

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ADRIANE MENEZES COSTA ARAÚJO

MODELAGEM DE UM HIDRANTE DE COLUNA NO
EPANET COM VISTAS A DETERMINAÇÃO DA VAZÃO
DISPONÍVEL

SÃO CARLOS -SP
2020

ADRIANE MENEZES COSTA ARÁUJO

MODELAGEM DE UM HIDRANTE DE COLUNA NO EPANET COM VISTAS A
DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DISPONÍVEL

Trabalho de Graduação Integrado
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de São Carlos, como parte
integrante dos requisitos para obtenção
do título de bacharel em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Erich Kellner

São Carlos-SP
2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à toda minha família, por todo incentivo e apoio que me ofereceram ao longo deste período, e, especialmente, ao meu sobrinho João Anthony.

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por me fortalecer durante toda a caminhada da graduação e de elaboração deste trabalho.

Ao meu esposo Hérique dos Santos Araújo, pela compreensão durante todo esse processo, por ser meu maior incentivador, pela força e confiança em mim depositadas, pelo tempo dedicado a mim, por ser meu refúgio em dias de aflição e ser exemplo de coragem e determinação.

Aos meus familiares, especialmente minha mãe Luzia Menezes Costa e meu pai Gilmar Cordeiro Costa por todo o incentivo e prioridade que deram para os meus estudos e pelos ensinamentos dados a mim, a quem devo muita gratidão e respeito, pelo exemplo de vida que são; ao meu sobrinho João Anthony que sempre foi meu refúgio, a quem recorri em momentos de desânimo; aos meus irmãos Mayrlla e André Luiz pelo incentivo e apoio e a minha sogra Margarete e meu sogro Juvenal pelas palavras de ânimo e encorajamento durante todo esse período.

Ao meu orientador Prof.^o Dr. ^o Erick Kellner por todo apoio, incentivo e por suas orientações imprescindíveis para o sucesso deste trabalho de conclusão de curso.

Ao Corpo de Bombeiros de São Carlos, pelo trabalho comprometido que prestam para a sociedade e pela disponibilidade em contribuir com este trabalho, em especial gostaria de agradecer ao Sargento Poletti, ao qual a colaboração foi fundamental.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil pelo conhecimento transmitido e aos meus amigos de curso, por todo auxílio prestado a mim, pelos trabalhos realizados em conjunto e por tornarem a caminhada mais leve.

Aos meus amigos pela torcida e incentivo, em especial Denise e Karina.

Às pessoas que contribuíram com este trabalho de forma direta e indireta.

RESUMO

Partindo da percepção do risco que o manuseio cotidiano do fogo pode ocasionar incêndios em edificações, comércios, escolas, patrimônios públicos e históricos, é necessário aprimorar as condições atuais para contê-lo. O combate à incêndios é realizado fazendo uso de uma grande quantidade de água que precisa estar disponível a uma distância e em condições adequadas para possibilitar que o atendimento do Corpo de Bombeiros seja eficiente. É nesse cenário que a vazão do hidrante se faz tão importante enquanto objeto de estudo. Esse trabalho se justifica por sugerir o desenvolvimento de uma técnica de simulação computacional, embasadas em medições em campo que permitam a simulação da abertura de um hidrante em uma rede de distribuição no software EPANET, que não permite a consideração direta de acessórios. Dessa forma, teve como objetivo obter a vazão disponível no sistema de abastecimento de água, bem como, determinar o coeficiente de descarga para tubos curtos, realizar a medição da vazão em campo e propor um ajuste do coeficiente de descarga do hidrante considerando a pressão e a vazão medidas em campo. Quanto a metodologia foi baseada no desenvolvimento de um modelo no EPANET que possibilitou determinar um coeficiente de descarga teórico para uso em tubos curtos, fazendo as considerações dos efeitos reais através da consideração do coeficiente de perda de carga (K). Bem como, o levantamento em campo com medições das pressões junto a rede de distribuição de água com o intuito de determinar a vazão, determinação da vazão por meio de uma formulação teórica através da medição do jato de água do hidrante e posteriormente, foi realizado um ajuste do modelo teórico no EPANET. Com a construção do modelo computacional, pode-se concluir que o coeficiente de emissão (CE) é influenciado proporcionalmente pela área transversal do bocal de saída, além disso, para valores maiores ou iguais a $3000 \text{ L.s}^{-1}.\text{m}^{-0,5}$, resultou em uma vazão estável e observou-se que pode ser empregado em ramais de descarga com DN iguais ou inferiores a DN200. Para a proposta de modelagem de hidrante de coluna, empregando VRP (fictícia) os resultados se mostraram satisfatórios e condizentes com os valores de vazão fornecidos pelo corpo de bombeiros, considerando o diâmetro do bocal de 63,5mm e o coeficiente de perda de carga (K) – Loss Coeff, de 1,55. Devido os dados serem provenientes da interpolação de dados tabelados, estes devem ser vistos com cautela, pois não há conhecimento sobre a origem dos valores tidos na tabela.

Palavras-chave: Hidrante de Coluna. EPANET. Incêndio.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Caracterização dos hidrantes por cor	15
Figura 1 - Calçada na frente de área particular	16
Figura 2 - Calçada na frente de área pública	16
Figura 3 - Ligação do Hidrante de Coluna à rede de distribuição de água	17
Figura 4 - Determinação do coeficiente de velocidade	20
Figura 5 - Características físicas e parâmetros hidráulicos da interligação do hidrante de coluna à rede de distribuição de água	23
Figura 6 - Abertura da Válvula utilizando a chave T	27
Figura 7 - Hidrante com o tampão aberto	28
Figura 8 - Hidrante com o esguicho regulável de 2" ½ acoplado	28
Figura 9 - Tubo de Pitot utilizado para medir a pressão dinâmica – modelo 1	29
Figura 10 - Tubo de Pitot utilizado para medir a pressão dinâmica – modelo 2	29
Figura 11 - Aparelho medidor de pressão estática e dinâmica	30
Figura 12 - Caderno de hidrantes do Corpo de Bombeiro de São Carlos	32
Figura 13 - Jato do hidrante de coluna nº 33	35
Figura 14 - Jato do hidrante de coluna nº 36	35
Figura 15 - Construção do modelo de hidrante de coluna no EPANET	37
Figura 16 - Resultados obtidos a partir da aplicação da Lei dos Orifícios e do modelo criado no EPANET	39
Figura 17 - Variação da vazão de descarga (Q) em função do Coeficiente de Emissão (CE) e do diâmetro da interligação, estabelecidos para a carga de pressão disponível (H=50 mH ₂ O)	41
Figura 18 - Variação da vazão descarregada em função da raiz quadrada da carga de pressão disponível (H 0,5), considerando CE=3000, para os diâmetros nominais (DN) 75, 100 e 150mm	43
Figura 19 - Variação da vazão descarregada e estabilizada e a área transversal da tubulação de interligação, considerando H=50 mH ₂ O	44
Quadro 2 - Caracterização dos hidrantes	45

Figura 20 - Localização do hidrante número 33	45
Figura 21 - Diâmetro nominal da rede de distribuição de água do hidrante 33	46
Figura 22 - Localização do hidrante número 36	46
Figura 23 - Diâmetro nominal da rede de distribuição de água do hidrante 36	47
Figura 24 - Vazões medidas pelo Corpo de Bombeiros, obtidas pelo modelo proposto (K=4,1) e pelo modelo ajustado (K=1,55)	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de Hidrantes	15
Tabela 2 - Singularidades consideradas no cálculo da perda de carga localizada no trecho de interligação entre a rede de distribuição de água e o hidrante de coluna	25
Tabela 3 - Tabela de conversão de unidade	30
Tabela 4 - Relação pressão e vazão	31
Tabela 5 - Vazões obtidas a partir do modelo desenvolvido no EPANET em função do Coeficiente de Emissão (CE), da carga de pressão (H) e dos diâmetros nominais (DN) do ramal de interligação	38
Tabela 6 - Vazão descarregada obtida pelo modelo computacional e pela Lei dos orifícios e tubos curtos	39
Tabela 7 - Valores das perdas de carga (h_f) do trecho de interligação obtidos a partir do software EPANET	40
Tabela 8 - Relação entre a perda de carga obtida (h_f) no trecho de interligação e a carga de pressão disponível (H)	42
Tabela 9 - Parâmetros dos hidrantes analisados	47
Tabela 10 - Comparação dos resultados de vazão obtidos para cada método proposto	48
Tabela 11 - Vazões aferidas pelo Corpo de Bombeiros em alguns hidrantes de coluna	49
Tabela 12 - Vazões dos hidrantes simuladas pelo modelo proposto ($K=4,1$) e ajustadas ($K=1,55$)	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	09
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	09
1.2	JUSTIFICATIVA	09
1.3	OBJETIVOS	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA O DESENVOLVIMENTO DAS CIDADES E OS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO	11
2.2	HIDRANTES URBANOS DE COLUNA	13
2.3	TEORIA DOS ORIFÍCIOS E TUBOS CURTOS E SUA RELAÇÃO COM OS HIDRANTES	17
2.4	MÉTODO TEÓRICO PARA ESTIMATIVA DA VAZÃO DE UM HIDRANTE DE COLUNA A PARTIR DA TEORIA GERAL DOS ORIFÍCIOS E TUBOS CURTOS	18
2.5	O SOFTWARE EPANET COMO FERRAMENTA PARA MODELAGEM DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO NO EPANET PARA DETERMINAÇÃO DE UM COEFICIENTE TEÓRICO PARA USO EM TUBOS CURTOS	22
3.1.1	Características Físicas e Hidráulicas da Interligação do Hidrante de Coluna à Rede de Distribuição de Água	22
3.1.2	Implementação da Lei dos Orifícios no EPANET	24
3.1.3	Construção do Modelo Computacional do Hidrante de Coluna no EPANET	24
3.1.4	Critérios estabelecidos para determinação do Coeficiente de emissão no EPANET	25
3.2	LEVANTAMENTO EM CAMPO	27
3.3	MÉTODO TEÓRICO PARA ESTIMATIVA DA VAZÃO DE UM HIDRANTE DE COLUNA	34
3.4	AJUSTE DO MODELO TEÓRICO NO EPANET	36
4	RESULTADOS	37
4.1	RESULTADOS OBTIDOS PARA O MODELO DE HIDRANTE DE COLUNA CONSTRUÍDO NO EPANET	37
4.2	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE VAZÃO OBTIDOS NA FORMULAÇÃO TEÓRICA, NO MODELO COMPUTACIONAL E ESTIMADO PELO CORPO DE BOMBEIROS DE SÃO CARLOS	45
5.	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O uso do fogo se aprimorou ao longo das gerações, de forma que hoje tenhamos acesso a ele para aquecer os alimentos, incinerar resíduos, promover iluminação, entre outras utilidades. Compreender o fogo é indispensável para entender o cenário de incêndios, visto que o incêndio ocorre quando o controle do fogo está fora do alcance (GOIAS, 2017).

Para combater o fogo fora do controle é necessário entender sua natureza química e física, as fontes de calor, os materiais existentes no local e suas características de combustão. Além disso se faz uso de inúmeras ferramentas e estratégias para promover o controle das chamas, para que o foco de incêndio não se espalhe provocando um desastre ainda maior ou mesmo para eliminar o foco.

A disponibilidade da água em condições adequadas contribui para que a equipe de combate de incêndio possa controlar as chamas e combater o fogo, por isso o hidrante de coluna é um dispositivo relevante neste cenário.

1.2 JUSTIFICATIVA

. O uso de softwares para o dimensionamento de redes de distribuição de água é recomendado pela NBR 12.218 (ABNT,2017).

Da mesma maneira, essa norma técnica brasileira exige que hidrantes de coluna sejam instalados nas redes de distribuição de água como dispositivos de auxílio de combate ao incêndio.

No combate a um incêndio é de fundamental importância saber a vazão possível de ser disponibilizada por um hidrante que esteja próximo ao foco do incêndio, para que o agente público possa estabelecer, rapidamente, estratégias para o combate ao incêndio.

Assim, uma das formas de o corpo de bombeiro classificar as vazões máximas disponibilizadas pelos hidrantes é empregando cores. Essa classificação em sistema de cores, permite que a vazão do hidrante seja identificada de forma visual, uma vez

que cada uma das cores: vermelho, amarelo, verde e azul correspondem a uma vazão.

Entretanto, para o dimensionamento de uma rede de distribuição de água podem ser feitas simulações em softwares, para contribuir com a determinação da vazão nos hidrantes.

O EPANET, software criado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – EPA) possui ferramentas que possibilitam executar simulações hidráulicas, porém não possui uma função automática para a simulação do comportamento de um hidrante instalado na rede de distribuição fazendo com que, muitas vezes, os projetistas considerem uma vazão fixa para a simulação da vazão do hidrante, o que é uma suposição grosseira pois não considera a variação da pressão da rede de distribuição de água e sua influência na vazão disponibilizada pelo hidrante.

Este trabalho se justifica por propor o desenvolvimento de uma técnica de simulação computacional, amparada por dados medidos em campo, que permita a simulação da abertura de um hidrante em uma rede de distribuição de água de maneira a obter não somente a vazão disponibilizada pelo dispositivo assim como verificar a variação de pressão na rede de distribuição quando o hidrante está em operação.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é modelar um hidrante de coluna no software EPANET de maneira a obter a vazão disponível pelo sistema de abastecimento de água, considerando a hipótese de descarga livre por tubo curto.

Os objetivos específicos são:

- a) Determinação computacional do coeficiente de descarga do hidrante.
- b) Determinação "in loco" da vazão disponibilizada por determinados hidrantes instalados na cidade de São Carlos
- c) Ajuste do coeficiente de descarga do hidrante considerando as pressões na rede e as vazões medidas em campo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção estão apresentados os referenciais teóricos que embasam a teoria aplicada no desenvolvimento deste trabalho.

2.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA O DESENVOLVIMENTO DAS CIDADES E OS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO.

No Brasil houve um movimento migratório das zonas rurais para urbanas a partir dos anos 60, se intensificando ao decorrer das décadas. Neste cenário houve crescimento do contingente populacional urbano como mostra os levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE dos anos 1960 a 2010 (IBGE, 2010).

Segundo Vieira Filho *et al* (2015), o movimento migratório provocou um adensamento populacional das cidades, ocasionando grande demanda por moradias e conseqüentemente gerando uma demanda de infraestrutura para as cidades.

