

INTEGRAÇÃO DE FERRAMENTAS OPEN SOURCE PARA MODELAGEM HIDRÁULICA DE SISTEMAS DE HIDRANTES

*Evanderson Heleno do Aguiar*¹

<https://orcid.org/0000-0002-3200-5661>

*Rogério Pontes de Araújo*²

<https://orcid.org/0000-0001-9045-6762>

*Carlo Marcelo Revoredo da Silva*³

<https://orcid.org/0000-0003-4283-6490>

*Felipe Mendes da Cruz*⁴

<https://orcid.org/0000-0002-0163-465X>

RESUMO

O dimensionamento de sistemas de hidrantes é um fator crítico na segurança contra incêndios, exigindo conformidade com parâmetros normativos de pressão e vazão. Este artigo apresenta um método inovador para o dimensionamento automatizado desses sistemas, integrando o software EPANET com algoritmos de desenvolvimento de hidrantes. O EPANET foi utilizado para modelagem hidráulica da rede, enquanto um algoritmo desenvolvido em Python permitiu a otimização dos cálculos, garantindo maior precisão e eficiência no processo. Para validar a abordagem proposta, foi realizado um estudo de caso em uma edificação residencial de múltiplos pavimentos. Os resultados indicaram que o método desenvolvido não apenas reproduziu os valores obtidos por cálculos convencionais, mas também proporcionou maior confiabilidade ao eliminar simplificações excessivas. Além disso, a automação possibilitou a análise de múltiplos cenários de dimensionamento, auxiliando na seleção otimizada de bombas e tubulações. A integração dessas ferramentas oferece uma solução robusta e acessível para projetistas e engenheiros, permitindo maior agilidade no desenvolvimento de projetos e facilitando a avaliação e aprovação por órgãos reguladores, como os Corpos de Bombeiros. O método proposto representa um avanço significativo na engenharia de segurança contra incêndio, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e confiáveis.

Palavras-chave: Sistemas de hidrantes; EPANET; Python; Modelagem hidráulica; Combate a incêndio.

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistema (PPGES) da Universidade de Pernambuco (UPE); Engenheiro de Segurança do Trabalho; Engenheiro Civil. E-mail: eha@poli.br

² Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Professor da Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: rogerio.pontes@upe.br

³ Doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Professor da Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: marcelo.revoredo@upe.br

⁴ Doutor em Engenharia Industrial e de Sistemas pela Universidade do Minho (UMINHO-PT); Professor da Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: felipemendeslsht@poli.br

INTEGRATION OF OPEN SOURCE TOOLS FOR HYDRAULIC MODELING OF FIRE HOSE SYSTEMS

ABSTRACT

The hydraulic design of fire hose systems is essential for fire protection, requiring compliance with regulatory parameters for pressure and flow. This paper presents an innovative method for automating the design process by integrating the EPANET software with the Python programming language. EPANET was used for hydraulic network modeling, while a Python-based algorithm optimized the calculations, ensuring greater accuracy and efficiency. To validate the proposed approach, a case study was conducted in a multi-story residential building. The results demonstrated that the developed method not only replicated values obtained through conventional calculations but also provided greater reliability by eliminating excessive simplifications. Additionally, automation enabled the evaluation of multiple design scenarios, facilitating the optimized selection of pumps and pipelines. The integration of these open-source tools provides a robust and accessible solution for engineers and designers, enhancing project efficiency and streamlining regulatory evaluations by fire departments. The proposed method represents a significant advancement in fire safety engineering, contributing to the development of more efficient and reliable fire hose systems.

Keywords: Fire hose systems; EPANET; Python; Hydraulic modeling; Fire protection.

Artigo Recebido em 25/02/2025
Aceito em 10/04/2025
Publicado em 11/04/2025

1. INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio é essencial em projetos de edificações, pois incêndios ameaçam vidas e patrimônios. Entre os sistemas de proteção, os hidrantes desempenham papel crucial no combate inicial ao fogo, utilizando água pressurizada como agente extintor (Megnafi *et al.*, 2023; Kadam, 2021).

O dimensionamento hidráulico desses sistemas é um desafio técnico que exige precisão e conformidade com normas de segurança, garantindo pressão e vazão adequadas em todos os pontos críticos (Santos; Silva, 2019). Embora muitos projetistas ainda utilizem métodos manuais ou planilhas de cálculo, há poucas ferramentas especializadas disponíveis; a maioria é paga e de código fechado, limitando a personalização.

Ferramentas gratuitas, como o EPANET (Rossman, 2000), oferecem simulação hidráulica robusta, embora não sejam específicas para sistemas de hidrantes. No entanto, sua adaptabilidade permite aplicações nessa área. A integração com linguagens de programação, como Python, potencializa a modelagem e otimização, tornando o dimensionamento mais eficiente.

Este trabalho apresenta um método de dimensionamento hidráulico de sistemas de hidrantes utilizando o EPANET para modelagem e um algoritmo em Python para otimização. Aplicado a um edifício residencial previamente estudado na literatura, o método demonstrou eficácia e destacou as vantagens da integração entre EPANET e Python no dimensionamento de sistemas hidráulicos.

1.1 Normas Aplicadas ao Dimensionamento de Sistemas de Hidrantes

Por muito tempo, as normas sobre combate a incêndios no Brasil eram escassas. No entanto, após a ocorrência de inúmeras fatalidades na década de 1960, surgiu a necessidade de revisá-las e fortalecê-las, impulsionando a

implementação de medidas mais rigorosas para a prevenção e o combate a incêndios no país (Denti, Dallago. Steffens, 2022).

Atualmente a implementação de sistemas de hidrantes é regida por normas técnicas que asseguram sua eficiência no combate a incêndios. No Brasil, a ABNT NBR 13714/2000 (ABNT, 2000) estabelece os requisitos mínimos para o projeto, instalação e manutenção desses sistemas em edificações.

