

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR
“Coronel Osmar Alves Pinheiro”
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

Cadete BM/2 **RAFAEL VICTOR BATISTA GONDIM**



**INFLEXÕES EM LINHAS VERTICAIS DE COMBATE A INCÊNDIO:
IMPACTO NA PERDA DE CARGA E DESEMPENHO OPERACIONAL**

BRASÍLIA
2025

Cadete BM/2 **RAFAEL VICTOR BATISTA GONDIM**

**INFLEXÕES EM LINHAS VERTICAIS DE COMBATE A INCÊNDIO:
IMPACTO NA PERDA DE CARGA E DESEMPENHO OPERACIONAL**

Artigo científico apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: Ten-Cel.. QOBM/Comb. ELISEU DE SOUZA **QUEIROZ**

BRASÍLIA
2025

Cadete BM/2 **RAFAEL VICTOR BATISTA GONDIM**

INFLEXÕES EM LINHAS VERTICAIS DE COMBATE A INCÊNDIO: IMPACTO NA PERDA DE CARGA E DESEMPENHO OPERACIONAL

Artigo científico apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: 14/05/2025.

BANCA EXAMINADORA

NILSA ANTONIA DE OLIVEIRA – Tem-Cel. QOBM/Comb.
Presidente

RAFAEL COSTA GUIMARÃES – Cap. QOBM/Compl.
Membro

JORGE HAMILTON HEINE E SILVA – CAP. QOBM/Comb.
Membro

ELIZEU DE SOUZA QUEIROZ – Ten-Cel. QOBM/Comb.
Orientador

RESUMO

As inflexões em linhas de combate a incêndio vertical representam um grande problema na perda de carga do sistema, impactando a eficiência operacional. Este estudo teve como objetivo geral quantificar os impactos relacionados à perda de carga causados pelas inflexões nas linhas de mangueira durante o combate a incêndios urbanos verticais no CBMDF. A metodologia envolveu uma pesquisa de campo no Centro de Treinamento Operacional do CBMDF, utilizando um sistema 4x2 com mangueiras de 2,5 e 1,5 polegadas, a 21,3 metros de altura, com inflexões pré-configuradas (90°, 130° e em "Z"). A pressão de saída da viatura foi ajustada para 9 e 11 bar, e as medições de pressão e vazão foram realizadas com medidores de pressão e um tubo de Pitot. Os resultados mostraram que as inflexões aumentam significativamente a perda de carga: uma dobra de 90° causou perda de 3 bar (27,3%) e vazão de 105 L/min, enquanto duas dobras de 130° resultaram em perda de 5 bar (45,4%) e vazão de 70 L/min; a configuração em "Z" teve a maior perda, com 7,2 bar (65,4%) e vazão de 50 L/min. A elevação contribuiu com cerca de 2 bar de perda. Concluiu-se que as inflexões afetam negativamente o desempenho hidráulico, exigindo trajetos mais lineares, mangueiras de maior diâmetro e ajustes de pressão para maior eficiência.

Palavras-chave: perda de carga; inflexões; combate a incêndio; linhas verticais; CBMDF.

KINKS IN VERTICAL FIREFIGHTING HOSELINES: IMPACT ON PRESSURE LOSS AND OPERATIONAL PERFORMANCE

ABSTRACT

Kinks in vertical fire attack hoselines pose a significant challenge to the system's pressure loss, impacting operational efficiency. This study aimed to quantify the impacts of pressure loss caused by kinks in hoselines during vertical urban firefighting operations by the Distrito Federal Military Fire Department (CBMDF). The methodology involved field research at the CBMDF's Operational Training Center, using a 4x2 system with 2.5-inch and 1.5-inch hoses at a height of 21.3 meters, with pre-configured kinks (90°, 130°, and Z-shaped). The pump outlet pressure was set to 9 and 11 bar, and pressure and flow rate measurements were taken using pressure gauges and a Pitot tube. Results showed that kinks significantly increase pressure loss: a single 90° kink caused a 3-bar loss (27.3%) and a flow rate of 105 L/min, while two 130° kinks led to a 5-bar loss (45.4%) and a flow rate of 70 L/min; the Z-shaped configuration had the highest loss at 7.2 bar (65.4%) and a flow rate of 50 L/min. The elevation contributed approximately 2 bar to the loss. It was concluded that kinks negatively affect hydraulic performance, requiring straighter paths, larger-diameter hoses, and pressure adjustments for improved efficiency.

Keywords: Pressure loss; kinks; firefighting; vertical hoselines; CBMDF.

1. INTRODUÇÃO

O combate a incêndios em edificações verticais é uma das operações mais complexas enfrentadas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) (Brasil, 1991). Especialmente em um cenário urbano como o do Distrito Federal, onde o crescimento de arranha-céus e edifícios residenciais de grande porte tem se intensificado nas últimas décadas (Codeplan, 2024)

Nessas situações, a eficiência do sistema de abastecimento de água é crucial para o sucesso da operação, uma vez que a água, muitas vezes transportada por meio de linhas de mangueiras, é o principal agente extintor utilizado. Contudo, fatores como a presença de inflexões nas mangueiras, causadas por obstáculos estruturais, mudanças de direção ou manuseio inadequado, podem comprometer significativamente o desempenho hidráulico dessas linhas, resultando em perdas de carga que afetam a vazão e a pressão disponíveis no esguicho. (NFPA, 2021)

Esse problema é particularmente crítico em operações verticais, onde a gravidade já impõe uma resistência adicional ao escoamento, exigindo que as equipes de bombeiros superem desafios técnicos para garantir a eficácia do combate ao fogo (Rowett Jr, 2018). A perda de carga, entendida como a redução de pressão ao longo do sistema devido a fatores como atrito, elevação e alterações no fluxo, é um fenômeno bem documentado na literatura de hidráulica, mas sua análise no contexto específico de operações verticais de combate a incêndio, com ênfase nas inflexões, ainda é limitada, o que destaca a necessidade de estudos mais aprofundados. (Dermek, 2017)

Para isso, foi adotada uma abordagem metodológica que integra pesquisa de campo, realizada em um ambiente controlado para simular condições operacionais, e embasamento bibliográfico técnico, fundamentado em normas como a NBR 11861 e em estudos sobre hidráulica aplicada à segurança contra incêndios, permitindo uma análise abrangente e prática do problema.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho é **quantificar os impactos relacionados à perda de carga causados pelas inflexões nas linhas de**

mangueira durante o combate a incêndios urbanos verticais no CBMDF. Os objetivos específicos são:

- a) Identificar normativas que norteiam o experimento;
- b) Comparar perdas de carga teóricas com as obtidas no experimento;
- c) Avaliar o impacto da diferença de elevação na perda de carga;
- d) Avaliar a influência de inflexões na mangueira com a perda de carga;
- e) Propor procedimentos operacionais para reduzi-la e elaborar um Boletim Informativo Técnico-Pedagógico (BITP).

Diante do exposto, despertou-se a necessidade de responder à seguinte questão: **Como as inflexões nas linhas de mangueira impactam a perda de carga em uma armação de combate vertical?**

A hipótese levantada é que a presença de inflexões na mangueira de combate a incêndio influencia de maneira significativa a pressão de água e, por conseguinte, o combate a incêndio de forma efetiva no CBMDF, o que será testado por meio de experimentos controlados e análises comparativas.

A relevância deste estudo é evidente sob diferentes perspectivas, justificando sua realização. Do ponto de vista institucional, a capacidade dos bombeiros em responder rapidamente a emergências é crucial para preservar vidas e patrimônios, além de mitigar desastres (Fire Engineering, 2014). A Lei 8.255/1991 atribui ao CBMDF a responsabilidade por investigações técnico-científicas, promovendo avanços em sistemas de prevenção e combate a incêndios (CBMDF, 2025).

Sendo assim o trabalho oferece ao CBMDF subsídios para aprimorar suas operações em cenários verticais, que são cada vez mais comuns em áreas urbanas como o Distrito Federal, onde o crescimento de edificações altas é constante. (Codeplan, 2024)

Socialmente, a pesquisa contribui para a segurança da população, uma vez que a eficiência no combate a incêndios reduz riscos de perdas humanas e materiais. No âmbito científico, nos últimos anos, o interesse na validação de técnicas de combate a incêndios urbanos tem crescido significativamente.

Diversos estudos corroboram as diretrizes estabelecidas por McDonough (2019), que destaca quatro estratégias fundamentais para a eficácia das operações: controle do fluxo da fumaça, resfriamento da camada de gases, ataque direto ao foco do incêndio e posicionamento estratégico dos combatentes. Além disso, McDonough (2018) enfatiza a importância da aplicação eficiente da água, ressaltando que seu uso deve ocorrer de maneira precisa, tanto em termos de localização quanto de quantidade, garantindo um fluxo pressurizado e contínuo para otimizar a supressão do fogo e minimizar danos estruturais.

Desta forma o estudo avança o conhecimento sobre hidráulica aplicada à segurança contra incêndios, preenchendo uma lacuna na literatura ao abordar especificamente o impacto das inflexões em linhas verticais (Fire Engineering, 2012). Além de propor a elaboração de um BITP que pode servir como material pedagógico para o treinamento de bombeiros, promovendo a disseminação de boas práticas e a padronização de procedimentos operacionais, uma vez que o atendimento a ocorrências nos padrões internacionais é preconizado pelo Plano Estratégico vigente no CBMDF (2025).

Para alcançar os objetivos propostos, a pesquisa foi realizada em um laboratório de testes controlado, onde foi montado um sistema de mangueiras 4x2, utilizando mangueiras tipo 4 com diâmetros de 2,5 e 1,5 polegadas. O sistema foi submetido a uma altura de 21,3 metros, com variáveis de controle e inflexões pré-configuradas para avaliar os impactos na perda de carga.

Durante os testes, a pressão de saída da viatura foi ajustada para 9 bar e, posteriormente, para 11 bar, simulando condições operacionais reais. As medições foram feitas com medidores de pressão instalados na saída da viatura e na chegada do esguicho, enquanto a vazão foi determinada com um tubo de Pitot. Essa abordagem permitiu uma análise detalhada da perda de carga ao longo do sistema.

A metodologia foi fundamentada em uma revisão de literatura que orientou a definição dos parâmetros de avaliação e a preparação do laboratório, além de uma pesquisa documental para seleção das amostras estudadas. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos ao longo do estudo, seguidos

das considerações finais. Nos apêndices, encontram-se a ficha de especificação e o Boletim de Informação Técnico-Profissional, produtos finais desta pesquisa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Perda de carga

A perda de carga é um conceito essencial na hidráulica e refere-se à redução de energia que ocorre quando um fluido escoar por uma tubulação sob pressão. Essa perda de energia é causada principalmente de duas formas distintas, pelo atrito do fluido com as paredes internas do tubo e pelas turbulências geradas por mudanças na direção do escoamento ou em geometrias específicas da tubulação. Essa condição é inevitável em sistemas hidráulicos, mas seu controle é fundamental para manter a eficiência do processo. (Porto, 1998)

A perda de carga em sistemas hidráulicos é calculada, comumente, por meio da equação de Darcy-Weisbach, sendo influenciada por diversos fatores como a viscosidade do fluido, o material e a rugosidade da tubulação, o diâmetro dos tubos, o comprimento total do percurso e a presença de conexões e registros que alteram o fluxo. Mudanças de direção e superfícies ásperas, por exemplo, intensificam o atrito e ampliam a perda de energia no escoamento. (Porto, 1998)

Embora os termos "perda de carga" e "perda de pressão" estejam relacionados, eles não são sinônimos. A perda de carga refere-se especificamente à perda de energia hidráulica, afetando a pressão, a vazão e a carga estática do sistema. (Porto, 1998)

2.1.1. Fatores que influenciam na perda de carga

No serviço de bombeiros, a perda de carga é definida como a perda de energia na pressão sempre que a água passa por mangueiras, conexões e aparelhos. A medida que a água passa pela mangueira, ela esfrega no revestimento da mangueira, nos acoplamentos e até em si mesma. (Grimwood, 2017)

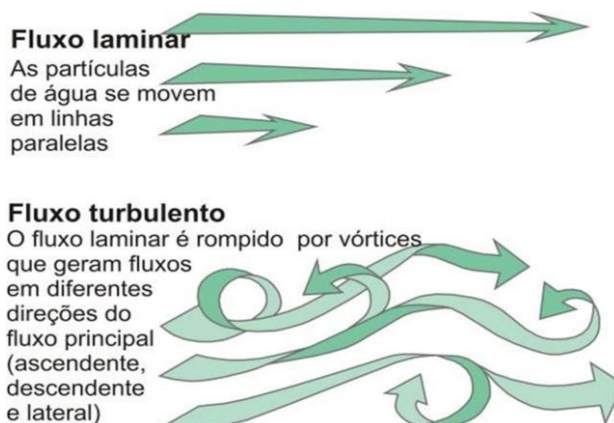
Segundo Munson, Young e Okiishi (2011), existem duas maneiras pelas quais a água flui através das mangueiras, como podemos observar na figura 1, sendo estas:

O primeiro é o fluxo laminar, onde a água flui em linhas paralelas com o fluxo no centro movendo-se a uma velocidade maior do que nas bordas e diminuindo ainda mais em direção às bordas da mangueira. No fluxo laminar, as camadas se movem suavemente umas contra as outras em uma direção. (Munson; Young; Okiishi, 2011)

O segundo tipo de fluxo é “turbulento”. Conforme afirmado anteriormente, à medida que a água flui pelas mangueiras e aparelhos, ela esfrega no revestimento da mangueira e dos aparelhos, causando atrito. Ele também flui sobre os acoplamentos e ao redor das curvas da mangueira, causando atrito. Imagine uma única gota de água dentro da mangueira. À medida que flui, ele entra em contato com o revestimento, um acoplamento ou uma curva da mangueira. Ao fazer esse contato, ela muda de direção, mesmo que ligeiramente, e para de fluir em linha reta. Isso diminuirá a velocidade de avanço da gota. Esta é a explicação mais simples da perda por atrito. Cada vez que a água muda de direção por qualquer motivo, é criado atrito. (Munson; Young; Okiishi, 2011)

O atrito que ocorre no interior da mangueira também é causado pela própria água. À medida que um líquido passa por si mesmo, ele cria atrito com as camadas próximas a ela, pois as camadas apresentam diferentes velocidades a partir do ponto onde se localizam no interior do vaso. À medida que cada camada entra em contato com outra camada em diferentes velocidades, ela se move, pois há uma espécie de colisão, e muda de direção. Isso faz com que a velocidade diminua. (Munson; Young; Okiishi, 2011)

Figura 1 – Fluxo laminar e fluxo turbulento



Fonte: Leli, I. T.; Stevaux, J. C.; Da Nóbrega, M. T. (2010)

A perda de carga em mangueiras utilizadas no combate a incêndios varia significativamente devido a múltiplos fatores intrínsecos e operacionais, conforme destacado por estudos especializados.

