz eletricidade, sendo recomendado na extinção de incêndios em líquidos ou gases inflamáveis e equipamentos elétricos energizados. Apesar de agir eficientemente por abafamento, não é recomendado para incêndios em combustíveis sólidos, por causa da dificuldade de penetração no combustível e pelo baixo poder de resfriamento, comparando-se com o da água.

No seu uso devem ser tomadas medidas de atenção e cuidado quando a sua utilização em ambientes fechados, por apresentar uma desvantagem quanto a segurança das pessoas que é o fato de causar asfixia, pois conforme descrito em Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 65) “quando a sua concentração na atmosfera atinge determinados níveis, não pela toxicidade do CO₂, mas pela diminuição da concentração de O₂.”

5 MATERIAIS PARA COMBATE A INCÊNDIO URBANO

No âmbito das Corporações de Bombeiro Militar do Brasil, nos estados são realizadas as operações e desenvolvimento das diversas ocorrências que surgem através do uso das viaturas chamadas como Auto Bomba Tanque. Conforme citado em Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 145) “além do atendimento aos diversos tipos de incêndio urbano, essa viatura também é acionada para atender ocorrências de incêndios em veículos, incêndios em vegetação, explosões, vazamento de gás, perigo de derrapagem [...]”

Ainda de acordo com o que diz o Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 145) “Equipa-se a viatura com materiais hidráulicos, ferramentas manuais, materiais de arrombamento, de salvamento, equipamentos de proteção respiratória, materiais de ventilação forçada, de iluminação, materiais isolantes, sacos com serragens [...]” Todos esses equipamentos são de extrema necessidade para serem utilizados em operações com o objetivo de combate ao incêndio pela utilização dos agentes extintores (MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO, 2009).

5.1 Materiais Hidráulicos

5.1.1 Mangueiras

As mangueiras são estruturas cuja principal função é realizar o transporte de água a partir do ponto em que ela está disponível, a partir do suprimento, até o local em que será utilizada para determinada finalidade. Na aplicação prática envolvendo as atividades Bombeiro Militar, a mangueira realiza o deslocamento do fluido a partir do conjunto de bombas presente na viatura Auto Bomba Tanque até o local acometido pelo incêndio (CURSO DE FORMAÇÃO DE BRIGADISTAS PROFISSIONAIS: PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO, 2016).

Segundo o Manual básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 34) as mangueiras “são formadas por um duto flexível de lona de fibras naturais ou sintéticas na parte externa, revestidas por borracha na parte interna, para evitar que a água extravase durante o transporte”. A opção pela escolha do tipo de mangueira é

em função da sua utilização, do local e suas condições. Conforme descrito na NBR 11861 (1998, p. 2):

Tipo 1

Destina-se a edifícios de ocupação residencial, com pressão de trabalho de 980 KPa (10 Kgf/cm^2).

Tipo 2

Destina-se a edifícios comerciais e industriais ou Corpo de Bombeiros, com pressão de trabalho de 1 370 KPa (14 Kgf/cm^2).

Tipo 3

Destina-se à área naval e industrial ou Corpo de Bombeiros, onde é desejável uma maior resistência a abrasão e pressão de trabalho de 1 470 KPa (15 Kgf/cm^2).

Tipo 4

Destina-se à área industrial, onde é desejável uma maior resistência à abrasão e pressão de trabalho de 1 370 KPa (14 Kgf/cm^2).

Tipo 5

Destina-se à área industrial, onde é desejável uma alta resistência à abrasão e a superfícies quentes e pressão de trabalho de 1 370 KPa (14 Kgf/cm^2).

Tabela 2 - Pressão para os tipos de mangueira

Tipo	Pressão kPa (kgf/cm ²)			
	Trabalho	Prova	Ruptura	Dobramento
1	980 (10)	2 060 (21)	3 430 (35)	2 060 (21)
2, 4, 5	1 370 (14)	2 745 (28)	4 120 (42)	2 350 (24)
3	1 470 (15)	2 940 (30)	4 900 (50)	2 350 (24)

Fonte: NBR 11861 (1998)

A tabela 2 mostra as pressões de trabalho, prova, ruptura e dobramento após serem realizados ensaios construtivos de certificação e utilização das mangueiras e os seus tipos de acordo com a sua utilização.

Figura 25 - Mangueira Tipo 1



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

A figura 25 retrata uma mangueira tipo 1 utilizada em edifícios de ocupação residencial.

5.1.2 Mangotinho

Outro material hidráulico condutor de água é o chamado mangotinho. Conforme descrito em Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 146) os mangotinhos

São mangueiras semirrígidas, com diâmetro de 25mm, cujo manejo é mais fácil, pois apresenta diâmetro e vazão menores que o convencional. No entanto, por apresentarem limitações de distância e de regulação de jatos, são utilizados para trabalhos mais simples nas operações de combate a incêndio.

Segundo o que diz o Manual Básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 37) “mangotinhos são tubos flexíveis feitos de borracha. Em geral, trabalham com alta pressão e baixa vazão e oferecem grande mobilidade e rapidez de utilização. Sua principal função é atuar em princípios de incêndio.”

5.1.3 Esguicho

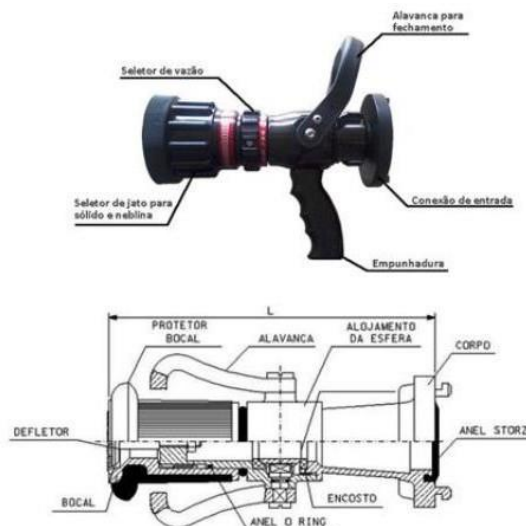
Conforme o que está escrito em Manual Operacional de Bombeiros: Combate a incêndio Urbano (2017, p. 153)

Os esguichos são equipamentos hidráulicos conectados à ponta da mangueira de combate a incêndio, de onde o militar direciona o agente extintor, regulando seu fluxo, sua forma e sua velocidade. Ele transforma a água em um jato e permite ao bombeiro controlar o jato até que o fogo seja extinto de maneira mais eficiente (usando a menor quantidade de água possível, combatendo o incêndio minimizando os danos causados pela ação da água).

5.1.4 Tipos de Esguicho

- a) Esguicho regulável pistola: nesse tipo de esguicho é possibilitado o ajuste da angulação do jato de água, bem como configurar a vazão de saída e produção de jatos compactos, neblinados e atomizados (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017). A figura 26 detalha suas partes externas e internas e sua forma de funcionamento;

Figura 26 - Esguicho Regulável Pistola



Fonte: MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2017)

- b) Esguicho Canhão: esse tipo de esguicho possibilita um ataque que proporciona uma vazão e pressão bem mais alta daquelas suportadas por um homem. A figura 27 ilustra os detalhes e aspectos construtivos deste tipo de esguicho;

Figura 27 - Esguicho Canhão



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

- c) Esguicho agulheta: este tipo de esguicho é encontrado principalmente nos hidrantes de parede encontrados em prédios de edificação residencial e comercial sendo escolhidos pelo seu baixo custo em relação aos esguichos reguláveis. Devido a sua forma geométrica e por não possuir mecanismo de controle de vazão, permite somente jato compacto e de forma contínua (MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO, 2009);

Figura 28 - Esguicho agulheta



Fonte: MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO (2009)

A figura 28 mostra o registro do tipo agulheta e suas características construtivas.

5.2 Materiais Hidráulicos Acessórios

De acordo com o que retrata o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 160) “são acessórios, e possibilitam que haja maneabilidade de conexões e linhas de mangueira, além de compor o aparato de abastecimento de água da viatura.”

- a) Divisor: Como descrito no Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 150) “Material utilizado no estabelecimento para receber, por meio da boca admissora, água de uma adutora (mangueira conectada à boca expulsora do corpo de bomba da viatura ou a um hidrante) e dividi-la para até três linhas de ataque das suas bocas expulsoras. Com o seu uso, as linhas de ataque podem trabalhar de forma independente, pois cada boca expulsora possui alavanca de registro própria, que abre e fecha a saída de água.” A figura 29 traz mais detalhes.