A infraestrutura pode ser caracterizada como conjunto de subsistemas técnicos setoriais que combinados compõem a estrutura de funcionamento de uma cidade. Esses subsistemas são constituídos por: “Subsistema Viário: consiste nas vias urbanas; Subsistema de Drenagem Pluvial; Subsistema de Abastecimento de Água; Subsistema de Esgotos Sanitários; Subsistema Energético; Subsistema de Comunicações.” (ZMITROWICZ; ANGELIS NETO, 1997)

Ainda segundo os autores esses sistemas atendem à demanda de uma sociedade através da promoção de condições adequadas de moradia, acesso à educação, lazer, seguridade e emprego, bem como possibilitar que as atividades produtivas e a gestão da cidade sejam desenvolvidas.

Neste cenário, garantir um sistema de abastecimento público de água potável permite a garantia de usos em domicílios, escolas, hospitais e demais estabelecimentos que integram o meio urbano, bem como o conjunto de atividades associadas ao meio urbano, portanto, é essencial.

[...] o acesso universal à água potabilizada e distribuída em todos os domicílios deve fazer parte, prioritariamente, da pauta de todas as políticas públicas, seja de saúde, ambiental, de bem estar social e de desenvolvimento urbano e regional. O uso da água para o abastecimento

humano, sob a forma de sistemas de distribuição urbanos é o mais importante e o mais nobre entre os usos da água e de suas fontes naturais [...]. (GRASSI, 2004)

Captar a água em sua fonte natural, fazer o tratamento de forma adequada para que ela se torne potável para uso humano, armazenar e distribuí-la através das redes de distribuição e suas ligações, configuram um sistema de abastecimento de águas (GOMES, 2009; TSUTIYA, 2005; VILAS-BOAS, 2008).

Segundo Vilas-Boas (2008), a captação é o processo de recolher água natural que pode ser oriundo de águas superficiais ou subterrâneas, que após o devido tratamento devem ser armazenadas geralmente em reservatórios à montante da rede de distribuição. Os reservatórios possuem a função de regular a vazão distribuída, equilibrar a pressão na rede, garantir a qualidade da água e reter a água para que seja distribuída para a cidade até os pontos de consumo.

A rede de distribuição de água, componente que faz parte do sistema de abastecimento, compreende o conjunto de tubulações e acessórios que possui a finalidade de transportar a água até o local de uso, de forma ininterrupta, mantendo pressão e vazão adequadas (ABNT, 2017). Segundo Vilas-Boas (2008), a rede pode ser do tipo principal ou secundária, tais que a principal é locada levando em consideração aspectos técnicos e econômicos, em regiões onde ocorre grande demanda de consumo e as secundárias são as ramificações da principal. Entretanto, as redes principais possuem maior exigência de proteção contra incêndio, justamente por serem regiões onde há maior demanda. Esta maior exigência ocorre pois, justamente nas redes principais é que se localizam os maiores diâmetros da rede.

A água tem um papel fundamental no combate de incêndio do ponto de vista da sua eficácia.

A água é o mais completo dos agentes extintores. A sua importância é reconhecida, pois mesmo que não leve à extinção completa do incêndio auxilia no isolamento de riscos e facilita a aproximação dos bombeiros ao fogo para o emprego de outros agentes extintores (OLIVEIRA; GUIMARÃES; GONÇALVES, 2008, p. 233).

Em relação ao conjunto de medidas com a função de promover a estabilização e a extinção de incêndios utilizando a água como agente extintor, podem ser utilizados

mangotinhos, chuveiros automáticos, sistema de água nebulizada e hidrantes (GOMES¹ 1998 *apud* SEITO *et al.*, 2008).

O Hidrante e o mangotinho são dispositivos importantes no combate de incêndio, sendo o mangotinho utilizado para uso em edificações prediais, e considerado essencial para o combate de incêndio, segundo Bentrano (2004). O autor diz ainda que ele possui vantagens como a fácil operação; rapidez no combate uma vez que o dispositivo fica acoplado e pronto para operar; facilidade no manuseio, visto que uma única pessoa é capaz de operá-lo, boa durabilidade; entre outros fatores.

Exceto o hidrante, que é utilizado em incêndios urbanos, os outros dispositivos são apenas para uso em edificações prediais.

Segundo BRASIL (2012), os incêndios urbanos são caracterizados como desastres tecnológicos, por ter origem ligada às “condições tecnológicas ou industriais, incluindo acidentes, procedimentos perigosos, falhas na infraestrutura ou atividades humanas específicas”

2.2 HIDRANTES URBANOS DE COLUNA

Segundo São Paulo (2006) os hidrantes são o principal mecanismo para abastecer os veículos, mas o abastecimento pode ser proveniente de outras fontes, como piscinas, mananciais, reservatórios, entre outros. Os hidrantes se destacam pois as outras fontes citadas nem sempre estão acessíveis. Vale ressaltar ainda que não há normas que regulem o volume que deve ser retido nos reservatórios para uso exclusivo em situações de incêndio.

Visto a importância dos hidrantes no meio urbano para auxiliar no combate de incêndio e a fim de regular a instalação nas redes de abastecimento a NBR 12218 (ABNT, 2017), que dispõe sobre o “Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento” tem o objetivo de nortear os projetos, prevendo a instalação de hidrantes para as seguintes condições: população inferior a 20 mil habitantes, população superior a 20 mil habitantes, ocupações especiais e setores industriais. Entretanto, ressalta que a definição dos pontos é de

¹ GOMES, A. **Sistema de prevenção contra incêndios**: sistemas hidráulicos, sistemas sob comando, rede de hidrantes e sistema automáticos. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

responsabilidade da operadora, que deve consultar o Corpo de Bombeiros durante a elaboração do projeto, seja ele de concepção, expansão ou modificação dos pontos onde estão localizados os hidrantes.

Ainda segundo a NBR 12218, para populações inferiores a 20 mil habitantes os hidrantes devem ser instalados nos pontos do sistema de distribuição de água; para populações superiores a 20 mil habitantes os hidrantes devem estar dispostos em um raio de 800 m e uma distância de 1600 m para uma ocupação principal considerada “Unifamiliar adensada/comercial/patrimônio público, áreas horizontalizadas” e um raio de 600 m e uma distância de 1200 m para uma ocupação principal considerada “Verticalização adensada, área de baixa mobilidade (trânsito intenso, vias estreitas, dificuldade de deslocamento)” (ABNT, 2017, p.16).

Em relação às ocupações especiais, a referida norma estabelece que os hidrantes devem estar dispostos em um raio de 300 m e uma distância de 600 m, se enquadram como ocupação especial “Hospital, presídio, shopping, área com alto adensamento vertical, escola, museu, depósito” (ABNT, 2017, p. 16).

Para as áreas com ocupação industrial a norma define como responsabilidade da operadora definir os pontos de instalação de hidrantes – assim como nos outros casos - porém sem indicação de raio e distância para disposição do mesmo (ABNT, 2017). Entretanto, a Instrução Técnica nº 34 do Corpo de Bombeiro do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2019), prevê um raio de 300 m e uma distância de 600 m para áreas de ocupação industrial.

Os hidrantes citados pela NBR 12218 (ABNT, 2017), podem ser do tipo subterrâneo ou de coluna, desde que possuam fácil acesso para viaturas do corpo de bombeiros, atendendo as orientações do Conselho Nacional de Trânsito. Cada categoria de hidrante irá corresponder a determinada vazão, pressão e o Diâmetro Nominal da Rede em que será instalado, como pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de hidrantes

Categoria	Vazão		DN RDA (mm)	Pressão Dinâmica na RDA	
	(l/min)	(l/s)		(KPa)	(mca)
A	> 2000	> 33	≥ 300	≥ 100	10,19
B	1000 a 2000	> 16 a 33	> 150	≥ 100	10,19
C	360 a 1000	> 6 a 16	≤ 150	≥ 200	20,39
D	< 360	< 6	≤ 100	≥ 300	30,59

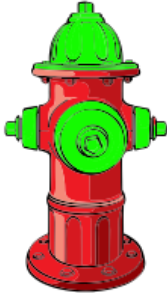
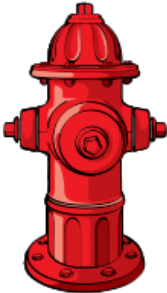
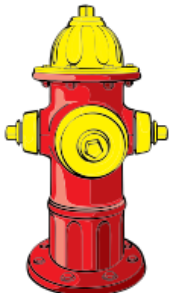
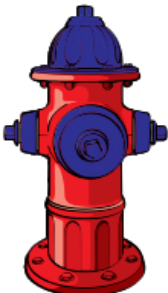
RDA: Rede de distribuição de água.

DN: Diâmetro nominal.

Fonte: Adaptado pelo autor extraído da NBR 12218 (ABNT, 2017, p. 17)

Cada categoria de hidrante possui uma combinação de cores, como se pode observar no quadro 1.

Quadro 1 – Caracterização dos hidrantes por cor

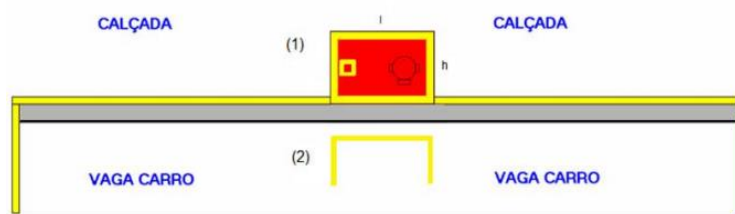
Categoria	Simbologia de Cores	Categoria	Simbologia de Cores
A		C	
B		D	

Fonte: Elaborado pelo autor extraído da NBR 12218 (ABNT, 2017)

A Instrução Técnica - IT nº 34 (SÃO PAULO, 2019) prevê ainda um sistema de sinalização horizontal para as calçadas. Segundo a IT se as calçadas forem de uso particular devem seguir a exigência de 70 cm de largura (i), 70 cm de comprimento

(h) e bordas amarelas com largura de 15 cm, em conformidade Resolução do Conselho Nacional de Trânsito - Contran nº 31/98, como mostrado na figura 1.

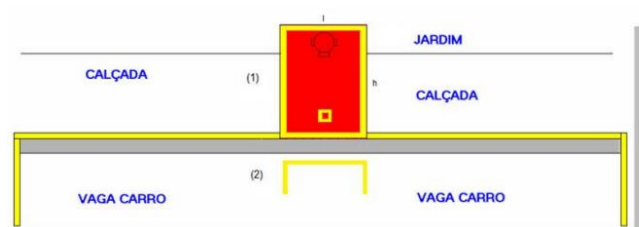
Figura 1 – Calçada na frente de área particular



Fonte: Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica Nº 34, (SÃO PAULO, 2019).

Para áreas de domínio público, a IT em questão dispõe que a sinalização possui largura (i) de 70cm e comprimento (h) de 70 a 120 cm e bordas amarelas com largura de 15 cm, em conformidade com a Resolução do Contran nº 31/98, como mostrado na figura 2.

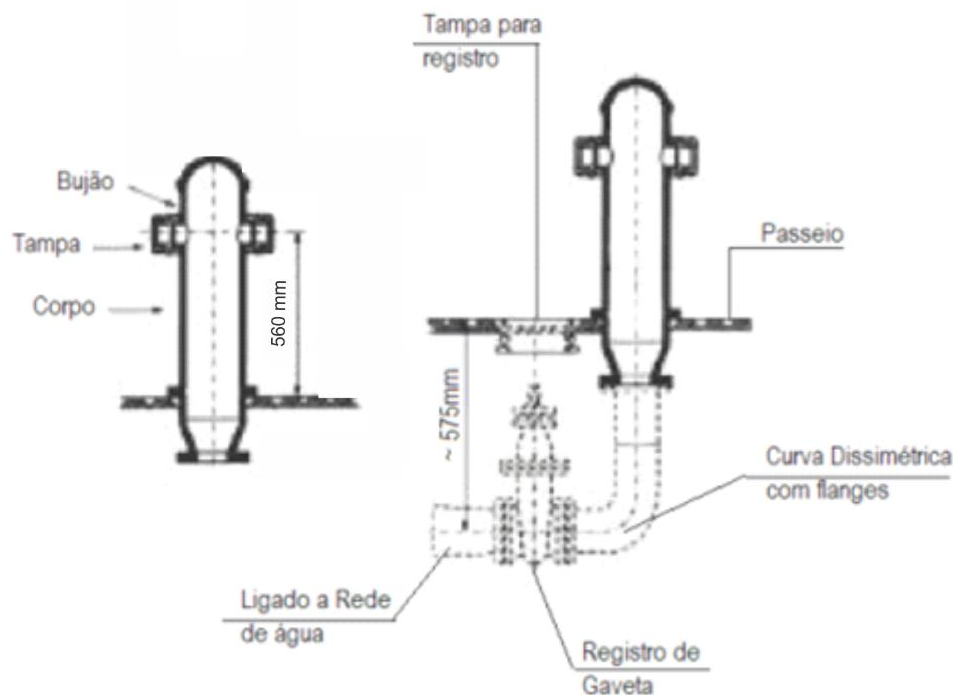
Figura 2 – Calçada na frente de área pública



Fonte: Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica Nº 34, (SÃO PAULO 2019).

É comum que hidrante de coluna possua um registro de gaveta que possui DN de 75 mm, uma curva dissimétrica flangeada, cuja entrada possui DN de 75 mm e a saída possui DN100, esta saída é ligada diretamente no hidrante (KELLNER, 2020). Na figura 3 está mostrado como é feita a ligação do hidrante na tubulação da rede de distribuição.

Figura 3 – Ligação do Hidrante de coluna à rede de distribuição de água



Fonte: Adaptado de Kellner, 2020

Segundo a IT nº 22 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2019) “Todo material previsto ou instalado deve ser capaz de resistir ao efeito do calor e aos esforços mecânicos, mantendo seu funcionamento normal”.

A NBR 5667 (ABNT, 2006) explica que o ferro fundido dúctil é um dos materiais utilizados na fabricação do corpo do hidrante de coluna, sendo ele do tipo FE42012, também pode ser usado ferro fundido nodular dúctil dos tipos 400-15 ou 450-10. Na fabricação do bujão deve ser utilizado latão fundido com uma resistência de 230 MPa (tração). O tampão é feito do mesmo material do corpo e a vedação do sistema pode ser feita com borracha natural ou artificial de etileno-propileno-dieno (EPDM).

2.3 TEORIA DOS ORIFÍCIOS E TUBOS CURTOS E SUA RELAÇÃO COM OS HIDRANTES

Segundo Porto (2006), orifício pode ser definido como uma forma geométrica que possui uma “abertura de perímetro fechado”. Segundo o autor, os orifícios podem ser pequenos ou grandes a depender da carga, de forma que se um terço da sua

carga H for menor que a abertura do orifício, em sua dimensão vertical, ele é dito pequeno. E é dito grande quando a carga hidrostática que faz o fluxo é consideravelmente menor no bordo superior da abertura em relação ao bordo inferior.