A qualidade da mangueira, influenciada pela espessura do forro interno, a idade do equipamento e a trama, desempenha um papel crucial, pois, mesmo com avanços no revestimento interno, imperfeições residuais geram atrito, dificultando o fluxo de água (Munson; Young; Okiishi, 2011).

Adicionalmente, a perda de carga aumenta diretamente com a altura, sendo uma regra prática adicionar 1 BAR de pressão a cada 10 metros de elevação, equivalente a cerca de três andares, essencial para cálculos em prédios ou terrenos acidentados. O comprimento da mangueira também impacta diretamente, calculado em segmentos de 20 metros, onde a perda total por atrito resulta da soma dos comprimentos; por exemplo, quatro trechos de 30 metros com perda de 1 BAR cada totalizam 4 BAR (Munson; Young; Okiishi, 2011).

A velocidade do fluxo é outro fator determinante, pois, duplicar a velocidade quadruplica a perda por atrito, e quadruplicá-la eleva a perda em 16 vezes. Por fim, a perda de carga varia inversamente ao diâmetro da mangueira, sendo este o fator mais importante para minimizar o atrito; duplicar o diâmetro reduz a perda à metade, justificando a transição de mangueiras de 1½ polegada para 2½ polegadas, que, apesar de tamanho similar ao manuseio, oferecem

maior volume de água com menor perda, conforme observado por Rowett Jr. (2018).

2.2. Pressão

Segundo Ramalho (2012, p. 426) a pressão (P) é especificada como a relação entre a força (F) aplicada perpendicularmente a uma superfície e a área (A) sobre a qual essa força é distribuída. A expressão fundamental para calcular a pressão é:

$$P=F/A$$

A unidade de medida padrão para pressão no Sistema Internacional (SI) é o pascal (Pa), correspondendo a um newton por metro quadrado (N/m²). Em diferentes contextos, outras unidades comuns incluem atmosferas (atm), torr (mmHg), e libras por polegada quadrada (psi). (Ramalho, 2012, p. 421)

Em fluidos, a pressão aumenta com a profundidade (Lei de Stevin) e se propaga uniformemente em todas as direções, sendo essencial em hidrostática e operações de combate a incêndio. (Cassiolato, 2005)

2.3. Pressão em meios fluidos

O fundamento da pressão constitui uma componente essencial na hidrostática, que se dedica ao estudo dos fluidos em repouso no campo da física. Essa premissa é comumente vinculada a uma série de conceitos que auxiliam o entendimento de como a pressão se altera em um fluido incompressível em estado de equilíbrio. (Ramalho, 2012, p. 426)

Em um fluido incompressível, como um líquido, a pressão exercida em um ponto se propaga de maneira uniforme em todas as direções, implicando que, em um recipiente selado, ao aplicar pressão em uma área específica do líquido, essa pressão será equitativamente distribuída por toda a extensão do fluido (Ramalho, 2012, p. 427).

Além disso, a pressão atmosférica varia com a altura, diminuindo à medida que a altitude aumenta, devido à redução da quantidade de atmosfera

acima, o que resulta em menor massa de ar exercendo pressão para baixo, um fenômeno claramente observado pela queda da pressão atmosférica em altitudes elevadas (Ramalho, 2012, p. 428).

2.4. Medidor de pressão estática e dinâmica

O dispositivo medidor de pressão fundamenta-se na alteração ou deslocamento de um elemento sensível, no caso a água, em resposta à pressão. Para realizar essa função, o instrumento possui uma escala circular equipada com um ponteiro indicador que gira, tudo conectado a um sistema composto por engrenagens e alavancas. Esse sistema está associado a um tubo com duas extremidades, uma aberta e outra fechada, possibilitando assim a transmissão da pressão exercida pelo fluido. (Mecânica reunida, 2023)

Dessa maneira, o profissional consegue efetuar uma medição imediata, obtendo informações sobre a pressão dentro do sistema. Essa prática é valiosa para a elaboração de laudos, análises ou regulamentos internos. O dispositivo é empregado para avaliar a pressão em uma determinada tubulação, seja ela estática, quando o fluido está em repouso, ou dinâmica, quando está em movimento. Isso viabiliza a determinação de parâmetros como a velocidade de fluxo ou escoamento, por exemplo. (Mecânica reunida, 2023)

A pressão estática se refere à pressão exercida por um fluido quando este está em repouso, sem movimento, ou, se em movimento, de forma ortogonal à superfície, sendo uniforme em todas as direções e atuando perpendicularmente às superfícies com as quais o fluido está em contato, como observado em fluidos estáticos, tais como líquidos parados ou gases em equilíbrio (NFPA, 2020).

Em contraste, a pressão dinâmica está associada ao movimento do fluido, relacionada à sua energia cinética, e surge quando o fluido se desloca em uma tubulação ou através de uma superfície, representando a força exercida devido à sua velocidade (NFPA, 2020).

2.5. Vazão

A vazão é um parâmetro fundamental na hidráulica, representando o volume de fluido que escoar por uma tubulação em um determinado intervalo de tempo. É expressa, geralmente, em litros por segundo (L/s) ou metros cúbicos por segundo (m^3/s) e pode ser determinada por meio da relação entre a área da seção transversal da tubulação e a velocidade do fluido. O controle adequado da vazão é essencial para garantir a eficiência e o bom funcionamento dos sistemas hidráulicos, sendo influenciado por fatores como perda de carga, pressão e características do fluido. (Porto, 1998)

2.5.1. Medidor de vazão

O tubo de Pitot é um dispositivo amplamente utilizado para medir a velocidade do fluido em uma tubulação, sendo um instrumento eficaz na determinação da vazão. Seu funcionamento baseia-se na captação da pressão dinâmica e estática do escoamento. O tubo é inserido na tubulação, com sua extremidade voltada diretamente contra o fluxo, medindo a pressão total. Simultaneamente, uma segunda abertura posicionada perpendicular ao fluxo mede a pressão estática. A diferença entre essas pressões permite calcular a velocidade do fluido e, conseqüentemente, a vazão do sistema. Esse método é valorizado por sua precisão e ampla aplicação em diversos setores industriais. (Mecânica reunida, 2023)

2.6. Perda de carga por inflexões na mangueira

Definiremos uma inflexão como “uma curvatura na mangueira em um ângulo suficientemente fechado para causar um vinco ou dobra visível no revestimento externo da mangueira.” Pressupõe-se que, se houver um vinco visível no revestimento externo, haverá uma inflexão suficientemente grande no revestimento interno para afetar a hidráulica dentro da linha. (Pillsworth, 2007)

As inflexões em mangueiras representam um fator significativo na perda de carga em sistemas hidráulicos. Dobras, curvas acentuadas ou deformações

na estrutura da mangueira geram obstáculos ao fluxo, causando turbulência e aumentando o atrito interno. Esse efeito reduz a energia disponível no sistema, impactando diretamente a pressão e a vazão do fluido. (Pillsworth, 2007)

Além disso, inflexões frequentes ou severas podem comprometer a integridade da mangueira, aumentando o risco de danos e vazamentos. Segundo Rowett Jr (2018) até 30% da vazão do jato de combate ao incêndio pode ser perdida devido a uma única dobra na mangueira de ataque.

3. METODOLOGIA

De acordo com Provdanov (2013, p. 14), "metodologia é a aplicação de procedimentos e técnicas que devem ser observados para construção do conhecimento". Com base nesse entendimento, os processos adotados na elaboração deste estudo foram previamente organizados e descritos conforme as propostas de desenho experimental de pesquisa apresentadas por Gil (2022).

Essa abordagem permite o desenvolvimento de uma investigação sistemática, racional e viável, alinhada aos objetivos definidos para o tema em questão.

3.1. Classificação de pesquisa

Por envolver um conjunto de etapas e procedimentos, bem como a coleta, análise e interpretação de dados de forma fundamentada e objetiva, uma pesquisa pode ser classificada com base em diferentes critérios para destacar o foco do trabalho desenvolvido.

Neste caso, o estudo configura-se como uma pesquisa de finalidade aplicada, inovadora em sua abordagem ao gerar conhecimentos práticos para solucionar o problema específico da perda de carga devido às inflexões nas linhas de mangueira de combate a incêndio no Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) em edificações verticais, sendo os objetivos classificados como descritivos para compreender as características do fenômeno e estabelecer correlações entre suas variáveis por meio de técnicas padronizadas de coleta de dados, além de ser considerado pesquisa de campo, cujos resultados têm potencial para subsidiar futuras investigações e formular hipóteses que ampliem o entendimento do tema.

A pesquisa adota uma abordagem quantitativa, fundamentada na coleta e análise de dados experimentais que avaliaram como fatores como inflexões na linha de combate afetam a pressão e a vazão na saída do esguicho, contribuindo com uma perspectiva nova para o aprimoramento das operações verticais.

3.2. Procedimentos metodológicos

O procedimento metodológico inicial consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica técnica com o objetivo de identificar normativas, tanto nacionais quanto internacionais que versam sobre testes de mangueiras utilizados no combate a incêndio, particularmente voltadas para os corpos de bombeiros e posteriormente foi realizada uma pesquisa de campo. De acordo com Gil (2022), essa etapa é essencial para inserir o pesquisador no tema de investigação e fortalecer a base teórica do estudo. Nesse contexto, foram analisados os seguintes documentos normativos: a NBR 11861:1998 (ABNT, 1998) e a NFPA 1962:2018 (NFPA, 2020), com o intuito de identificar qual deles apresenta os testes mais adequados a serem realizados em mangueiras de combate a incêndio.

Todavia, reconhece-se que não é viável testar e avaliar todas as configurações possíveis de linhas de combate a incêndio que são utilizadas pelo CBMDF. Desta forma, de modo a obter características fundamentais à metodologia, como controle e manipulação de variáveis, grupo experimental e de controle, repetibilidade, reprodutibilidade, medição padronizada, hipóteses claras e isolamento das variáveis, foram feitas análises de manuais disponíveis no site oficial do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), procedimentos operacionais padrão (POP) do curso de especialização em combate a incêndio da corporação, documentos disponíveis no Grupamento Especializado em Combate a Incêndio Urbano (GPCIU) do CBMDF e artigos internacionais sobre perda de carga em linhas de mangueira de combate a incêndio.

Essa análise foi fundamental para a seleção das variáveis a serem empregadas nas etapas subsequentes da pesquisa. Visando à definição do protocolo de perda de carga; o primeiro critério a ser adotado foi o uso do jato atomizado conforme estipulado no módulo 3 do Manual de combate a incêndio do CBMDF (135L/min, 9 bar no corpo de bomba, ajustado para 11 bar em linhas extensas). (CBMDF, 2009, p. 144)

Esse jato foi escolhido por ser amplamente utilizado na doutrina dos cursos de formação do CBMDF e por corroborar com as orientações de McDonough (2019) sobre “as 4 técnicas não negociáveis” no combate a incêndios, ao ser utilizado para o resfriamento da camada de gases e por possuir condições muito específicas para que possa ser realizado, o que vem a permitir um maior controle do experimento.

Deste modo, sabendo que as armações de sistema 4x1 ou 4x2 deveriam ter a sua pressão no corpo de bombas compensadas e que a utilização deste sistema é realizada tanto no combate a incêndio de edificações verticais pelo CBMDF como na doutrina dos cursos de formação da corporação (CFP e CFO), o sistema 4x2 foi o escolhido para ser utilizado.