Figura 29 - Divisor



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

- b) Coletor: Segundo o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 162) “de uso inverso ao do divisor, serve para aglutinar duas entradas de 1 ½” em uma única de 2 ½”, no entanto, não possui registro.” Na figura 30 é mostrada imagem de um coletor com duas bocas admissoras e uma boca expulsora.

Figura 30 - Coletor



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

- c) Luva de redução: De acordo com Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros: Suprimento de Água em Combate a Incêndios (2006, p. 8) é usado “para permitir o acoplamento de juntas de uniões de diâmetro diferentes”. Como mostrado na figura 31, a luva de redução é formada por duas faces de encaixe com diâmetros diferentes.

Figura 31 - Luva de redução



Fonte: MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2017)

- d) Tampão: De acordo com o Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros: Suprimento de Água em Combate a Incêndios (2006, p. 8) é uma “peça de metal, dotada de arruela de vedação para torná-la estanque, destinada a evitar acidentes e também proteger expedições da bomba de incêndio”. Na figura 32 é mostrada uma ilustração de um tipo de tampão usado nas ocorrências.

Figura 32 - Tampão



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

5.3 Hidrantes

Estes são dispositivos presentes nas diversas redes hidráulicas que fazem com que a captação de água, para as ocorrências bombeiro militar, seja feita para o devido combate a incêndio. Seu funcionamento é manual e é considerada como a principal instalação fixa de uso de água usada com esta finalidade (CURSO DE FORMAÇÃO DE BRIGADISTAS PROFISSIONAIS: PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO, 2016).

- a) Hidrante de Coluna: De acordo com o que diz o Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 135) “este tipo de hidrante é encontrado comumente nas ruas e avenidas. Sua abertura é feita através de um registro de gaveta, cujo comando é colocado ao lado do hidrante.” A figura 34 mostra um exemplar de um hidrante de coluna em um espaço condominial.

Figura 33 - Hidrante de Coluna



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

- b) Hidrante de Recalque: Segundo o Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 503)

De uso exclusivo do Corpo de Bombeiros Militar, é o hidrante destinado a recalcar água na tubulação do sistema de combate a incêndio de uma edificação. Pode ser utilizado também para abastecer as viaturas em caso de ausência de hidrantes públicos nas proximidades do local sinistrado.

Na figura 34 é mostrado um hidrante de recalque localizado na entrada de uma ocupação do tipo edificação residencial.

Figura 34 - Hidrante de recalque



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

- c) Hidrante de parede: Como disposto em Curso de Formação de Brigadistas Profissionais: Prevenção e Combate a Incêndio (2016, p. 136)

Dispositivo que integra o Sistema Hidráulico Preventivo das edificações. Localizado no interior das caixas de incêndio ou abrigos, poderá ser utilizado nas operações de combate a incêndio pelo Corpo de Bombeiros, brigada de incêndio e ocupantes da edificação que possuam treinamento específico.

Figura 35 - Hidrante de Parede



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

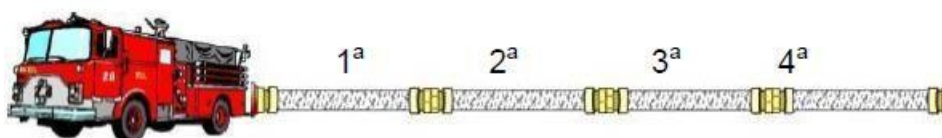
A figura 35 mostra um exemplo de hidrante de parede tal qual é utilizado nas edificações de uso residencial.

5.4 Manobras com mangueiras para combate a incêndio

Nas ocorrências envolvendo incêndio, há a possibilidade de montagens de configurações de mangueiras de forma a otimizar a extinção do sinistro. Segundo o Manual Básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 78), “as armações de mangueira são as formações empregadas para o fornecimento de água ou espuma para realizar as atividades de combate a incêndio.”

- a) Ligação: Como diz o Manual Básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 78) “é a mangueira ou série de mangueiras de 2 ½ polegadas que canaliza a água da boca de expulsão da viatura, hidrante ou outro manancial até o divisor.” A figura 36 ilustra uma viatura auto bomba tanque com uma ligação saindo da boca expulsora com quatro mangueiras na ligação.

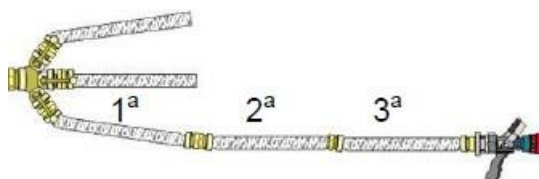
Figura 36 - Ligação



Fonte: MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO (2009)

- b) Linha: Segundo o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 197) “é a mangueira ou série de mangueiras de 1 ½ polegadas (38 mm) que canaliza a água do divisor ao esguicho.” A Figura 37 demonstra um exemplo de linha com 3 mangueiras na ligação.

Figura 37 - Linha

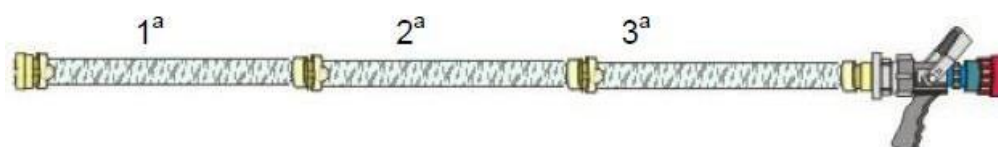


Fonte: MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO (2009)

- c) Linha Direta: De acordo com o Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 172) “é constituída por mangueiras que saem da boca expulsora do caminhão ou do hidrante e conduz água direto para o esguicho sem passar por um divisor. Em alguns casos será necessário adaptar a boca expulsora [...]”

A figura 38 tem como imagem uma linha direta com conexão direta do esguicho conectado na ponta.

Figura 38 - Linha Direta



Fonte: MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO (2009)

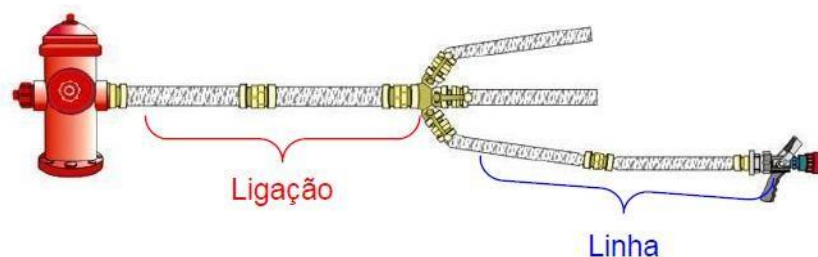
- d) Linha Simples: Como descrito em Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 197) “é a armação de uma única linha de mangueira, acopladas à boca de expulsão direita do divisor[...]”
- e) Linha Dupla: Segundo o Manual Básico de Combate a Incêndio, Módulo 1, Comportamento do fogo (2009, p. 79) “é a armação de duas linhas de mangueira, acopladas, preferencialmente, na primeira e segunda boca de expulsão do divisor.”
- f) Linha Tripla: Conforme o que diz o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 197) “é a armação das três linhas de mangueira, ocupando todas as bocas de expulsão do divisor.” A figura 39 demonstra a ligação.

Figura 39 - Linha Tripla



Fonte: MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO (2009)

Figura 40 - Armação completa de mangueira em ligação e linha



Fonte: MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO (2009)

Já a figura 40 ilustra uma configuração completa de mangueiras na ligação, em linha e conectadas ao esguicho.

5.5 Tipos de Jatos de Água

O esguicho regulável tipo pistola oferece como grande vantagem a possibilidade de ajustamento de algumas angulações possibilitando o uso de diversas técnicas de combate (MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2020).

- a) Jato Compacto – 0°: Segundo o Manual de Bombeiros Militar: Combate a Incêndio Urbano (2020, p. 210) “Utiliza-se esse jato com o esguicho totalmente fechado com formato cilíndrico. [...] Tem grande alcance e sua área de abrangência é reduzida. [...] o poder de absorção do calor será menor, devido à falta de fragmentação [...]” Na figura 41, tem-se a imagem de dois bombeiros executando o jato compacto.