Além da ABNT NBR 13714, os Corpos de Bombeiros Militares de cada estado brasileiro podem estabelecer regulamentações complementares adaptadas às particularidades regionais. A escolha da norma a ser seguida depende da localização da edificação e de exigências específicas de proprietários ou seguradoras.

Este trabalho adota os requisitos da ABNT NBR 13714 para generalizar o método proposto, que pode ser adaptado para atender outras normas, considerando variações em parâmetros como pressão, vazão e definições específicas, como o número de esguichos simultâneos ou o ponto de medição dos parâmetros hidráulicos.

1.2 EPANET

O EPANET, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) em 1993, é um software de código aberto, implementado em linguagem C altamente eficiente (Steffelbauera, 2015), projetado para modelar o comportamento hidráulico e a qualidade da água em redes de distribuição. Ele permite simular fluxos em redes complexas de tubulações, analisar pressões em nós, vazões em tubulações e o desempenho de componentes como bombas e válvulas, tanto em estado estacionário quanto em regime transitório (Rossman, 2000).

Embora o EPANET ofereça uma interface gráfica intuitiva para construção e edição de modelos de redes, sua capacidade de automação e otimização de sistemas complexos é limitada. Para superar essas limitações, a integração do EPANET com a linguagem Python surge como uma solução promissora. Essa combinação permite uma modelagem mais precisa e eficiente, automatizando o processo de dimensionamento e minimizando a necessidade de intervenções manuais.

1.3 Python

A linguagem Python destaca-se por sua popularidade e versatilidade, especialmente em áreas como análise de dados, modelagem computacional e otimização. Sua facilidade de uso e a ampla variedade de bibliotecas especializadas tornam-na uma ferramenta poderosa para engenheiros e pesquisadores que buscam soluções eficientes para problemas complexos, incluindo o dimensionamento e a simulação de sistemas hidráulicos.

Entre essas bibliotecas, destaca-se o *Water Network Tool for Resilience* (WNTR) (Klise *et al.*, 2017), também desenvolvida pela EPA. O WNTR é um pacote Python projetado para simular e analisar a resiliência de redes de distribuição de água. Compatível com o EPANET, o WNTR permite aos usuários realizar simulações hidráulicas e de qualidade da água, além de avaliar a resiliência da rede sob diferentes cenários de falhas e desastres. Essa integração possibilita a criação de *scripts* personalizados para otimização, análise de resiliência e simulações em larga escala, facilitando a adaptação e automação de modelos hidráulicos complexos.

A combinação do EPANET com o WNTR em Python oferece uma plataforma flexível e poderosa para o desenvolvimento de soluções avançadas em engenharia hidráulica, permitindo a automação de processos e a realização de análises detalhadas de sistemas de distribuição de água.

1.4 Trabalhos Anteriores

Diversos estudos têm explorado abordagens para aprimorar o dimensionamento e a otimização de sistemas de hidrantes, essenciais no combate a incêndios.

Innocent, Daniel e Allen (2024) utilizaram o software EPANET para modelar a rede de distribuição de água e otimizar a posição e o número de hidrantes em um mercado de grande porte. Eles demonstraram que a redução da distância entre os hidrantes de 100 para 70 metros e o uso de um reservatório elevado como fonte alternativa de água aumentaram significativamente a eficiência do sistema de combate a incêndios, com uma melhoria de 59,05% no desempenho geral do sistema.

Para demonstrar a viabilidade do uso do EPANET para o design de sistemas de tubulação em embarcações, Perez *et al.* (2017) realizaram a simulação para garantir que os parâmetros de pressão e vazão estivessem dentro dos limites normativos, além de otimizar o sistema em termos de custos e peso dos componentes. A abordagem descrita no artigo é relevante para o desenvolvimento de sistemas de hidrantes, pois enfatiza a importância de assegurar a pressão mínima necessária nas redes, aspecto crucial em ambos os contextos.

Em outro estudo, Nurhakim e Utomo (2021) empregaram o EPANET para modelar e analisar o comportamento de sistemas de *sprinklers* e hidrantes, avaliando a conformidade do sistema com normas regulatórias, como a SNI 03-3989-2000 e a NFPA 13. O estudo destaca a importância de verificar problemas de pressão nos pontos mais distantes do sistema, uma preocupação comum em redes de combate a incêndio, especialmente em grandes edificações. No caso apresentado, identificou-se que a pressão em algumas conexões de hidrantes não atingia o valor mínimo exigido pela SNI 03-

1745-2000, evidenciando a necessidade de análises detalhadas para garantir a eficácia do sistema em emergências.

Embora a estrutura de modelagem hidráulica seja semelhante, o presente trabalho avança ao propor a integração do EPANET com algoritmos em Python, por meio da biblioteca WNTR, permitindo a automação e a otimização do dimensionamento. Diferentemente do estudo anterior, que realiza a análise de forma convencional, a metodologia aqui apresentada utiliza algoritmos que iteram automaticamente diversos cenários de acionamento simultâneo de esguichos, calculando a potência ideal da bomba e assegurando que todos os parâmetros normativos sejam atendidos. Trata-se, portanto, de uma abordagem inovadora, com potencial para agilizar e qualificar o processo de projeto e análise de sistemas de hidrantes.

De forma geral, esses estudos evidenciam a relevância da utilização de ferramentas de simulação no dimensionamento de sistemas de combate a incêndio, sendo o EPANET uma das opções mais amplamente utilizadas por ser de código aberto, gratuito e amplamente validado na literatura. Embora existam outras ferramentas comerciais, como o WaterCAD e o PipeFlow, o uso de soluções *open source* permite maior flexibilidade, personalização e acessibilidade, especialmente quando integradas a linguagens de programação como o Python.

Apesar dessa relevância, trabalhos com essa abordagem ainda são escassos na literatura especializada. Mesmo com uma pesquisa sistemática realizada em diversas bases científicas, identificaram-se poucos estudos que abordam a integração entre modelagem hidráulica e automação computacional no contexto de sistemas de combate a incêndio.

