

6º PRÊMIO INSTITUTO SPRINKLER BRASIL
VENCEDOR

Princípios Básicos para o Cálculo de Sistemas de Sprinklers

Modelos de Cálculo

2ª Edição | Revisada e Atualizada

Aderson Guimarães Pereira

6º PRÊMIO INSTITUTO SPRINKLER BRASIL
VENCEDOR

Princípios Básicos para o Cálculo de Sistemas de Sprinklers

Modelos de Cálculo

Aderson Guimarães Pereira



Diagramação e Capa

Rosalis Designer

(www.rosalis.com.br)

Revisor Ortográfico

Pâmyla Serra (re-Visão de Águia)

Revisor Técnico

Ricardo Itsuro Shirakawa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

436p Pereira, Aderson Guimarães.
Princípios básicos para o cálculo de sistemas de sprinklers:
modelos de cálculo / Aderson Guimarães Pereira. – São Paulo, SP:
Instituto Sprinkler Brasil, 2019.
202 p. : il. ; 14 x 21 cm

Bibliografia: p. 189-191
ISBN 978-85-69034-16-2

1. Incêndio – Extinção – Equipamentos e acessórios.
2. Prevenção de incêndios. I. Título.

CDD 628.92

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

*Dedico a todos profissionais que atuam na área de
segurança contra incêndio do Brasil.*

AUTOR

Professor Doutor em Ensino de Ciências e Matemática (UNICSUL – 2013), Mestre em Políticas Sociais Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL – 2008), Mestre em Ciências Policiais de Segurança e Ordem Pública (PMESP – 2008), Bacharel em Direito (UNIBAN – 2009), Bacharel em Ciências Policiais de Segurança e Ordem Pública – Polícia Militar do Estado de São Paulo (PMESP – 1987), Engenheiro Civil (Universidade Guarulhos – 2013), Pós-Graduação em Gestão em Explosões e Segurança Contra Incêndio (USP), Pós-Graduação em Produtividade e Qualidade (FOC) e Engenheiro de Segurança do Trabalho (Faculdades Oswaldo Cruz – 2014). Atualmente é Oficial da PMESP (Coronel – reserva). Possui experiência na área de Segurança Pública, com ênfase em Segurança do Trabalho e Contra Incêndios em Edificações e Áreas de Risco. Atuou no Corpo de Bombeiros de São Paulo por mais de 15 anos (atividades administrativas e operacionais). Atuou como docente na UNINOVE e Faculdades Oswaldo Cruz – Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho – Docente na UNINOVE – Engenharia de Prevenção e Combate a Incêndio. Docente no SENAC (Curso de Técnico de Segurança do Trabalho). Desenvolve atividades de consultoria, projetos, atestados/laudos, regularizações, manutenção, instalação, treinamentos, materiais didáticos e palestras relacionadas à engenharia de segurança do trabalho e segurança contra incêndio. Profissional cadastrado junto ao Corpo de Bombeiros de São Paulo como instrutor para formação de Bombeiro Profissional Civil. Possui livros publicados relativos ao tema segurança contra incêndio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois Ele pode realizar desejos na vida das pessoas, tendo elas fé ou não.

Aos instrutores civis e militares dos cursos que participei no Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, os quais contribuíram para minha formação profissional.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão desta obra, em especial aos discentes das Universidades onde participei como docente nos cursos de graduação em engenharia e de especialização *lato sensu* e *stricto sensu*, incentivadores para elaboração do conteúdo desta obra.

*Feliz o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire
conhecimento.*

(Provérbios 3.13)

*“A esperança é a justificativa para a busca contínua de um sonho
no momento de abstração.”*

Aderson Guimarães Pereira

*“Os problemas significativos que enfrentamos não podem ser
resolvidos no mesmo nível de pensamento em que estávamos quando
criamos.”*

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal descrever roteiros básicos para o desenvolvimento do cálculo de sistemas de chuveiros automáticos, mediante aplicação de fórmulas hidráulicas e tendo como base o conteúdo das legislações específicas.

No conteúdo desta obra, após apresentação de definições, conceitos e fórmulas hidráulicas, são desenvolvidos exercícios fictícios de cálculo hidráulico do sistema de chuveiros automáticos a ser previsto em uma determinada edificação (ocupação).

A qualidade no desenvolvimento dos projetos técnicos pelos profissionais da área de segurança contra incêndio, referente ao dimensionamento de sistemas hidráulicos para o seu perfeito desempenho, poderá ser garantida mediante aperfeiçoamento na execução de cálculos hidráulicos.

Palavras-chaves: cálculo hidráulico; fórmulas hidráulicas; incêndio; segurança contra incêndio; sistema de chuveiros automáticos.

APRESENTAÇÃO

Seis anos atrás praticamente não havia livros sobre sprinklers na língua portuguesa, fato muitas vezes utilizado como justificativa para o pouco conhecimento sobre essa tecnologia no país. Hoje temos um cenário completamente diferente. Com a conclusão da 6ª edição do Prêmio Sprinkler Brasil de Trabalhos Técnicos, estamos premiando mais um autor brasileiro que escolheu dividir seus conhecimentos sobre sprinklers com a comunidade de proteção contra incêndios. A obra vencedora desta edição junta-se a 11 outros trabalhos técnicos publicados anteriormente e distribuídos gratuitamente pelo Instituto Sprinkler Brasil em seu site www.sprinklerbrasil.org.br com o objetivo de disseminar a tecnologia de sprinklers e tornar cada vez mais técnico e competente o setor de segurança contra incêndios.

O trabalho vencedor deste ano foi escrito por Aderson Guimarães Pereira, profissional da área de incêndio e da educação, com ampla experiência como professor e autor de textos técnicos. O trabalho é intitulado “*Princípios Básicos para o Cálculo de Sistemas de Sprinklers*” e atende um objetivo básico do Instituto Sprinkler Brasil, que é oferecer ferramentas fundamentais sobre a tecnologia de sprinklers para aqueles que estão ingressando no setor e para aqueles que desejam revisar conceitos aprendidos anteriormente.

Espero que aproveitem esta contribuição do Aderson, que passa agora a fazer parte do ilustre grupo de autores vencedores do Prêmio ISB, e convido todos a participar de suas futuras edições.

Abraços

Marcelo Olivieri de Lima

Diretor Geral

Instituto Sprinkler Brasil

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	19
2 - DESENVOLVIMENTO.	21
2.1 SISTEMA DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS.	21
2.1.1 DEFINIÇÃO.	21
2.1.2 COMPONENTES DO SISTEMA	22
2.2 NOMENCLATURA DE SISTEMAS DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS.	29
2.3 OCUPAÇÕES	33
2.4 TIPOS DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS	35
2.4.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	35
2.4.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À VELOCIDADE DE OPERAÇÃO.	35
2.4.3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ORIENTAÇÃO DE INSTALAÇÃO.	36
2.4.4 CLASSIFICAÇÃO QUANTO ÀS CONDIÇÕES ESPECIAIS DE USO.	38
2.4.5 CLASSIFICAÇÃO QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E PROJETO	39
2.5 TEMPERATURAS NOMINAIS DE OPERAÇÃO	40
2.6 DADOS TÉCNICOS – CHUVEIROS AUTOMÁTICOS	42
2.6.1 SPRINKLER-PADRÃO – TIPO SIDEWALL	42
2.6.2 SPRINKLER-PADRÃO – TIPO UPRIGHT.	45
2.6.3 SPRINKLER-PADRÃO – TIPO PENDENTE	48
2.6.4 SPRINKLER EMBUTIDO	51
2.6.5 SPRINKLER PENDENTE – MODELO DRY	54
2.7 DADOS TÉCNICOS – FATOR K DE DESCARGA DO BICO DE SPRINKLERS	56
2.8 DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA ÁREA DE COBERTURA DOS CHUVEIROS AUTOMÁTICOS	57
2.8.1 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS EM PÉ E PENDENTES DE COBERTURA PADRÃO	57
2.8.2 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS EM PÉ E PENDENTES DE COBERTURA ESTENDIDA.	59
2.8.3 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS LATERAIS DE COBERTURA PADRÃO	60
2.9 ÁREA MÁXIMA DE COBERTURA	60
2.9.1 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS EM PÉ E PENDENTES DE COBERTURA PADRÃO	60
2.9.2 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS EM PÉ E PENDENTES DE COBERTURA ESTENDIDA.	61

2.9.3 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS LATERAIS	
DE COBERTURA PADRÃO	62
2.9.4 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS DE CONTROLE	
DE APLICAÇÃO ESPECÍFICA (CCAÉ).	62
2.9.5 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS ESFR	63
2.10 DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA ÁREA DE OPERAÇÃO DOS	
SISTEMAS DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS	64
2.10.1 MÉTODO DE DENSIDADE E ÁREA	64
2.10.1.1 FÓRMULAS PARA O CÁLCULO DA ÁREA	
DE OPERAÇÃO.	65
2.10.1.2 NÚMERO DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS	
A CALCULAR	65
2.10.1.3 COMPRIMENTO PARALELO AOS RAMAIS	65
2.10.1.4 COMPRIMENTO PERPENDICULAR AOS RAMAIS	66
2.10.1.5 NÚMERO DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS	
POR RAMAL	66
2.10.1.6 NÚMERO DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS	
ENTRE RAMAIS	66
2.10.2 MÉTODO DE CÁLCULO POR RECINTO	66
2.10.2.1 SISTEMA TIPO GRELHA	66
2.11 DEMANDA D'ÁGUA – MÉTODOS DE CÁLCULO HIDRÁULICO.	67
2.11.1 RESTRIÇÕES.	69
2.11.2 OBSERVAÇÕES GERAIS	69
2.11.3 EXEMPLO I – CÁLCULO DA VAZÃO E PRESSÃO	
NO CHUVEIRO AUTOMÁTICO	70
2.11.4 EXEMPLO II – CÁLCULO DA VAZÃO E PRESSÃO	
NO CHUVEIRO AUTOMÁTICO.	71
2.12 DEMANDA D'ÁGUA – MÉTODO DE CÁLCULO POR TABELA	72
2.12.1 EXEMPLO – DISTRIBUIÇÃO DOS CHUVEIROS	
AUTOMÁTICOS NAS TUBULAÇÕES POR TABELA	
– RISCO LEVE	75
2.13 CÁLCULO DE PERDA DE CARGA	76
2.13.1 PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA.	76
2.13.1.1 COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS.	77
2.13.1.2 DIÂMETROS DE TUBOS.	78
2.13.2 PERDA DE CARGA LOCALIZADA	80
2.14 VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA TUBULAÇÃO	81
2.15 PONTOS DE UNIÃO HIDRÁULICA OU PONTOS	
DE EQUILÍBRIO HIDRÁULICO	82
2.16 PRESSÃO NORMAL NO TRECHO DE CÁLCULO	83
2.16.1 CARGA DE VELOCIDADE	84

2.16.2 OBSERVAÇÕES GERAIS	84
2.16.3 EXEMPLO I	85
2.16.4 EXEMPLO II	89
2.16.5 EXEMPLO III	91
2.17 EXERCÍCIO FICTÍCIO I	92
2.18 EXERCÍCIO FICTÍCIO II	122
2.19 EXERCÍCIO FICTÍCIO III	141
2.20 EXERCÍCIO FICTÍCIO IV	158
2.20.1 EXERCÍCIO	162
2.21 EXERCÍCIO FICTÍCIO V	177
2.21.1 EXERCÍCIO	177
2.21.1.1 PARTE A	178
2.21.1.2 PARTE B	183
CONCLUSÃO	189
REFERÊNCIAS	191
ANEXO 1	
VÁLVULA DE GOVERNO E ALARME (VGA)	195
PERDA DE CARGA – VÁLVULA DE DN 150 MM (6”)	197
INSTALAÇÃO	198
ANEXO 2	
CONEXÃO SETORIAL DE DRENO, ENSAIO E ALARME (CS)	199
ANEXO 3	
CONEXÃO DE RECALQUE	200
ANEXO 4	
MODELO DE PLANILHA DE CÁLCULO - SPK	202
ANEXO 5	
PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS	203

1 - INTRODUÇÃO

O sistema de chuveiros automáticos¹ (sprinklers) é um sistema fixo de combate a incêndios e caracteriza-se por entrar em operação automaticamente, quando ativado por um foco de fogo, liberando água em uma densidade adequada ao risco do local que visa proteger e de forma rápida para extingui-lo ou controlá-lo. A sua eficiência é reconhecida em decorrência do menor tempo entre a detecção e o início da extinção do fogo, pois essa condição pode evitar a propagação do fogo para o restante da edificação, portanto, não permitirá o surgimento de um incêndio.

O acionamento do alarme de forma simultânea com o início de operação é outro fator importante desse sistema, o que propicia a saída dos usuários da edificação ou área de risco com segurança, ou seja, auxiliará no salvamento de vidas humanas.

O princípio de operação desse sistema consiste em confinar o foco de fogo na área de aplicação controlando ou extinguindo, por meio de descarga automática de água.

Tem-se que: em uma grande área sem compartimentação horizontal como, por exemplo, em um galpão (ocupação: depósito), o sistema de chuveiros automáticos atuará na área restrita ao foco do fogo, evitando a propagação e reduzindo os danos ao patrimônio.

O desenvolvimento do cálculo hidráulico dos sistemas de sprinklers e a definição de seus parâmetros técnicos são essenciais para a aprovação do projeto técnico de proteção contra incêndios, bem como para o perfeito funcionamento dos sistemas.

Este manual técnico é composto de modelos de cálculos (exercícios) hidráulicos de sistemas de chuveiros automáticos (SPK), sendo que

1 NOTA DO EDITOR: Neste livro os termos “sprinklers” e “chuveiros automáticos” descrevem o mesmo dispositivo utilizado para o controle ou supressão de incêndio. A ABNT prefere a utilização do termo “chuveiro automático” em todas as suas Normas, ao passo que a indústria e profissionais da área geralmente utilizam o termo “sprinkler”.

tem como objetivo secundário auxiliar os profissionais na definição das vazões nos bicos, da perda de carga em tubulação, da velocidade da água na tubulação, da potência da bomba de incêndio e do volume da reserva de água para combate a incêndio, conforme as legislações pertinentes (Decretos Estaduais, Instruções Técnicas, Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e outras).

2 - DESENVOLVIMENTO²

2.1 SISTEMA DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS

2.1.1 DEFINIÇÃO

2.1.1.1 Sistema de chuveiros automáticos – sistema integrado de tubulações aéreas e subterrâneas, alimentado por uma ou mais fontes de abastecimento automático de água, para fins de proteção contra incêndio. A parte do sistema de chuveiros automáticos acima do piso consiste em uma rede de tubulações dimensionada por tabelas ou por cálculo hidráulico, instalada em edifícios, estruturas ou áreas, normalmente junto ao teto, à qual são conectados chuveiros automáticos segundo um padrão regular, alimentado por uma tubulação que abastece o sistema, provida de uma válvula de controle e dispositivo de alarme. O sistema é ativado pelo calor e descarrega água sobre a área de incêndio.

² Fonte: NBR 10897:1990; ABNT NBR 10.897:2014; Instrução Técnica 23/2019 – CBPMESP; NFPA-13 (*National Fire Protection Association*).

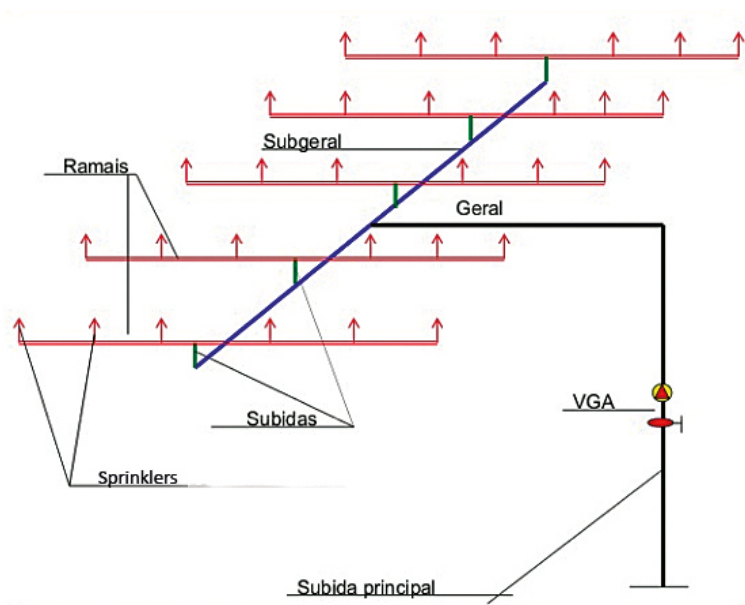


Fig. 2.1 - Detalhe do sistema de chuveiros automáticos

O sistema de proteção por sprinklers deve ser elaborado de acordo com os critérios estabelecidos em normas técnicas brasileiras (ABNT NBR 10.897:2014), sendo aceita, pelos órgãos de fiscalização e/ou aprovação, a norma NFPA 13 da *National Fire Protection Association*, se o assunto não for por elas contemplado. A classificação do risco, área de operação, tabelas e demais parâmetros técnicos devem seguir os critérios contidos nas normas técnicas.

2.1.2 COMPONENTES DO SISTEMA

O sistema de sprinklers é composto de:

2.1.2.1 Chuveiros automáticos – dispositivos para extinção ou controle de incêndios que funcionam automaticamente quando seu elemento termossensível (ex.: ampola de vidro) é aquecido à temperatura

de operação ou acima dela, permitindo que a água seja descarregada sobre uma área específica;

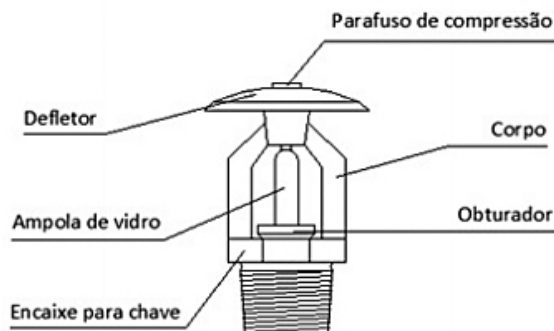


Fig. 2.2 - Chuveiro automático

2.1.2.2 Chuveiro aberto – chuveiro que não possui elemento acionador termossensível;

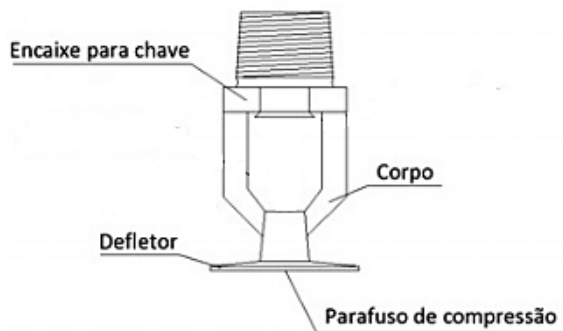


Fig. 2.3 - Chuveiro aberto

2.1.2.3 Ramais – são as ramificações (tubos) nas quais os chuveiros automáticos são fixados;

2.1.2.4 Tubulações subgerais – tubos que alimentam os ramais;

2.1.2.5 Tubulações gerais – tubos que alimentam as tubulações subgerais, diretamente ou com conexões;

2.1.2.6 Tubulações de subidas ou descidas – são as tubulações verticais, de subidas ou descidas, conforme o sentido de circulação da água;

2.1.2.7 Coluna de alimentação – tubulações verticais de alimentação de um sistema de chuveiros automáticos;

2.1.2.8 Coluna principal de alimentação do sistema (*riser*) – tubo não subterrâneo, horizontal ou vertical, localizado entre a fonte de abastecimento de água e as tubulações gerais e subgerais, contando com uma válvula de governo e alarme;

2.1.2.9 Válvula de governo e alarme (VGA) – “conjunto composto por válvula seccionadora, válvula de retenção e sistema de alarme de fluxo, manômetros, drenos e acessórios, instalados em cada coluna de alimentação (*riser*) de um sistema de chuveiros automáticos.” Trata-se de um dispositivo de detecção de fluxo e alarme, desenvolvido para instalação na tubulação principal (geral) do sistema de chuveiros automáticos. Para evitar incêndios, sua função é atuar como um alarme a partir da abertura do chuveiro automático (um ou mais chuveiros). Em condições normais se mantém em posição estática e fechada e as tubulações do sistema permanecem constantemente pressurizadas e cheias. E isso faz com que a vedação da portinhola seja mantida contra a sede sulcada da válvula por meio do equilíbrio da pressão antes e depois da portinhola. No momento em que o chuveiro automático (ex.: surgimento de fogo) é acionado ocorre um desequilíbrio entre as pressões. Mediante esta situação, a portinhola se levanta e o fluxo de água entra no sistema de forma a ser distribuído para a área onde está ocorrendo o fogo. Além disso, uma pequena quantidade de água também passa pelas ranhuras da sede, indo até os dispositivos de alarme (vide Anexo 1);

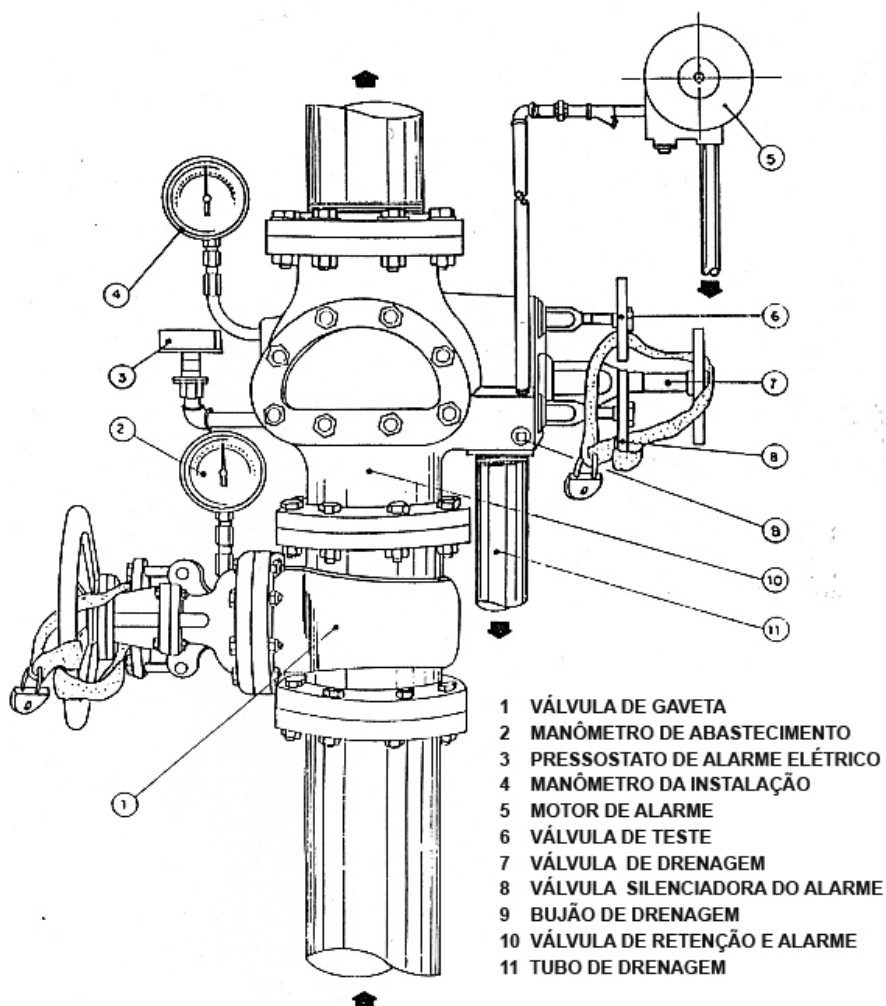


Fig. 2.4 - Válvula de Governo e Alarme (VGA)