Figura 41 - Jato Compacto



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

- b) Jato neblinado: conforme o que diz o Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano (2017, p. 212) e mostrado na imagem 42:

O jato neblinado é produzido pela regulação do esguicho em ângulos que variam da amplitude do jato compacto até a proximidade de 180° de abertura do cone. [...]quanto mais aberto, mais a fragmentação da água, menor é a velocidade do jato, menor é o alcance, maior é a absorção de calor e empurra mais ar.

Figura 42 - Jato Neblinado



Fonte: MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2017, p. 212)

- c) Jato Atomizado: Este tipo de jato tem várias características importantes por promover a diminuição da temperatura e conseguir extinguir as chamas na cortina de fumaça sem a formação excessiva de vapor. É caracterizado por aberturas sucessivas de duração de 2 segundos, formando os pulsos de água para combate ao incêndio (MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO, 2009). A figura 43 demonstra um exemplo de um bombeiro que executa o jato atomizado.

Figura 43 - Jato Atomizado

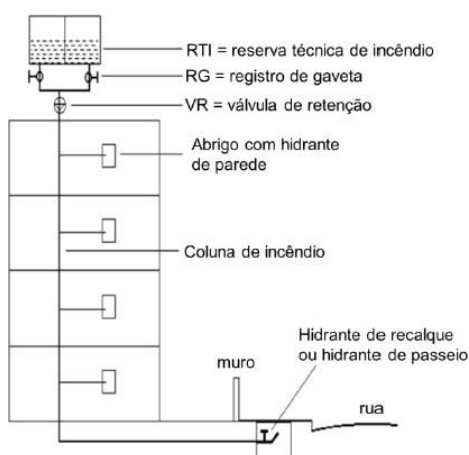


Fonte: MANUAL BÁSICO DE COMBATE A INCÊNDIO, MÓDULO 1, COMPORTAMENTO DO FOGO (2009)

5.6 Sistemas de Hidrantes da Edificação

Para ambientes de ocorrências em locais envolvendo edificações de elevada altura, um importantíssimo aspecto a ser levado em consideração pela guarnição de trabalho é a possível utilização da própria estrutura fixa preventiva existente na edificação. Essa estrutura é composta por tubulação de incêndio, hidrantes de parede, caixa d'água com válvulas de retenção, hidrante de recalque e conjunto de bombas de incêndio.

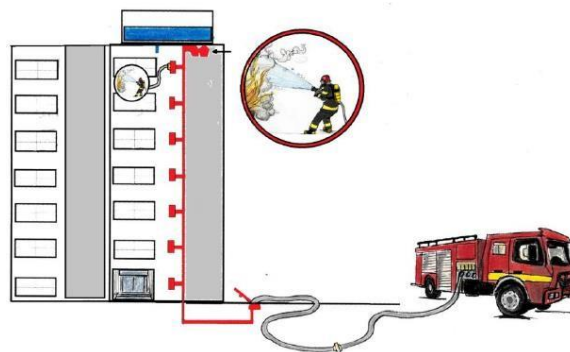
Figura 44 - Sistema de Hidrantes de Edificação



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

A figura 44 mostra um edificação com o conjunto de preventivo fixo de combate a incêndio presente na estrutura. Nessas situações, em que é possível utilizar-se desse preventivo próprio, ao chegar ao local, a viatura de combate deve posicionar-se próximo ao hidrante de recalque para usar o corpo de bombas. Uma linha adutora é estabelecida por meio de uma magueira de 2 ½" conectando ao hidrante de recalque da edificação. Em seguida, como mostrado na figura 45, os demais bombeiros levam mangueiras e materiais hidráulicos acessórios como mangueira de 1 ½", divisor e adaptador de rosca, redutor e esguicho para o andar determinado para a efetuação do combate a incêndio (MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2020)

Figura 45 - Armação de mangueiras com o uso do hidrante da edificação



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

5.6.1 Hidrante de parede

O sistema hidrante de parede possui em sua composição os elementos como caixa d'água, tubulações hidráulicas bem como um abrigo metálico em que contém mangueiras, chave de mangueira, registro de hidrante e juntas storz.

Figura 46 - Hidrante de Parede



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

A figura 46 mostra um hidrante de parede tal qual encontrado nas edificações de ocupação residencial. Conforme descrito pelo NT 22/2021: Sistema de Proteção por Hidrantes e Mangotinhos (2021, p. 6) “o sistema deve ser dimensionado de forma que a pressão máxima de trabalho nos esguichos não ultrapasse 100 mca (1.000 kPa).” Para o uso dos hidrantes de parede para o uso em combates a incêndios, deve-se obedecer a valores de pressão e vazão mínimos para cada tipo de sistema, conforme mostrado na tabela 3.

Tabela 3 - Sistemas de proteção por hidrante ou mangotinho

Tipo	Esguicho Regulável (DN)	Mangueiras de Incêndio		Nº de expedições	Vazão mínima na válvula do hidrante mais desfavorável (L/min)	Pressão mínima na válvula do 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
	60	65	30	Simples	300	30
5	65	65	30	Duplo	600	60

Fonte: NT 22/2021: SISTEMA DE PROTEÇÃO POR HIDRANTES E MANGOTINHOS (2021)

5.6.2 Bomba de Incêndio

No sistema de hidrantes da edificação é previsto este equipamento com o objetivo de promover a pressão necessária para o combate de incêndio no uso dos hidrantes de parede. Segundo o que diz o MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020, p. 265) “a automatização da bomba principal ou de reforço deve ser executada de maneira que, após a partida do motor seu desligamento seja somente manual no seu próprio painel de comando, localizado na casa de bombas.” A figura 47 dá um exemplo de uma instalação desse equipamento.

Figura 47 - Bomba de Incêndio



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

5.7 Técnicas de Combate a Incêndio no Plano Vertical

Em um combate a incêndio, deve-se utilizar todos os preventivos e equipamentos necessários ao combate. Se o preventivo fixo do prédio estiver em

funcionamento, é dada prioridade para o seu uso. Caso contrário, deve-se seguir técnica de combate secundária para a extinção do incêndio para o caso em que estes preventivos fixos não funcionarem adequadamente.

5.7.1 Recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante

Neste tipo de técnica, a guarnição utilizará o hidrante de recalque próximo a entrada da edificação através da pressurização pela bomba da viatura por meio de uma linha adutora com mangueira de 63 mm. Após pressurização da tubulação, será utilizado o hidrante de parede do pavimento determinado e utilizando as linhas de mangueiras a partir deste ponto. A Figura 48 demonstra o uso da mangueira a partir do hidrante de parede no andar determinado.

Figura 48 - Mangueira conectada ao hidrante de parede



Fonte: MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2017)

5.7.2 Armação de mangueiras pré-conectadas utilizando as escadas de emergência da edificação

Esta técnica consiste em se fazer a ligação de mangueiras em série ou paralelo para realizar as atividades de combate a incêndio. A partir da informação da localização do andar sinistrado, é previsto as quantidades de mangueiras necessárias para se alcançar o local desejado, com base na estimativa de que 15 m de mangueiras percorrem um andar

e meio. A guarnição é enviada por meio da caixa de escadas desaduchando as mangueiras por meio dela até acessar efetivamente o andar desejado (MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2017).

Na figura 49 é detalhado a passagem de mangueiras pela caixa de escadas da edificação.

Figura 49 - Mangueiras ao longo da caixa de escadas



Fonte: MANUAL OPERACIONAL DE BOMBEIROS: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2017)

5.7.3 Içamento de mangueiras

Para este caso, é feito uma montagem prévia do estabelecimento de mangueiras no plano horizontal com suas devidas ligações, como mostra a figura 50. Feito isso, um outro membro da guarnição acessa o andar determinado pela caixa de escadas e lança para baixo uma corda que em que será feito o içamento da mangueira conectada ao esguicho (MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO, 2020)

Figura 50 - Içamento de Mangueiras



Fonte: MANUAL DE BOMBEIROS MILITAR: COMBATE A INCÊNDIO URBANO (2020)

6 METODOLOGIA

Nesta fase do projeto, será apresentada a metodologia aplicada a pesquisa evidenciando o passo a passo seguido para a consecução dos resultados. De acordo com Gil (1999), o método científico constitui diversas maneiras que são utilizadas para se alcançar determinado conhecimento, em que se faz necessário a consecução e verificação de vários passos para conseguir chegar ao conhecimento. Este trabalho de pesquisa utilizará do tipo de metodologia classificada como pesquisa aplicada.