1.5 Contribuições

Este artigo aborda uma lacuna na literatura ao apresentar uma metodologia que integra o EPANET com Python para automatizar e otimizar o

dimensionamento de sistemas de hidrantes. Embora o EPANET seja amplamente utilizado para modelagem de redes de distribuição de água, sua capacidade de automação é limitada. A integração com algoritmos em Python, especialmente através de ferramentas como o WNTR, oferece uma interface de programação que facilita a automação e a personalização de simulações hidráulicas na fase de projeto. Esta abordagem inovadora melhora a eficiência, precisão e escalabilidade no processo de dimensionamento de sistemas de hidrantes, permitindo que projetistas e analistas compartilhem modelos de forma mais eficaz, o que pode agilizar análises e aprovações por parte dos Corpos de Bombeiros.

2 MODELAGEM HIDRÁULICA DO SISTEMA DE HIDRANTES

O funcionamento de um sistema de hidrantes depende da capacidade de fornecer água em altas pressões e vazões, alcançada por meio da combinação de reservatórios, bombas e uma rede de tubulações dimensionadas conforme as normas técnicas. Cada componente do sistema é vital para sua eficácia.

O dimensionamento hidráulico envolve determinar os diâmetros das tubulações e acessórios, além de dimensionar o conjunto motobomba, quando necessário, para assegurar pressões e vazões mínimas, bem como limites máximos de pressão e velocidade. Por meio da simulação hidráulica, é possível analisar diversos cenários de forma a otimizar os parâmetros e garantir que os parâmetros estejam sendo atendidos (Perez *et al.*, 2017).

O EPANET representa componentes físicos do sistema, como válvulas e bombas, e elementos não físicos, como curvas de desempenho de bombas e volumes de reservatórios. Os componentes físicos dividem-se em elementos pontuais (reservatórios, tanques e conexões) e elementos lineares (bombas,

válvulas e trechos de tubulação) cada qual com parâmetros de configuração específicos (Rossman, 2000).

A seguir, serão apresentados os procedimentos de modelagem, parâmetros iniciais e critérios de dimensionamento e simulação hidráulica para cada elemento dos sistemas de hidrantes.

2.1 Reservatório e Reserva de incêndio

Os reservatórios de água destinam-se a armazenar a reserva técnica de incêndio (RTI), volume necessário para o combate inicial ao fogo até a intervenção do Corpo de Bombeiros com fontes alternativas de água. No EPANET, a RTI é modelada como um tanque (*Tank*), configurando-se parâmetros de elevação, níveis inicial, mínimo e máximo, além do diâmetro equivalente.

2.2 Modelagem das Bombas

O objetivo do dimensionamento da bomba de incêndio é determinar a vazão e pressão que o equipamento deve dispor para atender à vazão mínima no esguicho mais desfavorável, dentro das condições estabelecidas na norma.

O método apresentado neste trabalho visa dimensionar a bomba fixa com reservatório inferior, podendo ser facilmente adaptado para as outras topologias de sistemas.

As bombas são elementos nativos do EPANET. Neste método, as bombas foram dimensionadas como tipo Potência, ou seja, não serão inseridas curvas, uma vez que o objetivo é apresentar aos projetistas as especificações de altura manométrica e vazão, para posteriormente ser feita a seleção do equipamento correto. Dessa forma, a configuração das bombas no modelo do EPANET consiste apenas em inseri-las nas posições corretas, e o algoritmo irá calcular as especificações de vazão e pressão por meio de um processo iterativo de otimização da potência teórica.

2.3 Tubulações

O principal parâmetro de dimensionamento da tubulação é o diâmetro, que deve ser dimensionado de forma a atender à velocidade máxima e ao diâmetro mínimo que a norma estabelece. Outro parâmetro da tubulação que interfere no dimensionamento hidráulico diz respeito à rugosidade da parede do tubo, que se apresenta na forma do fator C de Hazen–Williams ou no coeficiente de atrito pelo método de Colebrook, conhecido como "fórmula universal".

A norma permite utilizar os dois métodos. Neste trabalho, foi adotado o método de Hazen–Williams (Williams, Hazen, 1905), que utiliza o modelo matemático apresentado na Equação 1 para calcular a perda de carga em tubulações.

$$h_f = 6,15 \times 10^6 \times \frac{L \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \quad (1)$$

Onde:

h_f = perda de carga (mca);

L = comprimento da tubulação(m);

C = fator de Hazen-Williams;

D = diâmetro interno da tubulação(mm);

Q = vazão(L/min).

O fator C de Hazen–Williams depende do material utilizado, sendo que a ABNT NBR 13714 já apresenta uma tabela com os coeficientes por tipo material, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1– Valor do fator C de Hazen–Williams por tipo de material

Tipo de Material	Fator
Ferro Fundido ou dúctil sem revestimento interno	100
Ferro Fundido ou dúctil com revestimento interno de cimento	140
Aço Preto	120
Galvanizado	120
Plástico	150

Fonte:(ABNT,2000)

O EPANET já possui elementos que representam tubulação, dessa forma, apenas serão configurados os parâmetros de Comprimento, Diâmetro, Rugosidade e Coeficiente de perdas localizadas.

Os diâmetros iniciais devem ser estabelecidos como um pré-dimensionamento pelo projetista; após o dimensionamento das bombas, o projetista deverá verificar a necessidade ou não de alterar os diâmetros.

Ressalta-se que o modelo não necessita ter a topologia real do sistema, ou seja, o modelo poderá ser realizado de forma esquemática, sem a necessidade de modelar trechos curvos, subidas ou descidas, precisando apenas estar coerente em relação ao relacionamento entre montante e jusante dos trechos. As perdas localizadas das conexões devem ser inseridas no coeficiente de perdas localizadas.

Os parâmetros iniciais que devem ser configurados nas tubulações são o comprimento, diâmetro, coeficiente de rugosidade e coeficiente de perdas localizadas.

- **Velocidade Máxima**

A norma estabelece a velocidade máxima na tubulação de sucção como 4 m/s, e 5 m/s nas demais tubulações.