Os orifícios podem ter uma parede de contorno que não possui arestas arredondadas, denominados tubos. Esses podem ser classificados seguindo o comprimento relativo da tubulação, obedecendo uma relação entre o comprimento da tubulação L e o diâmetro D . A relação intitula como bocais se $1,5 \leq L/D \leq 5,0$; tubos muito curtos se $5,0 < L/D \leq 100$; tubulações curtas se $100 < L/D \leq 1000$ e tubulações longas se $L/D > 1000$ (PORTO, 2006).

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} \quad (01)$$

sendo Q a vazão (m^3/s), A a área da seção transversal do tubo ou do orifício (m^2), H a carga hidráulica em relação à posição do orifício ou tubo curto (m); g a aceleração devido à gravidade (m/s^2).

Os tubos curtos possibilitam a passagem de água, em sua maioria com uma pequena carga. É importante ressaltar que as perdas na tubulação que são desprezadas nesses casos, podem levar a grandes erros a depender do tamanho da tubulação e nesses casos é necessário considerar perdas nas entradas e saídas. No caso dos tubos curtos, ele obedece a Lei dos Orifícios onde o coeficiente de vazão C_d tem a função de absorver o efeito das perdas de cargas localizadas e distribuídas no tubo (PORTO, 2006), conforme Equação (01).

Nesse caso a equação a ser utilizada é a Equação Básica denominada Lei dos Orifícios, sendo H a distância entre a superfície do reservatório e o centro da seção de saída do tubo, pois a seção pode não estar na horizontal. A altura entre a superfície livre do reservatório e a geratriz superior na entrada do tubo, denominado submergência, deve ser no mínimo igual a uma vez e meia a carga cinética. Existem tabelas para caracterizar os valores para o coeficiente de vazão (PORTO, 2006).

2.4 MÉTODO TEÓRICO PARA ESTIMATIVA DA VAZÃO DE UM HIDRANTE DE COLUNA A PARTIR DA TEORIA GERAL DOS ORIFÍCIOS E TUBOS CURTOS

Através da mensuração dos valores correspondentes a massa do líquido, coletada através de um tanque calibrado, em um determinado tempo, medido através de um cronômetro e fazendo uso da massa específica do líquido, método chamado

de gravimétrico, segundo a NBR ISO 4185/09 (ABNT, 2009), que possibilita obter experimentalmente a vazão Q . Após a obtenção desta vazão em conjunto com a área da seção transversal do tubo A e a carga hidráulica total H , é possível obter o coeficiente de vazão C_d , através da equação 01 (PORTO, 2006).

Segundo Porto (2006), fatores como a carga hidráulica, as condições de afluxo e a viscosidade do líquido podem influenciar para que o coeficiente C_d não seja constante e sofra variações para um determinado orifício.

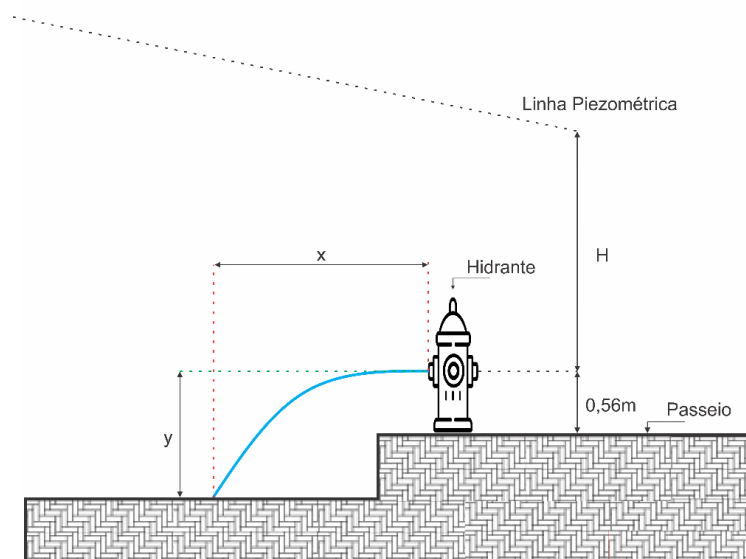
O coeficiente de vazão C_d é resultado do produto entre o coeficiente de contração C_c e o Coeficiente de velocidade C_v . Tal que para a determinação do coeficiente de contração C_c , faz-se uso de um calibrador de compasso instalado na seção que sofreu contração e para obter o Coeficiente de velocidade, basta dividir a velocidade real, encontrada ao colocar um tubo de Pitot na seção que sofreu contração, pela velocidade teórica que é obtida através da equação 02.

$$V_t = \sqrt{2gh} \quad (02)$$

Substituindo a Velocidade teórica na fórmula do Coeficiente de velocidade, têm-se:

$$C_v = \frac{V}{V_t} \therefore C_v = \frac{V}{\sqrt{2gH}} \quad (3)$$

Segundo Porto (2006), outra maneira de determinar a velocidade é pelo método das coordenadas. Neste método, a partir das coordenadas do jato que saem de um orifício de seção contraída. O jato irá assumir uma curva com características semelhantes a uma parábola, devido a presença da gravidade g . Para esta trajetória a velocidade inicial é nula, sendo x e y coordenadas quaisquer pertencentes a trajetória do jato, desprezando a resistência ao movimento provocado pelo ar correspondente é possível utilizar equações de cinemática, para os parâmetros na horizontal e na vertical.

Figura 4 – Determinação do coeficiente de velocidade

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

A componente horizontal da velocidade do jato V é constante, dessa forma a coordenada x na horizontal, pode ser descrita em função do tempo t , como mostra a equação 04.

$$x = Vt \quad (04)$$

Na vertical, aplicando o conceito criado por Galilei para Lei de corpos em queda, obtém-se uma equação 05, onde y varia conforme o tempo t .

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (05)$$

Ao eliminar o tempo nas duas equações, tem-se a equação 06:

$$x^2 = \frac{2V^2}{g}y \quad (06)$$

Tal que a equação 06 descreve a equação de uma parábola, onde a velocidade V está em função de x e y , obtidos através do experimento ilustrado pela figura 4. Logo, o coeficiente de velocidade C_v pode ser reescrito em função das coordenadas x e y , como mostra a equação 07.

$$V = x \sqrt{\frac{g}{2y}} \therefore C_v = \frac{V}{V_t} = \frac{x \sqrt{\frac{g}{2y}}}{\sqrt{2gH}} = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{1}{Hy}} \quad (07)$$

Esta equação, conhecida como método das coordenadas, pode ser utilizada em situações reais para determinação da vazão para tubos horizontais com a extremidade aberta (PORTO, 2006).

2.5 O SOFTWARE EPANET COMO FERRAMENTA PARA MODELAGEM DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Há vários softwares comerciais disponíveis no mercado para o cálculo do comportamento hidráulico de redes de distribuição de água, porém, nenhum deles foi tão testado quanto o EPANET (KELLNER, 2020).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency* – EPA), é a responsável pela criação de um software que possui ferramentas que possibilitam executar simulações hidráulicas, avaliar o comportamento hidráulico do ponto de vista de qualidade da água e das redes de distribuição, o EPANET. O software através de características da rede e da topografia fornece dados de “perda de carga, velocidade e vazão em cada trecho, e da carga hidráulica e pressão em cada nó, seja em um único instante, seja ao longo de um determinado tempo, considerando a variação da demanda nos nós”. (KELLNER, 2020, p.8).

Para que o programa possa fornecer os cálculos é preciso inserir as características que configuram uma rede, sendo a mesma constituída por tubulações, válvulas e acessórios, bombas e reservatório, seja ele de nível fixo ou de nível variável. Toda vazão utilizada no EPANET sai pelo nó da rede, o programa usa modelação em linguagem computacional para efetuar os cálculos, porém ele não possui formulação para avaliar o modelo de hidrantes.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção estão apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

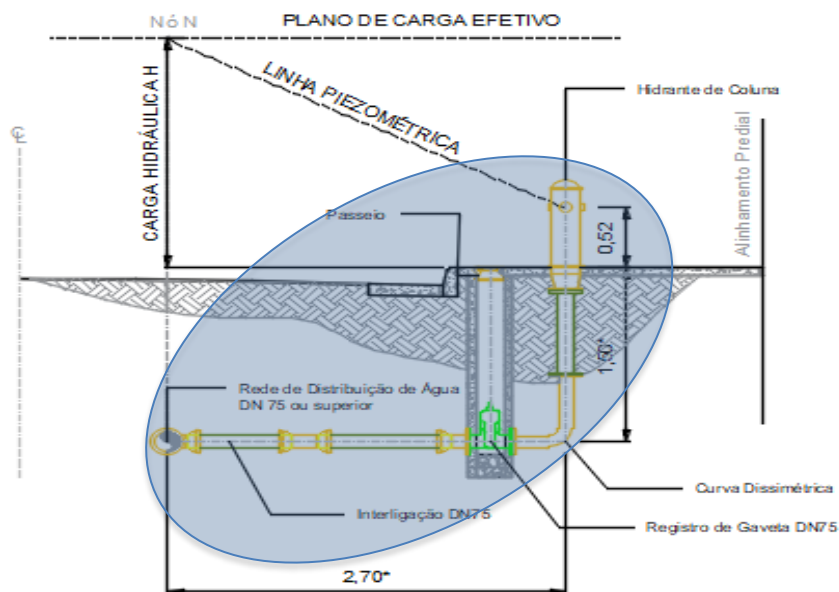
3.1 DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO NO EPANET PARA DETERMINAÇÃO DE UM COEFICIENTE TEÓRICO PARA USO EM TUBOS CURTOS

Para a realização da modelagem teórica do modelo de um hidrante no EPANET, fez-se uso dos parâmetros vistos anteriormente na figura 3, levando em consideração o diâmetro da rede, o diâmetro da tubulação que liga o hidrante ao sistema de abastecimento de 75 mm e a altura do ponto de saída do hidrante em relação a calçada que é de 56 cm.

3.1.1 Características físicas e hidráulicas da interligação do hidrante de coluna à rede de distribuição de água

Segundo Kellner (2020), em geral, os hidrantes urbanos de coluna são interligados a rede de distribuição de água por uma tubulação de DN75, fazendo uso de uma curva dissimétrica e de um registro de gaveta ao final da interligação, para permitir o isolamento do hidrante para eventual necessidade de manutenção, sem a necessidade de interromper o abastecimento da região em que o hidrante está localizado. A figura 5 ilustra a interligação do hidrante de coluna à rede de distribuição de água.

Figura 5 - Características físicas e parâmetros hidráulicos da interligação do hidrante de coluna à rede de distribuição de água



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Nota: *Dimensões aproximadas em metros.

De acordo com a figura 5, no ponto de interligação do hidrante de coluna à rede de distribuição de água, onde está localizado o nó N, é estabelecida uma carga de pressão (H) resultante das características do sistema de distribuição de água.

Dessa forma, considerando o hidrante de coluna inoperante (fechado), é estabelecido um plano de carga efetivo entre o nó N e o hidrante de coluna, que caracteriza toda a energia disponível no trecho. No momento em que o hidrante está em operação (aberto), a linha piezométrica é gerada a partir do decaimento do plano de carga efetivo, representada por uma linha imaginária que interliga a carga de pressão de montante a carga de pressão de jusante, onde o deslocamento de água entre a rede de distribuição e o hidrante de coluna ocorre justamente devido a esse diferencial de pressão.

Para o comprimento de tubulação entre a rede de distribuição de água e o hidrante de coluna, foi considerado uma extensão de tubulação da ordem de 4,20m e um diâmetro dessa tubulação é de 75mm, portanto a relação comprimento (L) / diâmetro (D) de $L/D=56$, o que justifica classificar, hidraulicamente, a interligação como tubo muito curto (PORTO, 2006).

3.1.2 Implementação da Lei dos Orifícios no EPANET

Segundo EPA (2000), o EPANET permite a consideração de emissores (emitters) associados aos nós da rede de distribuição com o intuito de simular bocais e orifícios que descarregam para a atmosfera. Para essas situações, a vazão (Q) descarregada é dada pela Equação (08).

$$Q = CE \cdot H^\gamma \quad (08)$$

Sendo Q a vazão descarregada (l/s), CE o coeficiente de emissão (l/s/m^{0,5}); H a carga de pressão (m); γ expoente igual a 0,5 (adimensional).

3.1.3 Construção do Modelo Computacional do Hidrante de Coluna no EPANET

A construção do modelo computacional deu-se após estabelecer o coeficiente de emissão a ser empregado no hidrante de coluna, em seguida a implementação da condição de contorno de jusante, para as condições de abertura do hidrante.

Na situação real, a ligação do hidrante de coluna à rede de distribuição de água possui inúmeros dispositivos para que o seu funcionamento ocorra. Tais dispositivos, não estão disponíveis no software para serem implementados, logo não necessariamente o modelo possui todos os dispositivos conforme existem na situação real, entretanto todos os efeitos provocados por eles, que afetam o comportamento hidráulico do hidrante, devem ser considerados no modelo.

A pressão na rede de distribuição de distribuição de água, conforme ilustração apresentada na Figura 5, tendo como referencial o passeio, deve ser da ordem de 0,52m. Por segurança, considerou-se nos cálculos de simulação que a carga de pressão de jusante deve-se situar em 0,70mH₂O.

A perda de carga no trecho de interligação entre a rede de distribuição e o hidrante de coluna foi calculada conforme Equação (09).

$$hf = 10,65 \cdot \frac{Q^{1,85}}{C_{HW}^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot L + \sum K_i \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (09)$$

onde C_{HW} é o coeficiente de Hazen-Williams ($m^{0,68}/s^{1,85}$); Q é a vazão (m^3/s); L é o comprimento total da tubulação (m); K_i é o coeficiente de perda de carga localizada da singularidade i (adimensional); V é a velocidade média de escoamento (m/s) e g é a aceleração devido a gravidade (m/s^2).

A perda de carga distribuída está representada no primeiro termo da Equação (09) e o segundo termo representa a perda de carga localizada para o trecho de interligação entre a rede de água e o hidrante de coluna.

A Tabela 2 apresenta as singularidades consideradas no modelo para o cálculo da perda de carga localizada no trecho de interligação entre a rede de distribuição de água e o hidrante de coluna. Os acessórios considerados pelo coeficiente da perda de Carga K , estão exemplificados na figura 5.

Tabela 2 - Singularidades consideradas no cálculo da perda de carga localizada no trecho de interligação entre a rede de distribuição de água e o hidrante de coluna

Singularidade	K_i
Tê com saída lateral	2,0
Válvula de gaveta aberta	0,2
Tubo de raio curto	0,9
Saída do hidrante	1,0
Σ	4,1

Fonte: PORTO, 2006

Para o cálculo da perda de carga distribuída presente na Equação (09), foram considerados $L = 4,20m$, conforme apresentado na Figura 1, e $C = 100$, conforme sugerido por Porto (2006).