De acordo com Gil (2019), a pesquisa aplicada se encaixa na modalidade de trabalho desenvolvido com a finalidade de chegar à resolução de problemas identificados pelos pesquisadores em seus ambientes de trabalho, de convívio, ou seja, no meio em que estão inseridos. Como os resultados serão majoritariamente de interesse prático, aplicados na solução de problemas da sociedade, a pesquisa aplicada torna-se indicada. (MARCONI; LAKATOS, 2017)

Para o desenvolvimento deste trabalho e sobre o que é tratado sobre a pesquisa explicativas diz Gil (2008) que se preocupa principalmente em descobrir os fatores que influenciam e são determinantes para que o fenômeno aconteça, sendo dessa forma, uma modalidade de pesquisa que explica a razão das coisas. Diante disso, para o desenvolvimento do trabalho, a pesquisa será do tipo explicativa.

O levantamento bibliográfico se mostra de maneira bastante adequada tendo em vista que a pesquisa partirá de amplo material já disponível, material esse constituído de livros, artigos científicos. (GIL, 2008) A partir dos vários materiais já disponíveis de outros autores da área, a pesquisa se delineará em informações mais sólidas para o alcance do objetivo proposto, ou seja, a partir de material já existente e que já passou por um crivo analítico, permitindo o desenvolvimento do trabalho (GIL, 2010).

O procedimento mais adequado para a investigação do objeto desse trabalho é o estudo de caso, que se desenvolverá a partir de observações, coleta, análise e interpretação dos dados, bem como os resultados alcançados a partir da utilização desse procedimento de pesquisa. Para este tipo de pesquisa a abordagem mais adequada para o estudo e interpretação será a quantitativa. Por se tratar de valores numéricos e grandezas físicas e matemáticas com desenvolvimento de cálculos, este método é comumente aplicado quando se procura descobrir a relação entre variáveis e fenômenos, descobrindo sua forma de funcionamento. (RICHARDSON, 1999)

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi-se utilizado como instrumentos de coleta os levantamentos bibliográficos dos autores base citados no referencial teórico, como os sites, artigos, periódicos, livros e os experimentos realizados na Torre da Academia de Bombeiros Militar “Josué Montello”. Desta forma, para Marconi e Lakatos (2003), o levantamento bibliográfico consiste em se ter uma base de coleta de dados para a pesquisa.

6.1 Local de ensaios e experimentações

Os ensaios e experimentações foram realizados no âmbito da cidade de São Luís – MA contando como local de observação a torre de treinamento da Academia de Bombeiros Militar “Josué Montello”. Esse local serviu de fonte informacional para o estudo de caso e de realização de experimentos para análise de tubulações de água utilizada como preventivo fixo no combate a incêndio urbano. A geometria e a trajetória da tubulação deste local serviram de base para proposição do modelo a ser construído, conforme mostrado na figura 51.

Figura 51 - Torre da Academia de Bombeiros Militar Josué Montello



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

6.2 Equipamentos e materiais utilizados

Para a medição e controle das pressões e vazões verificadas nos ensaios, foi necessário o emprego e utilização de vários equipamentos. Através destes empregos destes equipamentos foi possível a coletados de dados para posterior estudo e análise.

6.2.1 Medidor de Pressão Dinâmica

O medidor de Pressão Dinâmica, conforme mostrado na figura 52, permite a aferição das pressões dinâmicas do fluido transportado pela mangueira. É constituído de uma entrada de água por meio do acoplamento da mangueira, um manômetro para verificação da pressão do fluido e uma segunda válvula responsável pela expulsão do ar para ajuste e calibração do instrumento. Possui entrada e saída para acoplamento de mangueira de 1 ½” podendo ser mudado para o diâmetro de 2 ½” através de uma redução.

Figura 52 - Medidor de Pressão Dinâmica



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

6.2.2 Esguicho Regulável Pistola

O esguicho Regulável Pistola é o acessório hidráulico responsável por ajustar os tipos de jatos de água de acordo com o cenário apresentado podendo ser compacto, atomizado, neblinado e responsável pela regulação da vazão na ponta da linha, por meio da seleção do valor adequado ao combate, priorizando, até mesmo, um uso mais racional e econômico da água. Um exemplo deste acessório é mostrado na figura 53.

Figura 53 - Esguicho Regulável Pistola



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

6.2.3 Mangueiras

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizadas mangueiras Tipo 1 com diâmetros já bastante utilizados nos serviços bombeiros militar nos valores de 1 ½” e 2 ½” para o transporte de água. A armação e configuração de utilização destas foram seguidas de duas formas baseadas nos ensaios e experimentos. Um exemplar desta mangueira é mostrado na figura 54.

Figura 54 - Mangueiras de incêndio



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

6.2.4 Auto Bomba Tanque

A viatura Auto Bomba Tanque é a viatura utilizada pelo Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão em diversas ocorrências envolvendo combate a incêndio urbano. Ela é composta por um conjunto de bombas capazes de pressurizar a água contida em seu

reservatório até dezenas de metros de altura, com capacidade de máxima de $17 \text{ Kg}f/\text{cm}^2$ permitindo o combate em diferentes localizações. Ela possui bocas de expulsão de água em que são conectadas as mangueiras para transporte até os hidrantes localizados nos andares da torre, segundo mostra a figura 55.

Figura 55 - Auto Bomba Tanque



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

6.3 Experimentos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram consideradas duas táticas de combate a incêndio para a determinação empírica e teórica das perdas de cargas ao longo da tubulação da torre e das linhas de mangueiras. Em um primeiro momento, foi armada uma linha de trinta metros com uma mangueira de $2 \frac{1}{2}$ " e outra linha de 30 metros com uma mangueira de $1 \frac{1}{2}$ ". Cada linha teve uma de suas extremidades conectada a válvula de saída da Auto Bomba Tanque e na outra extremidade conectada o esguicho de vazão regulável. Com o uso do medidor de pressão dinâmica, foi verificada a pressão na boca expulsadora da Auto Bomba Tanque e no final da linha de mangueira de trinta metros, de acordo com a figura 56. Esse procedimento foi repetido para quatro valores diferentes de pressão do conjunto de bombas da viatura: 6, 8, 10 e $12 \text{ kg}f/\text{cm}^2$ e verificado a perda de carga internamente ao sistema da bomba da viatura até a boca expulsora.

Figura 56 - Medição de pressão dinâmica



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

6.3.1 Experimento considerando o recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante

Nesta primeira tática considerada, a viatura auto bomba tanque pressurizou a tubulação por meio do hidrante de recalque com uma pressão no valor de 10 kgf/cm^2 . Uma mangueira de 30m de 2 ½" teve suas extremidades conectadas na viatura e outra no hidrante de recalque da torre conforme mostra a figura 57 O comprimento retilíneo da tubulação da torre até o quarto andar é de 13,5m.

Figura 57 - Pressurização do sistema de hidrante de recalque



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Após pressurização da tubulação da torre, foi iniciada a medição da pressão na saída da válvula de hidrante de cada andar por meio do medidor de pressão dinâmica conforme demonstra a imagem 58.

Figura 58 - Pressão na saída da válvula de hidrante



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Esse mesmo procedimento foi repetido a partir do primeiro andar até o quarto andar da torre, verificando as pressões na saída de cada válvula de hidrante.

6.3.2 Experimento considerando o içamento de mangueiras

Nesta segunda tática considerada, foi armada uma linha de mangueira de 45m de 2 ½” no solo através da união de uma de 30m e outra de 15m. A linha foi içada até a altura do quarto andar da torre conforme mostra a figura 59. Para isso foi necessário a ancoragem da mangueira para evitar que ela caísse. Isto produziu algumas curvas, fazendo com que aumentasse a perda de carga. Uma extremidade foi conectada na boca expulsadora da viatura auto bomba tanque e a outra foi conectada o equipamento medidor de pressão dinâmica, de acordo com a figura 60. Outra medição foi feita na altura do segundo andar da torre. Desta vez, foi utilizada somente uma mangueira de 30m de 2 ½” como mostra a figura 61.