2.1.2.10 Conexão setorial de dreno, ensaio e alarme (CS) – cada instalação de um sistema de chuveiros automático, de tubo molhado, deve ser provida de uma conexão de ensaio (edificações de múltiplos pavimentos) (vide Anexo 2);

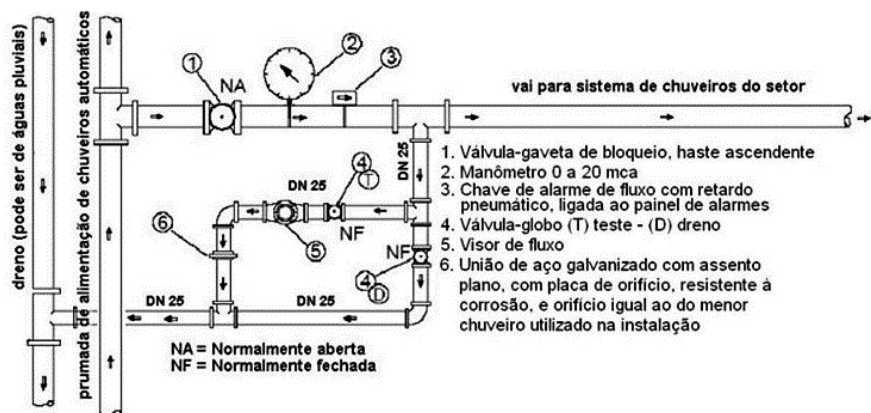


Fig. 2.5 - Detalhe da conexão setorial (CS)

2.1.2.11 Conexão de recalque – deve ser prevista no sistema de chuveiros automáticos a tomada de recalque para uso exclusivo do Corpo de Bombeiros. O dispositivo de tomada de recalque deve possuir duas entradas de água de diâmetro nominal (DN) 65 mm, providas de adaptadores e tampões do tipo engate rápido (vide Anexo 3);

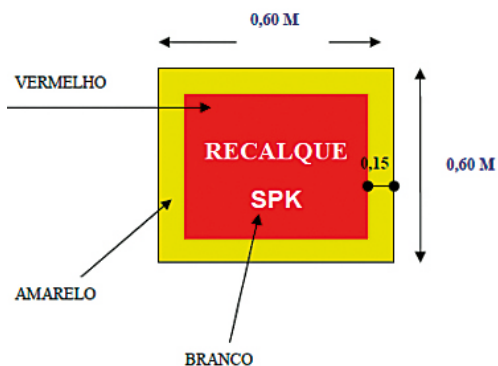
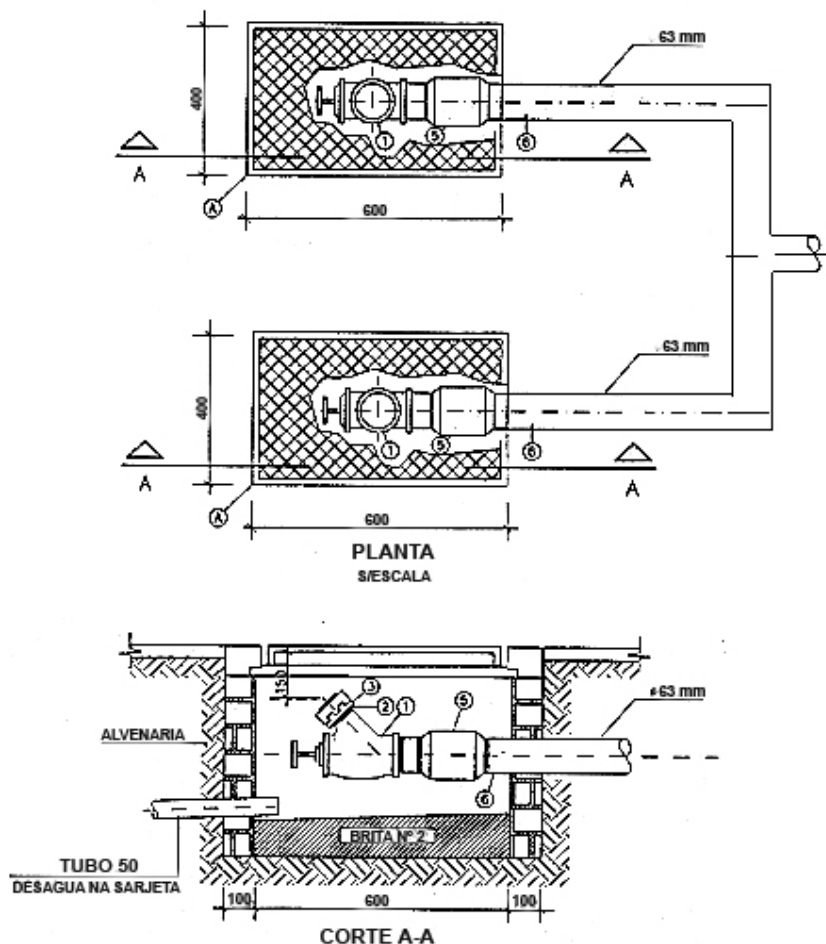


Fig. 2.6 - Detalhe da Conexão de Recalque – Tampa



Obs.: 1 – Válvula globo angular 45°; 2 – Adaptador rosca fêmea storz; 3 – Tampão storz com corrente; 4 – Tapa FºP (600 x 400 mm); 5 – Válvula de retenção tipo portinhola; 6 – Tubo.

Fig. 2.7 - Registro de recalque duplo – sistema de chuveiros automáticos

2.1.2.12 Bombas de incêndio – servem para manter o sistema de chuveiros automáticos sob uma pressão hidráulica de operação ou de supervisão. As bombas utilizadas em sistemas de combate a incêndio devem ser de um dos tipos a seguir: centrífuga horizontal de sucção frontal; centrífuga de carga bipartida; centrífuga e/ou turbina vertical;

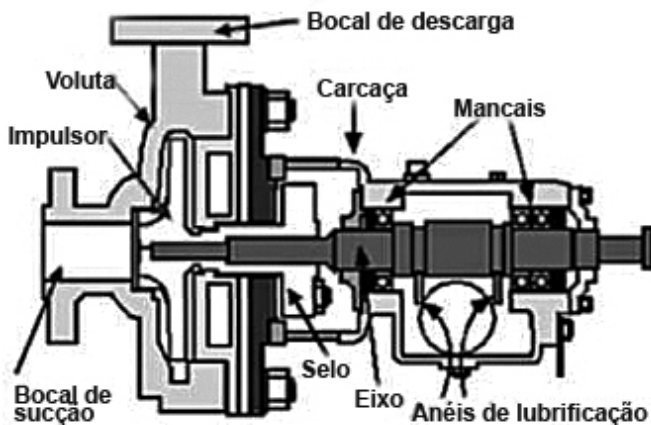


Fig. 2.8 - Bomba Centrífuga

2.1.2.13 Fonte de abastecimento de água (tanques e reservatórios) – reservatório de água (exclusivo) que contém a capacidade efetiva para funcionamento do sistema de chuveiros automáticos para um determinado período de tempo.

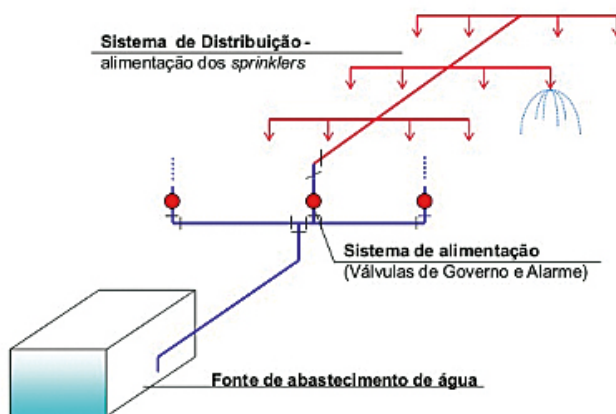


Fig. 2.9 - Detalhes do sistema de chuveiros automáticos

2.2 NOMENCLATURA DE SISTEMAS DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS

Os sistemas de chuveiros automáticos, quanto à nomenclatura, podem se classificar em:

2.2.1 Sistema de ação prévia – sistema que utiliza chuveiros automáticos fixados a uma tubulação que contém ar, que pode ou não estar sob pressão, conjugado a um sistema suplementar de detecção instalado na mesma área dos chuveiros automáticos;

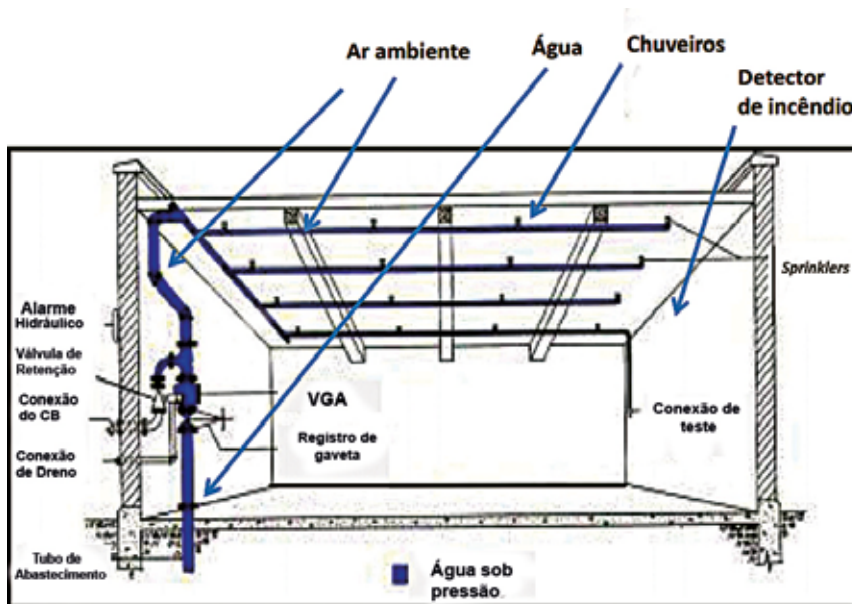


Fig. 2.10 - Sistema de ação prévia

2.2.2 Sistema anel fechado – sistema de chuveiros automáticos em que as tubulações subgerais múltiplas são conectadas de modo a permitir que a água siga mais do que uma rota de escoamento até chegar a um chuveiro em operação. Neste sistema, os ramais não são conectados entre si;

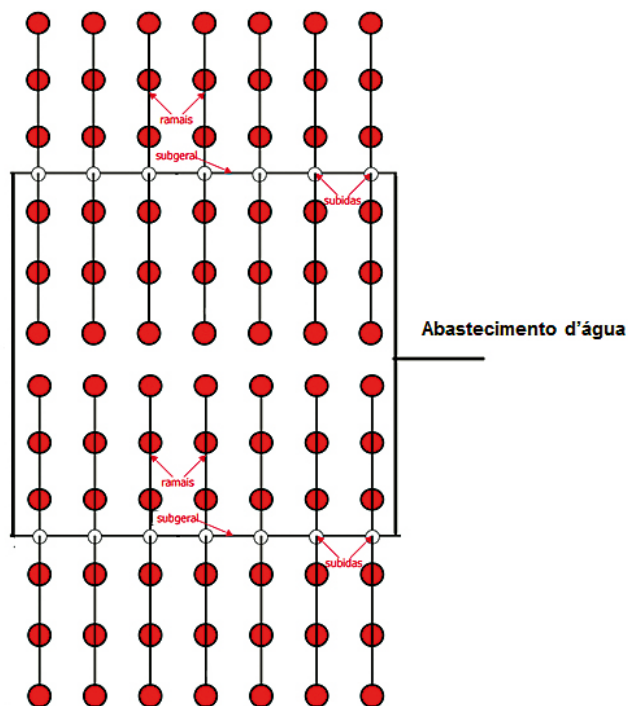


Fig. 2.11 - Sistema tipo anel fechado

2.2.3 Sistema dilúvio – sistema de chuveiros automáticos que utiliza chuveiros abertos acoplados a uma tubulação conectada a uma fonte de abastecimento de água por uma válvula de dilúvio. Esta válvula é aberta pela operação de um sistema de detecção instalado na mesma área dos chuveiros. Com a abertura da válvula ocorre a entrada de água na tubulação, sendo descarregada por todos os chuveiros simultaneamente;

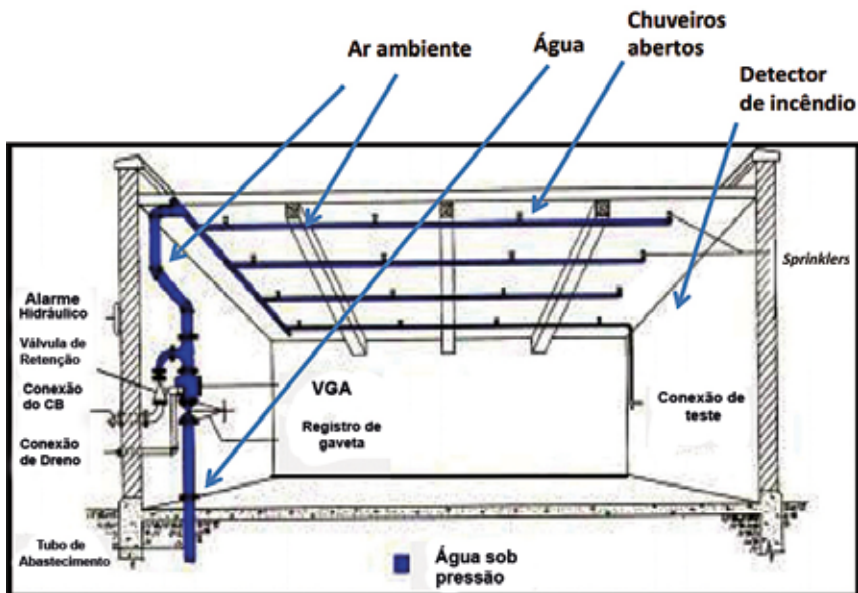


Fig. 2.12 - Sistema dilúvio

2.2.4 Sistema tipo grelha – sistema de chuveiros automáticos em que as tubulações subterâneas são conectadas a ramais múltiplos. Um chuveiro em operação recebe água pelas duas extremidades do ramal, enquanto outros ramais auxiliam a transportar a água entre as tubulações subterâneas;

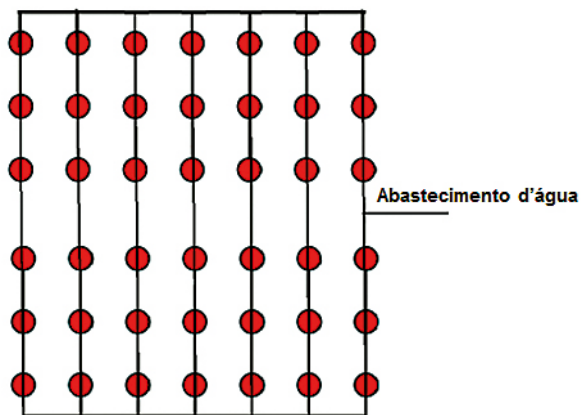


Fig. 2.13 - Sistema tipo grelha

2.2.5 Sistema calculado por tabela – sistema de chuveiros automáticos cujos diâmetros de tubulação são selecionados em tabelas preparadas conforme classificação da ocupação e em que um dado número de chuveiros automáticos pode ser alimentado por diâmetros específicos de tubulação;

2.2.6 Sistema projetado por cálculo hidráulico – sistema de chuveiros automáticos no qual os diâmetros de tubulação são selecionados com base na perda de carga, de modo a fornecer a densidade de descarga de água necessária ou a pressão mínima de descarga ou vazão por chuveiro automático exigida, distribuída com um grau razoável de uniformidade sobre uma área específica;

2.2.7 Sistema tubo molhado – sistema de chuveiros automáticos fixados a uma tubulação que contenha água e conectada a uma fonte de abastecimento, de maneira que a água seja descarregada imediatamente pelos chuveiros automáticos, quando abertos pelo calor de um incêndio;

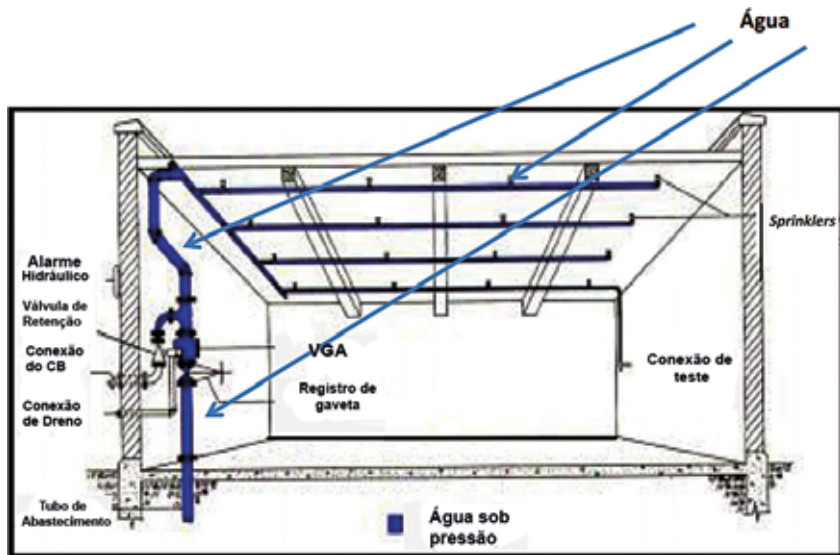


Fig. 2.14 - Sistema tubo molhado

2.2.8 Sistema tipo seco – sistema de chuveiros automáticos fixados a uma tubulação que contenha ar ou nitrogênio sob pressão. A partir da abertura de um chuveiro, a pressão de água abre uma válvula, conhecida como válvula para sistema seco, deixando a água entrar na tubulação para o controle do incêndio, sendo descarregada pelos chuveiros abertos.

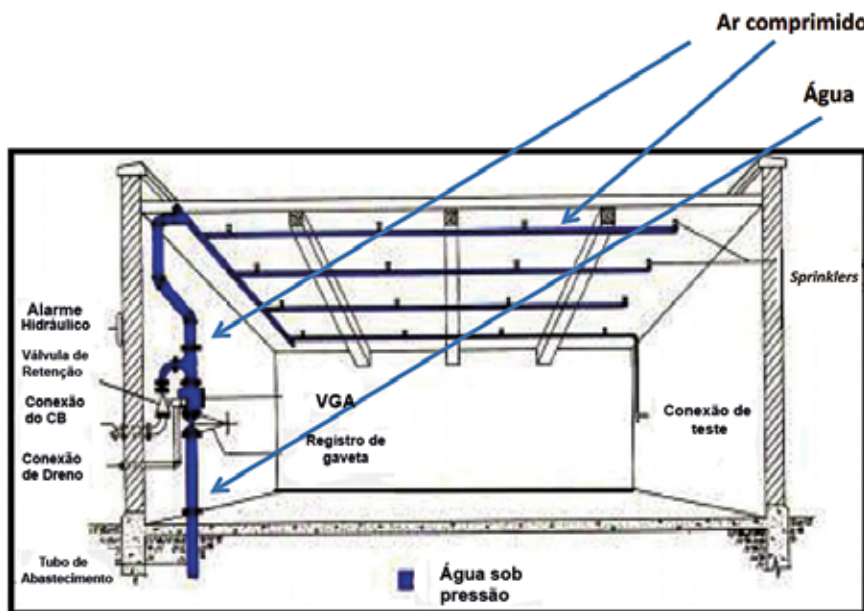


Fig. 2.15 - Sistema tubo seco

2.3 OCUPAÇÕES

A ocupação está relacionada à atividade ou uso da edificação. As ocupações aplicáveis à ABNT NBR 10.897:2014 são:

2.3.1 Risco leve – são as compreendidas ocupações ou parte das ocupações onde a quantidade e/ou combustibilidade do conteúdo (carga de incêndio) é baixa, tendendo à moderada, e onde é esperada uma taxa de liberação de calor de baixa a média (ex.: escritórios, hotéis, hospitais, etc.);

2.3.2 Risco ordinário (Grupo I) – são as compreendidas ocupações ou parte de ocupações onde a combustibilidade do conteúdo é baixa e a quantidade de materiais combustíveis é moderada. A altura de armazenamento não pode exceder 2,40 m. São esperados incêndios como moderada taxa de liberação de calor (ex.: estacionamento, fábrica de bebidas, áreas de serviços de restaurantes, etc.);

2.3.3 Risco ordinário (Grupo II) – são as compreendidas ocupações ou parte de ocupações onde a quantidade e a combustibilidade do conteúdo são de moderada a alta. A altura de armazenamento não pode exceder 3,70 m. São esperados incêndios como alta taxa de liberação de calor (ex.: lojas, gráficas, indústrias têxteis, etc.);

2.3.4 Risco extra ou extraordinário (Grupo I) – são compreendidas as ocupações ou parte de ocupações onde a quantidade e a combustibilidade do conteúdo são muito altas, podendo haver a presença de pós e outros materiais que provocam incêndios de rápido desenvolvimento, produzindo alta taxa de liberação de calor. Neste grupo as ocupações não podem possuir líquidos combustíveis ou inflamáveis (ex.: fundições, serrarias, hangares, etc.);

2.3.5 Risco extra ou extraordinário (Grupo II) – compreendem ocupações com moderada ou substancial quantidade de líquidos combustíveis ou inflamáveis (ex.: processamento de plásticos, limpeza com solventes, saturação com asfalto, etc.).

Nas diversas legislações estaduais (ex.: Decreto Estadual nº 63.911/2018 – Estado de São Paulo) definem a obrigatoriedade de instalação de sistemas de chuveiros automáticos na edificação de acordo com: a ocupação e o uso, a área construída, a altura e a carga de incêndio. Na maioria dos casos, a legislação propõe a instalação do sistema de chuveiros automáticos como uma alternativa para isentar a previsão de áreas compartimentadas (vertical ou horizontal), ou para permitir maiores distâncias de encaminhamento até as saídas de emergência.