3.1.4 Critérios estabelecidos para determinação do Coeficiente de Emissão no EPANET

Com o intuito de obter a determinação do Coeficiente de Emissão (CE) estabelecido pelo EPANET para o cálculo de vazão segundo a lei dos orifícios, foi estabelecida seguindo os passos assim descritos:

- i. Construiu-se um modelo computacional de um reservatório de nível constante alimentando um nó através de uma tubulação com 4,20m de comprimento, considerando um coeficiente de perda de carga localizada ($\sum K$) de 4,1, variando os diâmetros nominais (DN) de 75mm, 100mm, 150mm e 200mm, de maneira a simular a interligação da rede de distribuição de água ao hidrante de coluna apresentado na Figura 5. A figura 6, mostra a construção do modelo computacional.
- ii. Considerou-se a viscosidade relativa da água igual 1,0.
- iii. Estabeleceu-se desníveis geométricos entre o reservatório de nível constante e o nó de extremidade da rede de 10m, 15m, 20m, 30m, 40m e 50m, de maneira a percorrer o intervalo de pressões estabelecida pela NBR 12.218/2017 (ABNT, 2017) para a redes de distribuição de água.
- iv. Para cada desnível geométrico considerado, foram adotados Coeficientes de emissão (CE) com valores 0,6, 1, 10, 100, 1000, 1500, 1700, 2100 e 3000 L.s⁻¹.m^{-0,5}.
- v. Para cada valor de desnível geométrico e Coeficiente de emissão considerados, as vazões foram calculadas decorrentes da aplicação da Equação (08) e as perdas de carga estimadas para cada situação, de acordo com a equação (09).
- vi. Para cada perda de carga estimada para um determinado coeficiente de emissão (CE) e diâmetro foi calculado o erro relativo à carga hidráulica (H) disponível, conforme Equação (10), estando os resultados apresentados na Tabela 4.

$$\varepsilon = 100 \cdot \frac{H - hf_{observada}}{H} \quad (10)$$

Onde ε é o erro relativo (decimal); H é a carga de pressão disponível no ponto de interligação de rede de distribuição de água e o ramal de ligação ao hidrante de coluna (mH₂O); hf observada é a perda de carga total observada para a vazão Q calculada (mH₂O).

- vii. Considerou-se válido o coeficiente de emissão (CE) que resultou em erro relativo nulo para toda a gama de carga e pressão considerada

3.2 MEDIÇÃO DA VAZÃO EM CAMPO

Esta etapa consistiu no levantamento da técnica utilizada pelo Corpo de Bombeiros para realizar periodicamente as vistorias nos hidrantes de São Carlos, afim de verificar as vazões existentes e a classificação do hidrante segundo a NBR 12218 (ABNT, 2017), como mostra o Quadro 1, bem como acompanhar em campo as medições e determinação da vazão.

Ao menos uma vez ao ano esse procedimento é realizado pelo Corpo de bombeiros a fim de verificar o funcionamento dos hidrantes, sendo levantadas informações como características físicas do local, pintura, situação dos dispositivos do hidrante (corpo, bujão, tampões), dos acessórios (registros e válvulas), da sinalização do local, entre outros aspectos.

O procedimento para obter a vazão dos hidrantes com o intuito de classificá-lo, consiste em aferir a pressão existente no hidrante e inferir a vazão correspondente a ela. O intuito do procedimento não é realizar uma metrologia e sim uma verificação expedita, com o intuito de analisar o funcionamento dos hidrantes. Para isso, se faz necessário fechar a válvula ou registro de gaveta, como mostra a figura 5, fazendo uso da chave T (figura 6), ao girar a chave o registro do hidrante é desligado, impedindo o escoamento da água para que o tampão possa ser aberto.

Figura 6 – Abertura da Válvula utilizando a chave T



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Para retirar o tampão deve-se rosqueá-lo, até que seja possível removê-lo totalmente de forma que o orifício fique aberto, como mostra a figura 7.

Figura 7 – Hidrante com o tampão aberto



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Deve-se então acoplar uma adaptação ao orifício de saída do jato, como mostra a figura 8.

Figura 8 – Hidrante com o esguicho regulável de 2" ½ acoplado



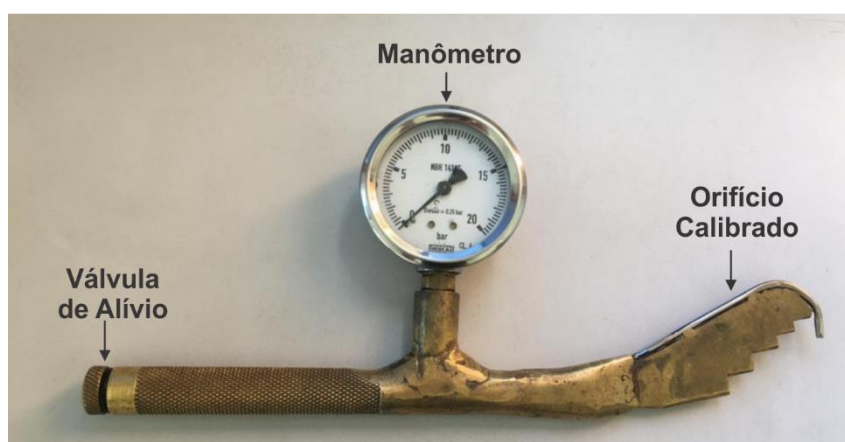
Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Com a adaptação acoplada a aferição da pressão dinâmica é realizada utilizando o tubo de Pitot, de forma que o orifício calibrado deve estar posicionado no

centro do diâmetro do jato onde será efetuada a medição, o ar deve ser retirado com a abertura da válvula de alívio, de tal forma que o fluxo de água seja constante e em seguida, deve-se fechá-lo para realizar a leitura utilizando o manômetro, que é o equipamento utilizado para leitura da pressão dinâmica, em unidade quilograma-força/centímetro² -BAR.

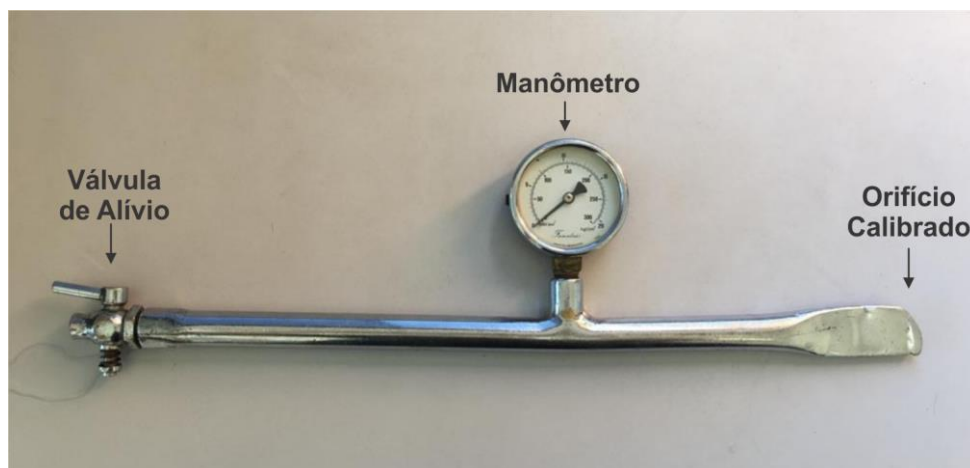
O Corpo de Bombeiros de São Carlos - CBSC dispõe de dois dispositivos para realizar a medição da pressão dinâmica, como apresenta a figura 9 e 10.

Figura 9 – Tubo de Pitot utilizado para medir a pressão dinâmica - modelo 1



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

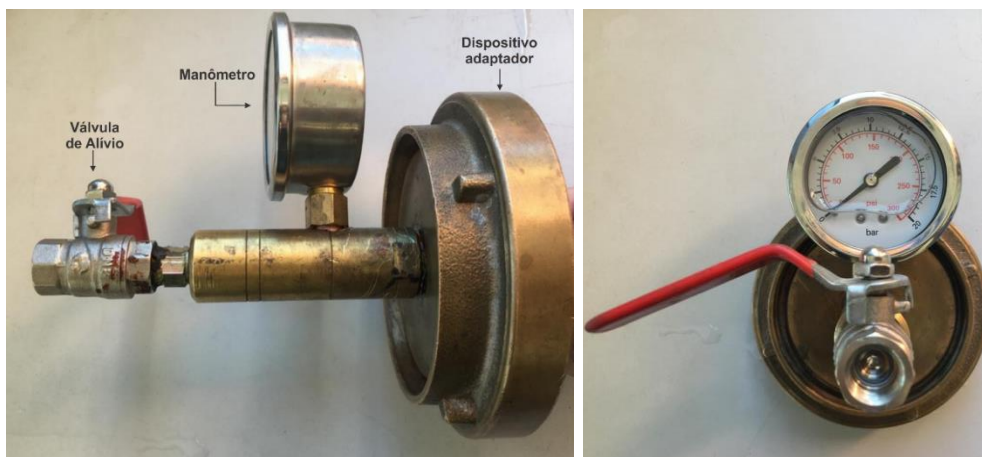
Figura 10 – Tubo de Pitot utilizado para medir a pressão dinâmica – modelo 2



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Para a medição da pressão estática, o CBSC utiliza um aparelho capaz de medir ade pressão estática e dinâmica, como mostra a figura 11.

Figura 11 – Aparelho medidor de pressão estática e dinâmica



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

O aparelho é utilizado, acoplado no orifício do hidrante, antes de efetuar as leituras, é necessário que se faça a abertura do registro globo para que todo o ar possa sair, funcionando como uma válvula de alívio e em seguida, com a válvula fechada é feita a leitura da pressão estática. Ao abrir a o registro de gaveta do equipamento é possível fazer a leitura da pressão dinâmica. pressão registrada pode ser em BAR ou libra força por polegada quadrada – PSI.

Com as leituras realizadas, com a pressão estática obtida em Bar, o CBSC faz uso de uma tabela de conversão de pressão a fim de transformá-la em unidade de libra força por polegada quadrada – PSI, como mostra a tabela 3.

Tabela 3 - Tabela de conversão de unidades de pressão utilizadas pelo Corpo de Bombeiros na determinação das pressões estática e dinâmica.

Pressão (BAR)	Pressão (PSI)	Pressão (BAR)	Pressão (PSI)
0,25	3,626	2,75	39,885
0,50	7,252	3,00	43,511
0,75	10,878	3,25	47,137
1,00	14,504	3,50	50,763
1,25	18,130	3,75	54,389
1,50	21,756	4,00	58,015
1,75	25,382	4,25	61,641
2,00	29,008	4,50	65,267
2,25	32,634	4,75	68,893
2,50	36,260	5,00	72,519

Fonte: Corpo de Bombeiros de São Carlos (2020)

Após a conversão em PSI, é localizada a coluna com o valor de pressão correspondente ao valor lido no manômetro, na coluna ao lado estão os valores de vazão do hidrante relacionados a pressão medida no sistema, como mostra a tabela 4.

Tabela 4 - Tabela para determinação da vazão do hidrante a partir da pressão dinâmica medida pelo Corpo de Bombeiros


Pressão (PSI)	Vazão (l/min)	Pressão (PSI)	Vazão (l/min)	Pressão (PSI)	Vazão (l/min)
0,294	307,762	32,193	3220,487	64,092	4544,047
1,323	652,861	33,222	3271,551	65,121	4580,379
2,352	870,481	34,251	3321,831	66,150	4616,425
3,381	1043,671	35,280	3371,360	67,179	4652,192
4,410	1191,956	36,309	3420,172	68,208	4687,686
5,439	1323,733	37,338	3468,298	69,237	4722,913
6,468	1443,530	38,367	3515,764	70,266	4757,880
7,497	1554,120	39,396	3562,599	71,295	4792,591
8,526	1657,347	40,425	3608,825	72,324	4827,053
9,955	1754,511	41,454	3654,467	73,353	4861,271
10,584	1846,570	42,483	3699,546	74,382	4895,249
11,613	1934,252	43,512	3744,082	75,411	4928,993
12,642	2018,128	44,541	3788,095	76,440	4962,508
13,671	2098,655	45,570	3831,602	77,469	4995,798
14,700	2176,204	46,599	3874,620	78,498	5028,867
15,729	2351,082	47,628	3917,166	79,527	5061,720
16,758	2323,550	48,657	3959,255	80,556	5094,362
17,787	2393,824	49,686	4000,902	81,585	5126,796
18,816	2462,093	50,715	4042,119	82,614	5159,026
19,845	2528,520	51,744	4082,920	83,643	5191,055
20,874	2593,246	52,773	4123,317	84,672	5222,889
21,903	2656,395	53,802	4163,323	85,701	5254,529
22,932	2718,077	54,831	4202,947	86,730	5285,980
23,961	2778,391	55,860	4242,202	87,759	5317,245
24,990	2837,422	56,889	4281,096	88,788	5348,327
26,019	2895,251	57,918	4319,641	89,817	5379,230
27,048	2951,946	58,947	4357,844	90,846	5409,956
28,077	3007,573	59,976	4395,716	91,875	5440,509
29,106	3062,190	61,005	4433,264	92,904	5470,891
30,135	3115,849	62,034	4470,496	93,933	5501,105
31,164	3168,600	63,063	4507,421	94,962	5531,154

Fonte: Corpo de Bombeiros de São Carlos (2020)

Após a localização do hidrante a ser inspecionado, através da numeração existente nele é feita uma busca no Caderno de hidrantes. O caderno de hidrantes fornece as informações referentes ao número do hidrante, endereço, explicação sobre o procedimento de vistoria, foto do hidrante, localização e fornece o QR code que deve ser escaneado na vistoria, como mostra a figura 12.

Figura 12 – Folha de caracterização do hidrante - Caderno de hidrantes do Corpo de Bombeiros de São Carlos

- 60 -



POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO
CORPO DE BOMBEIROS
CADERNO DE HIDRANTES



CADASTRO

TIPO: COLUNA
RUA LUIZ LAZARO ZAMENHOF ESQUINA COM A RUA PARAGUAI
VILA BRASILIA
SÃO CARLOS - SP

702094100 - ESTAÇÃO DE BOMBEIRO SAO CARLOS - VILA SAO GABRIEL




09186

LOCALIZAÇÃO

SÃO CARLOS
DPF - Departamento de Bombeiros - 1º Sub-gerenciamento




SÃO CARLOS
DPF - Departamento de Bombeiros - 1º Sub-gerenciamento



AUXÍLIOS À LOCALIZAÇÃO

Faça a leitura do código QR ao lado para iniciar o Google Maps com a rota até o hidrante, ou digite a sequência abaixo em qualquer navegador.