Figura 59 - Içamento de mangueira no 4º andar



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Figura 60 - Medidor de pressão no final da linha



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Figura 61 - Içamento de mangueira no 2º andar

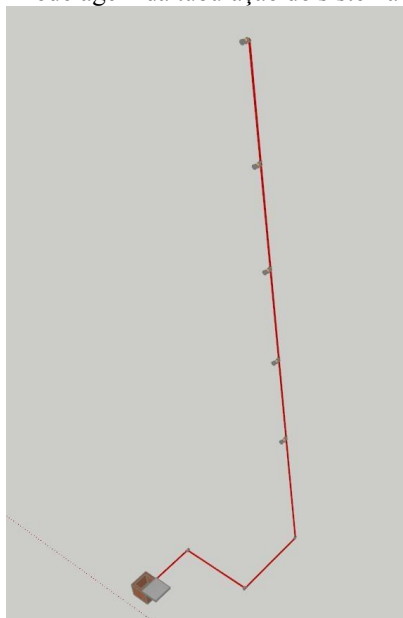


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

6.3.3 Verificação teórica das perdas de carga

Uma outra abordagem utilizada foi o cálculo da perda de carga utilizando a equação de Hazen-williams para cada tática de combate experimentada. Para isso, foi construído um modelo ideal mostrando o caminhamento da tubulação de incêndio da torre partindo do hidrante de recalque e abastecendo os demais abrigos de hidrantes de cada andar. Um outro modelo foi construído simulando o içamento de mangueiras considerando exatamente a altura de cada abrigo de hidrante nos andares da torre. A figura 62 mostra uma modelagem computacional do modelo teórico a ser utilizado nos cálculos de perda de carga.

Figura 62 - Modelagem da tubulação do sistema de hidrantes



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos experimentos envolvendo as duas táticas de combate juntamente com os verificados nos cálculos teóricos são abordados nas tabelas que seguem.

7.1 Análise das perdas de carga no sistema interno da bomba

Para a linha de mangueira de 30m e 2 ½” e de 1 ½” foram aplicados 4 valores distintos de pressão na boca expulsora da Auto Bomba Tanque e medido o valor da pressão na boca expulsora correspondente. Um ponto interessante verificado foi a perda de carga ocorrida no caminhamento do fluido até a sua ejeção na boca expulsora da viatura, conforme mostrado na tabela 4.

Tabela 4 – Perda de carga da bomba até a boca expulsora

$P_B(Bar)$	$P_{Exp}(Bar)$	$\Delta P = P_B - P_{Exp}(Bar)$
6	5,6	0,4
8	7,5	0,5
10	9,2	0,8
12	11	1,0

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

7.2 Análise da perda de carga considerando o recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante

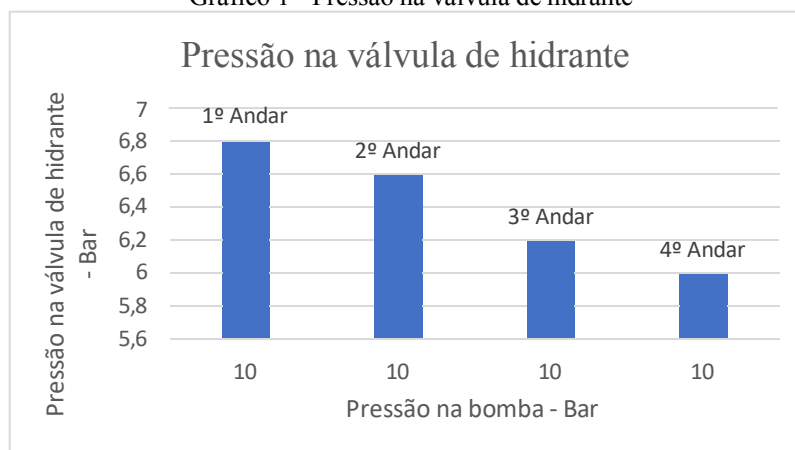
Nesta primeira tática de combate considerada, uma mangueira de 30m e 2 ½” foi conectada ao hidrante de recalque pressurizando a tubulação vertical da torre. Foi coletado os valores das pressões na válvula de cada hidrante dos quatro andares da torre conforme mostra a tabela 5. O gráfico 1 demonstra a diminuição da pressão disponível para uso na válvula de hidrante de cada andar. Essa diminuição da pressão influencia em qual tática utilizar para o combate a incêndio. O gráfico 2 ilustra o aumento da perda de carga à medida que se aumenta a altura considerada, ou seja, à medida que aumenta o andar. Isso é devido ao aumento da distância percorrida pela água ao longo da tubulação, fazendo com que o fluido perca sua energia e pressão disponível para o combate ao incêndio.

Tabela 5 - Perda de carga nos andares da torre pela tubulação do sistema

Andar da Torre	$P_B(\text{Bar})$	$P_{VH}(\text{Bar})$	$\Delta P(\text{Bar})$
1º Andar	10	6,8	3,2
2º Andar	10	6,6	3,4
3º Andar	10	6,2	3,8
4º Andar	10	6,0	4,0

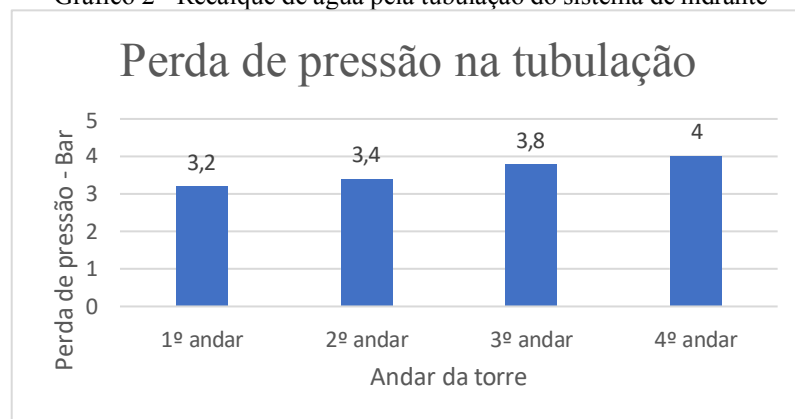
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Gráfico 1 - Pressão na válvula de hidrante



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Gráfico 2 - Recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

7.3 Análise da perda de carga considerando o içamento de mangueiras

Nesta segunda tática de combate considerada, uma mangueira de 30m e uma de 15m, ambas de 2 ½” foram conectadas em série para ser içada até a altura do quarto andar e verificado o valor da pressão no medidor. Em seguida, novamente uma mangueira de 30m de 2 ½” foi içada a altura do segundo andar e verificado o valor da pressão. Para este experimento, foram coletados os valores de pressão somente para dois andares, tendo em vista as dificuldades técnicas apresentadas e os inconvenientes surgidos como a baixa quantidade de água presente no auto bomba tanque. Os valores foram registrados e

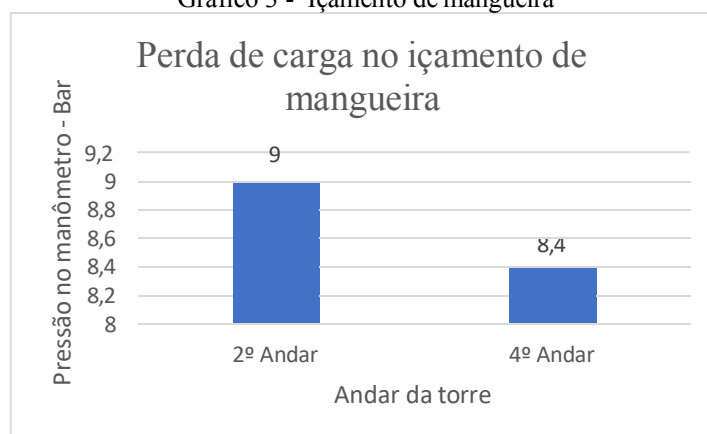
montados conforme tabela 6. O gráfico 3 mostra pressão decrescente verificada no manômetro à medida que aumenta o andar percorrido da torre. Já o gráfico 4 indica o aumento da perda de pressão à medida que sobe os andares da torre.