2.4 TIPOS DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS

2.4.1 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

2.4.1.1 Chuveiro de cobertura padrão – chuveiro projetado para cobrir as áreas de cobertura apresentadas na norma técnica de referência;

2.4.1.2 Chuveiro de cobertura estendida – chuveiro projetado para cobrir uma área maior que a área de cobertura de chuveiros-padrão;

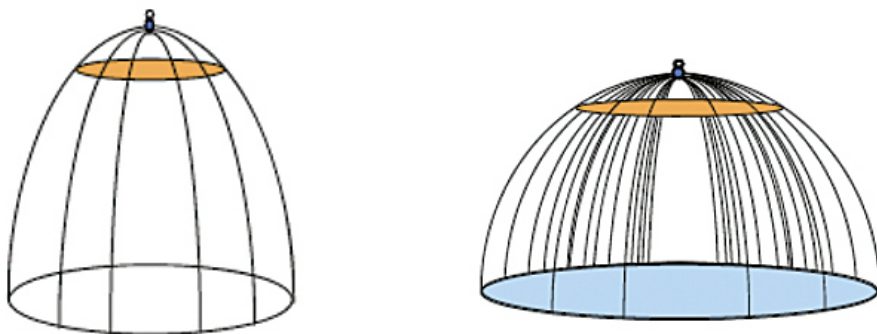


Fig. 2.16 - Chuveiro automático de cobertura padrão (parábola fixa) e o de cobertura estendida (parábola variável)

2.4.1.3 Chuveiro tipo *spray* – chuveiro cujo defletor direciona a água para baixo, lançando uma quantidade mínima de água, ou nenhuma para o teto.

2.4.2 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À VELOCIDADE DE OPERAÇÃO

2.4.2.1 Chuveiro automático de resposta rápida – chuveiro automático que possui elementos termossensíveis com índice de tempo de resposta ITR igual ou menor que $50 \text{ (m.s)}^{1/2}$;

2.4.2.2 Chuveiro automático de resposta padrão – chuveiro automático que possui elementos termossensíveis com índice de tempo resposta ITR igual ou maior que 80 (m.s)^{1/2}.

2.4.3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO À ORIENTAÇÃO DE INSTALAÇÃO

2.4.3.1 Chuveiro em pé – chuveiro projetado para ser instalado em uma posição na qual o jato de água é direcionado para cima, contra o defletor;



Fig. 2.17 - Chuveiro automático em pé

2.4.3.2 Chuveiro embutido – chuveiro decorativo, cujo corpo, ou parte dele, exceto a rosca, é montado dentro de um invólucro embutido;

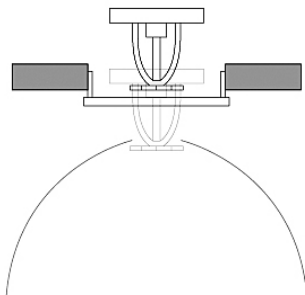


Fig. 2.18 - Chuveiro automático embutido

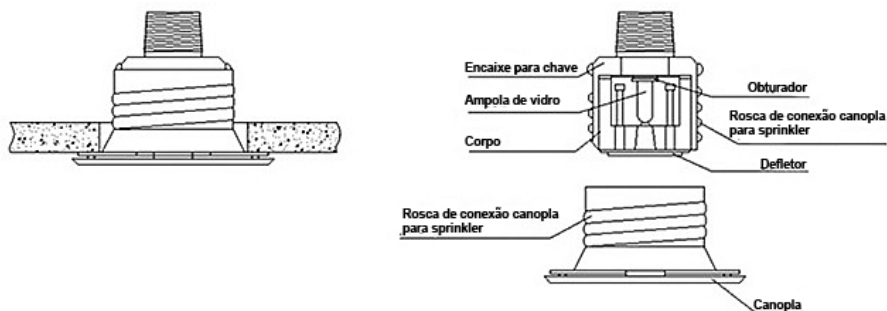


Fig. 2.19 - Chuveiro automático embutido

2.4.3.3 Chuveiro *flush* – chuveiro decorativo, cujo corpo, ou parte dele, incluindo a rosca, é montado acima do plano inferior do teto. Ao ser ativado, o defletor se prolonga para baixo do plano inferior do teto;

2.4.3.4 Chuveiro lateral – chuveiro projetado para ser instalado em paredes e descarregar água em direção à parede oposta;

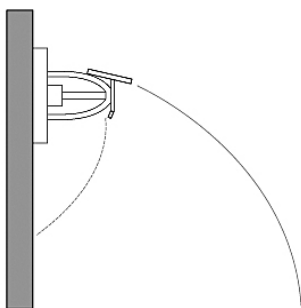


Fig. 2.20 - Chuveiro automático lateral

2.4.3.5 Chuveiro pendente – chuveiro projetado para ser instalado em uma posição na qual o jato d'água é direcionado para baixo, contra o defletor;

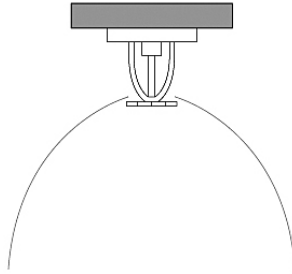


Fig. 2.21 - Chuveiro automático pendente

2.4.3.6 Chuveiro oculto – chuveiro embutido, coberto por uma placa que é liberada antes do funcionamento do chuveiro.

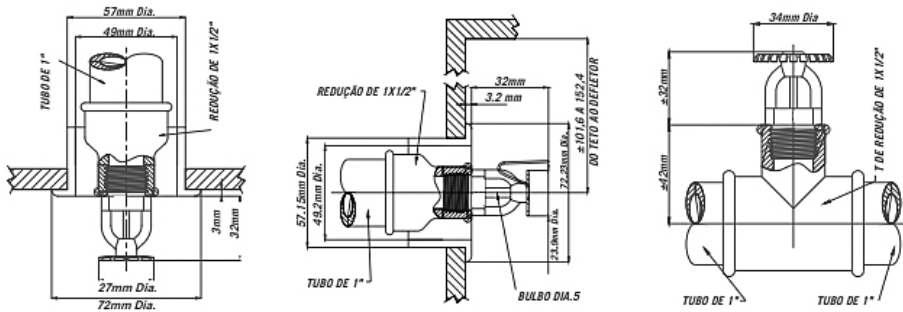


Fig. 2.22 - Detalhe dos chuveiros automáticos: pendente, lateral e em pé

2.4.4 CLASSIFICAÇÃO QUANTO ÀS CONDIÇÕES ESPECIAIS DE USO

2.4.4.1 Chuveiro decorativo – chuveiro automático, pintado ou revestido com camada metálica pelo fabricante;

2.4.4.2 Chuveiro resistente à corrosão – chuveiro automático, fabricado com materiais resistentes à corrosão ou com revestimentos especiais, pode ser utilizado em atmosferas agressivas;

2.4.4.3 Chuveiro seco – chuveiro fixado a um *niple* de extensão, que possui um selo na extremidade de entrada, para permitir que a água ingresse em seu interior somente em caso de operação do chuveiro.

2.4.5 CLASSIFICAÇÃO QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO E PROJETO

2.4.5.1 Chuveiro automático de controle para aplicações específicas (CCAE) – chuveiro que atua no modo de controle e se caracteriza por produzir gotas grandes de água, e que é testado e aprovado para uso em áreas de incêndios de alta intensidade;

2.4.5.2 Chuveiro automático de resposta e supressão rápidas (ESFR) – chuveiro que atua no modo de supressão e que se caracteriza por ter resposta rápida e por distribuir água em grande quantidade e de forma especificada, sobre uma área limitada, de modo a proporcionar rápida extinção do fogo, quando instalado apropriadamente.

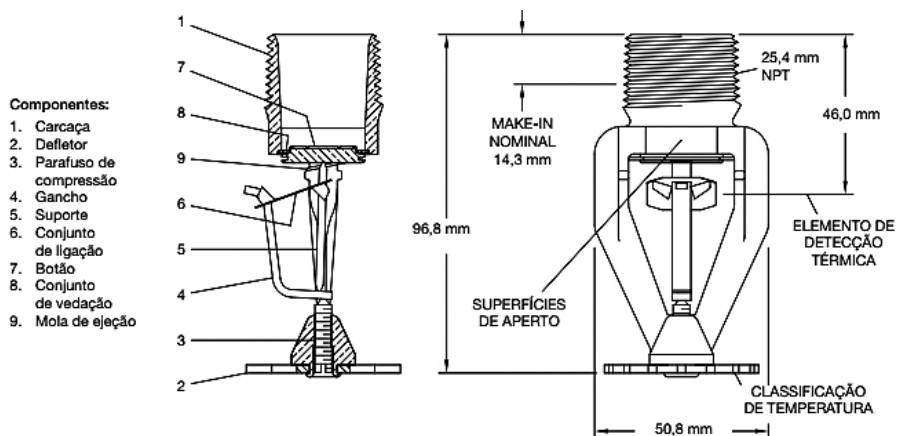


Fig. 2.23 - Modelo ESFR-25, Supressão precoce, Chuveiro Automático Suspenso de Resposta Rápida

2.5 TEMPERATURAS NOMINAIS DE OPERAÇÃO

Os chuveiros automáticos de liga fusível devem ter seus braços pintados, e os bulbos de vidro devem ter o líquido colorido, conforme figura 2.24, exceto no caso de chuveiros automáticos decorativos e de chuveiros automáticos resistentes à corrosão.

Máxima temperatura no teto °C	Limites de temperatura °C	Classificação da temperatura	Código de cores	Cor do líquido do bulbo de vidro
38	57 – 77	Ordinária	Incolor ou preta	Vermelha ou laranja
66	79 – 107	Intermediária	Branca	Amarela ou verde
107	121 – 149	Alta	Azul	Azul
149	163 – 191	Extra-alta	Vermelha	Roxa
191	204 – 246	Extra-extra-alta	Verde	Preta
246	260 – 302	Extra-alta	Laranja	Preta
329	343	Ultra-alta	Laranja	Preta

Fonte: ABNT NBR 10.897:2014

Fig. 2.24 - Temperaturas nominais de operação

O chuveiro automático contra incêndios é constituído por uma pequena ampola, ou fusível, um defletor e um dispositivo rosqueado. A ampola é feita com um bulbo de vidro resistente, enquanto que o fusível possui uma solda especial para se romper à temperatura de projeto; quando a temperatura se eleva a determinado grau, é liberada uma descarga de água longa e contínua.

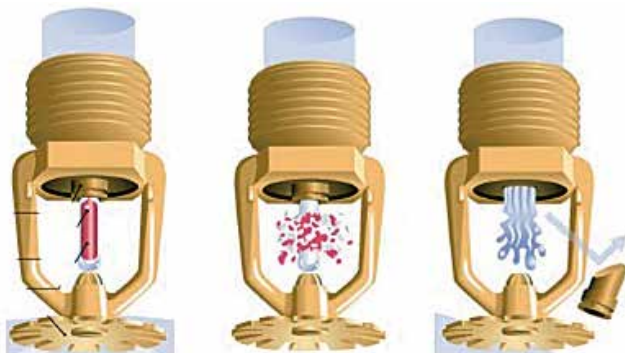
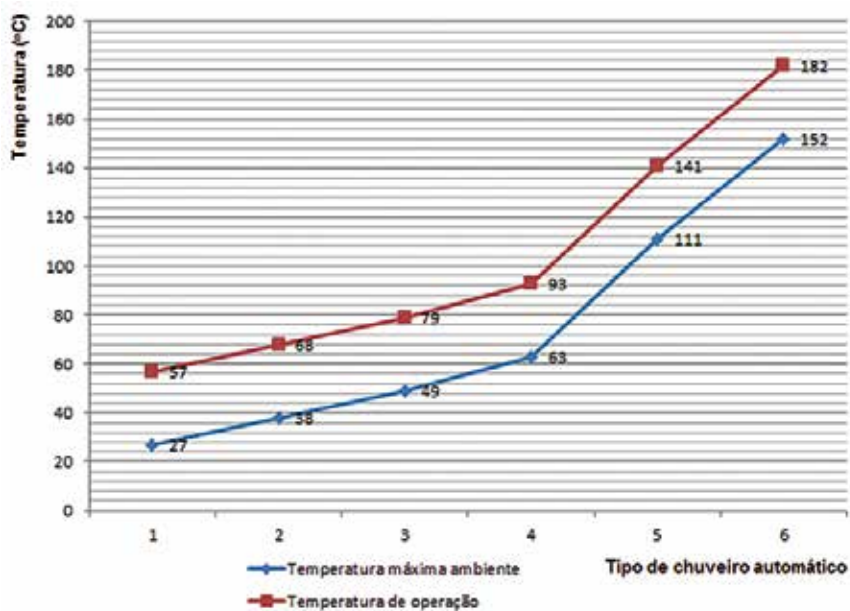


Fig. 2.25 - Funcionamento do sprinkler



Nota (cor do bico): 1 – laranja; 2 – vermelha; 3 – amarela; 4 – verde; 5 – azul;
6 – roxa.

Fig. 2.26 - Temperatura máxima ambiente e de operação dos chuveiros automáticos

O evento acontece porque a ampola do chuveiro automático contra incêndios possui no seu líquido altamente expansível (óleo mineral ou álcool etílico contendo corante) uma bolha, que quando atinge a temperatura preestabelecida referente à cor do líquido existente dentro do bulbo de vidro, aumenta de tamanho e faz com que ocorra o rompimento do dispositivo. A ampola se mantém fechada com uma tampa rosqueada que só se abre quando ocorre a liberação da água, após a ruptura do bulbo, no caso da solda esta se rompe e o conjunto interno do chuveiro automático desprende em uma única peça sem estilhaçar; o que só ocorre nas ampolas.

A localização dos chuveiros automáticos junto ao teto ou nas paredes é um dos fatores mais importantes para que a sensibilidade térmica e a sua velocidade de resposta sejam preservadas, portanto, essas condições contribuirão para o acionamento imediato do sistema por ocasião de um incêndio. Os chuveiros automáticos devem ser posicionados onde haja a possibilidade de maior concentração da quantidade de calor durante a ocorrência de um incêndio, ou seja, geralmente o mais próximo ao teto. Motivo pelo qual é recomendado observar as exigências das legislações pertinentes quanto ao tipo de chuveiro automático a ser instalado e o seu posicionamento na edificação na elaboração do projeto técnico.

2.6 DADOS TÉCNICOS – CHUVEIROS AUTOMÁTICOS³

2.6.1 SPRINKLER-PADRÃO – TIPO SIDEWALL

Os sprinklers do tipo padrão *sidewall* (lateral horizontal) são projetados para controle e detecção de incêndio em seu estágio inicial, em locais estreitos, corredores, quartos de hotéis e hospitais. Estes versáteis sprinklers estão disponíveis com acabamento cromado. Seu elemento sensível é do tipo ampola de vidro hermeticamente fechada e selada.

³ Fonte: <http://www.protectorfire.com.br/produtos/sprinkler-padrao-tipo-sidewall/>

O mecanismo de operação é uma ampola de vidro quebrável que contém um líquido de calor sensível. Durante um incêndio a temperatura ambiente sobe, fazendo com que o líquido se expanda na ampola; quando atinge a temperatura nominal da ampola, ela se rompe. Sendo assim, o canal está livre de todas as peças de vedação e a água é descarregada para o defletor.



Fig. 2.27 - Sprinkler – tipo *sidewall*

Características técnicas

- Conexão rosca macho de 1/2" NPT;
- Fator $K = 80 \text{ L/min} \times (\text{bar})^{-0,50}$: no Sistema métrico de unidades [5,60 gal/min $\times (\text{psi})^{-0,5}$ no sistema americano];
- Diâmetro nominal do orifício: 1/2" (15 mm);
- Pressão mínima de trabalho: 0,49 kgf/cm² (7 psi);
- Pressão máxima de trabalho: 12,3 kgf/cm² (175 psi);
- Pressão de teste hidrostático: 35,16 kgf/cm² (500 psi);
- Tipo *sidewall*;
- Resposta *standard*;
- Fabricado em bronze;
- Fornecido com protetor de ampola, para ser retirado após a instalação;
- Acabamento cromado.

Distribuição de água para sprinklers *sidewall*

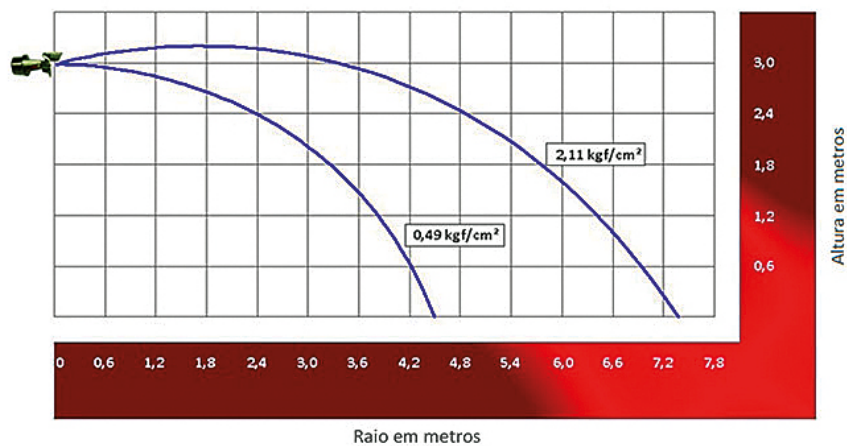


Fig. 2.28 - Distribuição de água – tipo *sidewall*

Vazão dos sprinklers

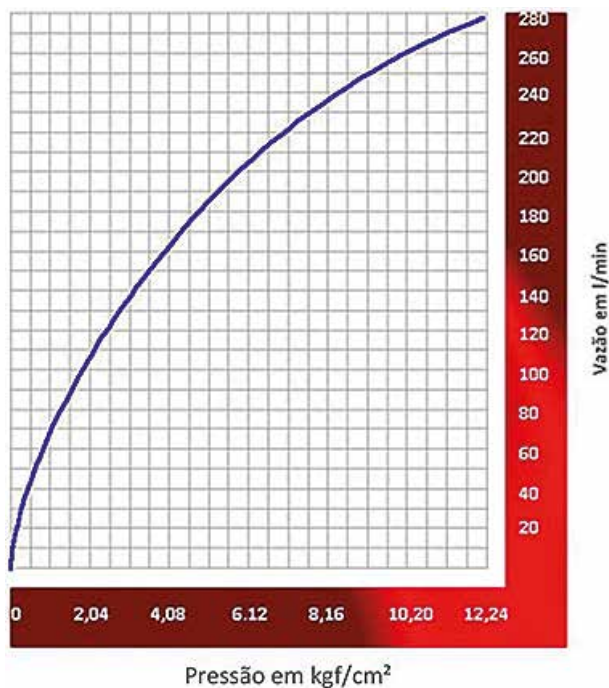


Fig. 2.29 - Vazão – tipo *sidewall*

Instalação

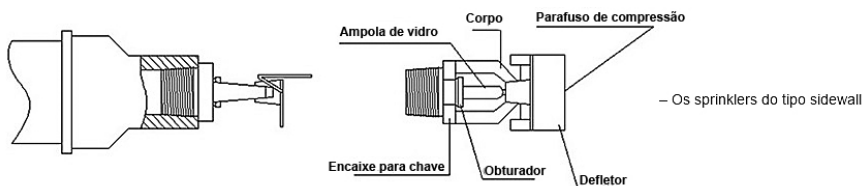


Fig. 2.30 - Instalação – tipo *sidewall*

Devem ser instalados no sentido horizontal.

Obs.: Os sprinklers nunca devem ser pintados, banhados, revestidos ou alterados seja de que forma for depois de saírem da fábrica.

2.6.2 SPRINKLER-PADRÃO – TIPO UPRIGHT

Os sprinklers tipo *upright* são chuveiros automáticos fechados, acionados por uma ampola de vidro, que é um elemento termofusível de temperatura predeterminada. Estes sprinklers são projetados para extinção e controle de incêndios.

Em uma condição de incêndio, o calor faz com que o fluido contido no interior da ampola de vidro se expanda, quebrando o vidro e liberando o conjunto do selo com mola. A água flui do orifício até o defletor do sprinkler, que dispersa a água numa distribuição uniforme, para controlar ou extinguir um foco de incêndio.



Fig. 2.31 - Sprinkler – tipo *upright*

Características técnicas

- Conexão rosca macho de 1/2" NPT;
- Fator $K = 80 \text{ L/min} \times (\text{bar})^{-0,50}$ – no Sistema métrico de unidades [5,60 gal/min $\times (\text{psi})^{-0,5}$ no sistema americano];
- Diâmetro nominal do orifício: 1/2" (15 mm);
- Pressão mínima de trabalho: 0,49 kgf/cm² (7 psi);
- Pressão máxima de trabalho: 12,3 kgf/cm² (175 psi);
- Pressão de teste hidrostático: 35,16 kgf/cm² (500 psi);
- Tipo *upright*;
- Duas opções com tempo de resposta, resposta *standard* e resposta rápida;
- Fabricado em bronze;
- Fornecido com protetor de ampola, para ser retirado após a instalação;
- Acabamento cromado.