2.4 Modelagem das Mangueiras

As mangueiras serão modeladas como elementos do tipo tubulação, com os parâmetros de diâmetro, comprimento e rugosidade específicos. Nesse

trecho também são inseridas as perdas localizadas do esguicho, por meio da adequação do coeficiente de perdas 'k'. Um requisito para o modelo é que as mangueiras sejam nomeadas começando com a letra M seguida de uma numeração que deverá ser igual ao esguicho correspondente, por exemplo M1, referente ao Esguicho E1, para que o algoritmo consiga identificar os trechos de tubulação que são mangueiras.

Do ponto de vista do dimensionamento hidráulico, as 3 características que impactam diretamente nos resultados são o diâmetro interno, o comprimento e o fator de Hazen–Williams.

O comprimento é obtido a partir dos requisitos diretos da ABNT NBR 13714.

O diâmetro interno, no entanto, não é apresentado, porém, as mangueiras devem ser fabricadas seguindo a ABNT NBR 11861:1998 - Mangueira de incêndio - Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 1998). Esta norma estabelece os requisitos para as mangueiras DN 40 e DN 65. O diâmetro interno mínimo determinado pela norma é 38,1 mm para DN 40 e 63,5 mm para DN 65.

Em relação ao fator de Hazen–Williams, nenhuma das duas normas apresenta alguma recomendação. Alguns projetistas e alguns autores na literatura consideram o fator $C = 140$ equivalente a tubulações de borracha. No entanto, a ABNT NBR 11861 estabelece a perda de carga máxima que as mangueiras devem apresentar, 19,6 kPa/m, com vazão de 400 L/min para DN 40 e 10,6 kPa/m com vazão de 1100 L/min para DN 65.

Utilizando o método de Hazen–Williams pode-se calcular o fator C que estas condições oferecem, a partir da Equação 2.

$$C = \left[\frac{605 \times 10^5 \times Q^{1,85}}{J \times D^{4,87}} \right]^{\frac{1}{1,85}} \quad (2)$$

Onde:

C = fator de Hazen-Williams;

Q = vazão(L/min). J= perda de carga(mca);

D = diâmetro interno da tubulação(mm);

Calculando para as condições das mangueiras obtêm-se um Fator C = 89 para os dois diâmetros, ou seja, indiretamente as condições impostas pela norma consideram que as mangueiras devem possuir um Fator C mínimo de 89. Cabe ao projetista, portanto, fazer suas considerações, verificar as especificações do fabricante e as recomendações da literatura de forma a adotar o fator mais adequado.

A Tabela 2 apresenta o resumo dos requisitos aqui considerados.

Tabela 2 – Parâmetros das mangueiras em função do Diâmetro Nominal

DN	DI (mm)	C
40	38,1	89
65	63,5	89

Fonte: Adaptado pelos Autores a partir da ABNT NBR 11861.

2.5 Modelagem dos Esguichos

Os esguichos podem ser considerados hidráulicamente como bocais, principalmente o do tipo jato compacto tronco cônico. Os esguichos reguláveis são mais complexos, pois é difícil determinar a seção livre e os coeficientes de descarga.

Da teoria de orifícios e bocais a vazão em um esguicho pode ser determinada pela Equação 3 (Netto, Fernández, 2018).

$$Q = A \times Cd \times \sqrt{2 \times g} \times \sqrt{P} \quad (3)$$

Onde:

Q = Vazão (m³/s);

A = Área do bocal (m²);

Cd = Coeficiente de descarga (admissional);

g = aceleração da gravidade(m/s²);

P = Carga hidráulica(m).

Uma vez que as variáveis Cd e A são características do Esguicho, isola-se estas variáveis e determina-se o Fator de Vazão K característico do Esguicho, conforme Equação 4.

$$K = A \times Cd \times \sqrt{2 \times g} \quad (4)$$

Onde:

K = Fator de vazão(m³/s/m^{1/2});

A = Área do bocal(m²);

Cd = Coeficiente de descarga(admissional);

g = aceleração da gravidade(m/s²).

É possível reescrever a Equação 7, considerando $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, explicitando o diâmetro e fazendo ajustes nas unidades, obtendo Equação 5.

$$K = 0,208733 \times D^2 \times Cd \quad (5)$$

Onde:

K = Fator de vazão(L/min/m^{1/2});

D = Diâmetro do bocal(mm);

Cd = Coeficiente de descarga(admissional).

A literatura apresenta o coeficiente de descarga típico para esguichos como 0,97 (Brentano, 2011).

Dessa forma, a vazão em um esguicho pode ser calculada conhecendo-se seu Fator K e pressão disponível, conforme Equação 6.

$$Q = K \times \sqrt{P} \quad (6)$$

Brentano (2011) levantou na literatura fatores K de esguichos de diferentes diâmetros, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores do Fator K para esguichos

Diâmetro (mm)	Fator K (L/min/mca^{1/2})	Fator K (L/min/kPa^{1/2})
10,0	18,3	5,8
13,0	32,5	10,3
16,0	51,4	16,3
19,0	73,8	23,4
22,0	101,0	32,0
25,0	132,3	41,9
32,0	206,4	65,4

Fonte:(Brentano, 2011)

O EPANET não possui um elemento específico para simular bocais, no entanto, eles podem ser simulados vinculados aos elementos pontuais do tipo junções, por meio da configuração do parâmetro Coeficiente Emissor, equivalente ao fator K do esguicho.

Os coeficientes de emissor são informados como um parâmetro de entrada do algoritmo, e não precisam ser inseridos no modelo do EPANET. Um requisito para os esguichos é que sejam nomeados começando com a letra E seguindo de numeração, por exemplo, E1, ou E9.