 **58CJ243C+HX**

Para a região metropolitana e da cidade de São Paulo consulte a folha e quadricula do guia de ruas Mapegrat referente a esse hidrante.

NÃO DISPONÍVEL

HISTÓRICO DE VISTÓRIAS

Nº 36

Fonte: Corpo de Bombeiros de São Carlos (2020)

As vistorias são realizadas através de um sistema de gerenciamento e georreferenciamento dos hidrantes, utilizando o aplicativo Open Data Kit - ODK Collect. Depois de localizado o hidrante no Caderno de Hidrantes, no aplicativo é feita a leitura do QR code referente ao hidrante que será vistoriado. Após a captura o aplicativo solicita a informação sobre o tipo de hidrante que está sendo vistoriado, de

forma que o vistoriador pode classifica-lo como: Hidrante de Coluna, subterrâneo ou Bica.

É solicitada a geolocalização do ponto onde se localiza a vistoria para identificar se o agente do Corpo de Bombeiros está no local correspondente ao hidrante cadastrado no sistema.

Em seguida, é solicitado duas fotos dos hidrantes, tais fotos, segundo o sargento do Corpo de Bombeiros de São Carlos devem ter uma amplitude que permita mostrar o local em torno no hidrante.

Após isso, se inicia um questionário que funciona como um checklist que analisa aspectos físicos e hidráulicos do hidrante, de forma que quando a afirmação é verdadeira o responsável deve marcar a caixa correspondente a afirmação, quando não, deve deixá-la em branco, respondendo assim as seguintes afirmações:

Em relação a válvula de abertura:

- A válvula de abertura está coberta pelo piso.
- Não possui tampa metálica no canal da válvula de abertura.
- Canal da válvula de abertura obstruída que não permite o uso (sujeira, terra, concreto)
- Canal da válvula de abertura em ângulo, tamanho ou posição que impossibilita a operação da chave T
- Chave T padrão não alcança a válvula de abertura
- Válvula de abertura não tem engate com a chave T
- Válvula de abertura espanada
- Válvula de abertura travada

Em relação ao corpo do hidrante:

- Corpo do hidrante
- Corpo do hidrante está inclinado
- Corpo do hidrante está semienterrado
- Corpo do hidrante está elevado
- Falta pintura
- Falta tampões de 2 ½ polegadas
- Falta tampão de 4 polegadas
- Expedição de 4 polegadas não está voltada para a rua
- Sem flange na expedição

- Expedições e fios da rosca do hidrante não permitem acoplamento com adaptação

- Exige chave magnética para abertura

Em relação do local:

- Não possui sinalização viária indicando a presença do hidrante
- Não possui sinalização de solo indicando a presença do hidrante
- O calçamento no entorno do hidrante está em más condições
- Não permite o acesso próximo a viatura
- Local com controle de acesso
- Hidrante bloqueado por cadeado
- Objeto no entorno atrapalha a operação (muro, portão, árvore, etc)

Qual a vazão apresentada?

- Seco
 - Fraca
 - Média
 - Boa
- Disponível instrumento.

Pressão estática medida: (Campo para escrever manualmente a pressão estática e dinâmica);

Qual a vazão medida ou calculada (campo para escrever manualmente a vazão);

Unidade utilizada: (campo para colocar a unidade);

- Possível de uso pelo Corpo de Bombeiros.

Caso necessário, relate um complemento (Campo para inserir informações adicionais, os bombeiros do CBSC costumam inserir o número do hidrante)

Após a finalização dessas etapas, o relatório da vistoria é enviado para a Coordenação Operacional – CoordOp.

3.3 MÉTODO TEÓRICO PARA ESTIMATIVA DA VAZÃO DE UM HIDRANTE DE COLUNA

Para a aplicação do método teórico apresentado no item 2.4 deste trabalho, a fim de utilizar a equação 07, mediu-se as distâncias horizontais (x) e verticais (y) do

jato após abertura de cada hidrante, conforme figura 4. As figuras 13 e 14 mostram o jato dos hidrantes medidos.

Figura 13 – Jato do hidrante de coluna nº 33



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Figura 14 – Jato do hidrante de coluna nº 36



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

A medição foi realizada utilizando uma trena manual com dimensão em centímetros.

Com as coordenadas x e y determinadas, fez-se da equação 07, de forma a obter a equação 11.

$$V = x \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot Y}} \therefore Q = V \cdot A = V \frac{\pi \cdot D_{bocal}^2}{4} \quad (11)$$

Com a aplicação da equação 11, obteve-se a vazão para os hidrantes medidos

3.4 AJUSTE DO MODELO TEÓRICO NO EPANET

Com a construção do modelo no EPANET, para um determinado diâmetro e a carga de pressão (H) em uma tubulação, foi possível obter uma vazão (Q) correspondente, através do software. Dessa forma, fazendo simulações com os dados de pressão e vazão, obtidos em campo, foram gerados, no software, valores de vazão correspondente a área da seção transversal (A).

Os pontos obtidos através do modelo simulado, foram comparados aos obtidos com a medição da vazão, realizada em campo, dos hidrantes localizados na cidade de São Carlos.

Ao analisar os valores obtidos, foi proposto um ajuste no modelo computacional para que ele possa se adequar aos valores obtidos em campo. Dessa forma determinou-se um modelo computacional da descarga de um hidrante, levando em consideração as pressões na rede e as vazões medidas em campo.

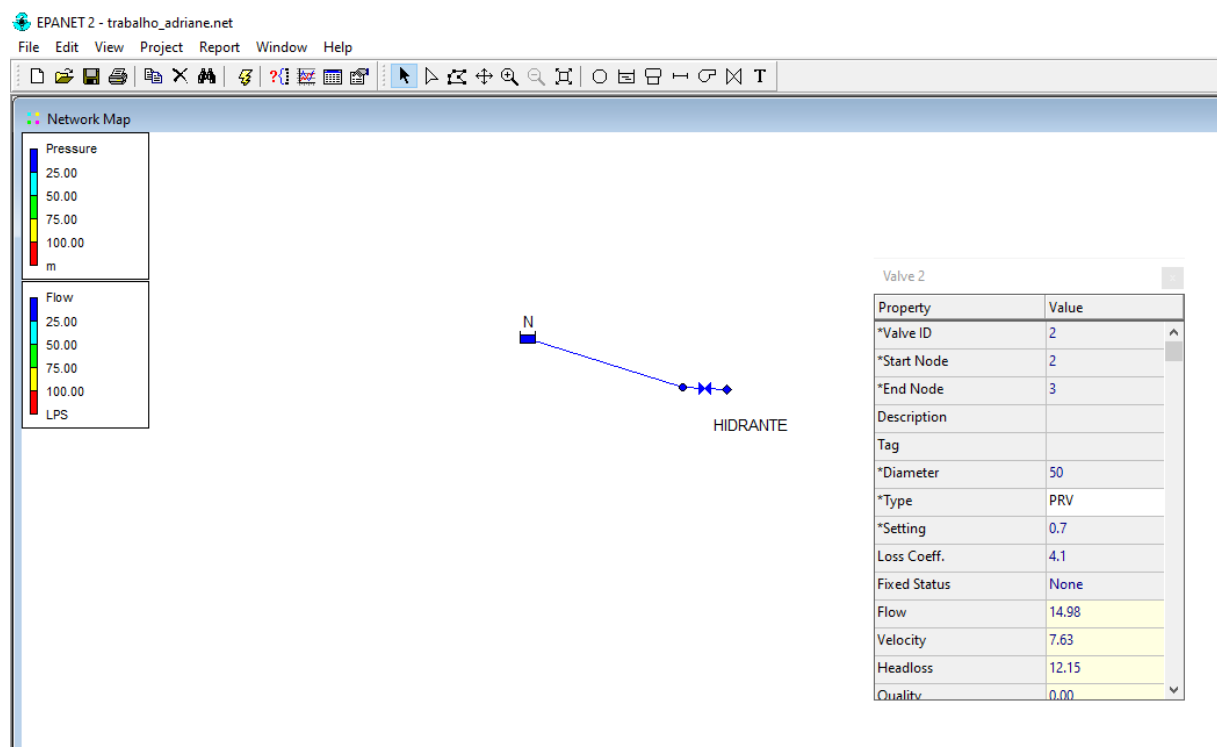
4. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS OBTIDOS PARA O MODELO DE HIDRANTE DE COLUNA CONSTRUÍDO NO EPANET

O modelo que foi construído no software EPANET que representa a interligação da rede de distribuição de água (Ponto N – vide figura 5) ao hidrante de coluna, conforme apresentado na figura 15, foi concebido fixando-se a cota do hidrante de coluna em zero e variou-se a carga de pressão H (ponto N) em 10, 20, 30, 40 e 50 mH₂O, representando o intervalo de pressão permitido pela NBR 12.218/2017.

A VRP proposta na simulação, representa fisicamente o trecho de interligação da rede ao hidrante de coluna, sendo considerado como coeficiente de perda de carga ($\sum K$) – *Loss Coeff* – como sendo 4,1.

Figura 15 - Construção do modelo de hidrante de coluna no EPANET



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Estabelecida uma determinada carga de pressão (H), aplicou-se o modelo computacional desenvolvido no EPANET, variando-se o Coeficiente de Emissão (C_E)

para os valores 0,6, 1, 10, 100, 1000, 1500, 1700, 2100 e 3000 $\text{l.s}^{-1}.\text{m}^{-0,5}$, e para os diâmetros nominais (DN) de 50, 75, 100, 150 e 200 mm, obtendo-se as vazões calculadas pelo software. Os resultados das vazões obtidas estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Vazões obtidas a partir do modelo desenvolvido no EPANET em função do Coeficiente de Emissão (C_E), da carga de pressão (H) e dos diâmetros nominais (DN) do ramal de interligação

DN (mm)	H (mH ₂ O)	Coeficiente de Emissão (C_E)									$Q_{\text{estabilizada}}$ (L/s)
		0,6	1	10	100	1000	1500	1700	2100	3000	
50	10	0,49	0,82	8,25	10,42	10,43	10,43	10,43	10,43	10,43	10,43
	20	0,49	0,82	8,25	14,89	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90	14,90
	30	0,49	0,82	8,25	18,35	18,36	18,36	18,36	18,36	18,36	18,36
	40	0,49	0,82	8,25	21,28	21,29	21,29	21,29	21,29	21,29	21,29
	50	0,49	0,82	8,25	23,87	23,89	23,89	23,89	23,89	23,89	23,89
75	10	1,89	3,14	19,81	25,48	25,57	25,57	25,57	25,57	25,57	25,57
	20	2,68	4,44	28,15	36,32	36,44	36,44	36,44	36,44	36,44	36,44
	30	3,28	5,43	34,57	44,67	44,82	44,82	44,82	44,82	44,82	44,82
	40	3,78	6,27	40,00	51,74	51,91	51,92	51,92	51,92	51,92	51,92
	50	4,23	7,01	44,78	57,98	58,18	58,18	58,18	58,18	58,18	58,18
100	10	1,90	3,15	26,25	47,03	47,57	47,57	47,57	47,57	47,57	47,57
	20	2,68	4,46	37,19	66,91	67,67	67,68	67,68	67,68	67,68	67,68
	30	3,28	5,46	45,60	82,22	83,16	83,17	83,17	83,17	83,17	83,17
	40	3,79	6,31	52,70	95,15	96,26	96,26	96,26	96,26	96,26	96,26
	50	4,24	7,05	58,95	106,57	107,81	107,82	107,82	107,82	107,82	107,82
150	10	1,90	3,16	30,40	105,64	112,08	112,12	112,13	112,14	112,14	112,14
	20	2,68	4,47	43,00	149,93	159,15	159,20	159,21	159,23	159,23	159,23
	30	3,29	5,47	52,68	184,00	195,36	195,43	195,44	195,46	195,46	195,46
	40	3,79	6,32	60,84	212,77	225,94	226,02	226,03	226,05	226,05	226,05
	50	4,24	7,07	68,03	238,14	252,91	253,00	253,02	253,04	253,04	253,04
200	10	1,90	3,16	31,24	171,30	203,67	203,91	203,95	204,00	204,05	204,05
	20	2,68	4,47	44,18	242,77	288,90	289,24	289,30	289,37	289,44	289,44
	30	3,29	5,48	54,11	297,70	354,42	354,84	354,91	355,00	355,09	355,09
	40	3,79	6,32	62,48	344,04	409,73	410,21	410,30	410,40	410,50	410,50
	50	4,24	7,07	69,86	384,90	458,50	459,04	459,13	459,25	459,36	459,36

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Os dados apresentados na tabela 5 mostram os valores obtidos na simulação, onde foi possível constatar que, para DN50 e DN100, independente da carga de pressão disponível (H), a vazão ficou estável para o coeficiente de emissão (C_E) a

partir de 1000; para DN150, independente da carga de pressão disponível (H) a vazão estabilizou-se para o coeficiente de emissão (C_E) 1700 e, para DN 200, independente da carga de pressão disponível (H) a vazão estabilizou-se para o coeficiente de emissão (C_E) 3000.

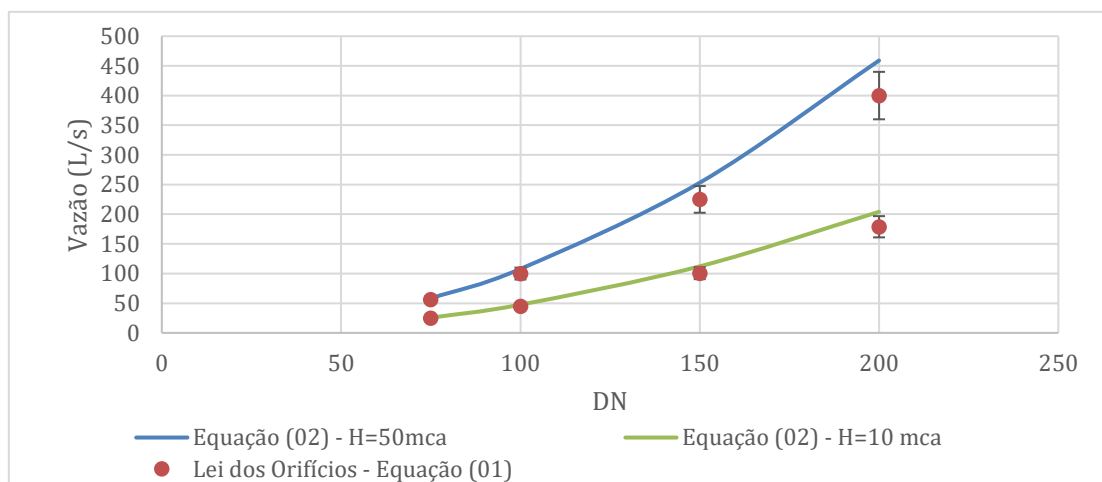
As vazões de descarga calculadas para o modelo de hidrante construído no software e apresentadas na tabela 5 foram comparadas com as vazões estimadas baseadas na lei dos orifícios e tubos curtos (Equação 01), considerando um coeficiente de descarga de 0,61, conforme proposto por Porto (2006). Os resultados estão apresentados na tabela 6 e no gráfico da figura 16.