Para a condução deste trabalho, embora a norma NBR 11861:1998 (ABNT, 1998) forneça especificações claras quanto aos requisitos e métodos de ensaio para mangueiras de combate a incêndio no Brasil, a metodologia teve como base, principalmente, o Manual de Combate a Incêndio do CBMDF – módulo 3, POP de combate a incêndio em edificações verticais do CBMDF e o estudo de Pillsworth (2007) sobre inflexões em linhas de mangueiras. Esses documentos apresentaram os parâmetros mínimos necessários à estruturação de um laboratório de testes para perda de carga em mangueiras devido às inflexões em um combate a incêndio.

No entanto, ao revisar a literatura disponível, não foram encontrados estudos específicos que abordassem a perda de carga em mangueiras de incêndio causada por inflexões no plano vertical. Diante dessa lacuna, foi necessário adaptar e modificar as técnicas existentes, combinando-as da melhor forma possível para garantir a viabilidade e a precisão dos ensaios experimentais. Esse processo exigiu uma abordagem criteriosa, conciliando diretrizes já consolidadas com ajustes metodológicos que atendessem aos objetivos da pesquisa.

O laboratório de testes para a pesquisa de campo e experimental ocorreu no Centro de Treinamento Operacional (CETOP) do CBMDF, sendo adotado no

que foi possível o definido pela norma NBR 11861:1998 (ABNT, 1998) e os demais artigos e manuais tomados como base, porém ajustando-o à realidade e estrutura do CBMDF e da realidade operacional. A fim de alcançar os objetivos previstos, o sistema 4x2 foi montado conforme a doutrina de combate a incêndio desenvolvida no CBMDF.

A preparação inicial para a montagem do laboratório ocorreu no pátio entre as torres de treinamento operacional, local este onde foi estabelecido um ABT Pierce e todos os materiais a serem utilizados na pesquisa.

Figura 2 – Sistema 4x2



Fonte: O autor.

O experimento utilizou seis mangueiras TIPO 4 (NBR 11861:1998), com reforço têxtil de poliéster, revestimento externo de PVC e borracha nitrílica, tubo interno de borracha sintética, na cor vermelha, e com uniões storz em latão. Foram usadas duas mangueiras de 40 mm (1,5") e quatro mangueiras de 65mm (2,5"), com 15 metros de comprimento e pressão de trabalho de 14,0 kgf/cm². (ABNT, 1998)

Figura 3 – Mangueiras

Fonte: O autor.

Os acessórios necessários para a montagem do sistema consistiam em, chaves de mangueira, uma redução de 2,5" para 1,5", esguichos AWG e agulheta (figura 4) e 1 caixa em MDF (0,25 cm de altura por 120 cm de comprimento) com orifícios para passagem da mangueira de 1,5" polegadas (figura 5).

Figura 4 – Materiais

Fonte: O autor.

Figura 5 – Caixa

Fonte: O autor.

Também foram utilizados equipamentos para medição de pressão, sendo estes, 1 medidor de pressão do próprio corpo de bomba da viatura, 1 aparelho

medidor de pressão estática e dinâmica – MR. 751 e 1 tubo de pitot para aferir a vazão. Todos os equipamentos utilizados para aferição da pressão e da vazão foram previamente calibrados no plano horizontal (figura 6).

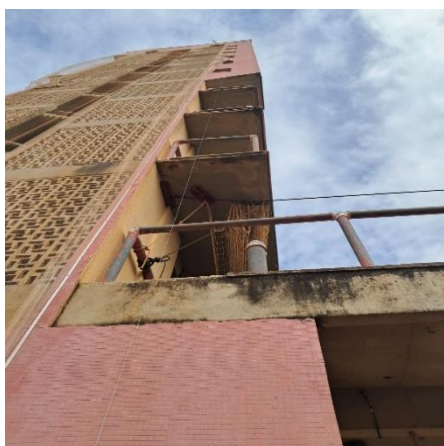
Figura 6 – Medidores e acessórios



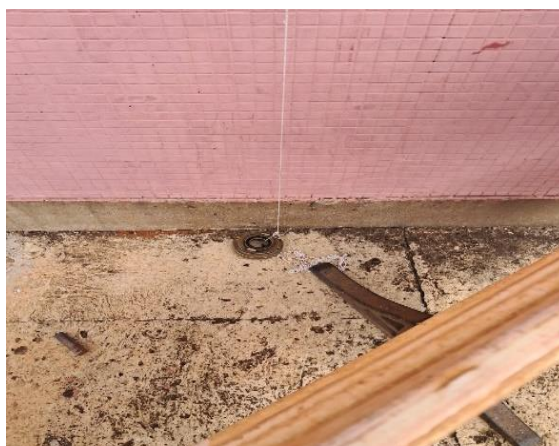
Fonte: O autor.

Em um segundo momento foi feito o planejamento para a medição da altura da linha de combate e do layout do sistema 4x2 (figuras 7 e 8). O experimento foi conduzido no sexto andar da torre Tokyo, sendo adicionado 1 metro em relação ao piso do último pavimento para simular a altura de um esguicho sendo utilizado por um militar em posição de combate. Desta forma, a altura do sexto andar foi medida utilizando um barbante, deixando-o esticado do nível do solo até a altura desejada e em seguida o seu comprimento foi conferido com uma trena para que a distância vertical pudesse ser aferida, chegando à medida de 21,3 metros de altura na saída do esguicho (figura 9).

O planejamento do sistema de mangueiras foi realizado de acordo com o manual de incêndio do CBMDF (2009), de modo a não deixar quinas nas escadas e de forma que o trajeto seguisse da forma mais linear e contínua possível.

Figura 7 – Medida da altura

Fonte: O autor.

Figura 8 – Medida da Altura

Fonte: O autor.

Figura 9 – Medida do barbante

Fonte: O autor.

Em seguida, iniciou-se a montagem do sistema 4x2 com a conexão das mangueiras de 2 ½ polegadas à saída do corpo de bombas da viatura, a qual foi ajustada para uma pressão de 9 bar (figuras 10, 11, 12, 13 e 14). As chaves de mangueira foram utilizadas para garantir conexões firmes entre as seções, a redução de 2 ½ polegadas para 1 ½ polegada foi utilizada como transição para as mangueiras menores e a caixa em MDF foi posicionada na entrada do sexto pavimento de forma a comportar a mangueira de 1 ½ polegada, aduchada em “O”, sem que houvesse quinas ou inflexões. A incorporação da caixa de MDF com o fardo de mangueiras no formato "O" visa otimizar o manuseio e a estabilidade da linha durante o trajeto sem que ocorra alterações significativas entre os testes das outras variáveis (figura 15).

Figura 10 – Linha sem pressão



Fonte: O autor.

Figura 11 – Redução acoplada



Fonte: O autor.

Figura 12 – Sistema sem quinas



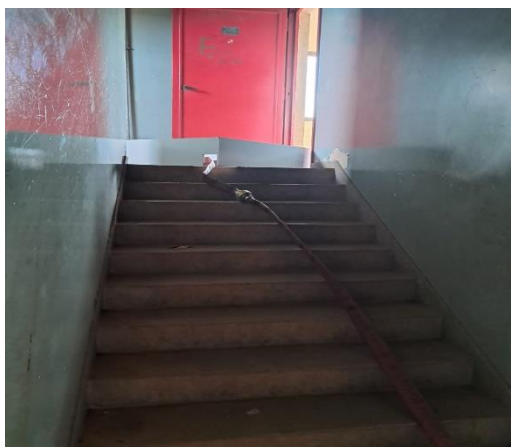
Fonte: O autor.

Figura 13 – Sistema sem quinas



Fonte: O autor.

Figura 14 – Linha entrando na caixa



Fonte: O autor.

Figura 15 - Fardo em "O" na caixa



Fonte: O autor.

A última etapa da montagem consistiu na instalação dos acessórios de controle e medição. A última mangueira do sistema teve o seu comprimento, 15 metros, dividido em 4 seções de 3,75 metros, sendo que a última seção foi puxada para o interior do sexto pavimento e a distância acima estabelecida foi demarcada ao solo de forma a simular a progressão da linha de combate (figura 16). O aparelho medidor de pressão estática e dinâmica foi acoplado na extremidade da última mangueira de 1 ½ polegada e posterior a ele foram instalados durante os testes, de maneira alternada, o esguicho AWG - para verificar a pressão dinâmica durante o processo - e esguicho agulheta - para verificar a vazão do sistema (figura 17).

Figura 16 – Seção com 3,75 metros



Fonte: O autor.

Figura 17 – Medidor de pressão



Fonte: O autor.

Com a montagem concluída, foram realizados testes de controle e avaliação da linha (figura 18). A linha de água foi aberta progressivamente de modo que a pressão dinâmica pudesse ser monitorada ao mesmo tempo em que o ar era expulso do sistema, as conexões ao longo da armação de linhas tiveram sua estanqueidade verificada e as mangueiras foram observadas em busca de inflexões ou pontos de ruptura (figuras 19, 20 e 21).

Figura 18 –Mangueira em “O”

Fonte: O autor.

Figura 19 – Tubo de Pitot

Fonte: O autor.

Figura 20 – Medindo vazão

Fonte: O autor.

Figura 21 – Retirando ar do sistema

Fonte: O autor.

As inflexões das linhas foram demarcadas no patamar do 5º para o 6º pavimento da Torre Tokyo com a utilização de fitas crepe e transferidores (figuras 22 e 23). Quanto a confecção das inflexões, estas foram feitas com o auxílio de cabos da vida os quais foram amarrados as mangueiras de modo a possibilitar que o sistema e as demais variações do estudo permanecessem estáveis.

Figura 22 – Marcação dos ângulos



Fonte: O autor.

Figura 23 – Marcação dos ângulos



Fonte: O autor.

Com o planejamento estabelecido e todas as condições verificadas, foram realizadas as medições em diferentes condições. Testes de controle com as linhas estendidas (sem dobras) nas pressões de 9 e 11 bar e testes com 11 bar nas mangueiras com inflexões controladas (1 e 2 dobras de 130°, 1 e 2 dobras de 90° e dobras em Z) as quais simulavam restrições de fluxo e possíveis condições da mangueira que simulam o socorro operacional.

Cada teste foi realizado apenas uma vez e os dados coletados foram analisados comparando-se a pressão dinâmica medida na extremidade do esguicho com a pressão de saída no corpo de bomba da viatura, no térreo. O cálculo da perda foi realizado aplicando a equação de Darcy-Weisbach e levando em consideração as inflexões da mangueira. A influência da altura também teve de ser considerada com relação à influência na perda de carga, uma vez que é intrínseca ao plano vertical, aplicando a equação da pressão hidrostática:

$$P = P_0 - \rho gh$$

Onde:

- $P_0 = 9$ bar (pressão inicial);
- $\rho = 1000$ kg/m³ (densidade da água);
- $g = 9,81$ m/s² (gravidade);
- $h = 21,3$ m (altura).

Os valores obtidos foram comparados com cálculos teóricos de coeficientes de perda de carga em mangueiras para verificar a influência das dobras na perda de carga e consequentemente na redução da vazão e pressão em linhas verticais de combate a incêndio.

3.2.1. Universo e amostra

Devido à variabilidade nas configurações de sistemas de combate a incêndio, é inviável testar todas as possibilidades. A simples alteração do ângulo de uma inflexão na mangueira, o tipo de mangueira utilizada, seu material de fabricação ou sua forma de armazenamento, a adição de materiais como divisores ou reduções, o diferencial de elevação, comprimento ou velocidade de fluxo podem modificar significativamente os resultados obtidos nos testes. Tal característica evidencia a natureza não probabilística da amostra utilizada neste estudo, impossibilitando a generalização dos dados levantados para outras configurações de linhas de combate.

Nesse contexto, o universo desta pesquisa é de difícil mensuração devido à diversidade de combinações possíveis. No entanto, a amostra analisada consiste no sistema de combate a incêndio montado no experimento, que inclui:

- a) Uma viatura fornecendo pressão de saída de 9 bar na saída do esguicho;
- b) 4 mangueiras tipo 4 de 2,5 polegadas com redução para 2 mangueiras tipo 4 de 1,5 polegadas;
- c) Condições específicas de inflexão das mangueiras de 1,5 polegadas;
- d) Condições específicas das mangueiras de 1,5 polegadas organizadas em "O";
- e) Medição da pressão dinâmica e vazão em um ponto específico da armação vertical.

Trata-se de uma amostra intencional e experimental, escolhida para simular um cenário representativo de combate a incêndio em edifícios altos.

Como o estudo é experimental, a amostragem não visa representar estatisticamente todas as ocorrências reais, mas sim investigar o comportamento da perda de carga devido às inflexões em condições controladas.

Da escolha, pode-se ainda subdividir a amostra em três grupos. No primeiro sendo agrupados as 2 variáveis utilizadas como controles. No segundo, estão organizadas as 5 variáveis nas linhas de combates a incêndio, e no terceiro as 3 variáveis relacionadas a ligação do sistema 4x2. Todos esses elementos estão caracterizados abaixo e tem como base o artigo de Pillsworth (2007):

1- Controle (figuras 24 e 25):

- a. Sistema controle com saída de pressão a 9 bar no corpo de bomba;
- b. Sistema controle com saída de pressão a 11 bar no corpo de bomba.