Outro parâmetro importante que deve ser calculado no esguicho é a perda de carga que ocorre nele. Para o cálculo da perda de carga, pode-se utilizar a equação da perda de carga localizada, calculada a partir da Equação 7.

$$J = k' \times \left(\frac{v^2}{2 \times g} \right) \quad (7)$$

Onde:

J = perda de carga(mca);

k' = coeficiente de singularidade do esguicho;

v = velocidade do fluido(m/s);

g = aceleração da gravidade(m/s^2)

A literatura apresenta o coeficiente de singularidade típico para esguichos como sendo 0,10 (Brentano, 2011).

Para modelar a perda de carga do esguicho no EPANET não há uma configuração direta, uma vez que os elementos do tipo junção, os quais são modelados os esguichos, não possuem o parâmetro de perda de carga por elementos pontuais.

Para contornar este problema, o método apresentado propõe realizar a conversão do coeficiente de singularidade do esguicho para um coeficiente a ser utilizado no trecho de mangueira, de modo a causar a mesma perda de carga no sistema.

A perda de carga localizada é dada pela Equação 8.

$$hf = k' \times \left(\frac{v^2}{2 \times g} \right) \quad (8)$$

Onde:

hf = Perda de carga

k' = Coeficiente de singularidade

v = Velocidade

g = Aceleração da gravidade

Para que a perda resultante na mangueira seja a mesma causada pelo esguicho, deve-se calcular um k'' equivalente, conforme apresentado abaixo.

$$hf = k' \times \left(\frac{4 \times Q^2}{2 \times g \times \pi \times D_e^4} \right)$$

$$hf = k'' \times \left(\frac{4 \times Q^2}{2 \times g \times \pi \times D_m^4} \right)$$

$$k' \times \left(\frac{4 \times Q^2}{2 \times g \times \pi \times D_e^4} \right) = k'' \times \left(\frac{4 \times Q^2}{2 \times g \times \pi \times D_m^4} \right)$$

$$\frac{k'}{D_e^4} = \frac{k''}{D_m^4}$$

Logo, o valor do coeficiente equivalente pode ser calculado pela Equação 9.

$$k'' = \frac{k' \times D_m^4}{D_e^4} \quad (9)$$

Onde:

k'' = Coeficiente de singularidade equivalente do esguicho para a mangueira

k' = Coeficiente de singularidade do esguicho

D_m = Diâmetro interno da Mangueira

D_e = Diâmetro Interno do Esguicho

2.5.1 Vazão mínima

A vazão mínima é estabelecida em função do tipo de sistema e tipo de ocupação, conforme tabela 4.

Tabela 4 – Vazão mínima por tipo de sistema de hidrante

Tipo de Sistema	Grupos de Ocupação	Vazão mínima(L/min)	Mangueira	Esguicho
Tipo1	A	80	DN25	Regulável
Tipo1	B,D,E,H,F1, F2,F3,F4eF5	100	DN32	Regulável
Tipo1-Hidrante	-	130	DN40	DN13
Tipo2	-	300	DN40	DN16
Tipo3	-	900	DN65	DN25

Fonte:(ABNT,2000)

2.5.2 Pressão Máxima

A pressão máxima nos esguichos não deve ser superior ao dobro da pressão no esguicho mais desfavorável. Deve-se prever válvulas ou dispositivos para redução de pressão de forma a atender este critério.

Recomenda-se que a pressão máxima no sistema, em qualquer ponto, não ultrapasse 1.000 kPA.

2.6 Modelagem das Conexões

As conexões podem ser modeladas no EPANET como junções, porém, o modelo foi realizado de forma esquemática, dessa forma, foi necessário realizar a criação de pontos de interesse, e tês, com a interligação entre mais de dois trechos de tubulação. Nestes nós, se faz necessário apenas informar a elevação. As perdas localizadas são consideradas nos coeficientes de perdas localizadas da tubulação correspondente, e o coeficiente de emissão é automaticamente configurado durante a execução da rotina de otimização.

2.7 Configurações da Simulação Hidráulica

As configurações de simulação (*Hydraulic Options*) definem como o EPANET executa o modelo e calcula as condições hidráulicas no sistema.

As configurações hidráulicas necessárias são as Unidades de Vazão, que será configurada como LPM (Litros por Minuto), o método de perda, que será configurado como H-W (Hazen-Williams), e o expoente de emissor, que é o expoente da pressão na fórmula de vazão em bocais, tipicamente igual a 0,5.

As configurações temporais no EPANET são essenciais para simular o comportamento dinâmico de uma rede de distribuição de água ao longo do tempo. Essas configurações permitem que o usuário modele variações na demanda, no nível de água dos reservatórios e na operação das bombas e válvulas, oferecendo uma análise detalhada das condições operacionais ao longo de um período. No método apresentado é realizada a simulação de tempo estático, ou seja, duração zero. No entanto, a partir do modelo otimizado, é possível realizar a simulação em tempo dinâmica para simular o comportamento do sistema em funcionamento.

3 ALGORITMO PARA DIMENSIONAMENTO

Para o desenvolvimento do algoritmo de dimensionamento do sistema de hidrantes, foram utilizadas as seguintes bibliotecas em Python:

- Pandas (Mckinney, 2010): Fornece estruturas de dados como DataFrames, facilitando a manipulação e análise eficiente de grandes volumes de dados tabulares.
- WNTR (*Water Network Tool for Resilience*) (Klise *et al.*, 2017): Biblioteca desenvolvida para modelar a resiliência de redes de distribuição de água, permitindo simulações avançadas e avaliação de desempenho sob diversas condições.
- SciPy (Virtanen *et al.*, 2020): Fornece rotinas para otimização, álgebra linear, integração e outras funções matemáticas avançadas, sendo

amplamente utilizada para resolver problemas científicos e de engenharia.

A integração dessas bibliotecas permite automatizar o processo de dimensionamento, assegurando cálculos precisos e eficientes dos parâmetros críticos do sistema, como pressão, vazão e especificações das bombas.

3.1 Leitura dos Dados

Inicialmente, o algoritmo importa o arquivo .inp do EPANET, que detalha a configuração completa do sistema de hidrantes, incluindo tubulações, bombas, válvulas, reservatórios e nós correspondentes aos esguichos. Além disso, define-se a vazão mínima e o coeficiente K dos esguichos, assumindo uniformidade entre eles.