Distribuição de água para sprinkler *upright*

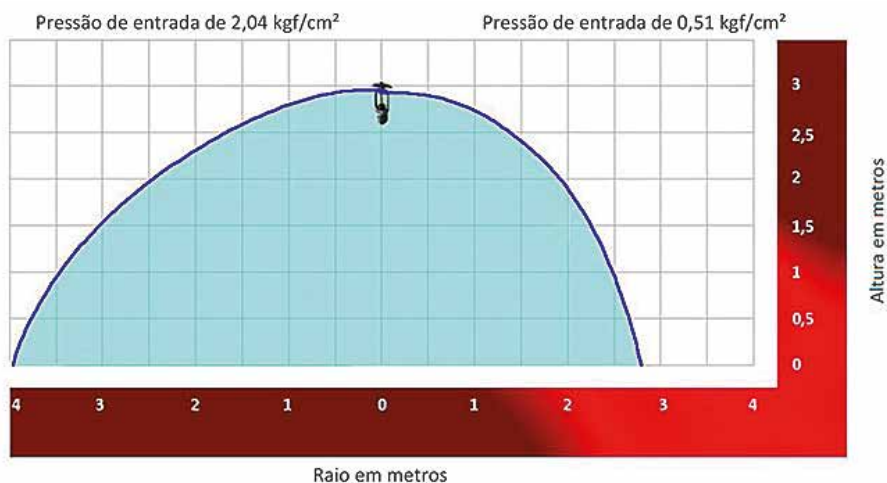


Fig. 2.32 - Distribuição de água – tipo *upright*

Vazão dos sprinklers

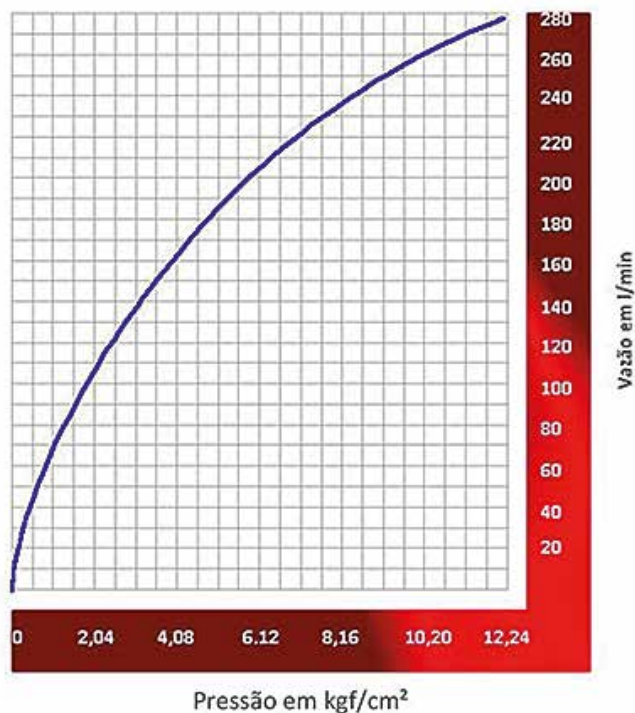


Fig. 2.33 - Vazão – tipo *upright*

Instalação

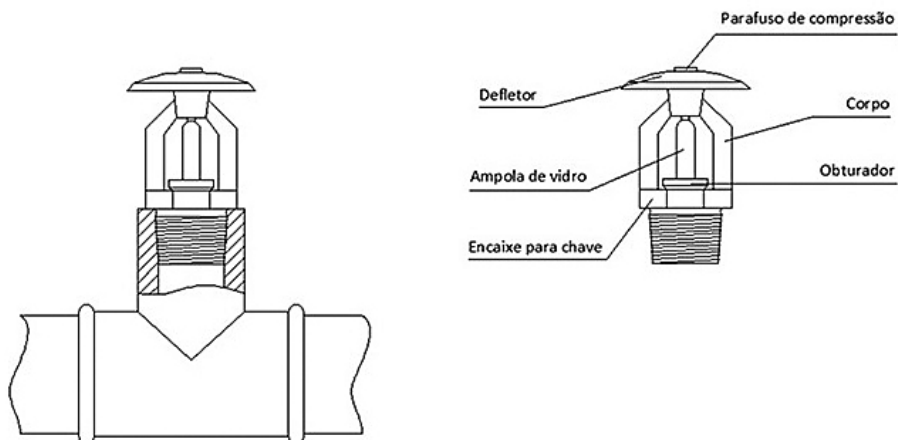


Fig. 2.34 - Instalação – tipo *upright*

Devem ser instalados no sentido vertical (virados para cima).

Obs.: Os sprinklers nunca devem ser pintados, banhados, revestidos ou alterados seja de que forma for depois de saírem da fábrica.

2.6.3 SPRINKLER-PADRÃO – TIPO PENDENTE

Os sprinklers pendentes são chuveiros automáticos fechados, acionados por uma ampola de vidro, que é um elemento termofusível de temperatura predeterminada. Estes sprinklers são projetados para extinção e controle de incêndios.

Em uma condição de incêndio, o calor faz com que o fluído contido no interior da ampola de vidro se expanda, quebrando o vidro e liberando o conjunto do selo com mola. A água flui do orifício até o defletor do sprinkler, que dispersa a água numa distribuição uniforme, para controlar ou extinguir um foco de incêndio.



Fig. 2.35 - Sprinkler – tipo pendente

Características técnicas

- Conexão rosca macho de 1/2" NPT;
- Fator $K = 80 \text{ L/min} \times (\text{bar})^{-0,50}$ – no Sistema métrico de unidades [5,60 gal/min $\times (\text{psi})^{-0,5}$ no sistema americano];
- Diâmetro nominal do orifício: 1/2" (15 mm);
- Pressão mínima de trabalho: 0,49 kgf/cm² (7 psi);
- Pressão máxima de trabalho: 12,3 kgf/cm² (175 psi);
- Pressão de teste hidrostático: 35,16 kgf/cm² (500 psi);

- Tipo pendente;
- Duas opções com tempo de resposta, resposta *standard* e resposta rápida;
- Fabricado em bronze;
- Fornecido com protetor de ampola, para ser retirado após a instalação;
- Acabamento cromado.

Distribuição de água para sprinkler pendente

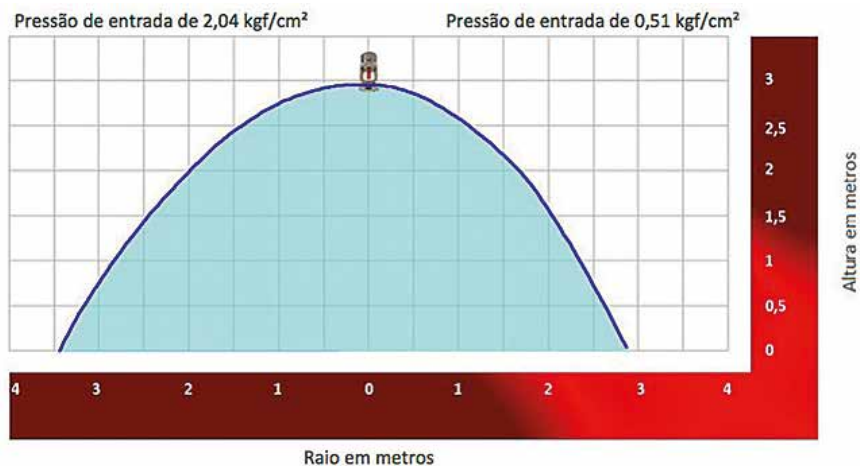


Fig. 2.36 - Distribuição de água – tipo pendente

Vazão dos sprinklers

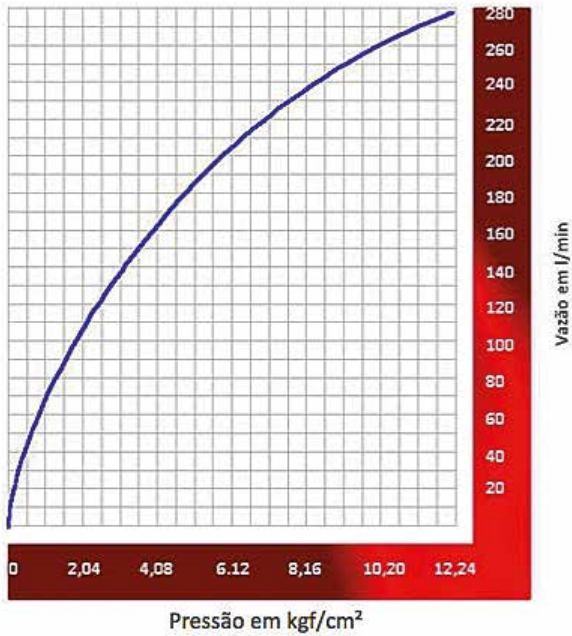


Fig. 2.37 - Vazão – tipo pendente

Instalação

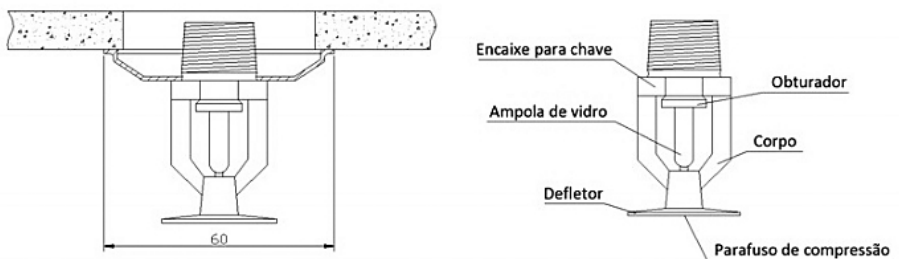


Fig. 2.38 - Instalação – tipo pendente

Devem ser instalados no sentido vertical (virados para baixo).

Obs.: Os sprinklers nunca devem ser pintados, banhados, revestidos ou alterados seja de que forma for depois de saírem da fábrica.

2.6.4 SPRINKLER EMBUTIDO

Os sprinklers do tipo embutido (*concealed*) são projetados para controle e detecção de incêndio em seu estágio inicial, em instalações comerciais e industriais, onde um melhor acabamento no forro é exigido. Estes versáteis sprinklers estão disponíveis no estilo embutido com canoplas de acabamento na cor branca.

O mecanismo de operação é uma ampola de vidro quebrável que contém um líquido de calor sensível. Durante um incêndio a temperatura ambiente sobe, fazendo com que o líquido se expanda na ampola; quando atinge a temperatura nominal da ampola, ela se rompe. Sendo assim, o canal está livre de todas as peças de vedação e a água é descarregada para o defletor.



Fig. 2.39 - Sprinkler – tipo embutido

Características técnicas

- Conexão rosca macho de 1/2" NPT;
- Fator $K = 80 \text{ L/min} \times (\text{bar})^{-0,50}$ – no Sistema métrico de unidades [5,60 gal/min $\times (\text{psi})^{-0,5}$ no sistema americano];
- Diâmetro nominal do orifício: 1/2" (15 mm);
- Pressão mínima de trabalho: 0,49 kgf/cm² (7 psi);
- Pressão máxima de trabalho: 12,3 kgf/cm² (175 psi);
- Pressão de teste hidrostático: 35,16 kgf/cm² (500 psi);
- Temperatura de operação do sprinkler: 68 °C;

- Temperatura de operação da canopla: 57 °C;
- Tipo embutido (*concealed*);
- Resposta *standard*;
- Fabricado em bronze;
- Fornecido com protetor no bico, para ser retirado após a instalação;
- Acabamento branco.

Distribuição de água para sprinkler embutido

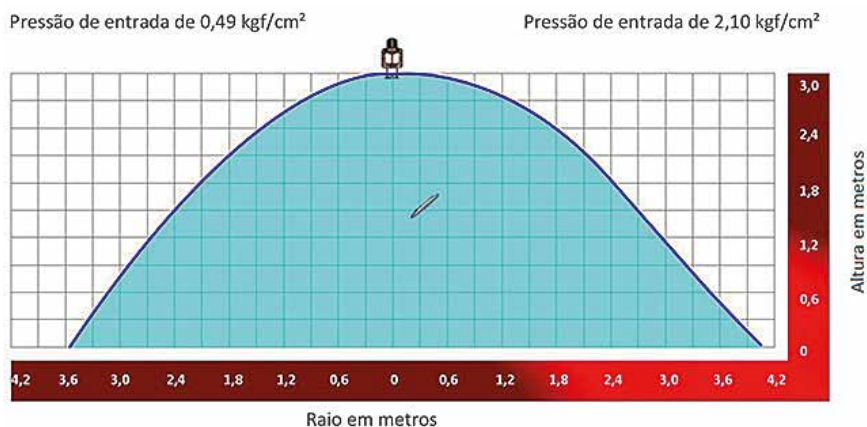


Fig. 2.40 - Distribuição de água – tipo embutido

Vazão dos sprinklers

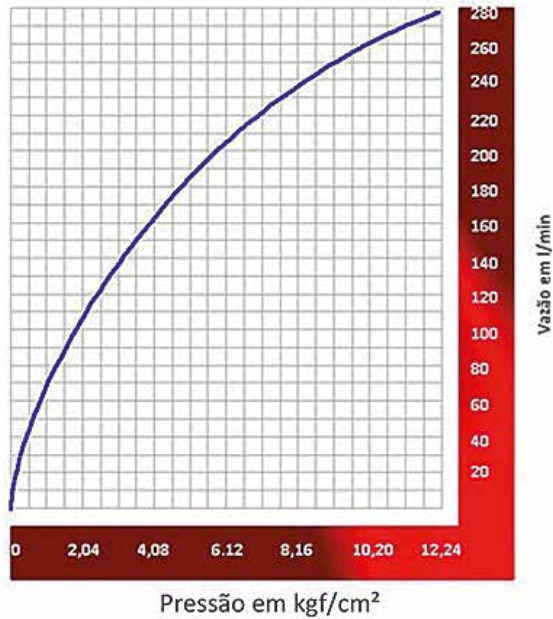


Fig. 2.41 - Vazão – tipo embutido

Instalação

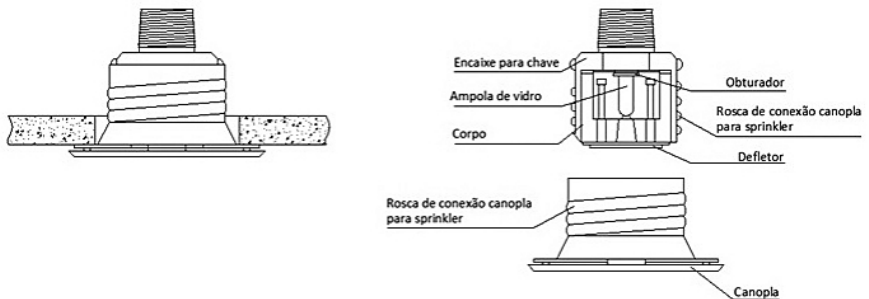


Fig. 2.42 - Instalação – tipo embutido

Devem ser instalados na posição vertical (virados para baixo).

Obs.: Os sprinklers nunca devem ser pintados, banhados, revestidos ou alterados seja de que forma for depois de saírem da fábrica.

2.6.5 SPRINKLER PENDENTE – MODELO *DRY*

O sprinkler pendente modelo *Dry* tipo seco foi projetado para uso em aplicações especiais, em ambientes de baixas temperaturas sujeitas a congelamento.

Em uma condição de incêndio, o calor faz com que o fluido contido no interior da ampola de vidro se expanda, quebrando o vidro, sendo assim, solta o assento do bulbo, fazendo com que o conjunto do tubo interno se mova, permitindo a montagem da mola de pivô ao longo do tubo interior. Nesse momento, a água flui através do aspersor e é distribuída pelo defletor num padrão de descarga aprovado.



Fig. 2.43 - Sprinkler – modelo *Dry*

Características técnicas

- Conexão rosca macho de 1/2" NPT;
- Fator $K = 80 \text{ L/min} \times (\text{bar})^{-0,50}$ – no sistema métrico de unidades [5,60 gal/min $\times (\text{psi})^{-0,5}$ no sistema americano];
- Diâmetro nominal do orifício: 1/2" (15 mm);
- Conexão de entrada: 1" NPT;
- Comprimento: 200 mm;
- Pressão mínima de trabalho: 0,49 kgf/cm² (7 psi);
- Pressão máxima de trabalho: 12,3 kgf/cm² (175 psi);
- Pressão de teste hidrostático: 35,16 kgf/cm² (500 psi);
- Tipo pendente;
- Duas opções com tempo de resposta, resposta *standard* e resposta rápida;
- Fabricado em bronze;

- Fornecido com protetor de ampola, para ser retirado após a instalação;
- Acabamento cromado.

Distribuição de água para sprinkler *Dry*

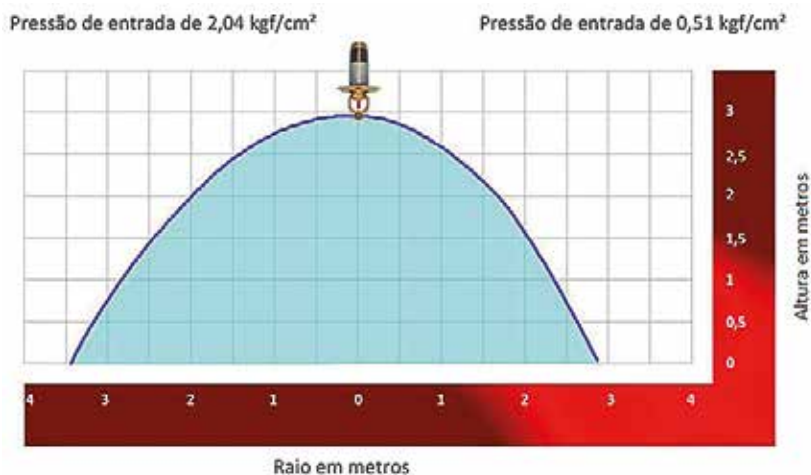


Fig. 2.44 - Distribuição de água – modelo *Dry*

Vazão dos sprinklers

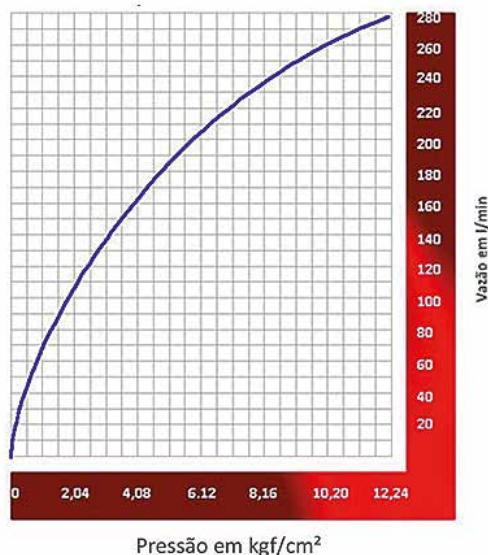


Fig. 2.45 - Vazão – modelo *Dry pendent*

Instalação

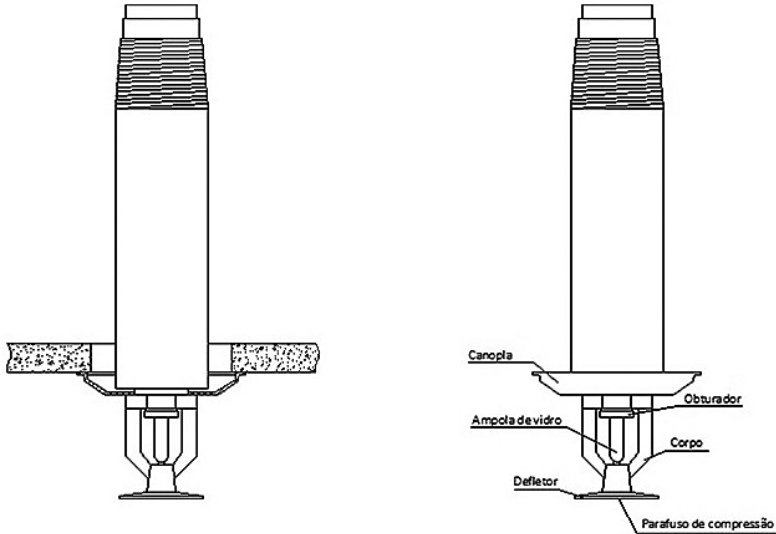


Fig. 2.46 - Instalação – modelo Dry

Devem ser instalados na posição vertical (virados para baixo).

Obs.: Os sprinklers nunca devem ser pintados, banhados, revestidos ou alterados seja de que forma for depois de saírem da fábrica.

2.7 DADOS TÉCNICOS – FATOR K DE DESCARGA DO BICO DE SPRINKLERS

O fator K corresponde aos valores relativos à descarga do chuveiro em função do seu diâmetro de orifício. Devem seguir o padrão estabelecido pela ABNT NBR 10.897:2014, conforme segue:

O Fator K de descarga é determinado pela fórmula:

$$K = Q / P^{0,50} - \text{Unidade: L/min/bar}^{0,50}$$

Tabela 1 - Identificação das características de descarga dos chuveiros automáticos

Fator nominal K		Diâmetro nominal da rosca
L/min/bar ^{1/2}	gpm/psi ^{1/2}	mm
20	1,4	DN 15
27	1,9	DN 15
40	2,8	DN 15
61	4,2	DN 15
80	5,6	DN 15
115	8,0	DN 15 ou DN 20
161	11,2	DN 15 ou DN 20
202	14,0	DN 20
242	16,8	DN 20
282	19,6	DN 25
323	22,4	DN 25
363	25,2	DN 25
403	28,0	DN 25

Fig. 2.47 - Chuveiros automáticos – fator K

2.8 DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA ÁREA DE COBERTURA DOS CHUVEIROS AUTOMÁTICOS

A área de cobertura de um chuveiro automático é calculada de acordo com os parâmetros abaixo:

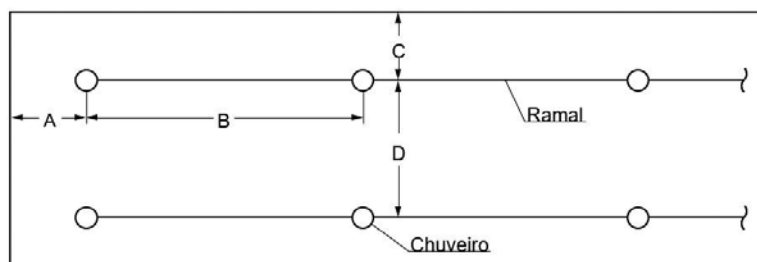
2.8.1 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS EM PÉ E PENDENTES DE COBERTURA PADRÃO

A área de cobertura por chuveiro (A_s) será estabelecida pela multiplicação da dimensão (S) pela dimensão (L), ou seja: $A_s = S \times L$, conforme descrito abaixo e exemplificado nas figuras a seguir:

a) **ao longo dos ramais (S)**. Determinar a distância entre chuveiros automáticos (ou até a parede ou obstrução no caso do último chuveiro no ramal) a montante ou a jusante. Escolher a maior entre as duas

dimensões: o dobro da distância até a parede ou obstrução, ou a distância até o próximo chuveiro;

b) **entre ramais (L)**. Determinar a distância perpendicular até o chuveiro no ramal adjacente (ou até a parede ou obstrução no caso do último ramal) em cada lado do ramal no qual o chuveiro em questão está posicionado. Escolher a maior entre as duas dimensões: o dobro da distância até a parede ou obstrução, ou a distância até o próximo chuveiro automático.