2- Teste nas linhas:

- a. Sistema com 1 quina em 90° (figura 26);
- b. Sistema com 2 quinas em 90° (figura 27);
- c. Sistema com 1 quina em 130° (figura 28);
- d. Sistema com 2 quinas em 130°;
- e. Sistema com quinas em “Z” (figura 29).

3- Teste na ligação:

- a. Sistema com 1 quina na ligação;
- b. Sistema com 2 quinas na ligação;
- c. Sistema com 3 quinas na ligação.

Figura 24 – Viatura a 9 bar



Fonte: O autor.

Figura 25 – Viatura a 11 bar

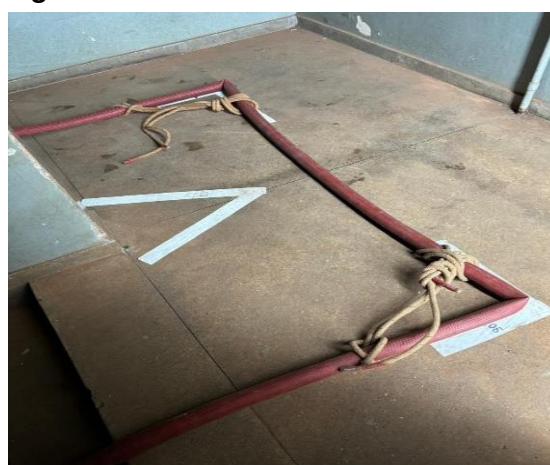


Fonte: O autor.

Figura 26 – Sistema com 1 dobra de 90°



Fonte: O autor.



Fonte: O autor.

Figura 28 – Sistema com 1 dobra de 130°



Fonte: O autor.



Fonte: O autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dados quantitativos

Os dados quantitativos aqui apresentados foram coletados com base no protocolo de testes descrito em detalhes na seção anterior. Para avaliar quais variáveis são mais impactadas com a perda de carga todas elas foram submetidas a mesma carga de saída e a pressão dinâmica e vazão foram aferidas no sexto andar. Os resultados, incluindo pressão de chegada e vazão no sexto andar (21,3 metros), estão sumarizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Perda de pressão e vazão obtida nos testes de armação de linhas verticais

Teste	Pressão de saída (bar)	Pressão de chegada (bar)	Vazão (L/min) (% perda em relação ao controle compensado)	Perda de Carga (bar) (% perda em relação a pressão de saída)
Controle (Sem quinas)	9	7	100 (25,9%)	2 (22,2%)
Controle (Pressão compensada)	11	9	135 (0%)	2 (18,2%)
1 dobra de 90°	11	8	105 (22,2%)	3 (27,3%)
2 dobras de 90°	11	7	85 (37,0%)	4 (36,4%)
1 dobra de 130°	11	7,5	100 (25,9%)	3,5 (31,8%)
2 dobras de 130°	11	6	70 (51,8%)	5 (45,4%)
Dobras em Z	11	3,8	50 (62,9%)	7,2 (65,4%)
1 dobra na ligação	11	7,5	100 (25,9%)	3,5 (31,8%)
2 dobras na ligação	11	7,5	100 (25,9%)	3,5 (31,8%)
3 dobras na ligação	11	7,5	100 (25,9%)	3,5 (31,8%)

Fonte: O autor

Os testes realizados demonstraram de forma clara a perda de carga nas linhas de combate a incêndio e os impactos na perda de pressão e vazão,

considerando tanto o diferencial de elevação quanto a introdução de dobras e quinas no trajeto da linha.

4.2. Discussão

Este estudo analisou empiricamente como as inflexões em linhas de mangueira afetam a perda de carga e consequentemente a eficiência do combate a incêndios em edificações verticais. A pesquisa comparou resultados teóricos e práticos para compreender as perdas de carga, o impacto da altura, das inflexões na mangueira e da consequente redução de pressão e vazão na performance operacional.

Os resultados dos testes realizados nas linhas de combate a incêndio em um contexto de edificação de múltiplos andares demonstram claramente a complexidade da perda de carga em sistemas hidráulicos operacionais. Nesta discussão, analisaremos esses resultados em profundidade, correlacionando-os com a teoria hidráulica e destacando implicações práticas para operações de combate a incêndios.

4.2.1. Estimativa teórica e resultados práticos

Para facilitar o entendimento e, ao mesmo tempo, esclarecer o objetivo específico de comparar as perdas de carga teóricas com as obtidas no experimento, faremos uma breve introdução ao tema enquanto apresentamos os resultados teóricos.

De acordo com Munson, Young e Okiishi (2011) as perdas de carga em sistemas hidráulicos podem ser divididas em dois tipos principais:

a. Perda de Carga Contínua:

Determinada pelo atrito entre o fluido e as paredes internas da mangueira, é proporcional ao comprimento da linha de mangueiras, à rugosidade específica do material, ao diâmetro interno da mangueira, bem como a densidade e o

quadrado da velocidade do fluido. Essa relação é descrita pela equação de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

Onde:

- ΔP = perda de carga (Pa ou N/m², convertido para bar)
- f = fator de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional)
- L = comprimento da mangueira (m)
- D = diâmetro interno da mangueira (m)
- ρ = densidade do fluido (kg/m³), para água $\approx 1000 \text{ kg/m}^3$
- v = velocidade da água na mangueira (m/s)

Desta forma, para calcular a perda de carga e a redução da vazão na linha de combate a incêndio, precisamos considerar os seguintes valores:

- Diâmetros das mangueiras:

$$\text{Mangueira de 2,5"} \rightarrow D_{2,5} = 2,5 \times 0,0254 \text{ m}$$

$$\text{Mangueira de 1,5"} \rightarrow D_{1,5} = 1,5 \times 0,0254 \text{ m}$$

- Comprimento total da linha:

$$\text{Mangueiras 2,5": } 60 \text{ m}$$

$$\text{Mangueiras 1,5": } 30 \text{ m}$$

- Vazão inicial: 135 LPM (deve-se converter para m³/s)

$$Q = \frac{135}{1000} \div 60$$

- Fatores de atrito:

$$\text{Para 2,5": } 0,024$$

$$\text{Para 1,5": } 0,03$$

- Densidade da água:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

- Velocidade da água:
Mangueiras de 2,5": 0,36 m/s
Mangueiras de 1,5": 0,09 m/s

Sendo assim, teoricamente, a perda de carga nas mangueiras no plano horizontal seria de:

Mangueiras 2,5" (60m): perda de 0,057 bar

Mangueiras 1,5" (30m): perda de 0,460 bar

Pressão final sem curvas: 10,48 bar

O que corrobora com os estudos de Burton e Haloran (2007), e com os conceitos de Porto (1998), pois uma vez que elas estão em linha reta e sem dobras, ou seja, montadas de acordo com os critérios de testes estabelecidos na NBR 11861:1998 (ABNT, 1998) e na NFPA 1962:2018 (NFPA,2020), a perda de carga seria distribuída ao longo do comprimento das mangueiras e consequentemente seria mais sutil do que perdas de carga localizadas, sendo de aproximadamente 0,52 bar em toda extensão da linha.

As perdas de carga causadas por conexões de mangueiras (juntas Storz) e reduções são desprezíveis neste caso, pois o comprimento dessas conexões é muito pequeno em comparação ao comprimento total da linha de mangueira de incêndio. Dessa forma, a perda por fricção nessas reduções, embora não seja exatamente zero, é tão insignificante que não impacta a perda de carga teórica como um todo. (Porto, 1998)

O mesmo raciocínio se aplica à vazão, que não sofre impacto significativo, pois, conforme destacado por Munson, Young e Okiishi (2011), a perda por atrito varia inversamente ao diâmetro da mangueira. Dessa forma, as mangueiras de 2,5 polegadas, amplamente utilizadas no sistema 4x2, apresentam perdas por atrito consideravelmente menores, permitindo o fornecimento de um volume maior de água sob a mesma pressão.

b. Perda de Carga Localizada:

Introduzida por elementos como dobras, quinas e transições. Cada singularidade possui um coeficiente de perda (K), que depende do ângulo da dobra e da geometria do trajeto. É a medida que expressa a influência das irregularidades da superfície interna da tubulação no escoamento do fluido, ou seja, é a razão entre a rugosidade absoluta da tubulação e o diâmetro da tubulação. A perda é calculada como: (Munson; Young; Okiishi, 2011).

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D}$$

Onde:

- ε = **rugosidade absoluta** da superfície interna do tubo (em metros ou milímetros).
- D = **diâmetro interno** do tubo (em metros ou milímetros).

Embora a rugosidade absoluta seja uma característica do material da mangueira (borracha), o impacto da dobra na rugosidade efetiva é o que realmente importa, uma vez que o diâmetro das mangueiras é afetado na ocorrência de inflexões. (Munson; Young; Okiishi, 2011)

Desta forma, as inflexões de 130° provocam uma restrição mais severa no fluxo de água, gerando uma turbulência intensa e zonas de recirculação o que eleva a perda de carga local e ocasiona um coeficiente K maior do que para quinas de 90°, explicando as maiores perdas observadas. Nas inflexões de 90° a turbulência gerada ainda seria significativa, mas é menor, o que reduz o impacto da rugosidade interna na perda de carga.

No caso das quinas em "Z", o fluxo é severamente alterado com as múltiplas transições abruptas que levariam a uma perda de 3,72 bar, resultando em uma vazão de 107,7 L/min, o que pode ser insuficiente para operações eficazes e haveria um risco de colapso parcial da mangueira na região afetada caso a pressão fosse compensada pela viatura, uma vez que a sua pressão de trabalho máxima é de 14 kgf de acordo com a NBR 11861. Os valores dos

cálculos teóricos no plano horizontal podem ser observados na tabela 2:

Tabela 2 – Estimativa de pressão e vazão finais no plano horizontal

Teste	Pressão de saída (bar)	Pressão final (bar)	Vazão final (L/min)
Controle (sem curvas)	11	10,48	130,4
1 dobra de 90°	11	9,98	126,6
2 dobras de 90°	11	9,48	122,7
1 dobra de 130°	11	9,68	124,7
2 dobras de 130°	11	8,88	118,2
Dobras em Z	11	7,28	107,7

Fonte: O autor

Todavia, ao acrescentarmos o fator de diferencial de elevação, deve-se relacionar os cálculos a pressão hidrostática:

$$\Delta P = \rho gh$$

Onde:

- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ (densidade da água)
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (aceleração da gravidade)
- $h = 21,3 \text{ m}$ (nova altura considerada)

Agora, calculamos a perda de pressão:

$$\Delta P = (1000) \times (9,81) \times (21,3)$$

$$\Delta P = 208,653 \text{ Pa} = 2,09 \text{ bar}$$

Desta forma a perda de carga relacionada apenas a elevação, em teoria seria de 2,09 bar. Ao estipularmos a perda de carga relacionada ao diferencial de elevação somada aos cálculos de perda por atrito de Darcy-Weisbach e as

perdas localizadas por singularidades, teremos os seguintes resultados hipotéticos para cada cenário no plano vertical, de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 – Estimativa de pressão e vazão finais no plano vertical (21,3 metros de altura)

Teste	Pressão de saída (bar)	Pressão final (bar)	Vazão final (L/min)
Controle (sem curvas)	11	8,39	110,5
1 dobra de 90°	11	8,09	108,4
2 dobras de 90°	11	7,39	105,6
1 dobra de 130°	11	7,59	106,7
2 dobras de 130°	11	6,79	102,7
Dobras em Z	11	5,19	94,5

Fonte: O autor

Como neste caso não temos embasamento de outros estudos que corroboram com os resultados dos cálculos, faremos a comparação com o nosso estudo na tabela 4.

Tabela 4 – Perda de pressão e vazão estimada x Perda de pressão e vazão observada (21,3 metros de altura)

Teste	Pressão final teórica (bar)	Pressão final observada (bar)	Vazão final teórica (L/min)	Vazão final Observada (L/min)
Controle (sem quinas)	8,39	7	110,5	100
Controle (pressão compensada)	9	9	135	135
1 dobra de 90°	8,09	8	108,4	105
2 dobras de 90°	7,39	7	105,6	85
1 dobra de 130°	7,59	7,5	106,7	100
2 dobras de 130°	6,79	6	102,7	70
Dobras em Z	5,19	3,8	94,5	50

Continua...

1 dobra na Ligação	7,59	7,5	106,7	100
2 dobras na ligação	7,59	7,5	106,7	100
3 dobras na ligação	7,59	7,5	106,7	100

Fonte: O autor

Ao analisarmos as diferenças entre os cálculos teóricos e os resultados práticos, percebe-se que as maiores diferenças ocorreram quando havia múltiplas dobras seguidas nas mangueiras de 1,5 polegadas (particularmente as inflexões em “Z” e as inflexões de 130° e 90°) e principalmente relacionadas à vazão. A discrepância entre os valores teóricos e práticos pode ser explicada por diversos fatores físicos, operacionais e técnicos.