3.2 Criação de *DataFrame* de Esguichos e Mangueiras

Para considerar os cenários mais críticos, gera-se um *DataFrame* com todas as combinações possíveis de pares de esguichos. Cada esguicho é então associado às suas respectivas mangueiras, facilitando o cálculo das perdas de carga e a configuração precisa no EPANET.

3.3 Criação das Funções Auxiliares

Desenvolveram-se funções auxiliares para tarefas recorrentes. Destaca-se a função de cálculo do desvio, que recebe um par de esguichos, o coeficiente emissor e a potência da bomba. Esta função realiza uma simulação hidráulica e avalia as pressões e vazões em cada esguicho, calculando o erro médio quadrático (RMSE) entre as pressões simuladas e as pressões mínimas exigidas. Esse erro orienta a otimização da potência da bomba.

3.4 Criação da Função Otimiza

A função de otimização visa determinar a potência ideal da bomba que minimize o erro para cada par específico de esguichos. Utiliza-se um método de otimização, como o algoritmo de Brent ou de Powell, para ajustar a potência da bomba de forma eficiente.

3.5 Loop de Dimensionamento

Este loop aplica a função de otimização a cada par de esguichos, registrando a potência otimizada e compilando os resultados em um *DataFrame*. Cada iteração atualiza o arquivo .inp e armazena os dados de pressão e vazão para análises subsequentes.

3.6 Seleção da Bomba

Após avaliar todos os pares de esguichos, seleciona-se a bomba capaz de atender ao cenário mais desfavorável, ou seja, aquele que requer a maior altura manométrica (H_b). Essa etapa assegura que a bomba escolhida suprirá as demandas de pressão e vazão em todas as situações críticas.

3.7 Loop de Verificações

Finalmente, realiza-se um loop de verificações para confirmar que todos os parâmetros do sistema estão dentro dos limites estabelecidos pelas normas e requisitos de segurança. Simulam-se diferentes pares de esguichos com a bomba selecionada, verificando-se aspectos como velocidades nas tubulações e pressões nos esguichos. Os resultados são organizados em *DataFrames* e exportados para um arquivo .xlsx, facilitando a análise detalhada e a documentação dos dados obtidos.

Este algoritmo proporciona uma abordagem sistemática e automatizada para o dimensionamento e verificação de sistemas de hidrantes, integrando as

capacidades de simulação do EPANET com a flexibilidade e eficiência da programação em Python.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso visa aplicar o método desenvolvido em uma edificação residencial de 13 pavimentos, conforme o Exemplo 1 apresentado por Brentano (2011). Para possibilitar a comparação entre os resultados do método proposto e os do exemplo mencionado, todos os parâmetros e premissas adotados serão replicados.

Embora a edificação exija um sistema Tipo 1 (mangotinhos), optou-se pela instalação de hidrantes, conforme permitido pela norma. O dimensionamento do sistema considerará o uso simultâneo de dois esguichos, garantindo que o esguicho hidráulicamente mais desfavorável atenda à vazão mínima especificada de 130 L/min.

4.1 Parâmetros Iniciais

4.1.1 Dados da edificação e parâmetros de dimensionamento

- Ocupação: residencial;
- Quantidade de pavimentos: 13;
- Tipo de Sistema: hidrantes com reservatório inferior;
- Vazão mínima no esguicho: 130 L/min;
- Quantidade de Esguichos simultâneos: 02.

4.1.2 Trecho de Sucção

O trecho de sucção inicia no reservatório, considerado na cota -3,60 m, nível inicial de 0,1 m, apenas para garantir que a saída do reservatório não fique com o status de fechada, e segue para a bomba, na cota 0,40 m.

A tubulação segue do reservatório para a bomba com diâmetro interno de 65 mm (a literatura utiliza como diâmetro interno o mesmo valor do diâmetro nominal), coeficiente de rugosidade de 130, e comprimento de 7 m. Como perda localizada, considerou-se 2 joelhos de 90° e uma válvula de pé com crivo. Para as perdas localizadas, neste método foram considerados os coeficientes de perdas localizadas. O resumo do trecho de sucção está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resumo dos parâmetros do trecho de Sucção

Parâmetro	Valor
Diâmetro Interno	65 mm
Comprimento	7,0 m
2 joelhos 90° (0,9)	1,8
1 Válvula de Pé com Crivo	2,5
Perdas Localizadas	4,3

Fonte:(Brentano, 2011)

4.1.3 Tubulação de Recalque

A tubulação de recalque, compreendendo todos os trechos a jusante da bomba, foram modeladas com o diâmetro de 50 mm, e fator C = 130. Os comprimentos dos trechos entre pavimentos são de 2,80 m, com exceção do primeiro trecho, que tem 2,40 m. Os trechos que representam a derivação para o hidrante, a literatura considera como tendo comprimento zero. No modelo do EPANET, serão considerados com comprimento de 0,01 m, uma vez que o software não permite tubulação com comprimento zero. As perdas localizadas consistem em uma válvula angular e um tê de saída lateral para a derivação do hidrante, exceto no último trecho, que possui um joelho. Na coluna principal, há um tê de passagem direta em cada pavimento, enquanto que no trecho imediatamente a jusante da bomba há uma válvula de gaveta e uma válvula de retenção vertical.

O resumo do trecho de sucção está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Resumos dos parâmetros do trecho de Recalque

Parâmetro	Valor
Diâmetro Interno	50 mm
Comprimento	Variável
Joelho 90°	0,9
Válvula Angular	5,0
Tê Saída Lateral	1,8
Tê Passagem Direta	0,6
Válvula Gaveta	0,2
Válvula de Retenção	2,5

Fonte: Brentano, 2011.

4.1.4 Esguichos

Os esguichos considerados no exemplo são DN 13, com DI 12,7 mm. O fator de vazão nesse caso é de $32,5 L/min/mca^{0,5}$. No modelo do EPANET há configuração apenas da elevação e nomenclatura do ID. A perda de carga do esguicho foi incluída no trecho que representa a mangueira, uma vez que não há cálculo de perda de carga nas junções.