Tabela 6 - Vazão descarregada obtida pelo modelo computacional e pela Lei dos orifícios e tubos curtos

Carga de Pressão – H (mH ₂ O)	DN (mm)	Vazão simulada pelo modelo (L/s)	Vazão obtida pela Equação (01) (L/s)	Diferença relativa entre valor simulado e calculado (%)
10	50	10,43	16,77	-37,8%
	75	25,57	25,15	1,6%
	100	47,57	44,72	0,6%
	150	112,14	100,61	10,3%
	200	204,05	178,86	12,3%
50	50	23,89	37,49	-36,27%
	75	58,18	56,24	3,4%
	100	107,82	99,99	7,3%
	150	253,04	224,97	11,1%
	200	459,00	399,95	12,9%

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Figura 16 - Resultados obtidos a partir da aplicação da Lei dos Orifícios e do modelo criado no EPANET



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Os dados apresentados na tabela 6 e no gráfico da figura 16, permitem afirmar que, para a faixa de carga de pressão admitida pela NBR 12.218/2017 (ABNT, 2017), as vazões de descarga obtidas pelo modelo desenvolvido no EPANET e as que foram obtidas através da Lei dos orifícios e tubos curtos, expressa pela Equação (01), o erro relativo variou de 0,6% a 12,9%.

Para diâmetro nominais (DN) de 75 e 100mm, comumente utilizados em ramais de interligação, os resultados mostram que o erro relativo variou de 0,6% a 7,3%.

Estabelecidos os parâmetros referentes ao diâmetro da tubulação, carga de pressão e coeficiente de emissão, com a simulação do modelo construído no EPANET, foram realizados os cálculos das perdas de cargas no trecho de interligação, conforme apresentado na tabela 7.

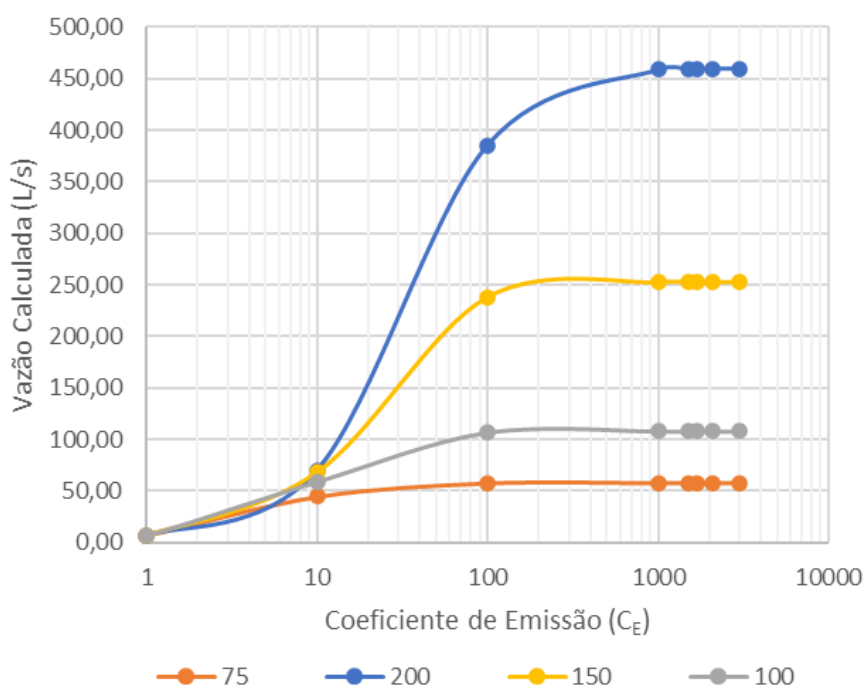
Tabela 7 - Valores das perdas de carga (hf) do trecho de interligação obtidos a partir do software EPANET

DN (mm)	H (mH ₂ O)	Coeficiente de Emissão (C _E)								
		0,6	1	10	100	1000	1500	1700	2100	3000
75	10	0,0625	0,1669	6,0745	9,9351	9,9994	9,9997	9,9998	9,9999	9,9999
	20	0,1225	0,0826	12,0700	19,8681	19,9987	19,9992	19,9994	19,9994	19,9994
	30	0,1817	0,4864	18,0464	29,8004	29,9980	29,9972	29,9990	29,9994	29,9994
	40	0,1670	0,6439	24,0021	39,7323	39,9973	39,9988	39,9991	39,9994	39,9994
	50	0,2988	0,8004	29,9540	49,6638	49,9960	49,9970	49,9980	49,9990	49,9990
100	10	0,0181	0,0491	0,0289	9,7788	9,9977	9,9990	9,9992	9,9995	9,9995
	20	0,0838	0,9660	0,0581	19,5523	19,9954	19,9980	19,9984	19,9990	19,9990
	30	0,1258	0,1436	9,2028	29,3241	29,9931	29,9969	29,9976	29,9984	29,9984
	40	0,0703	0,1902	12,2280	39,0946	39,9907	39,9959	39,9968	39,9979	39,9979
	50	0,0874	0,2367	15,2446	48,8600	49,9884	49,9948	49,9960	49,9973	49,9973
150	10	0,0032	0,0088	0,0388	8,8841	9,9874	9,9944	9,9956	9,9971	9,9971
	20	0,0064	0,0174	1,5059	17,7521	19,9747	19,9887	19,9912	19,9943	19,9943
	30	0,0095	0,2596	22,4780	26,6141	29,9618	29,9830	29,9868	29,9913	29,9913
	40	0,0126	0,0344	2,9868	35,4700	39,9490	39,9773	39,9823	39,9884	39,9884
	50	0,0157	0,0429	3,7238	44,3291	49,9360	49,9716	49,9779	49,9855	49,9855
200	10	0,0010	0,0026	0,2431	7,0658	9,9585	9,9815	9,9856	9,9906	9,9954
	20	0,0019	0,0053	0,6087	14,1061	19,9165	19,9628	19,9710	19,9810	19,9907
	30	0,0029	0,0781	0,7210	21,1377	29,8744	29,9440	29,9564	29,9714	29,9860
	40	0,0038	0,0104	0,9585	28,1636	39,8321	39,9252	39,9417	39,9600	39,9818
	50	0,0047	0,0129	1,1954	35,1855	49,7898	49,9063	49,9270	49,9522	49,9766

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Após considerar a carga de pressão disponível (H) igual a 50 mH₂O, sendo ela no ponto de interligação da rede de distribuição de água ao hidrante de coluna e considerando os resultados apresentados na tabela 7, foi possível construir o gráfico apresentado na figura 17.

Figura 17 - Variação da vazão de descarga (Q) em função do Coeficiente de Emissão (C_E) e do diâmetro da interligação, estabelecidos para a carga de pressão disponível ($H=50$ mH₂O)



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Os resultados obtidos a partir da variação de vazão descarregada em função dos diâmetros do ramal de interligação e dos coeficientes de emissão (C_E) adotados, apresentados na figura 17, permitem afirmar que para valores de coeficiente de emissão acima de 1000, as vazões calculadas em função do diâmetro do ramal de interligação, ficam em equilíbrio constante. Mostrando a estabilização da vazão em função do diâmetro adotada correspondente aos valores de coeficientes de emissão.

Após a estimativa da perda de carga no ramal de interligação entre a rede de distribuição de água e o hidrante de coluna para os cenários estabelecidos (DN , H , C_E), com o intuito de melhorar a precisão da estimativa do coeficiente de emissão (C_E), calculou-se o erro, ou desvio existente entre o resultado simulado para a perda

de carga (h_f) e a carga de pressão considerada (H), conforme Equação (10). Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Relação entre a perda de carga obtida (h_f) no trecho de interligação e a carga de pressão disponível (H)

DN (mm)	H (mH ₂ O)	Coeficiente de Emissão (C_E)								
		0,6	1	10	100	1000	1500	1700	2100	3000
75	10	99,4%	98,3%	39,3%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	20	99,4%	99,6%	39,7%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	30	99,4%	98,4%	39,8%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	40	99,6%	98,4%	40,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	50	99,4%	98,4%	40,1%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
100	10	99,8%	99,5%	99,7%	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	20	99,6%	95,2%	99,7%	2,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	30	99,6%	99,5%	69,3%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	40	99,8%	99,5%	69,4%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	50	99,8%	99,5%	69,5%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
150	10	100,0%	99,9%	99,6%	11,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
	20	100,0%	99,9%	92,5%	11,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
	30	100,0%	99,1%	25,1%	11,3%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
	40	100,0%	99,9%	92,5%	11,3%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
	50	100,0%	99,9%	92,6%	11,3%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
200	10	100,0%	100,0%	97,6%	29,3%	0,4%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%
	20	100,0%	100,0%	97,0%	29,5%	0,4%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%
	30	100,0%	99,7%	97,6%	29,5%	0,4%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%
	40	100,0%	100,0%	97,6%	29,6%	0,4%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%
	50	100,0%	100,0%	97,6%	29,6%	0,4%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Os resultados apresentados na tabela 8, permite observar que a completa utilização da carga de pressão disponível ocorreu quando o desvio relativo (ε) atingiu valor próximo a 0%.

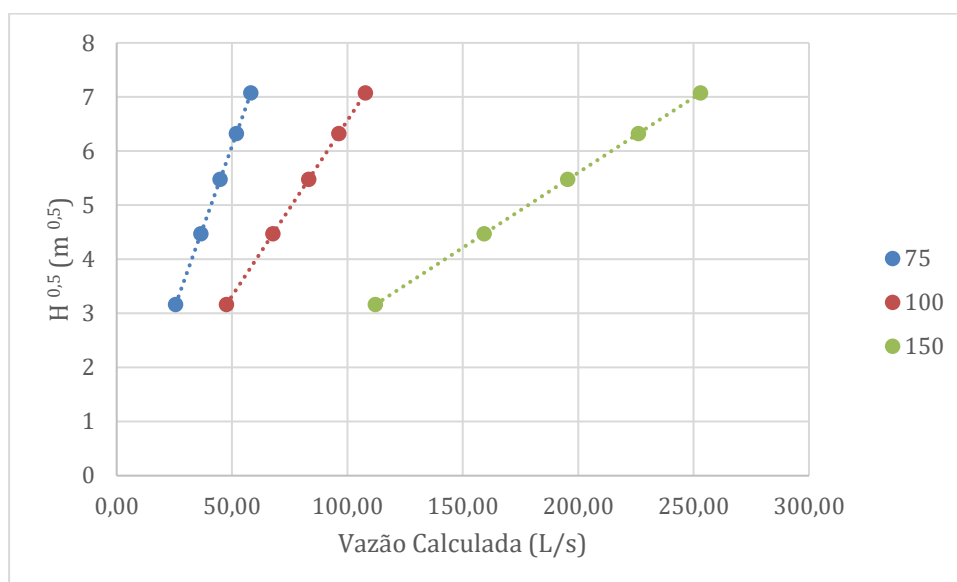
A Lei dos Orifícios e tubos curtos, representada pela Equação (01), permite afirmar que desde que a extremidade do orifício ou tubulação não esteja afogada, a perda de carga exercida para um descarregamento a céu aberto, se iguala a carga de pressão disponível (H). Essa afirmação torna válido os valores obtidos para o coeficiente de emissão (C_E) observados como limites para obtenção das constâncias das vazões descarregadas e apresentadas na tabela 5.

Dessa forma, para as tubulações de interligações com DN 75 e 100, independente da carga de pressão disponível, valores de $C_E \geq 1000$ resultam em vazão descarregada constante; já para interligações com DN150, independente da carga de pressão disponível, valores de $C_E \geq 1500$ resultam em vazão descarregada

constante e, para interligações com DN200, independente da carga de pressão disponível, valores de $C_E \geq 3000$ resultam em vazão descarregada constante.

Ao se comparar a variação da vazão de descarga calculada com a raiz quadrada da carga de pressão, independente do diâmetro nominal do ramal de interligação, conforme resultados apresentados na tabela 5, considerando o coeficiente de emissão (C_E) de 3000, percebe-se que há uma relação linear entre eles, conforme pode ser visualizado na figura 18.

Figura 18 - Variação da vazão descarregada em função da raiz quadrada da carga de pressão disponível ($H^{0,5}$), considerando $C_E=3000$, para os diâmetros nominais (DN) 75, 100 e 150mm



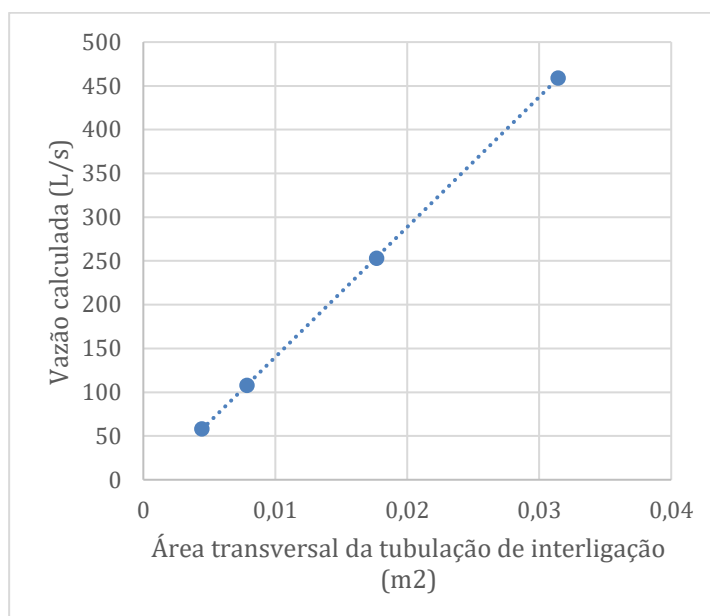
Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Observa-se um comportamento linear da dependência da vazão calculada (Q) com a raiz quadrada da carga de pressão (H), apresentada na figura 18, uma vez que representa o comportamento já esperado, conforme a Equação (08). Nota-se que o coeficiente angular das relações lineares entre a vazão descarregada e a raiz quadrada da carga de pressão sofre variações conforme variam os diâmetros da tubulação de interligação. De forma que para esta mesma equação, percebe-se que o coeficiente angular da relação entre a vazão descarregada e a raiz quadrada da carga de pressão (H), é o próprio coeficiente de emissão (C_E).