Os cálculos teóricos consideram coeficientes ideais de perda de carga, mas na prática, as mangueiras podem ter desgastes, dobras pré-existentes e deformações que aumentam a resistência ao fluxo, isso pode ter criado maior contrapressão e reduzido a vazão efetiva. Além disso, o acúmulo de sujeira ou resíduos internos devido a uma má manutenção e armazenamento inadequados podem aumentar o atrito e reduzir a vazão.

Pode ocorrer também um comportamento de compensação da bomba de pressão uma vez que as viaturas de combate possuem sistemas de autocompensação, que tentam manter a vazão e a pressão ajustando a rotação da bomba. No entanto, em um sistema com restrições severas (como múltiplas dobras), a bomba pode ter reduzido a vazão para evitar cavitação ou superaquecimento.

Além disso, como a bomba estava ajustada para trabalhar em pressão constante, pode ter sacrificado a vazão para manter a pressão no restante do sistema. Isso explica a queda drástica de 94,5 LPM teóricos para apenas 50 LPM na prática, juntamente com a redução da pressão final de 5,19 bar para 3,8 bar.

4.2.2. Perda de carga por elevação

Este estudo analisou a perda de carga devido à elevação da linha de mangueira. Conforme previsto na física dos fluidos, quanto maior a altura, menor

a pressão de chegada ao esguicho. Os testes confirmaram essa relação, destacando a necessidade de ajustes na pressão da bomba ou na escolha do diâmetro adequado da mangueira para compensar essa perda.

No primeiro teste, com pressão de saída de 9 bar na viatura, observou-se uma perda de aproximadamente 2 bar ao longo de 21,3 metros de elevação (6 andares). Esse resultado está de acordo com os cálculos teóricos baseados na fórmula da pressão hidrostática ($\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$), onde a densidade da água multiplicada pela aceleração gravitacional e a altura resultam em uma perda estimada de 2,09 bar. Esse dado reforça que, em operações verticais, a altura deve ser considerada uma variável crítica para o dimensionamento da pressão.

No entanto, devido à ausência de curvas ou obstruções significativas, essa configuração resultou em uma das menores perdas de carga entre os testes realizados, conforme demonstrado na Tabela 1. Esse resultado pode ser atribuído à inexistência de inflexões na mangueira, as quais, de acordo com Porto (1998) e Munson, Young e Okiishi (2011) poderiam gerar perdas de carga localizadas e ocasionariam grandes turbulências no fluxo da água.

No segundo teste, a pressão de saída foi elevada para 11 bar, resultando em 9 bar no sexto andar. Essa compensação garantiu uma vazão de 135 L/min, adequada para jatos atomizados. A estratégia de compensação da pressão mostrou-se fundamental para manter o desempenho ideal do sistema, especialmente em alturas superiores a 10 metros, onde as perdas são mais significativas. Além disso, essa configuração apresentou a menor perda percentual de carga (18,2%) e maior eficiência no fluxo de água quando comparado aos outros testes, vide tabela 1. (CBMDF, 2009)

Em resumo, a pressão caiu cerca de 2 bar apenas devido à altura, sem considerar perdas por atrito ou inflexões. Isso confirma que a elevação é um fator crítico no abastecimento de água para combate a incêndios em edifícios altos, exigindo estratégias como o reforço na pressurização do sistema para garantir a eficiência operacional. (Burton; Halloran, 2007)

4.2.3. Impacto de inflexões na perda de carga

A análise dos testes realizados e os resultados apresentados na Tabela 1 evidenciam o impacto significativo das inflexões nas mangueiras sobre a perda de carga, fenômeno que pode comprometer a eficiência do sistema hidráulico.

Durante os testes de armação de linhas verticais, observou-se que o aumento do número de dobras e quinas resultou em perdas substanciais de pressão e vazão. Esses resultados corroboram estudos prévios, como os de Rowett Jr. (2018), que apontam perdas consideráveis na vazão devido às inflexões nas mangueiras, evidenciando a relação entre a turbulência gerada e as perdas no sistema.

Nos testes, a configuração de controle sem quinas (sem inflexões) apresentou uma pressão de saída de 9 bar e de chegada de 7 bar, com uma perda de carga de 2 bar (22,2%) e uma vazão de 100 L/min, o que refletiu uma perda de 25,9% em relação ao controle compensado. Ao compensar a pressão, observou-se uma vazão de 135 L/min e uma perda de carga de 2 bar, o que demonstrou que, sem inflexões ou obstruções, o sistema operou com maior eficiência. Esses resultados serviram como referência para os demais testes.

A introdução de uma dobra de 90° aumentou a perda de pressão para 3 bar (27,3%) e reduziu a vazão para 105 L/min (22,2% de perda). Com duas dobras de 90°, a perda de pressão foi de 4 bar (36,4%) e a vazão caiu para 85 L/min (37,0% de perda), refletindo a intensificação das perdas conforme o número de dobras aumentou. A relação entre as dobras e as perdas de carga pode ser explicada por uma série de fatores, sendo a turbulência gerada nas mudanças de direção do fluxo o principal responsável por esse aumento no coeficiente de perda (K). Em particular, a presença de inflexões abruptas altera a dinâmica do fluxo, criando regiões de alta turbulência e aumentando o atrito nas superfícies internas da mangueira, o que reduz a pressão e a vazão no ponto de ataque. (Porto, 1998)

Durante os experimentos, observamos que quinas acentuadas e dobras em ângulos agudos resultaram em perdas mais significativas de carga, uma vez

que o menor diâmetro aumenta o atrito nas superfícies internas da mangueira, provocando dissipação de energia e redução da eficiência do sistema. (Pillsworth, 2007)

Em particular, as dobras de 130° tiveram um impacto ainda mais acentuado: uma única dobra gerou uma perda de carga de 3,5 bar (31,8%) e uma vazão reduzida para 100 L/min (25,9%), enquanto duas dobras de 130° elevaram a perda de carga para 5 bar (45,4%) e reduziram a vazão para 70 L/min (51,8%). Esses resultados evidenciam a forte influência das inflexões no desempenho hidráulico e são compatíveis com os estudos de Rowett Jr. (2018), que identificou perdas de aproximadamente 28% na vazão para uma inflexão de 130° e até 46% para duas inflexões desse tipo, corroborando a relação direta entre o aumento das inflexões e a intensificação das perdas de carga.

Esses achados destacam a importância de evitar trajetos com ângulos fechados ou, quando inevitável, adotar estratégias para compensação de pressão. No entanto, essa compensação deve ser feita com cautela, pois, em cenários onde a perda de carga foi extremamente elevada, como nos casos de duas dobras com angulações de 130° e 90°, o aumento da pressão de saída pode levar à sobrecarga das mangueiras, ultrapassando sua capacidade operacional e comprometendo a segurança da operação. Conforme estabelecido pela ABNT (1998), a integridade dos equipamentos deve ser preservada, evitando esforços excessivos que possam resultar em falhas no sistema.

O teste com quinas em “Z” evidenciou os piores resultados, com em uma perda de pressão de 7,2 bar (65,4%) e uma vazão reduzida para 50 L/min (62,9% de perda). Essa configuração gerou perdas cumulativas, mostrando a alta turbulência e resistência ao fluxo devido à combinação de múltiplas mudanças abruptas de direção. A vazão do sistema é um parâmetro crítico para a eficácia do combate a incêndios, influenciando diretamente a capacidade de supressão das chamas, segundo Mcdonough (2018). Estes resultados demonstram que trajetos otimizados e a compensação adequada da pressão de saída são essenciais para garantir uma vazão suficiente para extinguir incêndios com eficiência. Além disso, a escolha de esguichos e sistemas adequados é fundamental para maximizar a performance do sistema.

Os resultados obtidos em nosso estudo estão alinhados com os achados de Brass Elckhart, que, em sua pesquisa, também identificou perdas expressivas em mangueiras dispostas em “Z” (redução de 53% na vazão). Segundo Brass Elckhart (2019), esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que essa configuração não forma apenas uma dobra, mas sim duas quinas consecutivas, aumentando a resistência ao fluxo. Ele argumenta que, dependendo das condições da mangueira, essa disposição pode criar um leve aumento no diâmetro interno em alguns pontos, reduzindo momentaneamente o atrito. No entanto, a perda de carga total ainda é significativa devido à turbulência gerada e ao desvio abrupto do fluxo. (Brass, 2019)

No contexto operacional, onde as condições variam constantemente e a segurança da equipe é prioridade, fica evidente a necessidade de evitar esse tipo de geometria sempre que possível. A adoção de trajetos mais lineares e com menos inflexões contribui para um fluxo mais eficiente e seguro, minimizando riscos e otimizando o desempenho do sistema hidráulico. Entretanto, a utilização protocolar dos fardos de 1 ½ polegada em “Z” e “O” em locais apertados pode favorecer a formação deste tipo de dobras e vir a prejudicar o combate e principalmente colocar a segurança da guarnição em risco. (Dodson, 2005)

Por outro lado, os testes com mangueiras de 2,5 polegadas, apesar do aumento do número de dobras, não apresentaram variação na perda de vazão, mantendo a perda de carga constante em 3,5 bar (31,8%). Este comportamento sugere que as perdas de carga adicionais geradas pelas dobras foram suficientemente compensadas pela maior capacidade de fluxo das mangueiras de diâmetro maior.

Fisicamente, a perda de carga em mangueiras é influenciada tanto pelo comprimento quanto pelas singularidades. No entanto, o maior diâmetro interno reduz significativamente a resistência ao fluxo, o que pode explicar a manutenção da vazão e pressão em valores estáveis (Munson; Young; Okiishi, 2011). Este resultado destaca a importância de selecionar diâmetros adequados para trajetos que possam incluir singularidades inevitáveis, uma vez que

mangueiras mais largas oferecem maior margem de segurança contra perdas localizadas. (Porto, 1998)

Esses resultados são consistentes com a equação de Darcy-Weisbach, que descreve a perda de carga em função da turbulência e do atrito causados pelas inflexões e reforçam a hipótese de que as inflexões influenciam significativamente a eficiência do combate a incêndios. Sendo assim, A minimização dessas inflexões e a escolha de mangueiras com diâmetros apropriados e maior flexibilidade são essenciais para otimizar o desempenho hidráulico e reduzir perdas significativas de energia.

4.2.4. Implicações práticas

A partir dos dados deste estudo, buscamos elaborar um Boletim de Informação Técnico-Profissional voltado para a minimização da perda de carga em sistemas hidráulicos verticais representa um avanço significativo na capacitação dos bombeiros, permitindo a disseminação de boas práticas operacionais. Esse material deve abordar, de forma objetiva e aplicada, os principais fatores que influenciam a perda de carga, como inflexões, diâmetro das mangueiras, pressão e vazão, além de apresentar diretrizes para otimizar o emprego dos equipamentos em diferentes cenários de combate a incêndios.

Integrado a um programa de ensino e treinamento contínuo, o boletim contribuirá para padronizar procedimentos, reforçar a segurança das equipes e melhorar a eficiência no uso dos recursos hídricos, garantindo um abastecimento mais estável e eficaz durante as operações.

Para reduzir a perda de carga, algumas estratégias técnicas e procedimentos operacionais devem ser adotados. Entre elas, destaca-se a utilização de mangueiras de maior diâmetro sempre que possível, reduzindo a resistência ao fluxo. Além disso, é fundamental minimizar inflexões, evitando curvas fechadas e dobras excessivas, que aumentam a turbulência e o atrito interno.

A disposição das linhas deve priorizar trajetos mais retos, com a correta ancoragem das mangueiras para evitar dobras em "Z" ou ângulos superiores a

90°. O controle adequado da pressão de bombeamento também é essencial para compensar perdas e manter uma vazão eficiente, garantindo que a água chegue ao ponto de ataque com pressão suficiente. Outro ponto crucial é a manutenção periódica das mangueiras, uma vez que o desgaste interno e a rugosidade podem influenciar significativamente na perda de carga. Desta forma tanto os cuidados pós utilização são importantes como principalmente o seu armazenamento, guardar e as mangueiras de maneira retorcida e sem nenhum cuidado pode ocasionar torções em sua trama interna e favorecer a perda de carga em operações reais. (CBMDF, 2009)

A capacitação contínua das equipes por meio de simulações e treinamentos práticos assegura que os bombeiros estejam preparados para aplicar essas técnicas no ambiente operacional, aumentando a eficiência do combate a incêndios e a segurança das guarnições.

4.3. Limitações da pesquisa

Apesar das contribuições do presente trabalho, este apresenta também algumas limitações. A temática possui poucos estudos publicados, e a ausência de bancos de dados acerca do universo da pesquisa também se revelou como um fator limitante. Ademais, a amostra foi acessada por conveniência, o que implica que não é necessariamente representativa do todo conforme apontado por Richardson et al. (2012). Dessa forma, generalizar os resultados para o universo do combate a incêndio pode ser imprudente, uma vez que a amostra pode não refletir fielmente a composição da totalidade.

Além disso, a variabilidade das condições estruturais dos edifícios, como o comprimento e o posicionamento de escadas, bem como a altura não padronizada dos andares, pode impactar significativamente a perda de carga em situações reais. Da mesma forma, a diversidade de sistemas empregados no combate a incêndios, como diferentes tipos de bombas, mangueiras e esguichos, interfere diretamente na perda de carga, tornando desafiadora a padronização dos dados obtidos.