Se $A \times 2$, então $A \times 2 = S$
 Se $B > A \times 2$, então $B = S$
 Se $C \times 2 > D$, então $C \times 2 = L$
 Se $D > C \times 2$, então $D = L$
 Área por chuveiro = $S \times L$

Fig. 2.48 - Área de cobertura

Área de cobertura – exemplo

Temos:

- S = Maior dimensão: 4,60 m ou 0,90 m x 2
- S = 4,60 m
- L = Maior dimensão: 3,10 m ou 1,80 m x 2
- L = 3,60 m
- Área do chuveiro automático = $S \times L = 4,60 \text{ m} \times 3,60 \text{ m} = 16,60 \text{ m}^2$

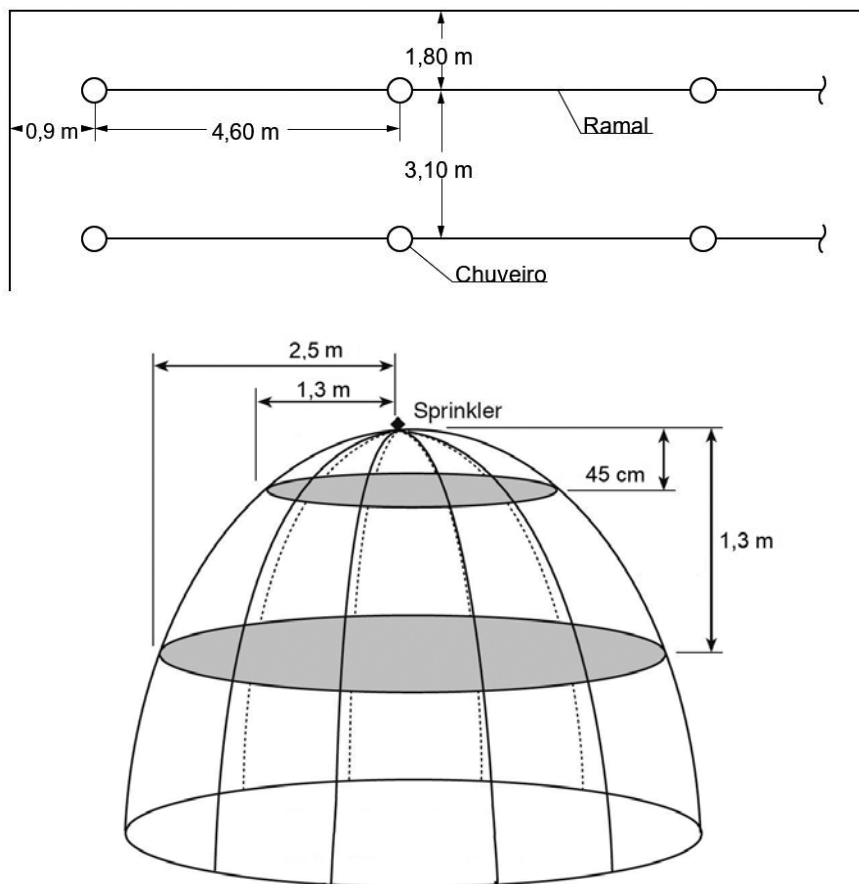


Fig. 2.49 - Modelo de distribuição de água de um chuveiro automático de cobertura padrão

2.8.2 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS EM PÉ E PENDENTES DE COBERTURA ESTENDIDA

A área de cobertura (A_s) de chuveiros automáticos de cobertura estendida não deve ser menor do que aquela especificada para cada tipo de chuveiro a ser utilizado de acordo com as características ensaiadas e aprovadas por entidade ou laboratório de reconhecida competência técnica. As áreas de proteção devem ser quadradas.

2.8.3 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS LATERAIS DE COBERTURA PADRÃO

A área de cobertura de cada chuveiro (A_s) deve ser estabelecida pela multiplicação da dimensão (S) pela dimensão (L), ou seja: $A_s = S \times L$, conforme descrito abaixo:

a) **ao longo da parede (S)**. Determinar a distância entre chuveiros automáticos ao longo da parede (ou até a parede, no caso do último chuveiro no ramal) a montante e a jusante. Escolher a maior entre as duas dimensões: o dobro da distância até a parede final ou a distância até o próximo chuveiro;

b) **de um lado a outro do quarto (L)**. Determinar a distância do chuveiro automático até a parede oposta ao chuveiro ou até o ponto médio do quarto, quando houver chuveiros automáticos em duas paredes opostas.

2.9 ÁREA MÁXIMA DE COBERTURA

2.9.1 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS EM PÉ E PENDENTES DE COBERTURA PADRÃO

A máxima área de cobertura permitida para um chuveiro automático em pé e pendente de cobertura padrão deve ser conforme o valor indicado na Tabela 10 (ABNT NBR 10.897:2014). Em nenhum caso a área deve ser superior a 21 m².

Tipo de teto	Método de cálculo	Área de cobertura m²			Distância máxima entre chuveiros automáticos m		
		Leve	Ord.	Extra	Leve	Ord.	Extra
Não combustível obstruído e não obstruído; combustível não obstruído	Calculado por tabela	18,6	12,1	8,4	4,6	3,7	
	Cálculo hidráulico	20,9		9,3 a 12,1a		3,7 a 4,6b	
Combustível obstruído	Calculado por tabela	15,6		8,4		3,7	
	Cálculo hidráulico			9,3 a 12,1a		3,7 a 4,6b	
Combustível com elementos estruturais distanciados a menos de 0,90 m	Calculado por tabela	12,1		8,4		3,7	
	Cálculo hidráulico			9,3 a 12,1a		3,7 a 4,6b	

a Área de cobertura, risco extra: 9,3 m², se densidade ≥ 10,2 mm/min, e 12,1 m², se densidade < 10,2 mm/min.

b Espaçamento máximo: 3,7 m², se densidade ≥ 10,2 mm/min, e 4,6 m, se densidade < 10,2 mm/min.

Fig. 2.50 - Tabela 10 - Áreas de cobertura máxima por chuveiro automático e distância máxima entre chuveiros automáticos

2.9.2 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS EM PÉ E PENDENTES DE COBERTURA ESTENDIDA

A máxima área de cobertura permitida para um chuveiro automático em pé e pendente de cobertura estendida deve ser conforme a Tabela 11 (ABNT NBR 10.897:2014). A máxima área de cobertura de qualquer chuveiro automático não deve exceder 37,2 m².

Teto	Risco leve		Risco ordinário		Risco extra	
	Área de proteção m ²	Distância m	Área de proteção m ²	Distância m	Área de proteção m ²	Distância m
Sem obstruções	37,2	6,1	37,2	6,1	—	—
	30,2	5,5	30,2	5,5	—	—
	24	4,9	24	4,9	—	—
	—	—	18,5	4,3	18,5	4,3
	—	—	13,7	3,7	13,7	3,7
Incombustível obstruído (quando especificamente ensaiado para este fim)	37,2	6,1	37,2	6,1	—	—
	30,2	5,5	30,2	5,5	—	—
	24	4,9	24	4,9	—	—
	—	—	18,5	4,3	18,5	4,3
	—	—	13,7	3,7	13,7	3,7
Combustível desobstruído	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fig. 2.51 - Tabela 11 - Áreas de cobertura máxima por chuveiro automático e distância máxima entre chuveiros automáticos

2.9.3 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS LATERAIS DE COBERTURA PADRÃO

A máxima área de cobertura permitida para um chuveiro (A_s) deve ser conforme o valor indicado na Tabela 12 (ABNT NBR 10.897:2014). A área máxima de cobertura nunca deve exceder 18,20 m².

	Risco leve		Risco ordinário	
	Acabamento combustível	Acabamento incombustível ou de combustibilidade limitada	Acabamento combustível	Acabamento incombustível ou de combustibilidade limitada
Área de cobertura máxima	11,2 m²	18,2 m²	7,4 m²	9,3 m²
Distância máxima ao longo da parede (S)	4,3 m	4,3 m	3 m	3 m
Largura máxima do quarto (L)	3,7 m	4,3 m	3 m	3 m

Fig. 2.52 - Tabela 12 - Áreas de cobertura máxima por chuveiro automático e distância máxima entre chuveiros automáticos

2.9.4 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS DE CONTROLE DE APLICAÇÃO ESPECÍFICA (CCAE)

A máxima área de cobertura permitida para um chuveiro de controle de aplicação específica (CCAE) deve ser conforme Tabela 13 (ABNT NBR 10.897:2014). A área mínima de cobertura deve ser de 7,40 m².

Área protegida	Tipo de teto	Área de proteção m ²	Distância máxima entre chuveiros automáticos m
Sem estruturas porta-paletes	Incombustível	12,1	3,7
	Combustível desobstruído ^a		
	Combustível obstruído ^a	9,3	3,1
Com estruturas porta-paletes	Incombustível	9,3	3,7
	Combustível desobstruído ^a		
	Combustível obstruído	9,3	3,1
^a Ver Seção 3.			

Fig. 2.53 - Tabela 13 - Áreas de cobertura máxima por chuveiro automático e distância máxima entre chuveiros automáticos

2.9.5 CHUVEIROS AUTOMÁTICOS ESFR

A máxima área de cobertura permitida para um chuveiro ESFR deve ser conforme Tabela 14 (ABNT NBR 10.897:2014). A área mínima de cobertura deve ser de 6 m².

Tipo de teto	Área de cobertura m ²	Distância máxima entre chuveiros m	
		Altura do telhado até 9,1 m	Altura do telhado acima de 9,1 m
Incombustível	9,3	3,7	3,1
Combustível desobstruído ^a			
Combustível obstruído ^a	Não é permitido		
^a Ver Seção 3.			

Obs.: Ver Seção 3 - ABNT NBR 10.897:2014.

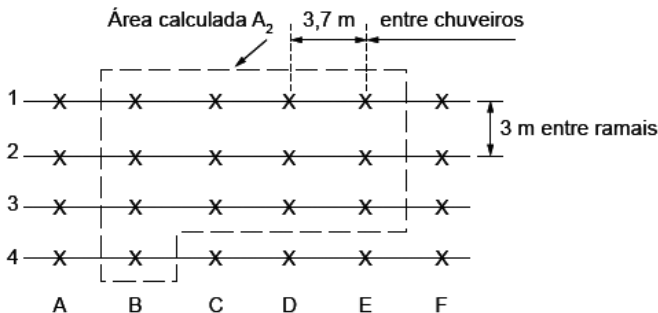
Fig. 2.54 - Tabela 14 - Áreas de cobertura máxima por chuveiro automático e distância máxima entre chuveiros automáticos

2.10 DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA ÁREA DE OPERAÇÃO DOS SISTEMAS DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS

A área de operação de todos os sistemas deve ser a área de maior demanda hidráulica.

2.10.1 MÉTODO DE DENSIDADE E ÁREA

Quando o projeto é baseado no método de densidade e área, a área de operação (ou área de aplicação) deve ser retangular, e o comprimento de seu lado paralelo aos ramais deve ser equivalente a 1,20 vezes o valor da raiz quadrada da área de operação dos chuveiros automáticos, que deve permitir a inclusão de chuveiros automáticos em ambos os lados da tubulação subgeral. Qualquer fração de chuveiro deve ser arredondada até o próximo número inteiro subsequente. Em sistemas cujos ramais tenham número insuficiente de chuveiros automáticos para cumprir a regra do fator 1,20, a área de operação deve ser ampliada para incluir chuveiros automáticos em ramais adjacentes alimentados pela mesma tubulação – vide figura abaixo.



NOTA 1 – Em sistemas tipo grelha, o chuveiro automático no ramal 4 pode ser posicionado em qualquer posição, de B e E;

NOTA 2 – Em sistemas tipo espinha de peixe ou anel fechado, o chuveiro automático no ramal 4 deve ser colocado na posição mais próxima à tubulação subgeral.

Fig. 2.55 - Determinação do número de chuveiros automáticos

2.10.1.1 FÓRMULAS PARA O CÁLCULO DA ÁREA DE OPERAÇÃO

- Área de operação = Comprimento paralelo aos ramais (X) x Comprimento perpendicular aos ramais (Y)
- Comprimento paralelo aos ramais (X) = $1,20 \times (\text{Área de operação})^{0,5}$
- Comprimento perpendicular aos ramais (Y) = $\text{Área de operação} \times [\text{Comprimento paralelo aos ramais (X)}]^{-1}$
- Número de chuveiros automáticos a calcular em funcionamento simultâneo = $(\text{Área de operação}) \times (\text{Área de cobertura do chuveiro automático})^{-1}$
- Número de chuveiros automáticos por ramal = $1,20 \times (\text{Área de operação})^{0,5} \times (\text{Distância máxima entre chuveiros automáticos})^{-1}$
- Número de chuveiros automáticos entre ramais = $\text{Comprimento perpendicular aos ramais (Y)} \times (\text{Distância máxima entre ramais})^{-1}$

Exemplo

Área de operação de 140 m^2 e área de cobertura por chuveiro automático de $11,10 \text{ m}^2$.

2.10.1.2 NÚMERO DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS A CALCULAR

- Número de chuveiros automáticos a calcular = $\text{Área de operação} \times (\text{Área de cobertura do chuveiro})^{-1}$
- Número de chuveiros automáticos a calcular = $140 \text{ m}^2 \times (11,10)^{-1} = 12,61 = 13 \text{ chuveiros}$

2.10.1.3 COMPRIMENTO PARALELO AOS RAMAIS

- Comprimento paralelo aos ramais (X) = $1,20 \times (\text{Área de operação})^{0,5}$
- Comprimento paralelo aos ramais (X) = $1,20 \times (140 \text{ m}^2)^{0,5} = 14,20 \text{ m}$

2.10.1.4 COMPRIMENTO PERPENDICULAR AOS RAMAIS

- Comprimento perpendicular aos ramais (Y) = Área de operação x [Comprimento paralelo aos ramais (X)]⁻¹
- Comprimento perpendicular aos ramais (Y) = 140 m² x (14,20 m)⁻¹
= 9,90 m

2.10.1.5 NÚMERO DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS POR RAMAL

- Número de chuveiros automáticos por ramal = 1,20 x (Área de operação)^{0,5} x (Distância máxima entre chuveiros automáticos)⁻¹
- Número de chuveiros automáticos por ramal = 1,20 x (140 m²)^{0,5} x (3,70 m)⁻¹ = 3,84 = 4 chuveiros automáticos

2.10.1.6 NÚMERO DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS ENTRE RAMAIS

- Número de chuveiros automáticos entre ramais = Comprimento perpendicular aos ramais (Y) x (Distância máxima entre ramais)⁻¹
- Número de chuveiros automáticos entre ramais = 9,90 m x (3,0)⁻¹ = 3,30 = 4 chuveiros automáticos

2.10.2 MÉTODO DE CÁLCULO POR RECINTO

Quando o projeto é feito pelo método de cálculo por recinto, os cálculos devem considerar o recinto e os espaços comunicantes – se houver – que apresentem a maior demanda hidráulica.

2.10.2.1 SISTEMA TIPO GRELHA

Em sistemas tipo grelha, o projetista deve verificar qual é a área de maior demanda hidráulica que está sendo utilizada. No mínimo dois cálculos adicionais devem ser submetidos para demonstrar a máxima perda de carga da área de operação, em relação às áreas imediatamente adjacentes em ambos os lados, nos mesmos ramais, a menos que o cálculo tenha

sido realizado por programas de computador que confirmem que a área de operação selecionada é a maior perda de carga (vide figura abaixo).

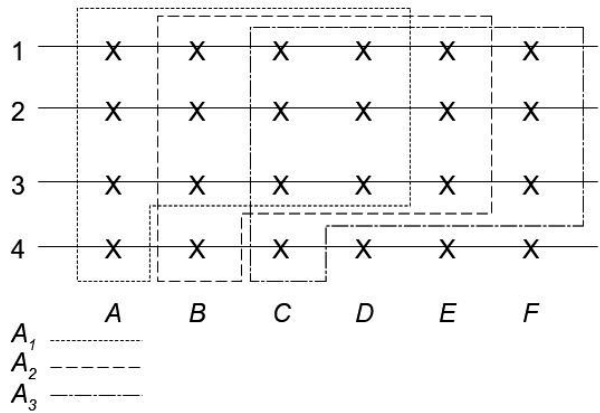


Fig. 2.56 - Exemplo de determinação de área mais remota em sistema tipo grelha

2.11 DEMANDA D’ÁGUA – MÉTODOS DE CÁLCULO HIDRÁULICO

A demanda de água para o sistema de chuveiros automáticos, quando projeto for desenvolvido por cálculo hidráulico (vide Anexo 4), deve ser determinada pela figura abaixo (Fig. 2.57) e a reserva considerando a duração de acordo com o tipo de ocupação (Fig. 2.58). O cálculo inicia-se com a definição dos valores de pressão e vazão no chuveiro mais desfavorável da área de operação. O volume da reserva de incêndio é determinado pela somatória das vazões dos chuveiros na área de operação vezes o tempo de funcionamento requerido para o sistema.

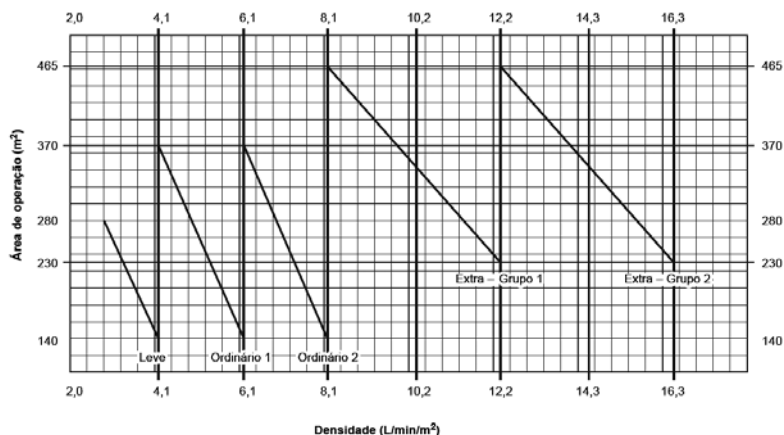


Fig. 2.57 - Curvas de densidade e área

Tipo de ocupação	Duração min
Risco leve	30
Risco ordinário	60
Risco extra ou extraordinário	90
Armazenamento	Consultar ABNT NBR 13.792

Fig. 2.58 - Duração do abastecimento de água para sistemas projetados por cálculo hidráulico

A demanda de água dos chuveiros automáticos (inclusos na área de operação – chuveiros a serem calculados em funcionamento simultâneo) pode ser calculada utilizando-se as curvas de densidade (mm/min – significa: 1 milímetro por minuto de descarga de água por m^2 ; $0,001 m^3 = 1$ litro) e área de operação (m^2), quando for usado o método de densidade e área ou o método baseado no recinto.

2.11.1 RESTRIÇÕES

No dimensionamento dos sistemas de proteção contra incêndio por sistemas de chuveiros automáticos, devem ser consideradas as seguintes restrições:

- Em riscos leves e ordinários, quando a área de operação dos chuveiros automáticos for menor que 140 m^2 , deve ser usada a densidade para 140 m^2 ;
- Em riscos extra, quando a área de operação dos chuveiros automáticos for menor que 230 m^2 , deve ser usada a densidade para 230 m^2 ;
- A demanda de água de cortinas d'água deve ser somada à demanda dos chuveiros automáticos do teto, no ponto de conexão. As demandas devem ser balanceadas de acordo com a maior pressão;
- A demanda de água dos chuveiros automáticos instalados em espaços encobertos ou sob obstruções, como dutos, não precisa ser adicionada à demanda do teto, exceto em áreas de armazenamento, que devem seguir a ABNT NBR 13.792:1997.

2.11.2 OBSERVAÇÕES GERAIS

- Ao utilizar as curvas de densidade e área, os cálculos devem satisfazer um ponto da curva de densidade e área selecionada, não sendo necessário atender a todos os pontos dessa curva;
- As densidade e áreas da figura “curvas densidade e área” devem ser usadas somente com chuveiros automáticos tipo *spray*;
- O número de chuveiros automáticos na área de operação nunca deve ser inferior que cinco;
- Verificar: método de cálculo por recinto, áreas especiais de cálculo e cortinas d'água.

Obs.: Devem ser observadas as demais orientações constantes na ABNT NBR 10.897:2014.

2.11.3 EXEMPLO I – CÁLCULO DA VAZÃO E PRESSÃO NO CHUVEIRO AUTOMÁTICO

- Tipo de ocupação: Risco Leve
- Área de cobertura por chuveiro automático (A_s): 17,48 m²
- Chuveiro automático do tipo *spray* pendente
- Diâmetro nominal da rosca do chuveiro automático (DN): 15 mm
- Densidade (d): 4,1 mm/min
- Área de operação (A_{op}): 140 m²
- Adotar: 1 bar = 14,50 psi = 10,20 mca = 100 kPa

Temos:

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = vazão por chuveiro automático (L/min)
- P = bar
- K = fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5})

Portanto:

Para K = 80 L/min x bar^{-0,5}

Cálculo da vazão no chuveiro automático:

$$Q = A_s \times d$$

$$Q = 71,67 \text{ L/min}$$

$$A_s = 17,48 \text{ m}^2$$

$$d = 4,1 \text{ mm/min}$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático:

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

$$P = 0,803 \text{ bar} = 11,64 \text{ psi} = 8,19 \text{ mca} = 80,3 \text{ kPa}$$

$$K = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$$

$$Q = 71,67 \text{ L/min}$$

Atenção: a pressão mínima de qualquer chuveiro automático deve ser 48 kPa, a menos que ensaios específicos recomendem uma pressão mínima de operação mais alta para sua aplicação.

2.11.4 EXEMPLO II – CÁLCULO DA VAZÃO E PRESSÃO NO CHUVEIRO AUTOMÁTICO

- Tipo de ocupação: Risco Extra Grupo I
- Área de cobertura por chuveiro automático (A_g): 9,30 m²
- Chuveiro automático do tipo *spray* em pé
- Diâmetro nominal da rosca do chuveiro automático (DN): 20 mm
- Densidade (d): 10,20 mm/min
- Área de operação (A_{op}): 370 m²
- **Adotar:** 1 bar = 14,50 psi = 10,20 mca = 100 kPa
1 L/min = 0,26417 gal/min

Temos:

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = vazão por chuveiro automático (gal/min)
- P = psi
- K = fator de descarga do chuveiro automático (gal/min x psi^{-0,5})

Portanto:

Para K = 8 gal/min x psi^{-0,5}

Cálculo da vazão no chuveiro automático:

$$Q = A_s \times d$$

$$Q = 94,86 \text{ L/min} = 25,06 \text{ gal/min}$$

$$A_s = 9,30 \text{ m}^2$$

$$d = 10,20 \text{ mm/min}$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático:

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

- $P = 9,812 \text{ psi} = 0,68 \text{ bar} = 6,90 \text{ mca} = 67,73 \text{ kPa}$
- $K = 8 \text{ gal/min} \times \text{psi}^{-0,5}$
- $Q = 25,06 \text{ gal/min}$

Atenção: em áreas de risco extra ou extraordinário, a máxima pressão de operação de qualquer chuveiro automático deve ser de 1.210 kPa.

2.12 DEMANDA D'ÁGUA – MÉTODO DE CÁLCULO POR TABELA

A tabela (Fig. 2.59) a seguir deve ser usada para a determinação das quantidades mínimas de água exigidas para riscos leves e ordinários protegidos por sistemas dimensionados por tabela. Para riscos extraordinários e armazenamento, o dimensionamento deve ser feito por cálculo hidráulico; os parâmetros de pressão e vazão devem ser baseados nos métodos de cálculo hidráulico.