Ao analisar os dados pode-se constatar que a constância do coeficiente de emissão (C_E) é atingida quando a perda de carga (hf) se iguala a carga de pressão disponível (H), tem-se que $hf = H$, ou seja, a vazão de descarga varia segundo a raiz quadrada da perda de carga (hf), tal que o erro relativo fica próximo de zero.

Dessa forma, avaliando a variação da vazão descarregada estabilizada para $H=50$ mH₂O com a área da seção transversal da tubulação de interligação para os diâmetros nominais DN 75, 100, 150 e 200, conforme dados apresentados na tabela 5, foi possível construir o gráfico da figura 19 que mostra a relação obtida considerando $H=50$ mH₂O.

Figura 19 - Variação da vazão descarregada e estabilizada e a área transversal da tubulação de interligação, considerando $H=50$ mH₂O



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Ao analisar o gráfico apresentado na figura 19, nota-se que a vazão descarregada se relaciona linearmente com a área da seção transversal da tubulação de interligação, da mesma maneira, também foi observado a relação com a raiz quadrada da carga de pressão, conforme descrito anteriormente.

A relação entre a vazão descarregada e a raiz quadrada da carga de pressão (H) já está explícita na Equação (08), as demais relações encontradas devem estar relacionadas ao próprio coeficiente de emissão (C_E). Dessa forma, pode-se concluir

que o coeficiente de emissão (C_E) varia linearmente com a área transversal da tubulação de interligação.

4.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE VAZÃO OBTIDOS NA FORMULAÇÃO TEÓRICA, NO MODELO COMPUTACIONAL E ESTIMADO PELO CORPO DE BOMBEIROS DE SÃO CARLOS

A fim de comparar a vazão obtida no software EPANET, com a obtida via aplicação do modelo teórico, através da equação 11 e a vazão estimada pelo CBSC, realizou-se as análises de dois hidrantes na cidade de São Carlos. O quadro 2 mostra os dados de localização e o diâmetro nominal da rede de distribuição de água de cada um dos hidrantes.

Quadro 2 – Caracterização dos hidrantes

N.º Hidrante	Endereço
33	Rua Equador, 232
36	Rua Luiz Lázaro Zamenhof, s/n

Fonte: Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (2020)

O Hidrante número 33, está localizado em frente a base do CBSC, como mostra a figura 20

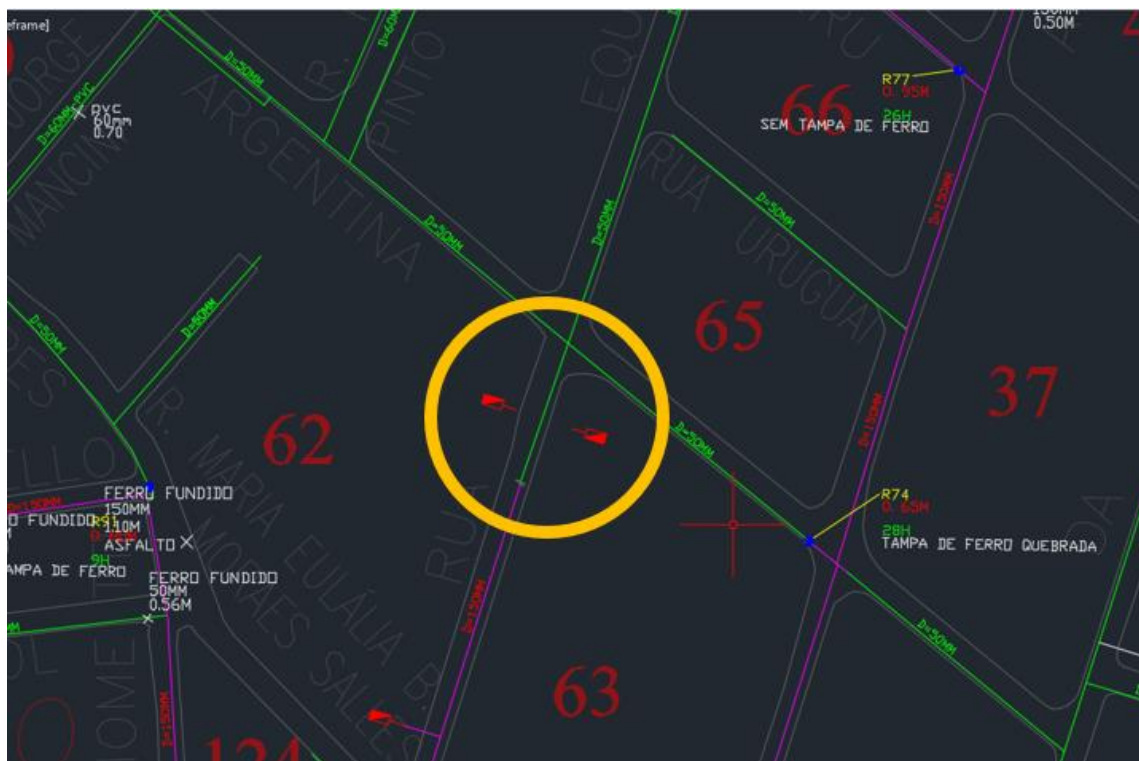
Figura 20 - Localização do hidrante número 33



Fonte: Google Maps (2020)

E a figura 21 mostra o diâmetro nominal da rede de distribuição de água a qual o hidrante foi interligado.

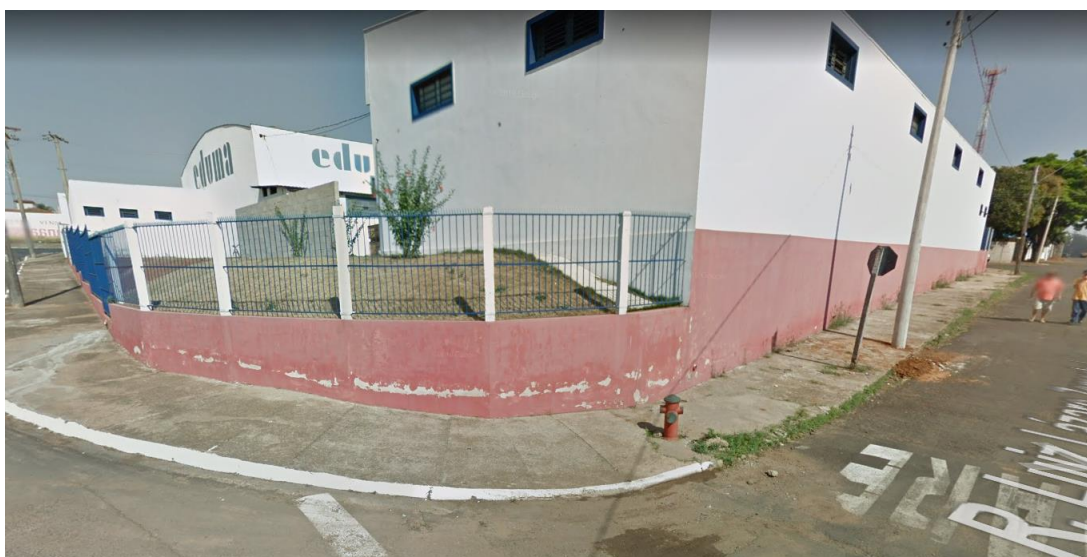
Figura 21 - Diâmetro nominal da rede de distribuição de água do hidrante 33



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgotos de São Carlos (2020)

O Hidrante número 36, está localizado em frente a base do CBSC, como mostra a figura 22

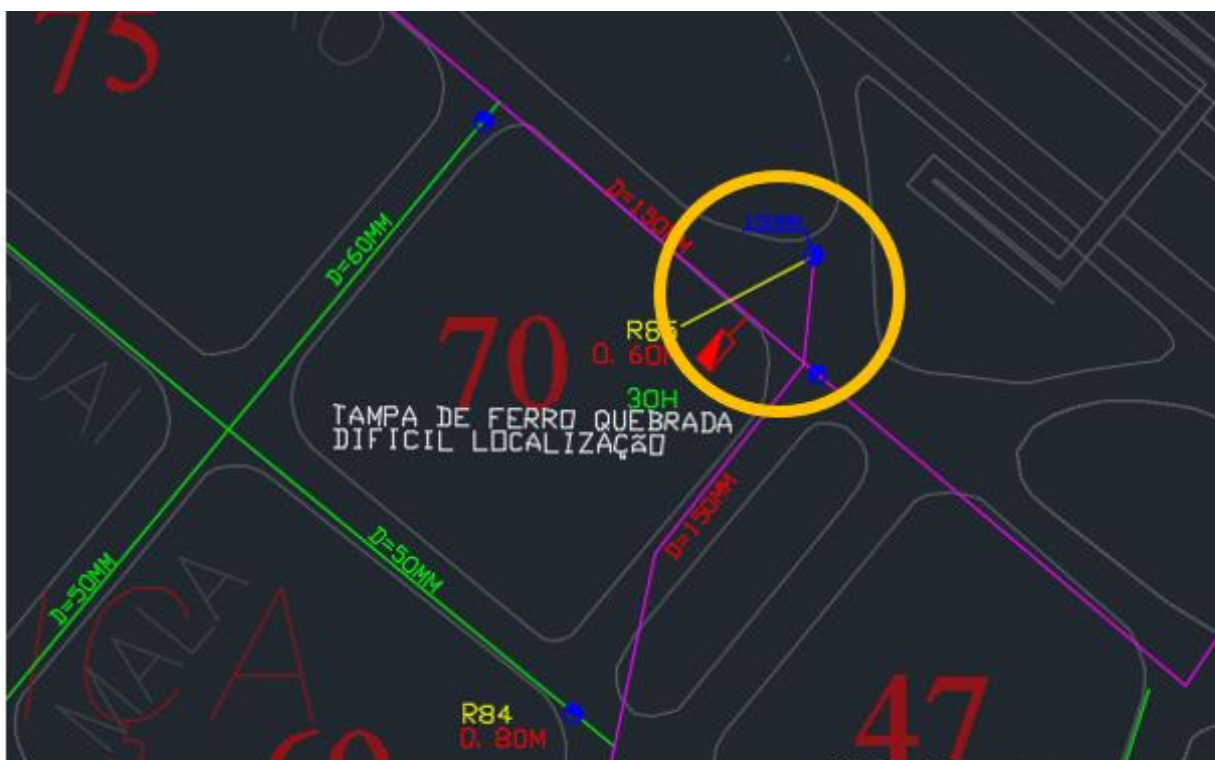
Figura 22 - Localização do hidrante número 36



Fonte: Google Maps (2020)

E a figura 23 mostra o diâmetro nominal da rede de distribuição de água a qual o hidrante foi interligado.

Figura 23 - Diâmetro nominal da rede de distribuição de água do hidrante 36



Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgotos de São Carlos (2020)

Os parâmetros dos hidrantes analisados estão relacionados na tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros dos hidrantes analisados

N.º Hidrante	DN RDA ¹	Diâmetro do Bocal de medição do Hidrante	Pressão Estática Medida ²		Distância horizontal do Jato – X (m)	Distância vertical do Jato – Y (m)
	(mm)	(cm)	(psi)	(mca)		
33	50	6,35cm (2,5")	7,25	5,1	1,08	0,71
36	150	6,35cm (2,5")	14	9,8	3,19	0,42

¹ Informação obtida junto ao SAAE – São Carlos

² A pressão foi medida na escala psi (lbf/pol2)

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Com os dados da vazão estimados pelo corpo de bombeiro através da pressão estática, utilizando a tabela 4, no software simulando uma rede com as mesmas configurações da rede existente obteve-se outro valor de vazão. Ambos os valores estão demonstrados na tabela 10, bem como a vazão resultado da aplicação da formulação teórica utilizando as coordenadas do jato.

Tabela 10 - Comparação dos resultados de vazão obtidos para cada método proposto

N.º Hidrante	Q Estimado pela formulação teórica	Q Estimada pelo modelo computacional	Q Estimada pelo Bombeiro	
	(L/s)	(L/s)	L/min	L/s
33	8,9	15,4	1528	25,5
36	34,5	21,7	2176	36,3

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Com os dados da vazão apresentados na tabela 10, foi possível comparar os valores pelos diferentes métodos, de forma que para o hidrante nº 33, a vazão estimada pelo corpo de bombeiros foi 65,6% superior a vazão estimada pelo modelo computacional. Para o hidrante nº 36, a vazão estimada pelo corpo de bombeiros foi 67,3% superior a vazão estimada pelo modelo computacional.

Em relação a formulação teórica, foram apresentados dados de dois hidrantes, pois não foi possível acompanhar a medição de outros hidrantes devido a restrição sanitária por intercorrência da pandemia provocada pelo vírus SARS-CoV2.

Ao avaliar os dados pelo modelo computacional e a estimada pelo corpo de bombeiros resultou em valores, obtivemos valores em média 66,45% superiores, no entanto a medição pode apresentar alguns erros, devido ao fundo de escala do hidrante, muito superior as pressões contidas nos hidrantes de São Carlos dificultando a leitura, além da utilização das tabelas com aproximações de valores.

A partir da diferença observada entre os valores de vazão obtidos pelo método dos bombeiros e pelo modelo computacional, solicitou-se ao Corpo de Bombeiro, a relação das vazões aferidas em outros hidrantes sem que, no entanto, tivesse acompanhado tais medições.

A Tabela 11 contém as vazões registradas em hidrantes de coluna pelo Corpo de Bombeiros.