Outro aspecto relevante é que os testes foram realizados apenas uma vez para cada configuração, sem a possibilidade de replicação em múltiplos cenários. Isso pode limitar a confiabilidade estatística dos resultados e dificultar a identificação de padrões consistentes. Além disso, a perda de carga pode ser influenciada por fatores como desgaste das mangueiras, presença de dobras e tipo de conexões utilizadas na linha, variáveis que mudam conforme a ocorrência e a rotina operacional. Dessa forma, os dados obtidos podem não refletir um padrão fixo aplicável a todas as operações de combate a incêndios.

A técnica de combate empregada também representa uma limitação importante, pois a forma como a equipe operou a linha de mangueira pode ter influenciado a perda de carga. O uso de jatos atomizados, a variação no posicionamento da mangueira e as frequentes aberturas e fechamentos do esguicho podem ter gerado flutuações nos dados registrados.

Por fim, a precisão dos equipamentos de medição utilizados pode ter sido afetada por fatores externos, como vibração ou desgaste ao longo do tempo, o que pode introduzir pequenos desvios nos resultados. Apesar dessas limitações, o estudo oferece contribuições relevantes para a compreensão da perda de carga em linhas de mangueiras, fornecendo informações que podem auxiliar na otimização das técnicas operacionais e no aprimoramento da eficiência no combate a incêndios.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo objetivou analisar a influência das inflexões na perda de carga em linhas de mangueiras no combate a incêndios verticais, essencial para a eficiência operacional e segurança das equipes de bombeiros. Seus objetivos específicos incluíram compreender, via literatura e cálculos, o impacto das inflexões no desempenho hidráulico, avaliar o efeito da elevação, analisar a influência de dobras na vazão e pressão, e propor estratégias para reduzir perdas, incluindo a elaboração de um BITP.

A pesquisa também destacou a importância de práticas operacionais que minimizem a ocorrência de dobras, como o correto armazenamento e manuseio das mangueiras, bem como a capacitação das equipes de bombeiros para identificar e corrigir situações que possam gerar perdas de carga.

O objetivo principal deste estudo foi alcançado ao demonstrar os efeitos das inflexões na perda de carga em linhas de combate a incêndio vertical. Os resultados obtidos corroboram a hipótese inicial de que as inflexões nas mangueiras geram perdas de carga significativas, influenciadas por fatores como o ângulo de dobra, o diâmetro interno da mangueira, o material de fabricação, o diferencial de elevação e a pressão operacional. Em particular, foi observado que dobras acentuadas, com ângulos superiores a 90 graus, resultam em turbulências mais intensas no fluxo, aumentando a resistência ao escoamento e, consequentemente, a perda de carga.

Além disso, a análise comparativa entre diferentes tipos de mangueiras revelou que aquelas fabricadas com diâmetros menores são mais suscetíveis aos efeitos negativos das dobras, o que pode comprometer a eficácia do combate a incêndios em edificações verticais. Assim como o diferencial de elevação apresenta um papel crítico na perda de carga, devendo sempre ser considerada a regra de elevar um bar de pressão a cada 10 metros de altura.

Os resultados obtidos fornecem uma base técnica sólida para aprimorar as estratégias operacionais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, podendo também contribuir para a padronização e otimização das práticas adotadas por outros Corpos de Bombeiros no Brasil.

Apesar dos avanços alcançados, é importante reconhecer as limitações do estudo. A análise foi realizada em condições controladas, o que pode não refletir integralmente as variáveis presentes em situações reais de incêndio, como mudanças de temperatura, presença de resíduos nas mangueiras e variações na pressão de abastecimento.

Assim, recomenda-se que futuras pesquisas ampliem o escopo para incluir ensaios em campo com outros tipos de sistemas e materiais, bem como com medidores digitais e simulações computacionais mais complexas, que permitam uma compreensão mais abrangente do fenômeno.

Por fim, este trabalho reforça a relevância de estudos interdisciplinares que integrem conhecimentos de hidráulica, engenharia de materiais e segurança contra incêndios. A mitigação das perdas de carga causadas por dobras nas mangueiras não apenas aprimora a eficiência das operações de combate a incêndio, mas também contribui para a preservação de vidas e a redução de danos materiais. Diante disso, foi elaborado um Boletim de Informação Técnico-Profissional, visando bombeiros militares e profissionais do ramo, de modo que os resultados e recomendações apresentados sirvam como base para novas investigações e para o desenvolvimento de soluções práticas que aprimorem a segurança e a eficácia no enfrentamento de incêndios em edificações verticais.

REFERÊNCIAS

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

BRASIL. **Lei nº 8.255, de 20 de novembro de 1991.** Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8255.htm. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASS, Elckhart. **How Kinks Affect Your Fire Flow System** - Brass Tacks & Hard Facts. YouTube, 23 de abr. de 2017. 6min50s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mrtos-jPQa0>. Acesso em: 15 de janeiro de 2025.

BURTON, Jim & HALLORAN, Keith. **Basic Hydraulics - An introduction tp fire stream practices.** USDA, 2007. Disponível em: https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5413472.pdf. Acesso em: 18 de jan, 2024.

CASSIOLATO, César. Medição de pressão, características, tecnologias e tendências. **INSTRUMATIC**, 2005. Disponível em: <https://www.instrumatic.com.br/artigo/medicao-de-pressao-caracteristicas-tecnologias-e-tendencias>. Acesso em: 25 de jan. 2024.

CODEPLAN, Companhia de Planejamento do Distrito Federal. **Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – PDAD 2024.** Brasília, 2025. Disponível em: https://pdad.ipe.df.gov.br/files/reports/Relat%C3%B3rio_-_DF_-_Geral_-_160325.pdf. Acesso: mar. 2025.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Planejamento Estratégico do CBMDF para o período de 2025 a 2030.** Brasília, 2025a. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/lai/acoes-e-programas/planejamento-estrategico-do-cbmdf/>. Acesso em: 23 jan. 2025.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio:** técnicas de combate a incêndio. 2 ed. Brasília, 2009.

DERMEK, Milan. **Pressure losses in a hose line during water transfer to fires.** Key engineering materials, v. 755, p. 268-273, 2017.

DODSON, D. W. (2005). **"Fire Department Incident Safety Officer"**. Delmar Cengage Learning.

FIRE ENGINEERING STAFF. **FIRE ENGINEERING**, 2014. Hose failure in fatal Boston fire raises concerns. Disponível em: <https://www.fireengineering.com/firefighting/hose-failure-in-fatal-boston-fire-raises-concerns/#gref>. Acesso em: 26 jan. 2024

FIRE ENGINEERING STAFF. **FIRE ENGINEERING**, 2012. Water management officer taking charge of water. Disponível em: <https://www.fireengineering.com/firefighting/water-management-officer-taking-charge-of-the-water/>. Acesso em: 03 jun. 2024

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GRIMWOOD, P. Euro Firefighter 2: **Firefighting Tactics and Fire Engineer's Handbook**. ed. 2ª, West Yorkshire: D&M Heritage Press, 2017. 25

LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; DA NÓBREGA, M. T. **Produção e transporte da carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte**. Boletim de Geografia, v. 28, n. 1, p. 58, 2010.

MCDONOUGH, J. **International Exchange: Training on the “Non-Negotiables”**. 1 mar. 2019, Disponível em: <http://bit.ly/2ZNEiEL>. Acessado em: 04 jun. 2024.

MCDONOUGH, J. **The Science of Water Extinguishment**. 1 mar. 2018, Disponível em: <http://bit.ly/3kkxYOq>. Acessado em: 04 jun. 2024.

MUNSON, Bruce Roy; YOUNG, Donald F.; OKIISHI, Theodore Hisao. **Fundamentals of fluid mechanics**. v. 10, n. 42, 2011.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 1700: **Guide for Structural Fire Fighting**. ed. 2021, Massachusetts: NFPA, 2021. Disponível em: <http://bit.ly/2NAwvYk>. Acesso em: 22 jan. 2024.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 1962: **Standard for the Inspection, Care, and Use of Fire Hose, Couplings, and Nozzles and the Service Testing of Fire Hose**. ed. 2018, Massachusetts: NFPA, 2020. Disponível em: <http://bit.ly/2NAwvYk>. Acesso em: 22 jan. 2024.

O QUE É UM MEDIDOR DE PRESSÃO ESTÁTICA E DINÂMICA, COMO ELE FUNCIONA?. **Mecânica reunida**, 2023. Disponível em: <https://www.mecanicareunida.com.br/o-que-e-um-medidor-de-pressao-estatica-e-dinamica-como-ele-funciona/>. Acesso em: 24 de jan. 2024.

PILLSWORTH, Tim et al. **HOW KINKS AFFECT YOUR FIRE ATTACK SYSTEM**-Testing with different nozzles examines the effects various kinks have on a hoseline. Fire Engineering, v. 160, n. 10, p. 87-92, 2007.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica básica**. São Carlos: EESC/USP. 1998

PROVDANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2013.

RAMALHO, N. E. T. **Os Fundamentos da Física**. 7^a. ed. [S.l.]: Moderna, v. III, 2012.

RICHARDSON, Roberto Jarry et al. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. 14. reimpr. São Paulo: Atlas, 2012.

ROWETT JR., Anthony. Know the hose. **FIRE HOUSE**, 2018. Disponível em: <https://www.firehouse.com/operations-training/hoselines-water-appliances/article/20997083/hoselines-on-the-fireground>. Acesso em: 26 de jan. 2024. 26

APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

1. **Aluno:** Cadete BM/2 **Rafael** Victor Batista **Gondim**.
2. **Nome:** Boletim de Informação Técnico-Profissional (BITP) sobre inflexões em linhas verticais de combate a incêndio: impacto na perda de carga e desempenho operacional.
3. **Descrição:** Este produto, além de uma fundamentação teórica sólida e um protocolo de teste dinâmico adaptado à realidade operacional do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), apresenta os resultados de experimentos realizados em um sistema 4x2 com mangueiras de 2,5 e 1,5 polegadas, submetidas a diferentes configurações de inflexões (90°, 130° e em "Z") e elevação de 21,3 metros. O trabalho foi conduzido no Centro de Treinamento Operacional (CETOP) do CBMDF, utilizando como amostra seis mangueiras tipo 4 atualmente empregadas nas atividades de combate a incêndio. O foco é mas explorar os impactos hidráulicos das inflexões, subsidiando a elaboração deste Boletim de Informação Técnico-Profissional (BITP). O documento apresenta características relacionadas à eficiência hidráulica e segurança operacional, oferecendo diretrizes práticas para otimizar o desempenho em operações verticais.
4. **Finalidade:** Avaliar quais configurações de mangueiras e ajustes operacionais, dentre os testados, são mais eficientes para minimizar a perda de carga e garantir a segurança no combate a incêndios em altura pelo CBMDF.
5. **A quem se destina:** Militares do CBMDF envolvidos em atividades de combate a incêndio.
6. **Funcionalidades:** Não se aplica.
7. **Especificações técnicas:**

Material textual: Com foco na proposta da Portaria nº 21 de 28 de maio de 2002 do CBMDF publicada no Boletim Geral nº 101 de 29 de maio de 2002 que cria o Boletim de Informação Técnico-Profissional (CBMDF, 2002), este produto foi

confeccionado no processador de texto Word, desenvolvido pela Microsoft®. Possui 14 páginas que podem ser divulgadas na forma impressa ou digital. Para a versão digital está salvo no formato .pdf (Portable Document Format). Para impressão, é desejável que seja em papel sulfite de tamanho A4, nas medidas 297x210mm, sem comprometimento da qualidade das imagens.

8. **Instruções de uso:** Sugere-se que o conteúdo deste boletim, além da divulgação nos meios de comunicação internos do CBMDF, esteja disponível a todos os interessados por meio da intranet da corporação.

9. **Condições de conservação, manutenção, armazenamento:** Não se aplica.



BOLETIM DE INFORMAÇÃO TÉCNICO-PROFISSIONAL

Nº XX/2025-CETOP

ÁREA: COMBATE A INCÊNDIO

DATA: MAIO/2025

ASSUNTO: INFLEXÕES EM LINHAS VERTICAIS DE COMBATE A INCÊNDIO: IMPACTO NA PERDA DE CARGA E DESEMPENHO OPERACIONAL

OBJETIVO

Este Boletim Informativo Técnico-Profissional (BITP) visa orientar as equipes do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) sobre a minimização da perda de carga em linhas verticais de combate a incêndio, destacando os impactos das inflexões nas mangueiras com base no estudo "Inflexões em Linhas Verticais de Combate a Incêndio: Impacto na Perda de Carga e Desempenho Operacional". O objetivo é fornecer diretrizes práticas para otimizar o desempenho hidráulico, melhorar a eficiência operacional e assegurar a segurança das guarnições em operações em edificações verticais.