Tipo de ocupação	Pressão residual mínima exigida KPa	Vazão na base da coluna principal do sistema (incluindo demanda de hidrantes) L/min	Duração min
Risco leve	100	2 850	60
Risco ordinário	140	5 650	90

Fig. 2.59 - Tabela de demanda de água para sistemas calculados por tabela

O método de cálculo por tabela só pode ser utilizado em novas instalações com área máxima de 465 m², ou em ampliações ou modificações de sistemas existentes calculados por tabela. Excepcionalmente, o método de cálculo por tabela pode ser usado em sistemas com área superior a 465 m², quando a vazão exigida na Fig. 2.59 estiver disponível na base da coluna principal, a uma pressão residual mínima de 340 kPa, acrescida da pressão correspondente à diferença de altura manométrica, desde a base da coluna principal até o chuveiro automático mais elevado deste sistema.

As pressões residuais indicadas na Fig. 2.59 devem ser atingidas no chuveiro automático hidráulicamente mais desfavorável em relação à coluna do sistema, o de menor pressão residual. Quando forem usadas válvulas de retenção em sistemas calculados por tabela, a perda de carga devido às válvulas deve ser considerada ao se determinar a pressão residual aceitável no nível mais alto dos chuveiros automáticos.

Os seguintes sistemas devem ser sempre projetados por cálculo hidráulico:

- Sistemas com chuveiros automáticos de fator K nominal diferente de 80 L/min x (bar)⁻¹;
- Sistemas que utilizem tubulações que não de aço ou cobre;
- Sistemas em áreas de risco extra grupos I e II.

Cada coluna de alimentação deve ser dimensionada para suprir todos os chuveiros automáticos ligados a ela em um determinado pavimento.

Devem ser observadas as demais orientações quanto à aplicação do dimensionamento por tabela, conforme consta na ABNT NBR 10.897:2014.

No caso de uma ocupação de risco leve, por exemplo, a norma técnica estabelece algumas condições (idem para demais ocupações) para a aplicação do método de cálculo por tabela, conforme segue:

Os ramais devem ter no máximo oito chuveiros automáticos em cada lado da tubulação subgeral. Excepcionalmente, os ramais podem ter até dez chuveiros automáticos, desde que as seguintes alterações sejam feitas:

- Nove chuveiros automáticos: os dois últimos segmentos de tubo do ramal devem ter diâmetros DN 25 mm e DN 32 mm, respectivamente, e os outros diâmetros devem ser de tamanho padrão;
- Dez chuveiros automáticos: os dois últimos segmentos de tubo do ramal devem ter diâmetro DN 25 mm e DN 32 mm, respectivamente, e o décimo chuveiro deve ser alimentado por um tubo DN 65 mm.

Os diâmetros de tubos devem atender a tabela abaixo (Fig. 2.60). Áreas não compartimentadas que necessitem de um número maior de chuveiros automáticos do que o especificado para tubos DN 90 mm devem ser calculados para risco ordinário.

Aço		Cobre	
DN 20	-	DN 20	-
DN 25	2 chuveiros	DN 25	2 chuveiros
DN 32	3 chuveiros	DN 32	3 chuveiros
DN 40	5 chuveiros	DN 40	5 chuveiros
DN 50	10 chuveiros	DN 50	12 chuveiros
DN 65	30 chuveiros	DN 65	40 chuveiros
DN 80	60 chuveiros	DN 80	65 chuveiros
DN 90	100 chuveiros	DN 90	115 chuveiros
DN 100	Ver 7.3	DN 100	Ver 7.3
Obs: Ver 7.3 da ABNT ABNT NBR 10.897:2014			

Fig. 2.60 - Tabela de dimensionamento de riscos leves

2.12.1 EXEMPLO – DISTRIBUIÇÃO DOS CHUVEIROS AUTOMÁTICOS NAS TUBULAÇÕES POR TABELA – RISCO LEVE

1ª Sugestão – Tubulação de Cobre

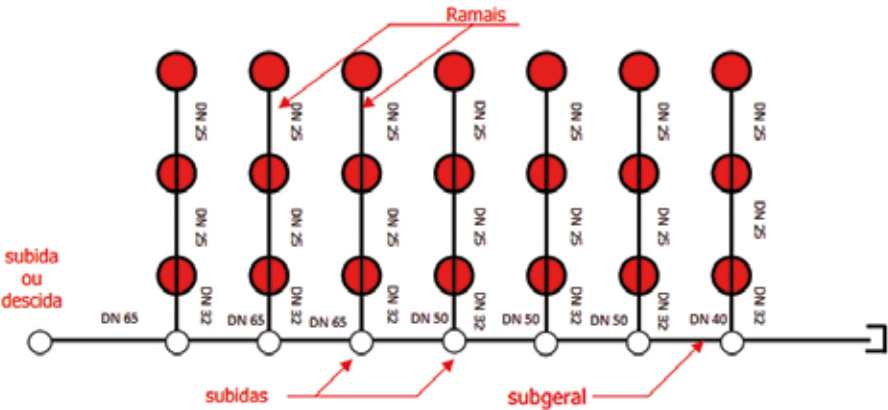


Fig. 2.61 - 1ª Sugestão

2ª Sugestão – Tubulação de Aço ou Cobre

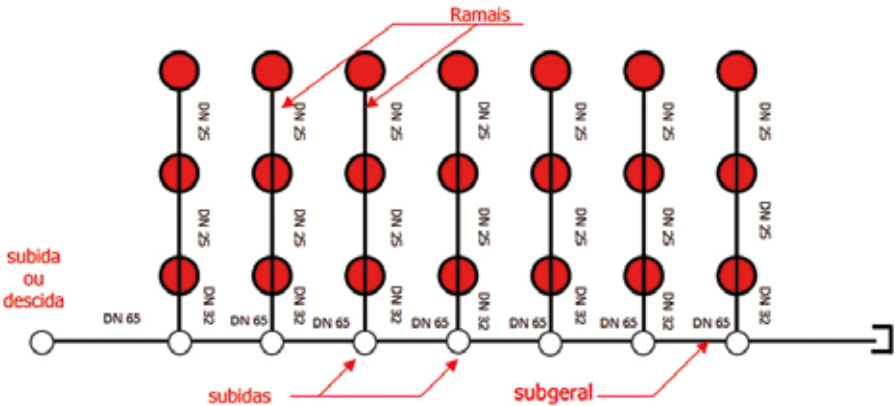


Fig. 2.62 - 2ª Sugestão

3ª Sugestão – Tubulação de Aço ou Cobre

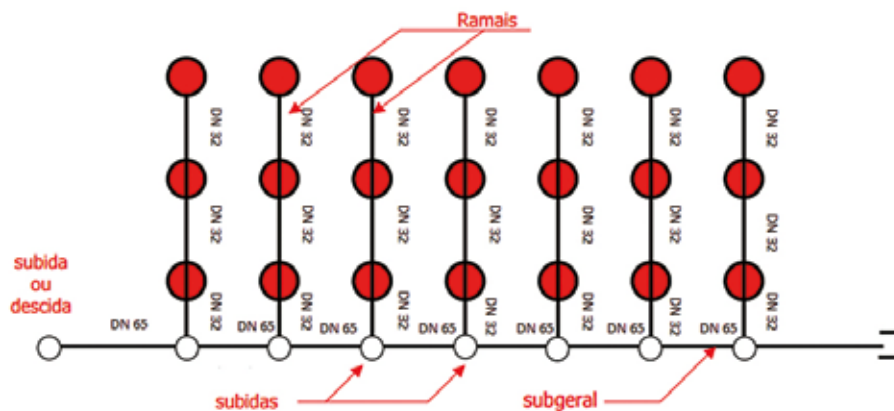


Fig. 2.63 - 3ª Sugestão

2.13 CÁLCULO DE PERDA DE CARGA⁴

2.13.1 PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

A perda de carga em tubos deve preferencialmente ser determinada com base na fórmula de Hazen-Williams (Desenvolvida pelo Engenheiro Civil e Sanitarista Allen Hazen e pelo Professor de Hidráulica Garden Williams, entre 1902 e 1905, é, sem dúvida, a fórmula prática mais empregada pelos calculistas para condutos sob pressão, desde 1920), apresentada a seguir. Opcionalmente pode ser usada a Fórmula Universal.

$$J = 605 \times Q_m^{1,85} \times C^{-1,85} \times d_m^{-4,87} \times 10^5$$

Onde:

- J é a perda de carga por atrito, expressa em quilopascals por metro (kPa/m) – Obs.: para J (mca/m), tem-se: $J = 605 \times Q_m^{1,85} \times C^{-1,85} \times d_m^{-4,87} \times 10^4$;
- Q_m é a vazão, expressa em litros por minuto (L/min);

4 Fontes: ABNT NBR 5.580:2015; ABNT NBR 10.897:2014; ABNT NBR 10.897:1990; Instrução Técnica nº 22/2019 – CB PMESP; Instrução Técnica 23/2019 – CBPMESP; NFPA-13.

- C é o fator de Hazen-Williams;
- d_m é o diâmetro interno real, expresso em milímetros (mm).

No caso de instalações de sistemas de chuveiros automáticos é recomendado que (ABNT NBR 10.897:2014):

- Os tubos de material ferrosos não devem ter diâmetro nominal menor que DN 25 mm, e os de cobre ou de materiais não metálicos não devem ter diâmetro menor que DN 20 mm;
- O diâmetro de tubos, quantidade de chuveiros automáticos por ramal e o número de ramais por tubulação subgeral devem ser limitados somente pela quantidade de água disponível;

O espaçamento entre chuveiros automáticos e todas as outras regras descritas na ABNT NBR 10.897:2014 e em outras normas aplicáveis devem ser observados.

2.13.1.1 COEFICIENTE DE HAZEN-WILLIAMS

Os valores de “C” de Hazen-Williams para tubos novos são indicados na tabela abaixo.

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

Fonte: IT CBPMESP 22/2019

Fig. 2.64 - Valores de “C” de Hazen-Williams

2.13.1.2 DIÂMETROS DE TUBOS

Um tubo – cano ou conduta – é um cilindro (embora possa possuir outros formatos, como o retangular, por exemplo) oco, comprido, geralmente fabricado em metal ou plástico. Pode variar de diâmetro, espessura de parede e comprimento. Tubos são, geralmente, utilizados nos sistemas hidráulicos de proteção contra incêndio.

O termo tubulação é utilizado para designar um conjunto de tubos e acessórios utilizados no transporte de fluidos (ex.: água).

Os diâmetros dos tubos podem ser: diâmetro externo (DE), diâmetro nominal (DN) ou diâmetro interno (DI).

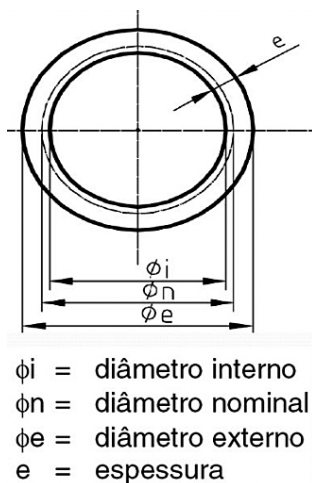


Fig. 2.65 - Diâmetros e espessura de tubos

Diâmetro nominal (DN): o ϕn (diâmetro nominal) não tem dimensões físicas no tubo; é aproximadamente uma média entre ϕi (DI – diâmetro interno) e ϕe (DE – diâmetro externo); é usado para especificação ou designação dos tubos; geralmente para valores entre 14” e 36” (355 mm e 914 mm) o ϕn coincide com o ϕe .

Espessura de parede de um tubo: a espessura (e) de um tubo pode ser definida como sendo a metade da diferença entre os diâmetros externo e interno. Na especificação dos tubos, é importante indicar sua espessura dentro dos padrões das normas técnicas, que estabelece padrões

em “série” para espessuras de tubos (onde a espessura da parede cresce proporcionalmente à série).

$$e = \frac{\varnothing e - \varnothing i}{2}$$

Fig. 2.66 - Cálculo da espessura de tubo

Para um mesmo diâmetro nominal existem várias “séries” diferentes, isto é, várias espessuras diferentes, onde $\varnothing i$ serão sempre diferentes e os $\varnothing e$ serão sempre fixos.

Diâmetro nominal DN	Diâmetro externo mm			Espessura mm			Massa do tubo preto kg/m		
				Classe			Classe		
	Básico	Mín.	Máx.	L	M	P	L	M	P
6 (1/8)	10,2	9,8	10,6	1,80	2,00	2,65	0,37	0,40	0,49
8 (1/4)	13,5	13,2	13,9	2,00	2,25	3,00	0,57	0,62	0,78
10 (3/8)	17,2	16,7	17,4	2,00	2,25	3,00	0,75	0,83	1,05
15 (1/2)	21,3	21,0	21,7	2,25	2,65	3,00	1,06	1,22	1,35
20 (3/4)	26,9	26,5	27,1	2,25	2,65	3,00	1,37	1,58	1,77
25 (1)	33,7	33,3	34,0	2,65	3,35	3,75	2,03	2,51	2,77
32 (1 ¼)	42,4	42,0	42,7	2,65	3,35	3,75	2,60	3,23	3,57
40 (1 ½)	48,3	47,9	48,6	3,00	3,35	3,75	3,35	3,71	4,12
50 (2)	60,3	59,7	60,7	3,00	3,75	4,50	4,24	5,23	6,19
65 (2 ½)	76,1	75,3	76,3	3,35	3,75	4,50	6,01	6,69	7,95
80 (3)	88,9	88,0	89,4	3,35	4,00	4,50	7,07	8,38	9,37
90 (3 ½)	101,6	100,3	102,1	3,75	4,25	5,00	9,05	10,20	11,91
100 (4)	114,3	113,1	114,9	3,75	4,50	5,60	10,22	12,18	15,01
125 (5)	139,7	138,5	140,8	X	4,75	5,60	X	15,81	18,52
150 (6)	165,1	163,9	166,5	X	5,00	5,60	X	19,74	22,03

Fonte: ABNT NBR 5.580:2015 - Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluidos – Especificação.

Fig. 2.67 - Tubos para condução de fluidos com rosca BSP

A aplicação das definições: espessura (e), ϕ_i e ϕ_e se justificam como fatores de segurança e resistência estrutural interna e externa do tubo; esses parâmetros podem variar de acordo com o tipo de material utilizado na construção do tubo e de acordo com sua aplicação.

Os diâmetros de tubos, quantidade de chuveiros automáticos por ramal e o número de ramais por tubulação subgeral devem ser limitados somente pela quantidade de água disponível. Utilizando-se a fórmula de Forchheimer (Philipp Forchheimer – 1852-1933, natural de Vienna, Áustria, professor de Hidráulica em Aachen e Graz), calcula-se o diâmetro que atenda a vazão (Q) e os diâmetros internos (DI) mínimos estabelecidos pelas legislações e/ou normas técnicas.

$$d_m = 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25}$$

Onde:

- Q_m é a vazão, expressa em metro cúbico por segundo (m^3/s);
- $X = t/24$ horas, sendo ‘t’ o número de horas de funcionamento da bomba de incêndio no período de 24 horas, cujo valor é normalmente igual a 1 hora para risco leve/ordinário e 1,5 hora para risco extra/extraordinário;
- d_m é o diâmetro interno real, expresso em metros (m).

2.13.2 PERDA DE CARGA LOCALIZADA

Valores de perda de carga localizada (vide Anexo 5) ou comprimento equivalente (virtual) de conexões, tubos, válvulas de governo e alarme, válvulas de dilúvio, filtros e outros equipamentos podem ser obtidos junto ao fabricante ou, na falta destes, em literatura técnica aplicável (vide Fig. 2.68).

Conexões e válvulas	Diâmetros nominais (mm)											
	20	25	32	40	50	65	80	100	150	200	250	305
Cotovelos 45°	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,9	0,9	1,2	2,1	2,7	3,4	4,0
Cotovelos 90°	0,6	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	3,1	4,3	5,5	6,7	8,2
Cotovelos 90°, raio longo	0,3	0,6	0,6	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,7	4,0	4,9	5,5
Curva 45°	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,1	1,5	1,8	2,2
Curvas 90°, raio curto	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,5	3,3	4,1	4,8
Curvas 90, raio longo	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,9	2,4	3,0	3,6
Tês ou cruzetas (fluxos d'água a 90°)	1,2	1,5	1,8	2,4	3,1	3,7	4,6	6,1	9,2	10,7	15,3	18,3
Válvulas-borboleta	-	-	-	-	1,8	2,1	3,1	3,7	3,1	3,7	5,8	6,4
Válvulas-gaveta	-	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
Válvulas de retenção, tipo portinhola	1,2	1,5	2,1	2,7	3,4	4,3	4,9	6,7	9,8	13,7	16,8	19,9

Fonte: NBR 10.897:1990

Fig. 2.68 - Comprimentos equivalentes das perdas de carga localizadas em conexões e válvulas, em metros lineares de tubo

2.14 VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA NA TUBULAÇÃO

As velocidades aproximadas recomendadas de escoamento d'água nas tubulações dos sistemas de chuveiros automáticos são:

- No tubo de sucção das bombas de incêndio não devem ser superior a 2,00 m/s (sucção negativa) ou 3,00 m/s (sucção positiva);
- A velocidade máxima da água na tubulação não deve ser superior a 5,00 m/s.

Para o cálculo da velocidade deve ser considerado o diâmetro interno da tubulação, conforme equação a seguir:

$$V = Q_m \times [\pi \times (d_m/2)^2]^{-1}$$

Onde:

- Q_m é a vazão, expressa em metro cúbico por segundo (m^3/s);
- d_m é o diâmetro interno real, expresso em metros (m);
- V é a velocidade da água, em metros por segundo (m/s);
- $\pi = 3,141593$.

2.15 PONTOS DE UNIÃO HIDRÁULICA OU PONTOS DE EQUILÍBRIO HIDRÁULICO

No desenvolvimento do cálculo hidráulico dos sistemas de chuveiros automáticos deve-se observar que (ABNT NBR 10.897:2014):

- As pressões nos pontos de cálculo hidráulico devem ser balanceadas com tolerância de 1 kPa (0,10 mca);
- A maior pressão no ponto de união e as vazões totais ajustadas devem ser transportadas no cálculo;
- Ter especial atenção para que: a pressão mínima de operação de qualquer chuveiro automático deva ser de 48 kPa, bem como verificar as demais condições mínimas e máximas de operação recomendadas de acordo com o risco a calcular.

O balanceamento da pressão pode ser feito com o uso de um fator K desenvolvido para ramais ou partes de sistemas usando:

$$K = Q_m / (P_n)^{0,5}$$

Onde:

- Q_m é a vazão, expressa em litros por minuto (L/min);
- P_n é a pressão normal, expressa em quilopascals (kPa);
- K é o fator de descarga, expresso em $L/min \times (kPa)^{-0,5}$.

Obs.: a unidade de pressão pode ser em bar, psi, mca ou kPa – vide item 2.7.

2.16 PRESSÃO NORMAL NO TRECHO DE CÁLCULO

A pressão normal (P_n) deve ser determinada com base na seguinte fórmula:

$$P_n = P_t - P_v$$

Onde:

- P_n = é a pressão normal, expressa em quilopascals (kPa);
- P_t = é a pressão total, expressa em quilopascals (kPa);
- P_v = é a carga de velocidade, expressa em quilopascals (kPa).

A pressão normal (P_n) é a pressão exercida contra a parede da canalização independente da velocidade. Sem escoamento é chamada de “pressão estática” e com escoamento é chamada de “pressão residual ou dinâmica”.

A carga de velocidade (P_v) atua paralelamente à parede sem exercer pressão sobre ela.

Para se calcular a pressão em cada chuveiro automático podem ser consideradas as duas variáveis atuando simultaneamente. Quando no cálculo não é considerada a carga de velocidade (P_v), a pressão total será igual à pressão normal (P_n).

A carga de velocidade (P_v) pode ser desconsiderada no cálculo porque seus valores comparativamente com os da pressão normal (P_n) são muito pequenos. Então, sem considerar a carga de velocidade, se trabalhará com pressões um pouco maiores nos chuveiros automáticos, portanto, em condições favoráveis à segurança.

2.16.1 CARGA DE VELOCIDADE

A carga de velocidade (P_v) deve ser determinada com base na seguinte fórmula:

$$P_v = (225 \times Q_m^2) / (d_m)^4$$

Onde:

- P_v = é a carga de velocidade, expressa em quilopascals (kPa);
- Q_m = é a vazão, expressa em litros por minuto (L/min);
- d_m = é o diâmetro interno, expresso em milímetros (mm).

2.16.2 OBSERVAÇÕES GERAIS

- Incluir tubos, conexões e equipamentos, como válvulas e filtros, e calcular as variações de elevação que afetem a descarga dos chuveiros automáticos. Incluir chaves de fluxo somente em tubos DN 50 mm ou menores;
- Drenos não podem ser incluídos no cálculo hidráulico;
- Calcular as perdas em tê e cruzetas quando houver mudança de direção de fluxo, com base no comprimento equivalente do segmento de tubo ao qual a conexão pertence;
- O tê no topo de um *niple* de elevação deve ser incluído no ramal. O tê na base de um *niple* de elevação deve ser incluído no *niple* de elevação. O tê ou cruzeta na intersecção de uma subgeral com uma geral deve ser incluído na subgeral;
- Não incluir perda de carga de um tê ou cruzeta quando não houver mudança de direção de fluxo;
- Calcular a perda em cotovelos de redução com base no comprimento equivalente da extremidade de menor diâmetro;
- Usar o comprimento equivalente para cotovelo-padrão em todas as curvas abruptas de 90°;
- Usar o comprimento equivalente para cotovelo longo em todas as curvas longas de 90°;

- Perda de carga de conexão ligada diretamente ao chuveiro não pode ser considerada;
- Perdas de carga através de válvulas redutoras de pressão devem ser incluídas com base na condição de pressão normal na entrada;
- Devem ser observadas demais recomendações da ABNT NBR 10.897:2014.