4.1.5 Mangueiras

As mangueiras consideradas no exemplo possuem DN 40, com DI 38,1 mm. Coeficiente de rugosidade $C = 140$ e comprimento de 30 m.

A perda de carga no esguicho foi incluída no trecho das mangueiras, conforme Equação 12.

Para os valores de $k' = 0, 1$, $Dm = 38, 1$ e $De = 12, 7$, tem-se que $k'' = 8, 1$. O resumo dos parâmetros das mangueiras está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Resumos dos parâmetros das Mangueiras

Parâmetro	Valor
Diâmetro Interno	38,1 mm
Comprimento	30 m
Perdas do Esguicho	8,1

Fonte: Brentano, 2011.

4.2 Resultados

A simulação realizada utilizando o EPANET apresentou uma pressão de 16.00 mca e uma vazão de 130.00 L/min no primeiro esguicho mais desfavorável (E12), valores que correspondem diretamente aos dados do exemplo da literatura. Essa correspondência indica que o modelo desenvolvido é capaz de replicar com precisão casos teóricos, sugerindo a consistência da metodologia adotada..

O resumo dos resultados é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Resumo dos resultados

Elemento	Literatura	Simulação	Erro
Esguicho mais desfavorável	E12	E12	-
Vazão no Esguicho maisdesfavorável	130 L/min	130,0 L/min	0 L/min
Pressão no Esguicho maisdesfavorável	16 mca	16,0 mca	0 L/min
Segundo Esguicho maisdesfavorável	E11	E11	-
Vazão no Segundo Esguichomais desfavorável	138 L/min	138,42 L/min	0,42 L/min (0,3%)
Pressão no Segundo Esguichomais desfavorável	19 mca	18,14 mca	0,86 mca (4,5%)
Vazão da Bomba	268 L/min	268,42 L/min	0,42 L/min(0,1%)
Altura manométrica da Bomba	69 mca	65,38 mca	3,62 mca(5,2%)
Esguicho mais favorável	H01	H01	-
Vazão no Esguicho maisfavorável	220 L/min	181,39 L/min	38,61 L/min(17,5%)
Pressão no Esguicho maisfavorável	Nãocalculado	31,15 mca	-
Segundo Esguicho maisfavorável	H02	H02	-
Vazão no Segundo Esguichomais favorável	214 L/min	171,95 L/min	42,05 L/min(19,6%)
Pressão no Segundo Esguichomais favorável	NãoCalculado	27,99 mca	-
Pressão no Ponto A	22 mca	21,69 mca	0,31 mca(1,4%)
Pressão no Ponto B	25 mca	24,62 mca	0,38 mca(1,5%)
Pressão no Ponto L	59 mca	37,62 mca	21,38 mca(36,2%)
Pressão no Ponto M	63 mca	42,04 mca	20,96 mca(33,2%)

Fonte: Os Autores, 2025.

Observa-se, conforme a Tabela 8, que no cenário dos esguichos mais desfavoráveis, os resultados obtidos pelo método proposto apresentam uma concordância significativa com os dados fornecidos por Brentano (2011), evidenciando uma diferença mínima de 5,2% na altura manométrica da bomba. Essa discrepância pode ser atribuída aos arredondamentos sucessivos realizados nos cálculos manuais do exemplo, enquanto o modelo computacional desenvolvido em Python mantém a precisão numérica ao longo de todo o processo.

No cenário envolvendo os esguichos mais favoráveis, nota-se uma divergência mais acentuada. A análise detalhada da memória de cálculo do exemplo revela que as premissas adotadas consideram a manutenção da altura manométrica da bomba mesmo com o aumento da vazão, implicando em um cálculo para uma bomba de potência superior. Em contrapartida, o modelo simulado neste estudo não aplica tais simplificações, calculando as pressões e vazões com base na potência previamente determinada para o cenário mais desfavorável. Essa abordagem elimina suposições simplificadoras, proporcionando uma análise mais realista e precisa do sistema.

A metodologia proposta neste estudo apresenta diversas vantagens em comparação aos métodos tradicionais de dimensionamento de sistemas de hidrantes:

- **Automatização do Processo:** A integração do EPANET com scripts em Python permite a automação de cálculos complexos, reduzindo significativamente o tempo necessário para o dimensionamento e minimizando a possibilidade de erros humanos associados a cálculos manuais.
- **Precisão Aumentada:** Ao evitar arredondamentos intermediários e considerar todas as variáveis do sistema de forma integrada, o método assegura resultados mais precisos, refletindo com maior fidelidade o comportamento hidráulico real da instalação.

- Análise Abrangente de Cenários: A capacidade de simular múltiplos cenários, incluindo variações nas condições operacionais e configurações do sistema, possibilita uma avaliação completa do desempenho do sistema de hidrantes sob diferentes situações, auxiliando na tomada de decisões informadas para otimização e segurança.
- Flexibilidade e Escalabilidade: A utilização de uma linguagem de programação versátil como Python permite que o método seja facilmente adaptado e escalado para projetos de diferentes portes e complexidades, atendendo às necessidades específicas de cada instalação.

Em síntese, o método desenvolvido não apenas valida os resultados teóricos apresentados na literatura, mas também aprimora o processo de dimensionamento de sistemas de hidrantes, oferecendo uma ferramenta robusta, precisa e eficiente para engenheiros e projetistas. A adoção desta abordagem pode resultar em sistemas mais seguros e confiáveis, alinhados às normas vigentes e às demandas específicas de cada projeto.

5 CONCLUSÃO

O método desenvolvido para o dimensionamento hidráulico de sistemas de hidrantes demonstrou-se altamente eficaz na otimização de sistemas de combate a incêndio. A principal inovação reside no desenvolvimento de algoritmos em Python que, integrados ao EPANET, permitem simular automaticamente múltiplos cenários de acionamento e realizar o dimensionamento iterativo dos componentes do sistema. Essa abordagem possibilitou uma modelagem precisa e detalhada,

contemplando as especificidades da estrutura hidráulica e atendendo rigorosamente aos parâmetros normativos estabelecidos.