INTRODUÇÃO

O combate a incêndios em edificações verticais é uma das operações mais desafiadoras enfrentadas pelo CBMDF, especialmente no contexto urbano do Distrito Federal, onde o crescimento de edifícios residenciais de grande porte tem se intensificado nas últimas décadas (Codeplan, 2024). Nessas situações, a eficiência do sistema de abastecimento de água por meio de mangueiras é crucial, pois a água constitui o principal agente extintor. Contudo, a presença de inflexões nas mangueiras, causadas por obstáculos estruturais, mudanças de direção ou manuseio inadequado, compromete o desempenho hidráulico, resultando em perdas de carga que reduzem a pressão e a vazão disponíveis no esguicho, impactando diretamente a eficácia do combate ao fogo.

A perda de carga, definida como a redução de energia hidráulica ao longo do sistema devido a atrito, elevação e alterações no fluxo, é um fenômeno bem documentado na hidráulica, mas sua análise específica em operações verticais com foco nas inflexões permanece limitada

Em cenários verticais, a gravidade impõe uma resistência adicional ao escoamento, exigindo ajustes técnicos para manter a eficiência (Rowett Jr, 2018). Este BITP fundamenta-se em uma pesquisa de campo e embasamento técnico, buscando preencher essa lacuna e oferecer soluções práticas que possam ser incorporadas às operações e treinamentos do CBMDF, alinhando-se às boas práticas internacionais.

A relevância deste estudo é multifacetada, contribuindo institucionalmente para o aprimoramento das operações do CBMDF, em conformidade com a Lei 8.255/1991, que estabelece a responsabilidade da corporação por investigações técnico-científicas (Brasil, 1991). Socialmente, promove a segurança da população ao reduzir riscos de perdas humanas e materiais, enquanto, no âmbito científico, avança o conhecimento sobre hidráulica aplicada à segurança contra incêndios, abordando especificamente o impacto das inflexões (Fire Engineering, 2012). O BITP proposto servirá como ferramenta pedagógica, apoiando a padronização de procedimentos conforme o Plano Estratégico do CBMDF (2025).

DESENVOLVIMENTO

O combate a incêndios em edificações verticais depende criticamente da eficiência do sistema hidráulico, onde a perda de carga é um fator determinante para o sucesso operacional. A perda de carga consiste na redução de pressão ao longo das mangueiras, causada por atrito interno, elevação e, sobretudo, inflexões, definidas como curvaturas acentuadas que geram turbulências e obstruções no fluxo de água (Pillsworth, 2007). Esse fenômeno é calculado pela equação de Darcy-Weisbach, que considera variáveis como diâmetro da mangueira, comprimento, rugosidade interna e velocidade do fluido, sendo agravado por singularidades como dobras e quinas.

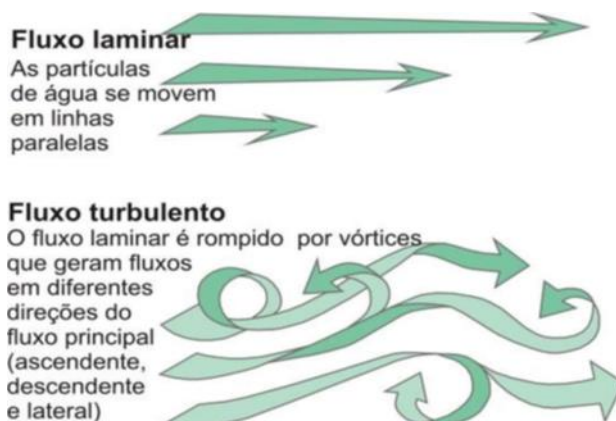
$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

Onde:

- ΔP = perda de carga (Pa ou N/m², convertido para bar)
- f = fator de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional)
- L = comprimento da mangueira (m)
- D = diâmetro interno da mangueira (m)
- ρ = densidade do fluido (kg/m³), para água $\approx 1000 \text{ kg/m}^3$
- v = velocidade da água na mangueira (m/s)

A elevação, inerente a operações verticais, contribui com uma perda aproximada de 1 bar a cada 10 metros de altura, conforme a equação da pressão hidrostática ($\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$) (Ramalho, 2012). Inflexões, por outro lado, amplificam essa perda, com ângulos fechados (ex.: 130°) e configurações complexas (ex.: em "Z") gerando turbulências intensas que podem reduzir a vazão em até 30% por dobra isolada (Figura 1).

Figura 1 – Fluxo laminar e fluxo turbulento



Fonte: Leli, I. T.; Stevaux, J. C.; Da Nóbrega, M. T. (2010)

A integridade das mangueiras também é afetada, aumentando o risco de danos ou vazamentos (ABNT, 1998). Assim, estratégias como o uso de mangueiras de maior diâmetro (ex.: 2,5 polegadas), trajetos lineares e ajustes de pressão são essenciais para mitigar esses efeitos.

A capacitação das equipes é igualmente vital, pois a identificação e correção de inflexões durante o combate requer treinamento contínuo. Este BITP propõe diretrizes práticas baseadas em experimentos controlados, enfatizando manutenção adequada e armazenamento correto das mangueiras para evitar danos que elevem a perda de carga (CBMDF, 2009). Esses conceitos são fundamentais para assegurar um abastecimento eficiente e seguro, alinhando-se às estratégias internacionais de McDonough (2019), que priorizam o controle de fluxo e a aplicação precisa de água.

METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem de pesquisa aplicada, classificada como descritiva e quantitativa, com o propósito de gerar conhecimentos práticos para abordar o problema da perda de carga devido às inflexões em linhas verticais de combate a incêndio no CBMDF (Provdanov, 2013; Gil, 2022). A pesquisa combinou uma revisão bibliográfica técnica e uma pesquisa de campo experimental, realizada no Centro de Treinamento Operacional (CETOP) do CBMDF, utilizando um laboratório controlado para simular condições operacionais reais. Essa metodologia foi estruturada para garantir sistematicidade, controle de variáveis e reprodutibilidade, alinhando-se aos objetivos de quantificar os impactos das inflexões e propor soluções operacionais.

A fase inicial envolveu uma pesquisa bibliográfica para identificar normativas e estudos relevantes, incluindo a NBR 11861:1998 (ABNT, 1998), a NFPA 1962:2018 (NFPA, 2020), o Manual de Combate a Incêndio do CBMDF (2009) e o trabalho de Pillsworth (2007) sobre inflexões em mangueiras. Esses documentos orientaram a definição dos parâmetros experimentais, destacando a necessidade de adaptar técnicas existentes devido à ausência de estudos específicos sobre perda de carga por inflexões em planos verticais. A pesquisa de campo foi conduzida no CETOP, com a montagem de um sistema 4x2 no pátio entre as torres de treinamento, utilizando um ABT Pierce como fonte de pressão de água.

O experimento utilizou seis mangueiras tipo 4, fabricadas conforme a NBR 11861:1998, com reforço têxtil de poliéster, revestimento externo de PVC e borracha nitrílica, e tubo interno de borracha sintética, na cor vermelha, equipadas com uniões storz em latão. Quatro mangueiras de 65 mm (2,5 polegadas) formaram a seção inicial, e duas de 40 mm (1,5 polegada) a seção final, todas com 15 metros de comprimento e pressão de trabalho de 14 kgf/cm².

Os acessórios incluíram duas chaves de mangueira, uma redução de 2,5" para 1,5" em latão, esguichos reguláveis AWG e agulheta, e uma caixa em MDF (0,25 cm de altura por 120 cm de comprimento) com orifícios de 10 cm x 10 cm para passagem da mangueira de 1,5", reforçada com quatro mãos francesas para suportar a pressão (figura 2).

Figura 2 –Mangueira em “O”



Fonte: O autor.

Equipamentos de medição compreenderam um medidor de pressão do corpo de bomba, um aparelho MR. 751 para pressão estática e dinâmica, e um tubo de Pitot para vazão, todos calibrados previamente no plano horizontal (figura 3).

Figura 3 – Medidores e acessórios



Fonte: O autor.

A montagem do sistema 4x2 foi realizada na Torre Tokyo, ajustando a altura para 21,3 metros, simulando o uso de um esguicho no sexto andar. A medição da altura foi feita com um barbante esticado do solo ao ponto desejado, conferido com trena. As mangueiras de 2,5" foram conectadas à viatura, com pressão inicial ajustada a 9 bar e subsequentemente a 11 bar, utilizando a redução para transicionar às mangueiras de 1,5". A caixa em MDF acomodou a mangueira de 1,5" em formato "O" para estabilizar o trajeto, evitando quinas ou inflexões desnecessárias. A última mangueira de 15 metros foi dividida em quatro seções de 3,75 metros, com a extremidade elevada ao sexto andar, onde o medidor de pressão e os esguichos foram instalados alternadamente (AWG para pressão dinâmica e agulheta para vazão).

Os testes englobaram configurações de controle (sem dobras, a 9 e 11 bar) e experimentos com inflexões controladas (1 e 2 dobras de 90° e 130°, e em "Z"), demarcadas com fitas crepe e transferidores entre o 5º e 6º pavimentos, utilizando cabos de vida para manter a estabilidade. Cada teste foi executado uma vez, medindo a pressão dinâmica na saída do esguicho e a vazão com o tubo de Pitot, comparando os dados com a pressão de saída da viatura no térreo. A perda de carga foi calculada com a equação de Darcy-Weisbach, ajustada pela pressão hidrostática devido à elevação de 21,3 metros. A amostra foi intencional e experimental, simulando um cenário representativo de combate a incêndio em edifícios altos, com limitações

devido à variabilidade de configurações reais (Richardson et al., 2012). A escolha do sistema 4x2 alinhou-se à doutrina do CBMDF (2009), priorizando o jato atomizado (135 L/min, 9 bar ajustado para 11 bar em linhas extensas) para resfriamento da camada de gases.

RESULTADOS

Os resultados dos testes realizados no CETOP do CBMDF evidenciam o impacto das inflexões na perda de carga em linhas verticais de combate a incêndio. Cada variável foi avaliada em um sistema 4x2 a 21,3 metros de altura, com pressão de saída ajustada a 9 ou 11 bar. Abaixo, detalham-se os achados por variável, com base no quadro 1 e ilustrações fotográficas.

Quadro 1 - Perda de pressão e vazão obtida nos testes de armação de linhas verticais

Teste	Pressão de saída (bar)	Pressão de chegada (bar)	Vazão (L/min) (% perda em relação ao controle compensado)	Perda de Carga (bar) (% perda em relação a pressão de saída)
Controle (Sem quinas)	9	7	100 (25,9%)	2 (22,2%)
Controle (Pressão compensada)	11	9	135 (0%)	2 (18,2%)
1 dobra de 90º	11	8	105 (22,2%)	3 (27,3%)
2 dobras de 90º	11	7	85 (37,0%)	4 (36,4%)
1 dobra de 130º	11	7,5	100 (25,9%)	3,5 (31,8%)
2 dobras de 130º	11	6	70 (51,8%)	5 (45,4%)
Dobras em Z	11	3,8	50 (62,9%)	7,2 (65,4%)
1 dobra na ligação	11	7,5	100 (25,9%)	3,5 (31,8%)
2 dobras na ligação	11	7,5	100 (25,9%)	3,5 (31,8%)
3 dobras na ligação	11	7,5	100 (25,9%)	3,5 (31,8%)

Fonte: O autor.

- Controle (Sem Quinas):

Com pressão de saída de 9 bar, a pressão de chegada foi 7 bar, resultando em perda de carga de 2 bar (22,2%) e vazão de 100 L/min (25,9% de perda em relação ao controle compensado). Com 11 bar, a pressão de chegada foi 9 bar, com perda de 2 bar (18,2%) e vazão de 135 L/min (0% de perda).

Figura 4 – Controle sem quinas



Fonte: O autor.

- 1 Dobra de 90°:

Pressão de saída de 11 bar, pressão de chegada de 8 bar, perda de carga de 3 bar (27,3%) e vazão de 105 L/min (22,2% de perda). A dobra gerou turbulência moderada, visível na disposição da mangueira.

Figura 4 – Dobra de 90°



Fonte: O autor.

- 2 Dobras de 90°:

Pressão de saída de 11 bar, pressão de chegada de 7 bar, perda de carga de 4 bar (36,4%) e vazão de 85 L/min (37,0% de perda). O aumento das dobras intensificou a resistência ao fluxo, como mostrado na imagem.

Figura 5 – Duas dobras de 90°



Fonte: O autor.

- 1 Dobra de 130°:

Pressão de saída de 11 bar, pressão de chegada de 7,5 bar, perda de carga de 3,5 bar (31,8%) e vazão de 100 L/min (25,9% de perda). A dobra acentuada aumentou a turbulência, observada na curvatura da mangueira.

Figura 6 – Dobra de 130°



Fonte: O autor.

- 2 Dobras de 130°:

Pressão de saída de 11 bar, pressão de chegada de 6 bar, perda de carga de 5 bar (45,4%) e vazão de 70 L/min (51,8% de perda). Múltiplas dobras severas reduziram significativamente a eficiência hidráulica.

- Dobras em "Z":

Pressão de saída de 11 bar, pressão de chegada de 3,8 bar, perda de carga de 7,2 bar (65,4%) e vazão de 50 L/min (62,9% de perda). A configuração complexa causou a maior perda devido a múltiplas transições abruptas, como ilustrado.