2.16.3 EXEMPLO I

Dados iniciais:

- Tipo de ocupação: Risco Leve
- Área de cobertura por chuveiro automático (A_g): 17,48 m²
- Chuveiro automático do tipo *spray* pendente
- Diâmetro nominal da rosca do chuveiro automático (DN): 15 mm
- Densidade (d): 4,1 mm/min
- Área de operação (A_o): 140 m²
- Fator de descarga do chuveiro automático (K): $80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} = 8 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5}$ (Bico nº 01)
- Vazão no chuveiro automático nº 01 (Q_1): $Q_1 = 17,48 \text{ m}^2 \times 4,1 \text{ mm/min} = 71,67 \text{ L/min}$ (Bico nº 01)
- Pressão no chuveiro automático nº 01 (P_1): $P_1 = (Q_1)^2 \times (K)^{-2} = 0,803 \text{ bar} = 11,64 \text{ psi} = 8,19 \text{ mca} = 80,3 \text{ kPa}$ (Bico nº 01)
- Coeficiente de Hazen-Williams (C): 120
- Diâmetro nominal em milímetros (mm)
- Adotar: $1 \text{ bar} = 14,50 \text{ psi} = 10,20 \text{ mca} = 100 \text{ kPa}$
 $1 \text{ L/min} = 0,26417 \text{ gal/min}$

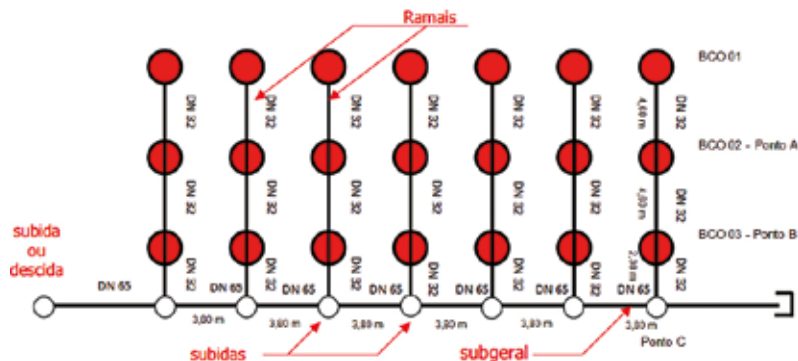


Fig. 2.69 - Dimensões da rede

Mediante os dados apresentados, calcular a pressão normal (kPa) e vazão (L/min) total no ramal 1 (entre o ponto C ao BICO nº 01).

Cálculo:

Trecho: Ponto A - BCO nº 01

- Pressão BCO nº 01 (P_1) = 80,3 kPa
- Vazão no BCO nº 01 (Q_1) = 71,67 L/min
- $C = 120$
- Tubulação DN 32 mm
- $d_m = DE \text{ mínimo} - 2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{médio}) = 42 - [2 \times (3,35)] = 35,30 \text{ mm}$ (vide Fig. 2.67)
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{kPa/m}$) = 0,676 kPa/m
- Comprimento⁵ equivalente no trecho ($L_{virtual}$) = 0,00 m
- Comprimento real do trecho (L_{real}) = 4,60 m
- Comprimento total no trecho ($L_{total} = L_{virtual} + L_{real}$) = 4,60 m
- Perda de carga total ($J_{kPa} = J_{kPa/m} \times L_{total}$) = $0,676 \times 4,60 = 3,11 \text{ kPa}$
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto A (kPa) = $P_1 + J_{kPa} \pm (E) = 80,3 + 3,11 + 0 = 83,41 \text{ kPa}$
- Carga (pressão) de velocidade (P_v) = 0,74 kPa
- Pressão normal (P_n) = $83,41 - 0,74 = 82,67 \text{ kPa}$

⁵ Consultar ABNT NBR 10897:2014 (item 9.4.4.7) quanto à perda de carga de peças hidráulicas e outros.

- Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto A (kPa) = 83,41 kPa (desconsiderada a P_v para o cálculo da P_n - válido para os demais trechos)
- Vazão no trecho entre o Ponto A ao Bico nº 01 (L/min) = 71,67 l/min

Vazão no BCO nº 02

- Pressão normal (P_n) = 83,41 kPa (no Ponto A)
- Fator de descarga do chuveiro automático (K): 8 L/min x kPa^{-0,5} (Bico nº 01 = Bico nº 02)
- Vazão no BCO nº 02 (Q_2) = 73,06 L/min

Trecho: Ponto B - Ponto A

- Pressão normal (P_n) = 83,41 kPa (no Ponto A)
- Vazão no Ponto A [BCO nº 01 (Q_1) + BCO nº 02 (Q_2)] = 144,7 L/min
- C = 120
- Tubulação DN 32 mm
- d_m = DE mínimo - [2 x (espessura do tubo - médio)] = 42 - [2 x (3,35)] = 35,30 mm (vide Fig. 2.67)
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{kPa/m}$) = 2,481 kPa/m
- Comprimento⁶ equivalente no trecho ($L_{virtual}$) = 0,00 m
- Comprimento real do trecho (L_{real}) = 4,60 m
- Comprimento total no trecho ($L_{total} = L_{virtual} + L_{real}$) = 4,60 m
- Perda de carga total ($J_{kPa} = J_{kPa/m} \times L_{total}$) = 2,481 x 4,60 = 11,41 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto B (kPa) = $P_{nA} + J_{kPa} +/- (E)$ = 83,41 + 11,41 + 0 = 94,82 kPa
- Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto B (kPa) = 94,82 kPa (desconsiderada a P_v para o cálculo da P_n - válido para os demais trechos)
- Vazão no trecho entre o Ponto B ao Ponto A = 144,73 L/min

Vazão no BCO nº 03

- Pressão normal (P_n) = 94,82 kPa (no Ponto B)
- Fator de descarga do chuveiro automático (K): 8 L/min x kPa^{-0,5} (Bico nº 01 = Bico nº 02 = Bico nº 03)
- Vazão no BCO nº 03 (Q_3) = 77,90 L/min

⁶ Consultar ABNT NBR 10897:2014 (item 9.4.4.7) quanto à perda de carga de peças hidráulicas e outros.

Trecho: Ponto C – Ponto B

- Pressão normal (P_n) = 94,82 kPa (no Ponto B)
- Vazão no Ponto C [BCO nº 01 (Q_1) + BCO nº 02 (Q_2) + BCO nº 03 (Q_3)] = 222,63 L/min
- $C = 120$
- Tubulação DN 32 mm
- $d_m = DE \text{ mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{médio})] = 42 - [2 \times (3,35)] = 35,30 \text{ mm}$ (vide Fig. 2.67)
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 5,503 kPa/m
- Comprimento equivalente no trecho (L_{virtual}) = Cotovelo 90° + Tê = 0,90 + 1,80 = 2,70 m (vide Fig. 2.68)
- Comprimento real do trecho (L_{real}) = 2,30 + 0,30 = 2,60m
- Comprimento total no trecho ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 5,30 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 5,503 x 5,30 = 29,17 kPa
- Elevação no trecho (E): 0,30 m = 2,94 kPa
- Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto C (kPa) = $P_{nB} + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 94,82 + 29,17 + 2,94 = 126,93 \text{ kPa}$

Resposta do Exercício I:

Pressão normal (P_n) no Ponto C (kPa) = 126,93 kPa = 1,27 bar (desconsiderada a P_v para o cálculo da P_n);

Vazão no trecho entre o Ponto C ao Bico nº 01 (Q_1) = 222,63 L/min.

2.16.4 EXEMPLO II

Sabendo que a pressão normal (P_n) no Ponto C de 126,93 kPa e a vazão de 222,63 L/min (Ramal I – vide Exercício I), sendo o ramal I e II (bico nº 04 a 06) simétricos, calcule: a pressão e vazão no Ponto F considerando em funcionamento simultâneo os bicos de nº 01 ao nº 06 (vide detalhe a seguir).

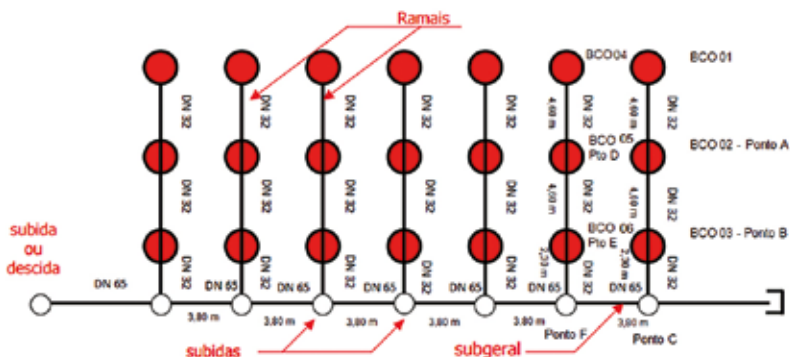


Fig. 2.70 - Identificação dos bicos

Cálculo:

Valor de K no Ponto C

- Pressão normal (P_n) no Ponto C (kPa) = 126,93 kPa
- Vazão no trecho entre o Ponto C ao Bico nº 03 (Q_1) = 222,63 L/min
- Valor de K no Ponto C (K_C) = 19,76 L/min x kPa^{-0,5}

Obs.: $K_C = K_F$ (para ramal I e II - simétricos)

Trecho: Ponto F – Ponto C

- Pressão normal (P_n) = 126,93 kPa (no Ponto C)
- Vazão no Ponto C [BCO nº 01 (Q_1) + BCO nº 02 (Q_2) + BCO nº 03 (Q_3)] = 222,63 L/min
- $C = 120$
- Tubulação DN 65 mm
- $d_m = DE \text{ mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{médio})] = 75,3 - [2 \times (3,75)] = 67,80 \text{ mm}$ (vide Fig. 2.67)
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 0,229 kPa/m

- Comprimento equivalente no trecho (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do trecho (L_{real}) = 3,80 m
- Comprimento total no trecho ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,80 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $0,229 \times 3,80 = 0,87 \text{ kPa}$
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto F (kPa) = $P_{nC} + J_{\text{kPa}} +/-(E) = 126,93 + 0,87 + 0 = 127,80 \text{ kPa}$

ATENÇÃO: O Ponto F trata-se de um ponto de cálculo hidráulico devendo ser balanceado em relação ao Ramal II com tolerância de 1 kPa. O balanceamento da pressão pode ser feito com o uso de um fator K desenvolvido para ramais ou partes do sistema, usando: $K = Q \times (P)^{-0,5}$

Cálculo da vazão total no Ramal II

- Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto F (kPa) = 127,80 kPa

Como os Ramais I e II são simétricos, temos:

- Valor de K no Ponto C (K_C) = Valor de K no Ponto F (K_F) $19,76 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5}$
- Vazão total no Ramal II (Q_{II}) = $K_F \times (P_F)^{0,5} = 223,38 \text{ L/min}$

Resposta do Exercício II:

Pressão normal (P_n) no Ponto F (kPa) = 127,80 kPa = 1,28 bar;

Vazão no Ponto F considerando em funcionamento simultâneo os bicos de nº 01 ao nº 06 = $222,63 (Q_I) + 223,38 (Q_{II}) = 446,01 \text{ L/min}$.

2.16.5 EXEMPLO III

Sabendo que a pressão normal (P_n) no ponto F de 127,80 kPa e a vazão de 446,01 L/min, calcule: a pressão e vazão no Ponto CS considerando em funcionamento simultâneo os bicos de nº 01 ao nº 06 (vide detalhe a seguir).

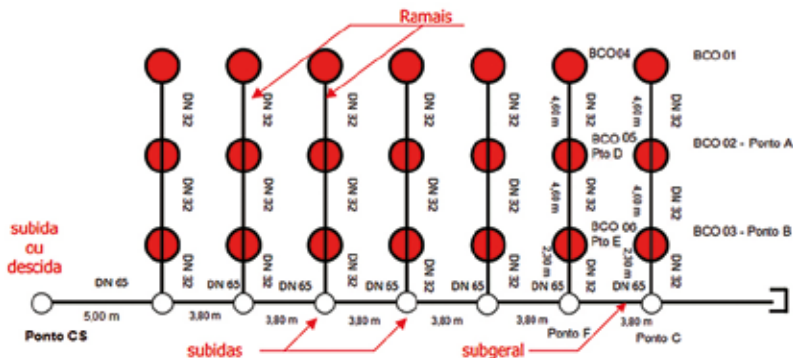


Fig. 2.71 - Pontos de equilíbrio

Trecho: Ponto Cs - Ponto F

- Pressão normal (P_n) = 127,80 kPa (no Ponto F)
- Vazão no Ponto F = 446,01 L/min
- $C = 120$
- Tubulação DN 65 mm
- $d_m = DE \text{ mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{médio})] = 75,3 - [2 \times (3,75)] = 67,80 \text{ mm}$ (vide Fig. 2.67)
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{kPa/m}$) = 0,829 kPa/m
- Comprimento equivalente no trecho (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do trecho (L_{real}) = 24,00 m
- Comprimento total no trecho ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 24,00 m
- Perda de carga total ($J_{kPa} = J_{kPa/m} \times L_{\text{total}}$) = $0,829 \times 24,00 = 19,90 \text{ kPa}$
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto CS (kPa) = $P_{nF} + J_{kPa} \pm (E) = 127,80 + 19,90 + 0,00 = 147,70 \text{ kPa}$

RESPOSTA DO EXERCÍCIO III:

Pressão normal (P_n) no Ponto CS (kPa) = 147,70 kPa = 1,48 bar

Vazão no Ponto CS considerando em funcionamento simultâneo os bicos de nº 01 ao nº 06 = 222,63 (Q_I) + 223,38 (Q_{II}) = 446,01 L/min.

2.17 EXERCÍCIO FICTÍCIO I⁷

Efetuar o dimensionamento do sistema de chuveiros automáticos para um edifício, com base nas dimensões indicadas nas figuras nº 2.73 e nº 2.74.

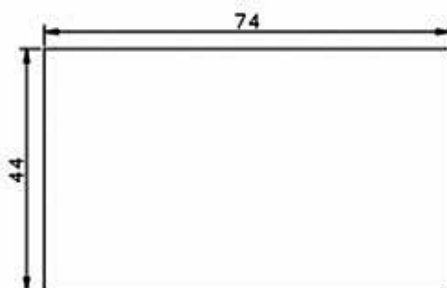
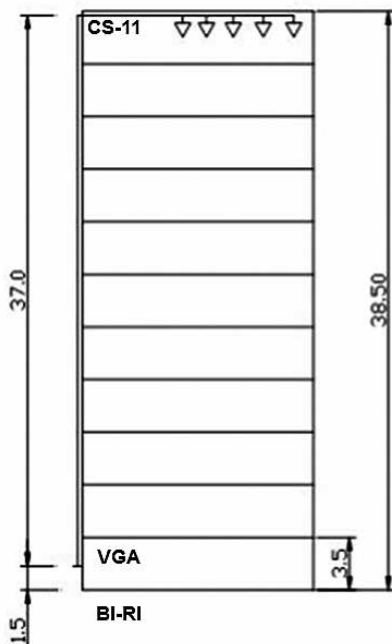
ATENÇÃO: *Este exercício fictício tem como objetivo apresentar um roteiro básico para elaboração de cálculo, porém é recomendável observar as exigências mínimas da norma técnica adotada, quando da realização de um cálculo para uma situação real. Obs.: O dimensionamento dos diâmetros das tubulações, para efeito de aprendizagem, utilizou-se a fórmula de Forchheimer, porém para desenvolvimento de projetos técnicos, podem-se utilizar os limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 10.897:2014.*

Dados iniciais para o cálculo

- Ocupação: Lojas
- Classificação da ocupação: Risco Ordinário – Grupo II
- Número de pavimentos: 11
- Teto: Não combustível obstruído e não obstruído
- Área do pavimento tipo: 3.256 m²
- Área total construída: 35.816 m²
- Altura (entre o piso do pavimento térreo e o piso do 11º pavimento): 35 m
- Valor de Hazen-Williams – tubos (C): 120
- Medidas em metros (m)

⁷ Fonte: ABNT NBR 10.897:2014 – dados para o cálculo.

- Adotar: $1 \text{ bar} = 14,50 \text{ psi} = 10,20 \text{ mca} = 100 \text{ kPa}$



Passo 1: Especificação da legislação e/ou norma técnica a ser adotada;

- ABNT NBR 10.897:2014

Passo 2: Identificação da edificação ou risco a ser protegido quanto à classificação da ocupação;

- Risco Ordinário – Grupo II (Lojas)

Passo 3: Determinação da área de operação dos chuveiros automáticos;

- $A_{op} = 140 \text{ m}^2$

Passo 4: Determinar a densidade (mm/min) para área de operação;

- $d = 8,10 \text{ mm/min}$

Passo 5: Determinação dos espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais), conforme legislação e/ou norma técnica adotada;

- E_c e $E_r = 4,60 \text{ m}$ (espaçamento máximo)

Passo 6: Determinação dos espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais), de acordo com o projeto técnico;

- Espaçamento entre chuveiros automáticos (E_c) = 3,20 m
- Espaçamento entre ramais (E_r) = 3,70 m

Passo 7: Determinação da área de cobertura por chuveiro automático;

$$A_{cc} = E_c \times E_r$$

Onde:

- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2);
- E_c = Espaçamento entre chuveiros automáticos (m);
- E_r = Espaçamento entre ramais (m).

$$A_{cc} = E_c \times E_{r14}$$
$$A_{cc} = 3,20 \text{ m} \times 3,70 \text{ m}$$
$$A_{cc} = 11,84 \text{ m}^2$$

Obs.: Área de cobertura máxima para risco ordinário – grupo II = 12,10 m^2
(Tabela 10 – ABNT NBR 10.897:2014)

Passo 8: Estabelecer o número de chuveiros automáticos contidos na área de operação;

$$N_c = A_{op} \times (A_{cc})^{-1}$$

Onde:

- N_c = Número de chuveiros automáticos contidos na área de operação;
- A_{op} = Área de operação (m^2);
- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2).

$$N_c = A_{op} \times (A_{cc})^{-1}$$
$$N_c = 140 \text{ m}^2 \times (11,84 \text{ m}^2)^{-1}$$
$$N_c = 11,82 = 12 \text{ chuveiros automáticos}$$

**Passo 9: Cálculo do lado maior e menor da área de operação;
Comprimento paralelo aos ramais (lado maior);**

- Comprimento paralelo aos ramais (X) = $1,20 \times (\text{Área de operação})^{0,5}$

$$\text{Comprimento paralelo aos ramais (X)} = 1,20 \times (140 \text{ m}^2)^{0,5}$$
$$\text{Comprimento paralelo aos ramais (X)} = 14,20 \text{ m}$$

Comprimento perpendicular aos ramais.

- Comprimento perpendicular aos ramais (Y) = Área de operação x [Comprimento paralelo aos ramais (X)]⁻¹

$$\text{Comprimento perpendicular aos ramais (Y)} = 140 \text{ m}^2 \times (14,20 \text{ m})^{-1}$$

$$\text{Comprimento perpendicular aos ramais (Y)} = 9,86 \text{ m}$$

Passo 10: Cálculo do número de chuveiros automáticos no ramal paralelo ao lado maior da área de operação;

- Número de chuveiros automáticos por ramal = 1,20 x (Área de operação)^{0,5} x (Espaçamento máximo entre chuveiros automáticos)⁻¹

$$\begin{aligned} \text{Número de chuveiros automáticos por ramal} &= \\ &= 1,20 \times (140 \text{ m}^2)^{0,5} \times (3,20 \text{ m})^{-1} = 4,43 = 5 \text{ chuveiros automáticos} \end{aligned}$$

Passo 11: Cálculo do número de ramais na área de operação;

- Número de chuveiros automáticos entre ramais = Comprimento perpendicular aos ramais (Y) x (Espaçamento máximo entre ramais)⁻¹

$$\begin{aligned} \text{Número de chuveiros automáticos entre ramais} &= \\ &= 9,86 \text{ m} \times (3,70)^{-1} = 2,66 = 3 \text{ chuveiros automáticos} \end{aligned}$$

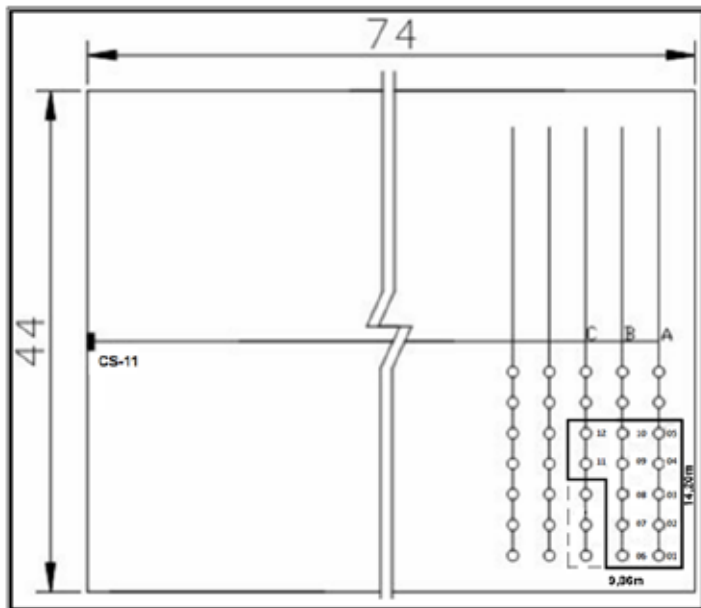


Fig. 2.74 - Detalhe da área de operação no pavimento mais desfavorável

Passo 12: Cálculo da vazão (Q_1) e da pressão (P_1) no chuveiro mais desfavorável hidráulicamente;

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 01;

$$Q = A_{cc} \times d$$

Onde:

- Q = Vazão no chuveiro automático (L/min);
- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2);
- d = Densidade (mm/min).

$$Q_1 = A_{cc} \times d$$

$$Q_1 = 11,84 \, m^2 \times 8,10 \, mm/min$$

$$Q_1 = 95,90 \, L/min = 0,001598 \, m^3/s$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 01.

- Valor adotado: diâmetro nominal (DN) da rosca do bico de chuveiro automático = 15 mm; para o coeficiente de descarga (K) = 80 L/min x bar^{-0,5}

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min);
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

$$Q_1 = K_1 \times (P_1)^{0,5}$$

$$95,90 \text{ L/min} = 80 \text{ L/min x bar}^{-0,5} \times (P_1)^{0,5}$$

$$P_1 = 1,437 \text{ bar} = 20,84 \text{ psi} = 14,66 \text{ mca} = 143,7 \text{ kPa}$$

Passo 13: Cálculo da vazão e da pressão no segundo chuveiro mais desfavorável hidráulicamente;

- Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1;

$$Q_{21} = Q_1 = 95,9 \text{ L/min} = 0,0015984 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Cálculo do diâmetro interno real (d_m) da tubulação no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1;

$$d_m = 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25}$$

Onde:

- Q_m = Vazão, expressa em metro cúbico por segundo (m³/s);
- X = t/24 horas, sendo ‘t’ o número de horas de funcionamento da bomba de incêndio no período de 24 horas, cujo valor é normal-

mente igual a 1 hora para risco leve/ordinário e 1,5 hora para risco extra/extraordinário;

- d_m = Diâmetro interno real, expresso em metros (m).

Obs.: 1gal/min = 3,78541 L/min = 0,22712 m³/h = 0,0000630902 m³/s

$$\begin{aligned} d_m &= 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25} \\ d_m &= 1,3 \times (0,0015984)^{0,5} \times (1 \times 24^{-1})^{0,25} \\ d_m &= 0,0235 \text{ m} = 23,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 25 mm
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 33,30 mm (vide Fig. 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 3,35 mm (vide Fig. 2.67)
- Diâmetro interno real: 26,60 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1;

Perda de carga distribuída no tubo

$$J = 605 \left(\frac{Q_m^{1,85}}{C^{1,85} d_m^{4,87}} \right) 10^5$$

Onde:

- J = Perda de carga por atrito, expressa em quilopascals por metro (kPa/m);
- Q_m = Vazão, expressa em litros por minuto (L/min);
- C = Fator de Hazen-Williams;
- d_m = Diâmetro interno real, expresso em milímetros (mm).