Tabela 11 - Vazões aferidas pelo Corpo de Bombeiros em alguns hidrantes de coluna

PMESP –RELATÓRIO DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE HIDRANTES CB-9ºGB					
Nº Hidrante (Estado)	Nº do Hidr.	Localização	Pressão Dinâmica (PSI)	Pressão Estática (PSI)	Vazão (l/min)
H090676	1	R. São Paulo X R. Orlando Damiano – Estância Suíça	17,6	50	2381,05
H090663	2	R. 28 de Setembro X R. Campos Salles–Estância Suíça	22	51,4	2662,21
H090664	3	R. Adolfo Cattani X R. Antônio R. Cajado – Estância Suíça	14,7	38	2176,204
H090677	4	R. Orlando Damiano X R. São Joaquim - Jardim Macarengo	10,2	29,4	1790,37
H090649	5	Antônio R. Cajado X R. Padre Teixeira – VI Arnaldo	14,7	42,6	2176,204
	6	R.Drº Carlos Botelho X R. Miguel Giometti– VI.Arnaldo	15	40	2227,19
	7	R.Drº Carlos Botelho X R.Maria Izabel O.BotelhoVI.Derigge	14	35	2123,45
H090671	13	R.Princesa Izabel X R. Paulino Botelho – VI.Pureza	20	53	2538,27
H090672	14	Alameda das Orquídeas X Alameda dos Crisântemos – Cidade Jardim	19	50	2473,97
H090674	17	R.Campos Salles x R.Antonio Blanco – Costa do Sol	12	38	1965,8
H090653	18	Avenida Araraquara X Antônio Blanco – S.João Batista	15	40	2227,19
H090665	19	R.João Antônio Boni x Antônio Blanco – S.João Batista	15	40	2227,19
H090666	20	R.Honduras X R. Joao Antônio Boni – S..João Batista	15	42	2227,19
H090667	22	RUA Ray Wesley Herick, 1501 Cond. Village Damha I Praça	10	28	1761,1
H090657	23	Av. Cap. Luiz Brandão X R.Julio Constantino	24	51	2780,63
H090654	26	R. Maj. José Inácio X R Francisco Ferreira – prox escola Juliano Neto - Vila Faria	19	41	2473,97
H090661	27	R Abel Giongo X Marechal Deodoro- Vila Faria	11	27	1882,02
H090659	28	R. Francisco Zavaglia X R. Pastor Cyrus Basset Dawsey - JdCardinalli	16	40	2343,83
H090660	29	R. Padre Bento X av. Cap. Luiz Brandão – Vila Jacobucci	11	32	1882,02
H090732	30	R. Francisco Stela X Walter de Camargo Schutzer - Vila Jacobucci	20	40	2538,27
	32	R. Hipólito José da Costa x R. Antônio Rogano – Vila Jacobucci	11	35	1882,02
H090647	33	R. Equador x R. Argentina – Jd. São Gabriel (em frente o pb1)	5	26	1267,51
H090656	34	R. Equador x R. Argentina - Jd. São Gabriell PB - praça	7	27	1500,71
H090701	35	R. Equador x R. Argentina - Jd. São Gabriel – (interior do PB)	9	30	1689,68
H090704	37	R. Carlos de Camargo Salles, 172 (em frente a usp) – Cidade Universitária	16	45	2343,83
H090705	38	R. Carlos de Camargo Salles, 449 (em frente a usp) – Cidade Universitária	27	64	2949,3
H090706	39	R. Episcopal x R. Carlos de Camargo Salles – Cidade Universitária	13	37	2046,14
H090707	40	R. Nove de Julho x R. César Ricomi – Jd Lutfalla	28	65	3003,41

Fonte: Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (2020)

A partir das pressões medidas pelo Corpo de Bombeiros conforme método apresentado, aplicou-se o modelo proposto, considerando diâmetro de 2 ½” (63,5mm), Coeficiente de Emissão no EPANET (C_E) de 3000. Para o coeficiente de perda de carga adotou-se o $K=4,1$, conforme proposto inicialmente, e $K=1,55$ como ajuste.

A redução do coeficiente de descarga K de 4,1 para 1,55 vai atuar aumentando a Carga de pressão, visto que ele irá reduzir a perda de carga de carga localizada e consequentemente irá reduzir a Perca de carga total, conforme equação 09.

Dessa forma, ao reduzir a Perda de Carga, haverá uma redução da Carga de pressão e consequentemente a vazão aumenta, conforme equação 08. Logo, o coeficiente K está contemplado dentro da raiz da Carga de Pressão da equação 08. Ao fazendo as substituições, conforme equação 12, obtemos explicitamente o fator K na equação, a equação 13.

$$Q = CE * \sqrt{H - hf} \quad (12)$$

Sendo Q a vazão descarregada (l/s), CE o coeficiente de emissão (l/s/m^{0,5}); H a carga de pressão (m); hf a perda de carga.

$$Q = CE * \sqrt{H - \left(10,65 \cdot \frac{Q^{1,85}}{C_{HW}^{1,85} \cdot D^{4,87}} \cdot L + \sum K_i \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}\right)} \quad (13)$$

Sendo Q a vazão, CE o coeficiente de emissão (l/s/m^{0,5}); H a carga de pressão (m); C_{HW} é o coeficiente de Hazen-Willians (m^{0,68}/s^{1,85}); L é o comprimento total da tubulação (m); K_i é o coeficiente de perda de carga localizada da singularidade i (adimensional); V é a velocidade média de escoamento (m/s) e g é a aceleração devido a gravidade (m/s²).

Conforme a equação 13, com a redução de K de 4,1 para 1,55 a vazão aumentará, fazendo assim o ajuste da vazão como foi proposto.

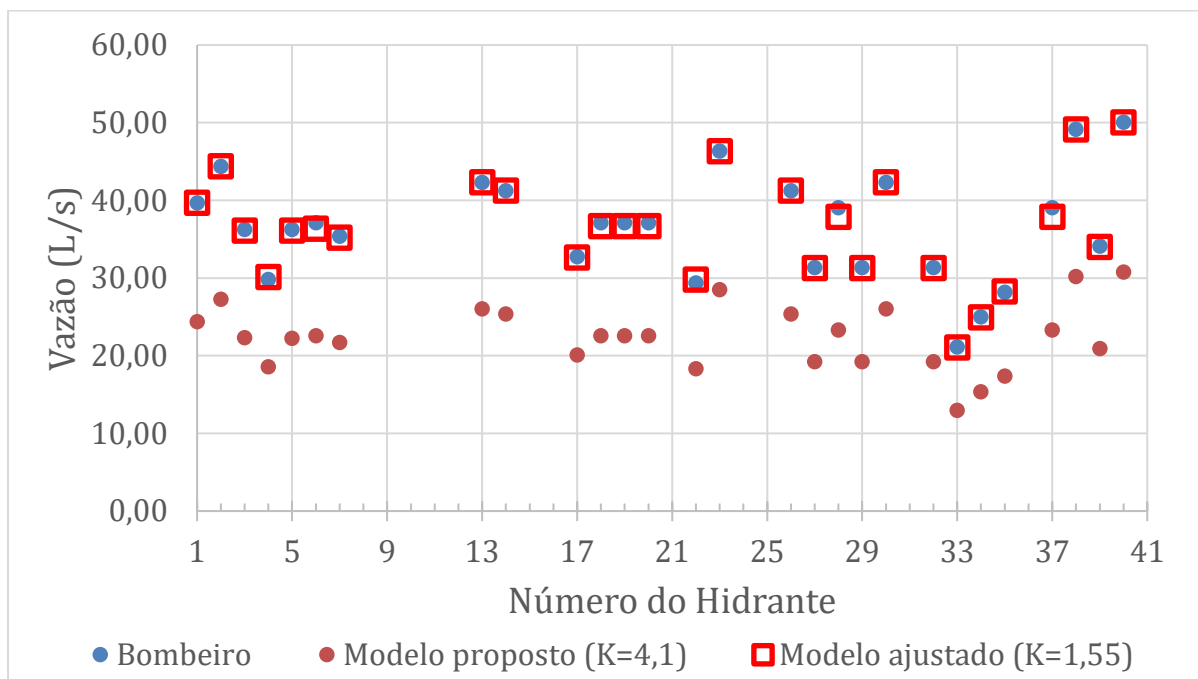
Tabela 12 apresenta os valores obtidos e a Figura 240 ilustra o comportamento das vazões simuladas.

Tabela 12 - Vazões dos hidrantes simuladas pelo modelo proposto (K=4,1) e ajustadas (K=1,55)

Hidrante	Número do Hidrante	Pressão Estática (mca)	Vazão Bombeiro		Modelo Proposto (K=4,1)	Modelo ajustado (K=1,55)	Erro relativo entre o modelo ajustado e o fornecido pelo CBSC (%)
			(l/min)	(L/s)			
H090676	1	12,4	2381,05	39,68	24,4	39,69	0,03
H090663	2	15,5	2662,21	44,37	27,28	44,39	0,05
H090664	3	10,3	2176,2	36,27	22,34	36,12	-0,41
H090677	4	7,2	1790,37	29,84	18,59	30,14	1,01
H090649	5	10,3	2176,2	36,27	22,24	36,12	-0,41
	6	10,6	2227,19	37,12	22,56	36,34	-2,10
	7	9,8	2123,45	35,39	21,69	35,22	-0,48
H090671	13	14,1	2538,27	42,3	26,02	42,32	0,05
H090672	14	13,4	2473,97	41,23	25,37	41,25	0,05
H090674	17	8,4	1965,8	32,76	20,08	32,66	-0,31
H090653	18	10,6	2227,19	37,12	22,56	36,69	-1,16
H090665	19	10,6	2227,19	37,12	22,56	36,69	-1,16
H090666	20	10,6	2227,19	37,12	22,56	36,69	-1,16
H090667	22	7	1761,1	29,35	18,33	29,82	1,60
H090657	23	16,9	2780,63	46,34	28,49	46,33	-0,02
H090654	26	13,4	2473,97	41,23	25,37	41,25	0,05
H090661	27	7,7	1882,02	31,37	19,23	31,27	-0,32
H090659	28	11,3	2343,83	39,06	23,29	37,88	-3,02
H090660	29	7,7	1882,02	31,37	19,23	31,27	-0,32
H090732	30	14,1	2538,27	42,3	26,02	42,32	0,05
	32	7,7	1882,02	31,37	19,23	31,27	-0,32
H090647	33	3,5	1267,51	21,13	12,96	21,08	-0,24
H090656	34	4,9	1500,71	25,01	15,34	24,95	-0,24
H090701	35	6,3	1689,68	28,16	17,39	28,29	0,46
H090704	37	11,3	2343,83	39,06	23,29	37,88	-3,02
H090705	38	19	2949,3	49,16	30,21	49,12	-0,08
H090706	39	9,1	2046,14	34,1	20,9	34	-0,29
H090707	40	19,7	3003,41	50,06	30,76	50,02	-0,08

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Figura 24 - Vazões medidas pelo Corpo de Bombeiros, obtidas pelo modelo proposto ($K=4,1$) e pelo modelo ajustado ($K=1,55$).



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Ao observar as vazões apresentadas na Tabela 12 e no gráfico da Figura 24, tem-se que as vazões obtidas pelo modelo proposto, considerando $K=4,1$ resultaram em valores equivalente a 61,0% dos valores obtidos pelos Bombeiros para as vazões dos hidrantes.

Já os resultados das vazões obtidos pelo modelo ajustado ($K=1,55$) resultaram em valores equivalentes a 99,9% dos valores obtidos pelos Bombeiros.

Os resultados obtidos pelos bombeiros devem ser vistos com cautela, pois não refletem a medição da vazão, mas sim a valores obtidos de uma tabela, com valores teóricos.

5. CONCLUSÕES

Em relação ao coeficiente de emissão (CE), incorporado no modelo computacional e empregado pelo EPANET, para valores maiores ou iguais a 3000 L.s-1.m-0,5, resultaram em vazão estável, observou-se que o coeficiente é influenciado, proporcionalmente pela área transversal do bocal de saída considerado e que pode ser empregado em ramais de descarga com DN iguais ou inferiores a DN200.

A proposta de modelagem de hidrante de coluna, empregando VRP (fictícia) como mecanismo de simulação para fixação da pressão atmosférica no bocal de saída mostrou-se satisfatória e condizente com os valores de vazão informados pelo corpo de bombeiros, desde que se considere diâmetro do bocal de 63,5mm e coeficiente de perda de carga (K) – Loss Coeff, de 1,55.

A vazão informada pelo corpo de bombeiros deve ser vista com cautela, já que seu valor é obtido a partir da interpolação de dados de uma tabela a partir da pressão dinâmica aferida, sem a certeza da origem dos valores tidos na tabela.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público-Procedimento**. Rio de Janeiro. 23p. 2017.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5667: Hidrantes urbanos de incêndio de ferro fundido dúctil**. Parte 1: Hidrantes de Coluna. Rio de Janeiro, '17p. 2006.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 4185: Medição de vazão de líquidos em dutos fechados - Método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 29p. 2009.

BRASIL. **Instrução Normativa nº- 1**, de 24 de agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/defesa-civil/legislacoes>>

BRENTANO, Telmo. **Instalações hidráulicas de combate a incêndio nas edificações**. 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004.

EPA – United States Environmental Protection Agency. (2000). **EPANET 2**. Users Manual.

GOIAS. Manual Operacional de Bombeiros (2017). **Combate a incêndio urbano**. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2015/12/MOB-Combate-a-Inc%C3%AAndio-Urbano-CBMGO.pdf>. Acesso em 03 junho 2020.

GOMES, H. P. **Sistemas de abastecimento de água**: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 3. ed. João Pessoa, Ed. Universitária/UFPB, 2009. 277 p.

GRASSI, L. A. T. **Direito à água**. Porto Alegre. Seção Câmara Técnica de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.abes-rs.org.br/rechid/direito-a-agua.htm.htm>. Acesso em 17 maio 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico**. Rio de Janeiro, 2010.

KELLNER, E. **Introdução ao EPANET**: Simulação e Dimensionamento de Sistemas de Abastecimento de Água. Apostila da Atividade Curricular de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de São Carlos, 2020.

OLIVEIRA, L. H.; GUIMARÃES, Á. P.; GONÇALVES, O. M. Sistemas de combate a incêndio com água. *In*: SEITO, A. I., GILI, A. A., PANNONI, F. D., ONO, R., SILVA,

S. B., CARLO, U. D., e SILVA, V. P. **A Segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4ª Edição. São Carlos: EESC – USP, 2006. 540 p.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiro. Instrução Técnica Nº 22/2019. **Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio**. São Paulo. Disponível em: http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT-22-2019.pdf. Acesso em 21 maio 2020.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiro. Instrução Técnica Nº 34/2019. **Hidrante Urbano**. São Paulo. Disponível em: http://www.ccb.policiamilitar.sp.gov.br/dsci_publicacoes2/_lib/file/doc/IT-34-2019.pdf. Acesso em 20 maio 2020.

SÃO PAULO. Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros. **Suprimento de água em com bate em incêndios**. (2006). São Paulo: Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo. v.2. Disponível em: <https://www.bombeiros.com.br/imagens/manuais/manual-02.pdf>. Acesso em 21 maio 2020.

SEITO, A. I., GILI, A. A., PANNONI, F. D., ONO, R., SILVA, S. B., CARLO, U. D., e SILVA, V. P. **A Segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, 2008.

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo. 2005

VIEIRA FILHO, D. S.; SILVA, F. B.; VERAS, R. L. O. M.; NÓBREGA, F. A. R. **Infraestrutura Urbana: Infraestrutura e o Crescimento Populacional no Brasil**. Revista Eletrônica da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE, Sergipe, v.4, n.1, nov. 2015.

VILAS-BOAS, P. R. **Modelação de uma Rede de Distribuição de Água**. Julho de 2008. 153 f. Tese Mestrado em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, Portugal.

ZMITROWICZ, W.; ANGELIS NETO, G. **Infra-estrutura Urbana**. São Paulo. Julho 1997. 41p. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00017.pdf. Acesso em 20 maio 2020.