Tabela 6 - Perda de carga nos andares da torre pelo içamento de mangueiras

Andar da Torre	$P_B(Bar)$	$P_{VM}(Bar)$	$\Delta P = P_B - P_{VM}(Bar)$
2º Andar	10,0	9,0	1,0
4º Andar	10,0	8,4	1,6

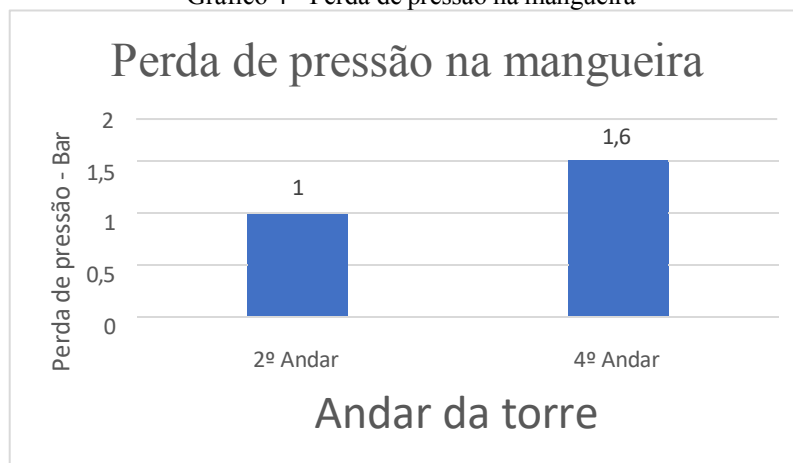
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Gráfico 3 - Içamento de mangueira



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Gráfico 4 - Perda de pressão na mangueira

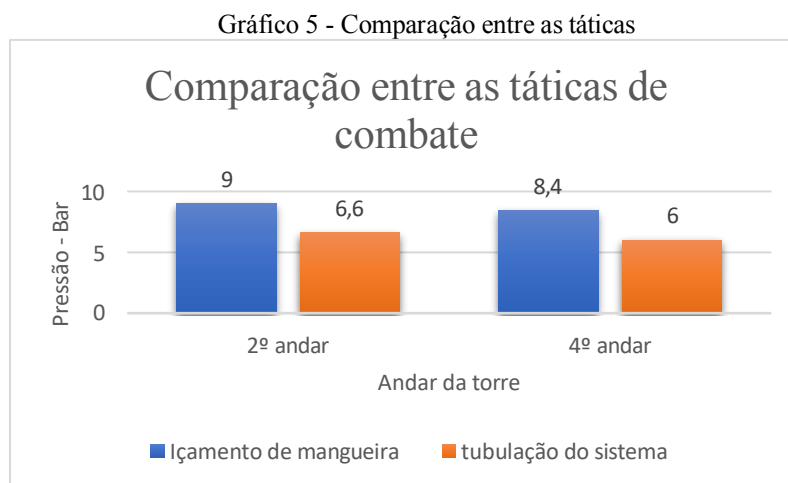


Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

7.4 Comparativo entre as táticas de combates: valores experimentais

O gráfico 5 evidencia a diferença entre as pressões coletadas em cada tática de combate a incêndio. O içamento de mangueira apresentou valores mais baixos de perda de carga e conseqüentemente maiores valores de pressão disponível nos andares

considerados. O içamento de mangueira, mesmo apresentando mais curvas do que a tubulação dos sistemas apresentou perda de carga mais baixa.



7.5 Análise da perda de carga considerando a verificação teórica

Para esta abordagem foi considerado um modelo ideal construído no programa de computador Sketchup, com informações como vazão e pressão na boca expulsora, utilizando equações de perda de carga e de determinação de vazão a partir da pressão da viatura auto bomba tanque. Os cálculos desenvolvidos que permitiram a chegada desses valores estão no anexo de memorial de cálculos.

7.5.1 Análise da perda de carga teórica usando o recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante

Com o desenvolvimento dos cálculos e com a utilização das equações de perda de carga, para cada andar da torre a perda de carga foi calculada e montada conforme mostra a tabela 7

Tabela 7 - Perda de carga envolvendo o recalque de água pela tubulação

Andar da torre	$P_B(Bar)$	$\Delta P(Bar)$
1º Andar	10	3,62
2º Andar	10	4,32
3º Andar	10	4,95
4º Andar	10	5,62

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

7.5.2 Análise da perda de carga teórica usando o içamento de mangueiras

Com o desenvolvimento dos cálculos e com a utilização das equações de perda de carga, para o segundo e quarto andar da torre a perda de carga foi calculada e montada conforme mostra a tabela 8.

Tabela 8 - Perda de carga envolvendo o içamento de mangueiras

Andar da torre	$P_B(Bar)$	$\Delta P(Bar)$
2º Andar	10	1,68
4º Andar	10	2,75

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

7.6 Comparação entre o método teórico e o experimento usando recalque de água pela tubulação do sistema de hidrante

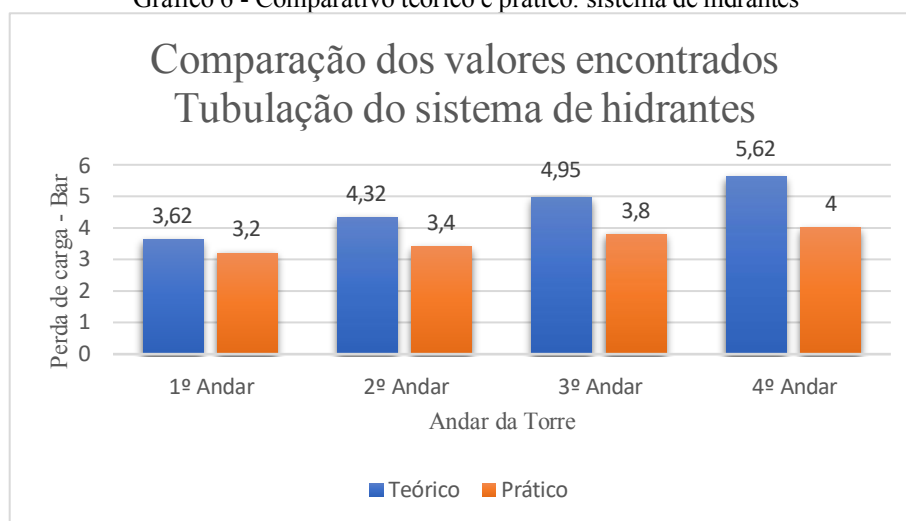
De posse dos dados coletados na experiência prática e dos verificados nos cálculos teóricos de perda de carga, a tabela 9 foi montada para análise dos dados. É possível verificar a proximidade dos valores demonstrando a validade das equações de perda de carga e a fidelidade dos valores encontrados na prática. O gráfico 6 resume os dados apresentados.

Tabela 9 - Comparação dos valores encontrados – tubulação do sistema de hidrantes

Andar da torre	$\Delta H_T(Bar)$	$\Delta H_{Exp}(Bar)$
1º Andar	3,62	3,2
2º Andar	4,32	3,4
3º Andar	4,95	3,8
4º Andar	5,62	4,0

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Gráfico 6 - Comparativo teórico e prático: sistema de hidrantes



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

7.7 Comparação entre o método teórico e o experimento usando içamento de mangueira

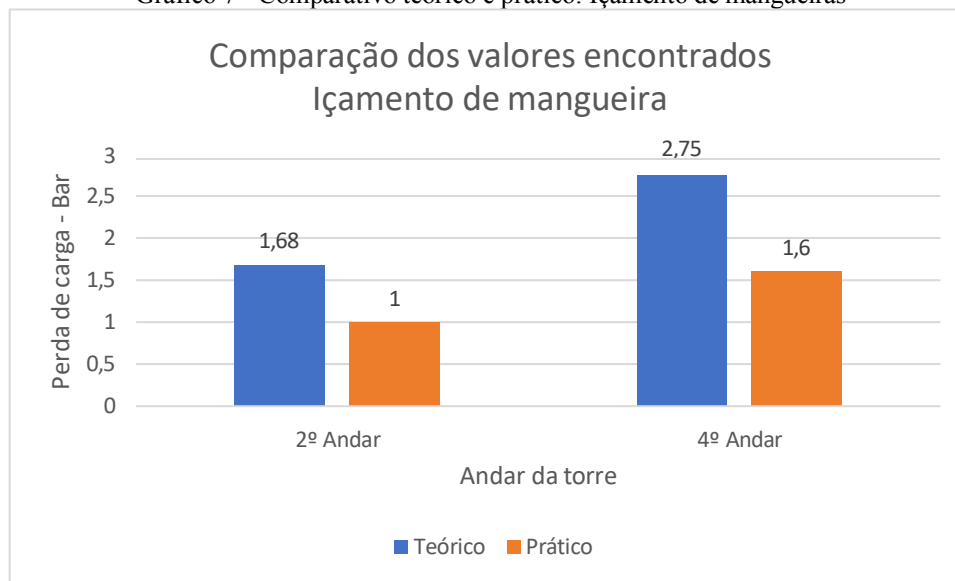
De posse dos dados coletados na experiência prática e dos verificados nos cálculos teóricos de perda de carga, a tabela 10 foi montada para análise dos dados. É possível verificar a proximidade dos valores demonstrando a validade das equações de perda de carga e a fidelidade dos valores encontrados na prática. O gráfico 7 resume os dados apresentados.