Figura 7 – Dobras em “Z”



Fonte: O autor.

- Dobras na Ligação (1, 2 e 3):

Pressão de saída de 11 bar, pressão de chegada de 7,5 bar, perda de carga de 3,5 bar (31,8%) e vazão de 100 L/min (25,9% de perda) em todas as configurações. A ligação mostrou resistência constante, independentemente do número de dobras. (Figura 42 e 43)

- Elevação:

A altura de 21,3 metros contribuiu com cerca de 2 bar de perda, conforme calculado pela equação hidrostática ($\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$), afetando todas as configurações igualmente.

Figura 8 – Medição da altura



Fonte: O autor.

DISCUSSÃO

A análise dos resultados revela o impacto técnico e operacional de cada variável testada na perda de carga e no desempenho hidráulico de linhas verticais de combate a incêndio, com implicações fundamentadas em princípios hidrodinâmicos e práticas de segurança.

- Controle (Sem Quinas):

A configuração sem inflexões apresentou a menor perda de carga (2 bar a 11 bar), com vazão máxima de 135 L/min, indicando um fluxo laminar otimizado. A elevação de 21,3 metros contribuiu com 2 bar de perda hidrostática ($\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$), conforme Ramalho (2012), sendo o fator dominante em ausência de singularidades. Essa condição serve como base para avaliar os efeitos das inflexões, destacando a importância de trajetos lineares para minimizar a resistência ao escoamento.

- 1 Dobra de 90° e 2 Dobras de 90°:

A introdução de uma dobra de 90° elevou a perda de carga para 3 bar (27,3%) e reduziu a vazão para 105 L/min, devido à geração de turbulência secundária e aumento do coeficiente de perda (K) na equação de Darcy-Weisbach (Porto, 1998). Com duas dobras, a perda subiu para 4 bar (36,4%) e a vazão caiu para 85 L/min, refletindo um incremento na dissipação de energia cinética por atrito parietal e colisões interlaminares, exacerbando a resistência hidrodinâmica em seções de menor diâmetro (1,5").

- 1 Dobra de 130° e 2 Dobras de 130°:

A dobra de 130° resultou em perda de 3,5 bar (31,8%) e vazão de 100 L/min, enquanto duas dobras elevaram a perda para 5 bar (45,4%) e reduziram a vazão para 70 L/min. Esses valores indicam uma intensificação da turbulência tridimensional e zonas de recirculação, aumentando o fator de rugosidade efetiva e o coeficiente de perda localizado (Young, 2011). A maior acuidade angular amplifica o efeito hidráulico adverso, corroborando Rowett Jr (2018), que estima perdas de até 46% em múltiplas inflexões.

- Dobras em "Z":

A configuração em "Z" exibiu a maior perda de carga (7,2 bar, 65,4%) e a menor vazão (50 L/min, 62,9% de perda), devido a múltiplas transições abruptas que geram vórtices e alta resistência hidráulica. Essa condição cria um efeito de estrangulamento no fluxo, alinhado com Brass Elckhart (2019), que reportou reduções de 53% em vazão, atribuídas à cascata de perdas localizadas e ao risco de colapso estrutural da mangueira sob pressão excessiva (ABNT, 1998).

- Dobras na Ligação (1, 2 e 3):

A perda constante de 3,5 bar e vazão de 100 L/min sugerem uma resistência hidráulica estável, possivelmente mitigada pelo maior diâmetro inicial das mangueiras de 2,5", que reduz o fator de atrito conforme a relação inversa ao diâmetro (Young, 2011). A ausência de variação com o aumento de dobras indica que a seção de ligação opera em regime de fluxo menos afetado

por singularidades adicionais.

- Elevação:

A perda de 2 bar por 21,3 metros foi consistente, refletindo a contribuição gravitacional calculada pela pressão hidrostática (Ramalho, 2012). Esse fator basal reforça a necessidade de ajustes pressóricos iniciais, especialmente em operações verticais, onde a altura amplifica a demanda energética do sistema.

Esses achados validam a hipótese de que inflexões e elevação são variáveis determinantes, exigindo estratégias de mitigação baseadas em otimização hidráulica e segurança estrutural.

OUTROS ELEMENTOS

Ao analisarmos as diferenças entre os cálculos teóricos e os resultados práticos, percebe-se que as maiores diferenças ocorreram quando havia múltiplas dobras seguidas nas mangueiras de 1,5 polegadas (particularmente as inflexões em “Z” e as inflexões de 130° e 90°) e principalmente relacionadas à vazão. A discrepância entre os valores teóricos e práticos pode ser explicada por diversos fatores físicos, operacionais e técnicos.

Os cálculos teóricos consideram coeficientes ideais de perda de carga, mas na prática, as mangueiras podem ter desgastes, dobras pré-existentes e deformações que aumentam a resistência ao fluxo, isso pode ter criado maior contrapressão e reduzido a vazão efetiva. Além disso, o acúmulo de sujeira ou resíduos internos devido a uma má manutenção e armazenamento inadequados podem aumentar o atrito e reduzir a vazão.

Pode ocorrer também um comportamento de compensação da bomba de pressão uma vez que as viaturas de combate possuem sistemas de autocompensação, que tentam manter a vazão e a pressão ajustando a rotação da bomba. No entanto, em um sistema com restrições severas (como múltiplas dobras), a bomba pode ter reduzido a vazão para evitar cavitação ou superaquecimento.

Além disso, como a bomba estava ajustada para trabalhar em pressão constante, pode ter sacrificado a vazão para manter a pressão no restante do sistema. Isso explica a queda drástica para apenas 50 LPM na prática, juntamente com a redução da pressão final para 3,8 bar.

CONCLUSÃO

Os testes realizados confirmaram que as inflexões em linhas verticais de combate a incêndio constituem um fator crítico na amplificação da perda de carga, impactando negativamente a pressão hidráulica e a vazão, com implicações diretas na eficiência operacional do CBMDF. As principais características observadas incluem perdas de carga de até 7,2 bar

(65,4%) na configuração em "Z", 5 bar (45,4%) com duas dobras de 130°, e 2 bar devido à elevação de 21,3 metros, com vazões reduzidas a 50 L/min e 70 L/min, respectivamente, em comparação ao controle ideal de 135 L/min. A turbulência gerada por ângulos fechados e múltiplas transições abruptas foi identificada como o principal mecanismo de dissipação de energia, enquanto mangueiras de menor diâmetro (1,5") mostraram maior suscetibilidade às perdas.

Recomendações Operacionais:

- Otimização de Trajetos: Priorizar layouts lineares, evitando ângulos superiores a 90° e configurações em "Z", utilizando fardos em "O" para estabilização em espaços confinados;
- Seleção de Equipamentos: Adotar mangueiras de 2,5 polegadas nas seções iniciais para reduzir o coeficiente de atrito, conforme a equação de Darcy-Weisbach;
- Ajuste de Pressão: Compensar a elevação com incrementos de 1 bar a cada 10 metros e as inflexões com ajustes adicionais, respeitando o limite de 14 kgf/cm² (NBR 11861:1998);
- Manutenção e Armazenamento: Implementar inspeções periódicas e armazenar mangueiras sem torções, evitando desgastes que elevem a rugosidade interna (CBMDF, 2009);
- Treinamento Contínuo: Incluir simulações no CETOP para capacitar guarnições na identificação e correção de inflexões durante operações, utilizando o BITP como material de apoio.

Sugestões Operacionais:

- Realizar ensaios em campo com diferentes tipos de edificações para validar os resultados em cenários reais;
- Incorporar medidores digitais de pressão e vazão para maior precisão em operações futuras;
- Desenvolver simuladores computacionais baseados na equação de Darcy-Weisbach para prever perdas em tempo real;

- Estabelecer protocolos de pré-avaliação ("Size Up") que incluam a verificação de inflexões antes do início do combate.

Este BITP deve ser integrado aos programas de formação e operações, promovendo a padronização e a segurança, com futuras pesquisas recomendadas para ampliar o escopo do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 11861: Mangueiras de incêndio – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1998.
- BRASIL. Lei nº 8.255, de 20 de novembro de 1991. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8255.htm. Acesso em: 24 jan. 2024.
- BRASS, Elckhart. How Kinks Affect Your Fire Flow System - Brass Tacks & Hard Facts. YouTube, 23 de abr. de 2017. 6min50s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=mrtos-jPQa0>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2025.
- BURTON, Jim & HALLORAN, Keith. Basic Hydraulics - An introduction tp fire stream practices. USDA. Disponível em: https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5413472.pdf. Acesso em: 18 de jan, 2024.
- CASSIOLATO, César. Medição de pressão, características, tecnologias e tendências. INSTRUMATIC, 2005. Disponível em: <https://www.instrumatic.com.br/artigo/medicao-de-pressao-caracteristicas-tecnologias-e-tendencias>. Acesso em: 25 de jan. 2024.
- CODEPLAN, Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – PDAD 2024. Brasília, 2025. Disponível em: https://pdad.ipe.df.gov.br/files/reports/Relat%C3%B3rio_-_DF_-_Geral_-160325.pdf. Acesso: mar. 2025.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Planejamento Estratégico do CBMDF para o período de 2025 a 2030. Brasília, 2025a. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/lai/acoes-e-programas/planejamento-estrategico-do-cbm/df/>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Manual básico de combate a incêndio: técnicas de combate a incêndio. 2 ed. Brasília, 2009.
- DERMEK, Milan. Pressure losses in a hose line during water transfer to fires. Key engineering materials, v. 755, p. 268-273, 2017.
- DODSON, D. W. (2005). "Fire Department Incident Safety Officer". Delmar Cengage Learning.
- FIRE ENGINEERING STAFF. FIRE ENGINEERING, 2014. Hose failure in fatal Boston fire raises concerns. Disponível em: <https://www.fireengineering.com/firefighting/hose-failure-in-fatal-boston-fire-raises-concerns/#gref>. Acesso em: 26 jan. 2024
- FIRE ENGINEERING STAFF. FIRE ENGINEERING, 2012. Water management officer taking charge of water. Disponível em: <https://www.fireengineering.com/firefighting/>

water-management-officer-taking-charge-of-the-water/. Acesso em: 03 jun. 2024

- GIL, Antonio Carlos. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.
- GRIMWOOD, P. Euro Firefighter 2: Firefighting Tactics and Fire Engineer's Handbook. ed. 2ª, West Yorkshire: D&M Heritage Press, 2017. 25
- LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; DA NÓBREGA, M. T. Produção e transporte da carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte. Boletim de Geografia, v. 28, n. 1, p. 58, 2010.
- MCDONOUGH, J. International Exchange: Training on the "Non-Negotiables". 1 mar. 2019, Disponível em: <http://bit.ly/2ZNEiEL>. Acessado em: 04 jun. 2024.
- MCDONOUGH, J. The Science of Water Extinguishment. 1 mar. 2018, Disponível em: <http://bit.ly/3kkxYOq>. Acessado em: 04 jun. 2024.
- MUNSON, Bruce Roy; YOUNG, Donald F.; OKIISHI, Theodore Hisao. Fundamentals of fluid mechanics. v. 10, n. 42, 2011.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 1700: Guide for Structural Fire Fighting. ed. 2021, Massachusetts: NFPA, 2021. Disponível em: <http://bit.ly/2NAwvYk>. Acesso em: 22 jan. 2024.
- NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. NFPA 1962: Standard for the Inspection, Care, and Use of Fire Hose, Couplings, and Nozzles and the Service Testing of Fire Hose. ed. 2018, Massachusetts: NFPA, 2020. Disponível em: <http://bit.ly/2NAwvYk>. Acesso em: 22 jan. 2024.
- O QUE É UM MEDIDOR DE PRESSÃO ESTÁTICA E DINÂMICA, COMO ELE FUNCIONA?. Mecânica reunida, 2023. Disponível em: <https://www.mecanicareunida.com.br/o-que-e-um-medidor-de-pressao-estatica-e-dinamica-como-ele-funciona/>. Acesso em: 24 de jan. 2024.
- PILLSWORTH, Tim et al. HOW KINKS AFFECT YOUR FIRE ATTACK SYSTEM- Testing with different nozzles examines the effects various kinks have on a hoseline. Fire Engineering, v. 160, n. 10, p. 87-92, 2007.
- PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica básica. São Carlos: EESC/USP. 1998
- PROVDANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2013.
- RAMALHO, N. E. T. Os Fundamentos da Física. 7ª. ed. [S.l.]: Moderna, v. III, 2012.
- RICHARDSON, Roberto Jarry et al. Pesquisa social: métodos e técnicas. 3. ed. 14. reimpr. São Paulo: Atlas, 2012.
- ROWETT JR., Anthony. Know the hose. FIRE HOUSE, 2018. Disponível em: <https://www.firehouse.com/operations-training/hoselines-water-appliances/article/20997083/hoselines-on-the-fireground>. Acesso em: 26 de jan. 2024.

EQUIPE RESPONSÁVEL

Elaboração, Colaboração e Revisão:

- Ten-Cel. QOBM/Comb. ELISEU DE SOUZA **QUEIROZ** (Orientador)
- Cad. BM/2 **RAFAEL** VICTOR BATISTA **GONDIM** (Autor)