A utilização do EPANET, reconhecido por sua capacidade de simular o comportamento hidráulico e a qualidade da água em redes de distribuição, aliada à flexibilidade e eficiência da linguagem Python, resultou em um processo de dimensionamento mais ágil e menos suscetível a erros manuais. O algoritmo desenvolvido em Python automatizou etapas críticas do dimensionamento, facilitando a análise de múltiplos cenários e auxiliando na seleção otimizada de componentes, como bombas e tubulações.

No estudo de caso apresentado, a metodologia proposta não apenas replicou com precisão os resultados obtidos por métodos tradicionais, mas também evidenciou vantagens significativas em termos de eficiência e precisão. A capacidade de simular diferentes condições operacionais e ajustar parâmetros em tempo real proporciona aos engenheiros de segurança do trabalho uma ferramenta robusta para garantir que os sistemas de hidrantes projetados atendam aos requisitos de segurança e desempenho esperados.

Além disso, a integração com Python possibilita a expansão das funcionalidades do EPANET, permitindo a incorporação de rotinas personalizadas de otimização e análise avançada. Essa flexibilidade é particularmente vantajosa em projetos complexos, onde a adaptação a condições específicas é essencial para o sucesso do empreendimento.

Em suma, a abordagem integrada apresentada neste trabalho representa um avanço significativo no campo do dimensionamento de sistemas de hidrantes, oferecendo uma solução que combina precisão, eficiência e adaptabilidade. A adoção dessa metodologia tem o potencial de aprimorar a qualidade dos projetos de combate a incêndio, assegurando a proteção eficaz de edificações e a segurança dos ocupantes.

REFERÊNCIAS

ABNT, A. B. d. N. T. **ABNT NBR 11861: Mangueira de incêndio - Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT, A. B. d. N. T. **ABNT NBR 13714: sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio**. Rio de Janeiro, 2000.

BRENTANO, T. **Instalações Hidráulicas de Combate a Incêndio nas Edificações**. 4ª ed.. ed. Porto Alegre: EPECÊ, 2011. ISBN 978-85-907537-1-1.

DENTI, A. F.; DALLAGO, R. M.; STEFFENS, J. **Engenharia de segurança contra incêndios: uma breve revisão a respeito do princípio de incêndios, classificações gerais e medidas de proteção**. Revista Perspectiva, v. 46, n. 174, p. 7–16, 8 2022. ISSN 2178-5937. Disponível em: <http://ojs.uricer.edu.br/ojs/index.php/perspectiva/article/view/246>.

INNOCENT, A. O.; DANIEL, O. O.; ALLEN, U. C. **Modification and Installation of Water Hydrant System in Ogbete Main Market for Effective Fire Combating Operation**. IJO -International Journal Of Mechanical And Civil Engineering, 2024. ISSN 2992-2461. Disponível em: <https://ijojournals.com/index.php/mce/index>.

KADAM, R. S. et al. **A Study on Fire & Safety Systems in Commercial & Residential Building**. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, v. 9, n. 8, p. 2663–2665, 8 2021. ISSN 23219653. Disponível em: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=37823>.

KLISE, K. A. et al. **A software framework for assessing the resilience of drinking water systems to disasters with an example earthquake case study**. Environmental Modelling & Software, v. 95, p. 420–431, 9 2017. ISSN 13648152. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815216309501>.

MCKINNEY, W. **Data Structures for Statistical Computing in Python**. In: Stefan van der Walt and Jarrod Millman (Ed.). Proceedings of the 9th Python in Science Conference, 2010. p. 56–61. Disponível em: <https://doi.curvenote.com/10.25080/Majora-92bf1922-00a>.

MEGNAFI, H. et al. **Internet of Things technology for efficient fire hydrant management**. In: 2023 IEEE International Workshop on Mechatronic Systems

Supervision (IW_MSS). IEEE, 2023. p. 1–6. ISBN 979-8-3503-2756-4. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/10368652/>>.

NETTO, J. M. d. A.; FERNÁNDEZ, M. F. Y. **Manual de Hidráulica**. 9. ed.. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

NURHAKIM, Y. A.; UTOMO, K. S. **Water Distribution in a Fire Protection System (Case Study Of DKK Semarang Building Simulation by Epanet 2.0)**. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, v. 23, n. 1, p. 64–73, 4 2021. ISSN 2503-1899.

PEREZ, D. M. et al. **La simulación en el diseño de los sistemas hidráulicos navales**. rih, XXXVIII, n. 2, p. 29–43, 2017. ISSN 1680-0338. Disponível em: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000200003&lng=es&nrm=iso>.

ROSSMAN L. A. (2001). **EPANET 2 Users Manual**. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000.

SANTOS, J. P.; SILVA, P. M. e. **Sistema de hidrantes em edificações destinadas ao serviço automotivo, com área construída inferior a 750 m² e altura inferior a 12 m**. Revista FLAMMAE, v. 5, n. 13, p. 43, 2019. ISSN 2359-4829.

STEFFELBAUER, D.; FUCHS-HANUSCH, D. **OOPNET: An object-oriented EPANET in Python**. Procedia Engineering, v. 119, p. 710–718, 2015. ISSN 18777058.

VIRTANEN, P. et al. **SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python**. Nature Methods, v. 17, n. 3, p. 261–272, 3 2020. ISSN 1548-7091. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41592-019-0686-2>>.

WILLIAMS, G. S.; HAZEN, M. A. **Hydraulic Tables: showing the loss of head due to the friction of water flowing in pipes, aqueducts, sewers, etc. and the discharge over weirs**. New York, 1905. Disponível em: <<https://inventory.powerzone.com/documents/Hazen-Williams-Friction-Loss-Hydraulic-Tables.pdf>>.