Tabela 10 - Comparação dos valores encontrados – içamento de mangueiras

Andar da torre	$\Delta H_T(Bar)$	$\Delta H_{Exp}(Bar)$
2º Andar	1,68	1,0
4º Andar	2,75	1,6

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2021)

Gráfico 7 - Comparativo teórico e prático: Içamento de mangueiras



Diante dos valores, tabelas e gráficos apresentados, a perda de carga variou em valores de acordo com a tática de combate a incêndio utilizada. Ao ser empregada a forma pela pressurização do sistema de tubulação, a perda de carga verificada em cada andar se mostrou maior que aquela verificada pelo içamento de mangueiras. Isso se deve principalmente pelos acessórios encontrados na tubulação como joelho, tês de saída bilateral e registro angular. Esses acessórios, quando convertidos em termos de comprimento equivalente, contribuem de forma determinante para a grande perda de carga verificada.

Já na tática de içamento, as mangueiras são montadas no solo, segundo a altura desejada e içada até o andar correspondente. Nessa montagem, apesar de ter diversas curvas, a perda de carga verificada experimentalmente é extremamente baixa, de forma que a perda de carga encontrada em sua grande parte seja somente em comprimentos retilíneos. Da mesma forma, pode – se perceber que a perda de carga em mangueiras de 30m e 2 ½” é bem menor que a verificada em mangueiras de 30m e 1 ½”, ou seja, nos combates a incêndios reais, deve – se dar prioridade na utilização dessas mangueiras de 2 ½”. Havendo a necessidade do uso das de menor diâmetro, deve-se inseri-las na ponta da linha visando diminuir a perda de carga para maior disponibilidade da pressão no combate a incêndio. Com esses dados encontrados de baixíssima perda de carga em mangueiras de 2.1/2”, estas poderão ser utilizadas pelo Corpo de Bombeiros Militar em situações de incêndio em edificações elevadas, com muito mais segurança de se obter uma eficácia hidráulica e uma pressão residual suficiente para o combate.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eficiência hidráulica das táticas de combate a incêndio consideradas no presente estudo de caso foram caracterizadas segundo seus valores de perda de carga. Essa perda de pressão ao longo da tubulação e caminhamento de mangueiras influencia diretamente na pressão final disponível que vai ser utilizada pelo bombeiro para realizar o trabalho de combate a incêndio. Os resultados dos experimentos da tática pela pressurização da tubulação do sistema pelo hidrante de recalque evidenciam que grande parte dessa perda é em função dos acessórios hidráulicos que conferem as perdas localizadas como os registros angulares, joelhos, etc. À medida que os valores foram coletados em andares maiores da torre, a perda de carga foi aumentando, diminuindo dessa forma, a pressão disponível para uso em combate.

Na abordagem considerando o içamento de mangueiras, a perda de carga coletada teve seu valor bem menor e isto se deve à rugosidade interna das mangueiras, que apesar de apresentar várias curvas e mudanças de direção no seu içamento, tais curvas demonstraram uma baixíssima perda de carga. Durante a pressurização, a formação de curvas nas mangueiras é um efeito natural e que não se mostrou determinante no valor da perda de carga. Diante disto, está técnica se mostrou a melhor segundo os critérios de eficiência hidráulica e pressão disponível para a realização do combate.

De tudo que foi concluído, a depender da tática utilizada a perda de carga será tanto maior ou menor de acordo com a configuração. Para este estudo de caso, havendo a necessidade de aumentar a pressão em determinado andar visando compensar as perdas de carga, a viatura deverá aumentar a rotação do motor que aciona a bomba para só então entregar a pressão e vazão necessárias para a utilização. No entanto, essa mudança repentina e variada causa modificações na curva de bomba, modificando seu ponto de operação.

Como proposta para trabalhos futuros fica a implementação de um aplicativo com base de dados referentes a perda de carga relativos aos diversos andares dos edifícios residenciais e comerciais para a região metropolitana de São Luís. É difícil precisar ao máximo com os valores reais, porém, uma estimativa de quanto de pressão na bomba, conseqüentemente de rotação do motor, é necessário para manter uma pressão no esguicho mínima aceitável baseado no estudo de perda de carga já norteia a decisão da guarnição em um parâmetro que evita a escolha de pressões aleatórias e desnecessárias que podem trazer prejuízos ao conjunto de equipamentos da corporação.

REFERÊNCIAS

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

BAPTISTA, Márcio Benedito. **Fundamentos da Engenharia Hidráulica**. Belo Horizonte : Editora UFMG, 2010.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. 2ª ed. Pearson, 2008.

CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. **Física Clássica: Termologia**. 2ª. Edição. 2ª. Reimpressão. Atual Editora. São Paulo. 1998.

Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Manual de Bombeiros Militar: Combate a incêndio urbano**. (MABOM- CIURB). Belo Horizonte: CBMMG, 2020.

Corpo de Bombeiros Militar do distrito Federal. Corpo . **Manual básico de combate a incêndio, módulo 1, comportamento do fogo**. Brasília, DF, 2009.

Curso de Formação de Brigadistas Profissionais. **Prevenção e Combate a Incêndio**. Governo do Espírito Santo, 2016.

Corpo de bombeiros de São Paulo. **Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros: Suprimento de Água em Combate a Incêndios**. São Paulo, SP, 2006.

Corpo de bombeiros militar do Maranhão. **Sistema de Proteção por Hidrantes e Mangotinhos**. São Luís, MA, 2021.

FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química 1**. – São Paulo: Ática, 2013.

FOX, R. W., PRITCHARD, P.J., MCDONALD, A. T.; **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 7ª ed. LTC, 2011

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

_____. **Como Elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

_____. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010

_____. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

HIBBELER, Russell Charles. **Mecânica dos fluidos**. São Paulo: Person Education do Brasil, 2016.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

_____. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2019.

_____. **Técnicas de Pesquisa**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2017

Manual Operacional de Bombeiros: Combate a Incêndio Urbano/ Corpo de Bombeiros Militar. Vários colaboradores. Goiânia, GO: 2017. 453 p.

Manual operacional de bombeiros: manual de bombas hidráulicas. Corpo de Bombeiros Militar. Goiânia, GO: 2017.

WHITE, Frank M. **Mecânica dos fluidos**. 6.ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2010. 880p.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica básica**. São Carlos: EESC-USP, 2006.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO

Considerando $P_{Fm} = 9 \text{ Kgf/cm}^2$ e que $1 \text{ Kgf/cm}^2 = 10 \text{ m.c.a}$, P_{Fm} = Pressão no final da mangueira em m.c.a e com mangueira de 2 ½” ou 63mm temos:

$$Q = 0,0034 \cdot D^2 \cdot \sqrt{P_{Fm} \cdot 60} = 0,0034 \cdot 63^2 \cdot \sqrt{90 \cdot 60} = 991,65 \text{ LPM} = 0,9916 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\Delta H_M = Q^2 \cdot L \cdot C = 0,9916^2 \cdot 30 \cdot 3,17 = 93,51 \text{ Kpa} = 0,93 \text{ Bar}$$

Perda de carga nos hidrantes dos andares da torre

Para este desenvolvimento, foi considerado a $P_{FM} = 9 \text{ Kgf/cm}^2$ em que P_{FM} = Pressão no final da mangueira quando conectada ao hidrante de recalque da torre

$$Q = 0,0034 \cdot D^2 \cdot \sqrt{P_{FM} \cdot 60} = 0,0034 \cdot 63^2 \cdot \sqrt{90 \cdot 60} = 991,65 \text{ LPM} = 0,0165 \text{ m}^3/\text{s}$$

O Diâmetro da tubulação sendo de 0,063m e C=125 para o aço galvanizado.

O cálculo da perda de carga ao longo da tubulação de aço galvanizado é feito utilizando a equação de Hazen – Williams

$\Delta H = \frac{10,641 \cdot L_T \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}}$ em que L_T = comprimento retilíneo mais o comprimento equivalente dos acessórios hidráulicos considerados até a válvula do hidrante do andar. O valor dos comprimentos equivalentes de cada acessório encontra-se na tabela 1.

1º Andar (altura = 4,5 m)

Trecho reto = 1,4m + 2,2m + 2,1m + 4,5m = 10,2m

Acessórios hidráulicos

Registro Angular = 02; $L_{eq} = 2 \cdot 10 = 20\text{m}$

Joelho 90° = 01; $L_{eq} = 1 \cdot 2 = 2\text{m}$

Tê de saída bilateral = 03; $L_{eq} = 3 \cdot 4,3 = 12,9\text{m}$

$L_T = 10,2 + 20 + 2 + 12,9 = 45,1\text{m}$

$$\Delta H_{AG} = \frac{10,641 \cdot L_T \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} = \frac{10,641 \cdot 45,1 \cdot 0,0165^{1,85}}{125^{1,85} \cdot 0,063^{4,87}} = 22,46 \text{ m.c.a} = 2,24 \text{ Bar}$$

ΔH_{AG} = perda de carga no aço galvanizado

ΔH_M = perda de carga na mangueira de 30m 2 ½”

$$\Delta H_T = \Delta H_{AG} + \Delta H_M + \Delta H_{altura} = 2,24 + 0,93 + 0,45 = 3,62 \text{ Bar}$$

2º Andar (altura = 7,5 m)

Trecho reto= 1,4m + 2,2m + 2,1m + 4,5m + 3m= 13,2m

Acessórios hidráulicos

Registro Angular= 02; $L_{eq} = 2 \cdot 10=20\text{m}$

Joelho 90º=01; $L_{eq} = 1 \cdot 2=2\text{m}$

Tê de saída bilateral=04; $L_{eq} = 4 \cdot 4,3=17,9\text{m}$

$L_T = 13,2 + 20 + 2 + 17,9 = 53,1\text{m}$

$$\Delta H_{AG} = \frac{10,641 \cdot L_T \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} = \frac{10,641 \cdot 53,1 \cdot 0,0165^{1,85}}{125^{1,85} \cdot 0,063^{4,87}} = 26,44 \text{ m.c.a} = 2,64 \text{ Bar}$$

ΔH_{AG} =perda de carga no aço galvanizado

ΔH_M =perda de carga na mangueira de 30m 2 ½”

$\Delta H_T = \Delta H_{AG} + \Delta H_M = 2,64 + 0,93 = 3,57 \text{ Bar}$

$\Delta H_T = \Delta H_{AG} + \Delta H_M + \Delta H_{altura} = 2,64 + 0,93 + 0,75 = 4,32 \text{ Bar}$

3º Andar (altura = 10,5 m)

Trecho reto= 1,4m + 2,2m + 2,1m + 4,5m + 3m + 3m= 16,2m

Acessórios hidráulicos

Registro Angular= 02; $L_{eq} = 2 \cdot 10=20\text{m}$

Joelho 90º=01; $L_{eq} = 1 \cdot 2=2\text{m}$

Tê de saída bilateral=05; $L_{eq} = 5 \cdot 4,3=21,5\text{m}$

$L_T = 16,2 + 20 + 2 + 21,5 = 59,7\text{m}$

$$\Delta H_{AG} = \frac{10,641 \cdot L_T \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} = \frac{10,641 \cdot 59,7 \cdot 0,0165^{1,85}}{125^{1,85} \cdot 0,063^{4,87}} = 29,73 \text{ m.c.a} = 2,97 \text{ Bar}$$

ΔH_{AG} =perda de carga no aço galvanizado

ΔH_M =perda de carga na mangueira de 30m 2 ½”

$\Delta H_T = \Delta H_{AG} + \Delta H_M = 2,97 + 0,93 = 3,9 \text{ Bar}$

$\Delta H_T = \Delta H_{AG} + \Delta H_M + \Delta H_{altura} = 2,97 + 0,93 + 1,05 = 4,95 \text{ Bar}$

4º Andar (altura = 13,5 m)

Trecho reto= 1,4m + 2,2m + 2,1m + 4,5m + 3m + 3m + 3m= 19,2m

Acessórios hidráulicos

Registro Angular= 02; $L_{eq} = 2 \cdot 10=20\text{m}$

Joelho 90º=01; $L_{eq} = 1 \cdot 2=2\text{m}$

Tê de saída bilateral=06; $L_{eq} = 6 \cdot 4,3=25,8\text{m}$

$L_T = 19,2 + 20 + 2 + 25,8 = 67\text{m}$

$$\Delta H_{AG} = \frac{10,641 \cdot L_T \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}} = \frac{10,641 \cdot 67 \cdot 0,0165^{1,85}}{125^{1,85} \cdot 0,063^{4,87}} = 33,36 \text{ m.c.a} = 3,336 \text{ Bar}$$

ΔH_{AG} =perda de carga no aço galvanizado

ΔH_M =perda de carga na mangueira de 30m 2 ½"

$\Delta H_T = \Delta H_{AG} + \Delta H_M = 3,336 + 0,93 = 4,27 \text{ Bar}$

$\Delta H_T = \Delta H_{AG} + \Delta H_M + \Delta H_{altura} = 3,336 + 0,93 + 1,35 = 5,62 \text{ Bar}$

Perda de carga no içamento de mangueira

Para este desenvolvimento, foi considerado a $P_{FM} = 9,2 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ em que P_{FM} = Pressão no final da mangueira quando conectada ao hidrante de recalque da torre. Como regra prática, deve-se aumentar a pressão em $0,3 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ a cada pavimento de 3m.

$$Q = 0,0034 \cdot D^2 \cdot \sqrt{P_{Fm}} \cdot 60 = 0,0034 \cdot 63^2 \cdot \sqrt{90} \cdot 60 = 991,65 \text{ LPM} = 0,991 \text{ m}^3/\text{min}$$

Considerando o 2º andar como primeira análise estando a uma altura de 4,5m, uma só mangueira de 30m de 2 ½" foi o suficiente para alcançar o patamar. Logo

$$\Delta H_M = Q^2 \cdot L \cdot C = 0,991^2 \cdot 30 \cdot 3,17 = 93,39 \text{ Kpa} = 0,93 \text{ Bar}$$

$$\Delta H_E = 0,45 \text{ Bar} \rightarrow \Delta H_T = \Delta H_M + \Delta H_E = 0,45 + 0,93 = 1,38 \text{ Bar}$$

Considerando o 4º andar como segunda análise estando a uma altura de 13,5m, uma mangueira de 30m de 2 ½" foi conectada em série com uma de 15m também de 2 ½" suficiente para alcançar o patamar. Logo

$$\Delta H_M = Q^2 \cdot L \cdot C = 0,991^2 \cdot 45 \cdot 3,17 = 140 \text{ KPa} = 1,4 \text{ Bar}$$

$$\Delta H_E = 1,35 \text{ Bar} \rightarrow \Delta H_T = \Delta H_M + \Delta H_E = 1,35 + 1,4 = 2,75 \text{ Bar}$$

ANEXO A – DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Eu, Aspirante a oficial Bombeiro Militar, Nestor Emidio Barbosa Sampaio declaro para todos os fins que meu trabalho de fim de curso intitulado **PERDA DE CARGA:** um estudo de caso envolvendo o uso de hidrante de recalque e o uso do içamento de mangueiras é um documento original elaborador e produzido por mim.

Dados do Orientador:

Nome/Grau/Hierarquia: Rafael da Costa Viana – Cap QOCB

Filiação/Instituição: Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão

E-mail:rcviana23@gmail.com

Telefones: (84) 99403 - 7856

Nestor Emidio Barbosa Sampaio

DISCENTE

CPF: 033.102.103-08