Sabendo que:

- C = 120
- Tubulação: DN 25 mm

- $d_m = DE \text{ Mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{Médio})] = 33,30 - [2 \times (3,35)] = 26,60 \text{ mm}$
- $Q_m = 95,9 \text{ l/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (95,9 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (26,60 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 4,597 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,460 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 4,597 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,20 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,20 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 4,597 x 3,2 = 14,71 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto 2 (kPa) = $P_1 + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 143,7 + 14,71 + 0 = 158,41 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto 2 é de 158,41 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_v) para o cálculo da Pressão normal (P_n)_válido para os demais trechos]. A vazão (Q_{21}) no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1 é de 95,9 L/min.

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 02;

- A pressão no chuveiro automático nº 02 é igual à pressão no Ponto 2 (P_2).

$$P_2 = 158,41 \text{ kPa} = 1,58 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 02.

$$\begin{aligned}Q_2 &= K_2 \times (P_2)^{0,5} \\Q_2 &= 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (1,58 \text{ bar})^{0,5} \\Q_2 &= 100,56 \text{ L/min} = 0,00168 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Atenção: K_1 ao K_{12} – Os coeficientes de descarga dos bicos de chuveiros automáticos são similares ($80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$).

Passo 14: Cálculo da vazão e da pressão no terceiro chuveiro mais desfavorável hidráulicamente (fórmulas de cálculo – vide passo 13);

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

$$Q_{32} = Q_1 + Q_2 = 196,46 \text{ L/min} = 0,0033 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do diâmetro interno real (d_m) da tubulação no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

$$\begin{aligned}d_m &= 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25} \\d_m &= 1,3 \times (0,0033)^{0,5} \times (1 \times 24^{-1})^{0,25} \\d_m &= 0,03374 \text{ m} = 33,74 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 32 mm
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 42,00 mm (vide Fig. 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 3,35 mm (vide Fig. 2.67)
- Diâmetro interno real: 35,30 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

Sabendo que:

- $C = 120$
- Tubulação: DN 32 mm
- $d_m = DE \text{ Mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{Médio})] = 42,00 - [2 \times (3,35)] = 35,30 \text{ mm}$
- $Q_m = 196,46 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned} J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (196,46 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (35,30 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 4,37 \text{ kPa/m; ou} \\ J_{\text{mca/m}} &= 0,44 \text{ mca/m} \end{aligned}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 4,37 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,20 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,20 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $4,37 \times 3,20 = 13,98 \text{ kPa}$
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto 3 (kPa) = $P_2 + J_{\text{kPa}} +/-(E) = 158,41 + 13,99 + 0 = 172,40 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto 3 é de 172,40 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_v) para o cálculo da Pressão normal (P_n)_válido para os demais trechos]. A vazão (Q_{32}) no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2 é de 196,49 L/min.

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 03;

- A pressão no chuveiro automático nº 03 é igual à pressão no Ponto 3 (P_3).

$$P_3 = 172,40 \text{ kPa} = 1,72 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 03.

$$\begin{aligned} Q_3 &= K_3 \times (P_3)^{0,5} \\ Q_3 &= 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (1,72 \text{ bar})^{0,5} \\ Q_3 &= 104,92 \text{ L/min} = 0,00175 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Passo 15: Cálculo da vazão e da pressão no quarto chuveiro mais desfavorável hidráulicamente (fórmulas de cálculo – vide passo 13);

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto 4 e o Ponto 3;

$$Q_{43} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 301,38 \text{ L/min} = 0,005023 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do diâmetro interno real (d_m) da tubulação no segmento entre o Ponto 4 e o Ponto 3;

$$\begin{aligned} d_m &= 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25} \\ d_m &= 1,3 \times (0,005023)^{0,5} \times (1 \times 24^{-1})^{0,25} \\ d_m &= 0,042 \text{ m} = 42,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 40 mm
- Diâmetro externo (DE) – Máximo: 48,60 mm (vide Fig. 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 3,35 mm (vide Fig. 2.67)
- Diâmetro interno real: 41,90 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto 4 e o Ponto 3;

Sabendo que:

- $C = 120$
- Tubulação: DN 40 mm
- $d_m = DE \text{ Máximo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{Médio})] = 48,60 - [2 \times (3,35)] = 41,90 \text{ mm}$
- $Q_m = 301,38 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned} J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (301,38 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (41,90 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 4,187 \text{ kPa/m; ou} \\ J_{\text{mca/m}} &= 0,42 \text{ mca/m} \end{aligned}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 4,187 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,20 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,20 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 4,187 x 3,20 = 13,40 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto 4 (kPa) = $P_3 + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 172,40 + 13,40 + 0 = 185,80 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto 4 é de 185,80 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_v) para o cálculo da Pressão normal (P_n)_ válido para os demais trechos]. A vazão (Q_{43}) no segmento entre o Ponto 4 e o Ponto 3 é de 301,38 L/min.

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 04;

- A pressão no chuveiro automático nº 04 é igual à pressão no Ponto 4 (P_4).

$$P_4 = 185,80 \text{ kPa} = 1,86 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 04.

$$\begin{aligned}Q_4 &= K_4 \times (P_4)^{0,5} \\Q_4 &= 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{0,5} \times (1,86 \text{ bar})^{0,5} \\Q_4 &= 109,11 \text{ L/min} = 0,001818 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Passo 16: Cálculo da vazão e da pressão no quinto chuveiro mais desfavorável hidráulicamente (fórmulas de cálculo – vide passo 13);

- Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto 5 e o Ponto 4;

$$Q_{54} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 410,49 \text{ L/min} = 0,006842 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do diâmetro interno real (d_m) da tubulação no segmento entre o Ponto 5 e o Ponto 4;

$$\begin{aligned}d_m &= 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25} \\d_m &= 1,3 \times (0,006842)^{0,5} \times (1 \times 24^{-1})^{0,25} \\d_m &= 0,041644 \text{ m} = 41,64 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 50 mm
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 59,70 mm (vide Fig.: 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 3,75 mm (vide Fig.: 2.67)
- Diâmetro interno real: 52,20 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto 5 e o Ponto 4;

Sabendo que:

- $C = 120$
- Tubulação: DN 50 mm

- $d_m = \text{DE M\u00ednimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{M\u00e9dio})] = 59,70 - [2 \times (3,75)] = 52,20 \text{ mm}$
- $Q_m = 410,49 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (410,49 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (52,20 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 2,539 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,25 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 2,539 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,20 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,20 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $2,539 \times 3,20 = 8,12 \text{ kPa}$
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_l) no Ponto 5 (kPa) = $P_4 + J_{\text{kPa}} +/-(E) = 185,80 + 8,12 + 0 = 193,92 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto 5 é de 193,92 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_v) para o cálculo da Pressão normal (P_n) – válido para os demais trechos]. A vazão (Q_{54}) no segmento entre o Ponto 5 e o Ponto 4 é de 410,49 L/min.

C\u00c1lculo da press\u00e3o no chuveiro autom\u00e1tico n\u00b0 05;

- A press\u00e3o no chuveiro autom\u00e1tico n\u00b0 05 \u00e9 igual \u00e0 press\u00e3o no Ponto 5 (P_5).

$$P_5 = 193,92 \text{ kPa} = 1,94 \text{ bar}$$

C\u00c1lculo da vaz\u00e3o no chuveiro autom\u00e1tico n\u00b0 05.

$$Q_5 = K_5 \times (P_5)^{0,5}$$

$$Q_5 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (1,94 \text{ bar})^{0,5}$$

$$Q_5 = 111,43 \text{ L/min} = 0,00186 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Passo 17: Cálculo da vazão e da pressão no Ponto A (sub-ramal I)
- fórmulas de cálculo – vide passo 13;**

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto A e o Ponto 5;

$$Q_A = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 521,92 \text{ L/min} = 0,008699 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do diâmetro interno real (d_m) da tubulação no segmento entre o Ponto A e o Ponto 5;

$$\begin{aligned}d_m &= 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25} \\d_m &= 1,3 \times (0,008699)^{0,5} \times (1 \times 24^{-1})^{0,25} \\d_m &= 0,05478 \text{ m} = 54,78 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 65 mm
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 75,30 mm (vide Fig.: 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 3,75 mm (vide Fig.: 2.67)
- Diâmetro interno real: 67,80 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto A e o Ponto 5.

Sabendo que:

- $C = 120$
- Tubulação: DN 65 mm
- $d_m = \text{DE mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{médio})] = 75,30 - 2 \times (3,75) = 67,80 \text{ mm}$
- $Q_m = 521,92 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (521,92 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (67,80 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 1,109 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,11 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 1,109 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 3,70 m (DN 65 mm – 1 Tê) – vide Fig.: 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 8,00 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 11,70 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 1,109 x 11,70 = 12,98 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto A (kPa) = $P_5 + J_{\text{kPa}} +/-(E) = 193,92 + 12,98 + 0 = 206,90 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto A é de 206,90 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_v) para o cálculo da Pressão normal (P_n) _válido para os demais trechos]. A vazão (Q_A) no segmento entre o Ponto A e o Ponto 5 é de 521,92 L/min.

Passo 18: Cálculo do coeficiente de descarga (K) no Ponto A;

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min)
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

$$Q_A = K_A \times (P_A)^{0,5}$$

$$521,92 \text{ L/min} = K_A \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (2,07 \text{ bar})^{0,5}$$

$$K_A = 362,76 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} = 36,28 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5}$$

Passo 19: Cálculo da vazão e pressão no Ponto B;

- A vazão no segmento entre o Ponto B e o Ponto A é igual à vazão no sub-ramal I;

$$Q_{BA} = Q_A = 521,92 \text{ L/min} = 0,008699 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do diâmetro interno real (d_m) da tubulação no segmento entre o Ponto B e o Ponto A;

$$\begin{aligned}d_m &= 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25} \\d_m &= 1,3 \times (0,008699)^{0,5} \times (1 \times 24^{-1})^{0,25} \\d_m &= 0,05478 \text{ m} = 54,78 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 65 mm
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 75,30 mm (vide Fig. 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 3,75 mm (vide Fig. 2.67)
- Diâmetro interno real: 67,80 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto B e o Ponto A.

Sabendo que:

- $C = 120$
- Tubulação: DN 65 mm
- $d_m = \text{DE mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo})] = 75,30 - [2 \times (3,75)] = 67,80 \text{ mm}$
- $Q_m = 521,92 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (521,92 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (67,80 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 1,109 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,11 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 1,109 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,70 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,70 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 1,109 x 3,70 = 4,10 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_v) no Ponto B (kPa) = $P_A + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 206,90 + 4,10 + 0 = 211 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto B é de 211 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_v) para o cálculo da Pressão normal (P_n) – válido para os demais trechos]. A vazão (Q_{BA}) no segmento entre o Ponto B e o Ponto A é de 521,92 L/min.

Passo 20: Cálculo da vazão que alimenta os chuveiros automáticos do sub-ramal II a partir do Ponto B;

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min);
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

Temos que – sub-ramal I e sub-ramal II são simétricos:

$$K_A = K_B = 362,76 \text{ L/min x bar}^{-0,5}$$

$$Q_B = K_B \times (P_B)^{0,5}$$

$$Q_B \text{ l/min} = 362,76 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (2,11 \text{ bar})^{0,5}$$

$$Q_B = 526,94 \text{ L/min} = 0,008782 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obs.: Este valor corresponde à vazão que alimenta os cinco chuveiros automáticos no sub-ramal II (Bicos de nº 06 ao nº 10).

Passo 21: Cálculo da vazão e pressão no Ponto C;

A vazão no segmento entre o Ponto C e o Ponto B;

$$Q_{CB} = Q_{BA} + Q_B = 1.048,86 \text{ L/min} = 0,01748 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do diâmetro interno real (d_m) da tubulação no segmento entre o Ponto C e o Ponto B;

$$d_m = 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25}$$

$$d_m = 1,3 \times (0,01748)^{0,5} \times (1 \times 24^{-1})^{0,25}$$

$$d_m = 0,07765 \text{ m} = 77,65 \text{ mm}$$

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 80 mm
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 88,0 mm (vide Fig. 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 4,00 mm (vide Fig. 2.67)
- Diâmetro interno real: 80,0 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto C e o Ponto B.

Sabendo que:

- $C = 120$
- Tubulação: DN 80 mm
- $d_m = \text{DE mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo médio})] = 88,0 - [2 \times (4,00)] = 80,0 \text{ mm}$

- $Q_m = 1.048,86 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (1.048,86 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (80,0 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 1,801 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,18 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 1,801 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,70 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,70 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 1,801 x 3,70 = 6,66 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto C (kPa) = $P_B + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 211,00 + 6,66 = 217,66 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto C é de 217,66 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_v) para o cálculo da Pressão normal (P_n)_ válido para os demais trechos]. A vazão (Q_{CB}) no segmento entre o Ponto C e o Ponto B é de 1.048,86 L/min.

Passo 22: Cálculo da vazão que alimenta os chuveiros automáticos do sub-ramal III a partir do Ponto C;

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min);
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

Temos que – sub-ramal I, sub-ramal II e sub-ramal III são simétricos:

- K_C (para vazão somente de dois bicos – 11 e 12) = K_{C11-12}
- K_A (para vazão somente de dois bicos – 04 e 05) = K_{A4-5}
- Portanto: $K_{C11-12} = K_{A4-5}$

$$Q_4 + Q_5 = K_{A4-5} \times (P_A)^{0,5}$$

$$220,54 \text{ L/min} = K_{A4-5} \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (2,07 \text{ bar})^{0,5}$$

$$K_{A4-5} = 153,29 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} = 15,33 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5}$$

$$K_{A4-5} = 15,33 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5}$$

Portanto:

$$Q_{C11} = K_{A4-5} \times (P_C)^{0,5}$$

$$Q_{C11} = 15,33 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5} \times (217,66 \text{ kPa})^{0,5}$$

$$Q_{C11} = 226,17 \text{ L/min} = 0,00377 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obs.: Este valor (Q_{C11}) corresponde à vazão que alimenta os dois chuveiros automáticos no sub-ramal III (Bicos de nº 11 e nº 12).

Passo 23: Cálculo da pressão e da vazão na CS (Conexão Setorial de dreno) do 11º pavimento;

A vazão no segmento entre a CS-11 e o Ponto C;

$$Q_{CSC} = Q_{CB} + Q_C \quad 1.275,03 \text{ L/min} = 0,02125 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do diâmetro interno real (d_m) da tubulação no segmento entre o Ponto CS-11 e o Ponto C;

$$d_m = 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25}$$

$$d_m = 1,3 \times (0,02125)^{0,5} \times (1 \times 24^{-1})^{0,25}$$

$$d_m = 0,08562 \text{ m} = 85,62 \text{ mm}$$

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 100 mm
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 113,10 mm (vide Fig.: 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 4,50 mm (vide Fig.: 2.67)
- Diâmetro interno real: 104,10 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto CS-11 e o Ponto C.

Sabendo que:

- $C = 120$
- Tubulação: DN 100 mm
- $d_m = DE \text{ Mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{Médio})] = 113,10 - [2 \times (4,50)] = 104,10 \text{ mm}$
- $Q_m = 1.275,03 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$
$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (1.275,03 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (104,10 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$
$$J_{\text{kPa/m}} = 0,717 \text{ kPa/m; ou}$$
$$J_{\text{mca/m}} = 0,072 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 0,072 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 3,70 m (1 Válvula borboleta) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 65,80 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 69,5 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $0,717 \times 69,5 = 49,83 \text{ kPa}$
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto CS (kPa) = $P_C + J_{\text{kPa}} +/-(E) = 217,66 + 49,83 + 0 = 267,49 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto CS é de 267,49 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_v) para o cálculo da Pressão normal (P_n) – válido

para os demais trechos]. A vazão (Q_{CSC}) no segmento entre o Ponto CS e o Ponto C é de 1.275,03 L/min.

Passo 24: Cálculo da pressão e vazão na VGA (Válvula de Governo e Alarme) - 1º pavimento (térreo);

A vazão no segmento entre a VGA e a CS-11;

$$Q_{VGACS} = Q_{CSC} = 1.275,03 \text{ L/min} = 0,02125 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo do diâmetro interno real (d_m) da tubulação no segmento entre aa VGA e a CS-11;

$$\begin{aligned} d_m &= 1,3 \times (Q_m)^{0,5} \times (X)^{0,25} \\ d_m &= 1,3 \times (0,02125)^{0,5} \times (1 \times 24^{-1})^{0,25} \\ d_m &= 0,08602 \text{ m} = 86,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 100 mm
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 113,10 mm (vide Fig.: 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 4,50 mm (vide Fig.: 2.67)
- Diâmetro interno real 104,10 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto CS-11 e o Ponto C.

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = \text{DE mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{médio})] = 113,10 - [2 \times (4,50)] = 104,10 \text{ mm}$
- $Q_m = 1.275,03 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned} J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (1.275,03 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (104,10 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \end{aligned}$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 0,717 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,072 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 0,717 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 4,60 m (1 Cotovelo de 90°; 1 VGA = 7,30 m) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 37,00 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 44,3 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 0,717 x 44,3 = 31,76 kPa
- Elevação no trecho (E): + 37,00 m = 370,00 kPa
- Pressão total (P_{t}) na VGA (kPa) = $P_{\text{CS}} + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 267,49 + 31,76 + 370,00 = 669,25 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_{\text{t}} = P_{\text{n}}$) na VGA é de 669,25 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_{v}) para o cálculo da Pressão normal (P_{n}) – válido para os demais trechos]. A vazão (Q_{VGACS}) no segmento entre a VGA e a CS-11 é de 1.275,03 L/min.

Passo 25: Cálculo da vazão e pressão na expedição da Bomba de Incêndio (EBI);

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 100 mm
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 113,10 mm (vide Fig. 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 4,50 mm (vide Fig. 2.67)
- Diâmetro interno real: 104,10 mm

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre a EBI e a VGA.

Sabendo que:

- $C = 120$
- Tubulação: DN 100 mm

- $d_m = DE \text{ mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{médio})] = 113,10 - [2 \times (4,50)] = 104,10 \text{ mm}$
- $Q_m = 1.275,03 \text{ L/min}$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 0,717 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 11,00 m (1 Cotovelo de 90°; 2 Válvulas de gaveta; 1 Válvula de retenção) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,50 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 14,50 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 0,717 x 14,50 = 10,40 kPa
- Elevação no trecho (E): + 2,50 m = 25,00 kPa
- Pressão total (P_t) na EBI (kPa) = $P_{\text{VGA}} + J_{\text{kPa}} +/-(E) = 669,25 + 10,40 + 25,00 = 704,65 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) na EBI é de 704,65 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_v) para o cálculo da Pressão normal (P_n) – válido para os demais trechos]. A vazão (Q_{VGA}) no segmento entre o Ponto EBI e a VGA é de 1.275,03 L/min.

Passo 26: Cálculo: a) da vazão e pressão no segmento entre a Reserva d'água de Incêndio (RI) e a introdução na Bomba de Incêndio (IBI); b) vazão e pressão da bomba de incêndio principal;

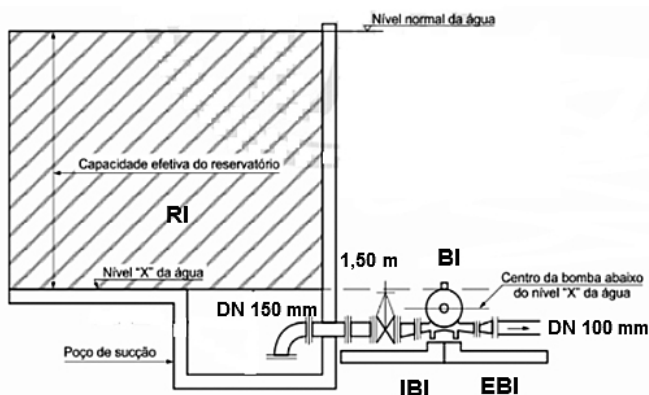


Fig. 2.75 - Bomba de incêndio principal – sucção positiva

Dados do tubo adotado:

- Diâmetro nominal (DN): 150 mm (diâmetro adotado)
- Diâmetro externo (DE) – Mínimo: 163,90 mm (vide Fig.: 2.67)
- Espessura (e) – Classe/Médio: 5,00 mm (vide Fig.: 2.67)

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre a RI a IBI.

Sabendo que:

- $C = 120$
- Tubulação: DN 150 mm
- $d_m = DE \text{ mínimo} - [2 \times (\text{espessura do tubo} - \text{médio})] = 163,90 - [2 \times (5,00)] = 153,90 \text{ mm}$
- $Q_m = 1.275,03 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (1.275,03 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (153,90 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 0,107 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,011 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 0,107 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 5,20 m (1 Cotovelo de 90°; 1 Válvula de gaveta) – vide Fig.: 2.68

- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 1,50 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 6,70 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 0,107 x 6,70 = 0,72 kPa
- Elevação no trecho (E): zero kPa
- Pressão total (P_{p}) da Bomba de Incêndio (kPa) = $P_{\text{EBI}} + J_{\text{kPa}} \pm (E)$
= 704,65 + 0,72 + 0 = 705,37 kPa = 70,54 mca

Obs.: Pressão total ($P_{\text{t}} = P_{\text{n}}$) da Bomba de Incêndio principal (P_{BI}) é de 705,37 kPa [desconsiderada a Pressão de velocidade (P_{v}) para o cálculo da Pressão normal (P_{n}) - válido para os demais trechos]. A vazão (Q_{BI}) da Bomba principal de Incêndio é de 1.275,03 L/min.*

Passo 27: Cálculo da potência da bomba de incêndio principal;

$$\text{Pot}_{\text{BI}} = (\gamma \times Q_{\text{m}} \times P_{\text{BI}}) \times (75 \times \eta)^{-1}$$

Onde:

- Pot_{BI} = Potência da bomba de incêndio (cv);
- γ = Peso específico da água (kgf/m^3);
- Q_{m} = Vazão (m^3/s);
- P_{BI} = Pressão da bomba de incêndio (mca);
- η = Rendimento adotado (%).

$$\text{Pot}_{\text{BI}} = (\gamma \times Q_{\text{m}} \times P_{\text{BI}}) \times (75 \times \eta)^{-1}$$

$$\text{Pot}_{\text{BI}} = (1.000 \text{ kgf/m}^3 \times 0,02125 \text{ m}^3/\text{s} \times 70,54 \text{ mca}) \times (75 \times 0,60)^{-1}$$

$$\text{Pot}_{\text{BI}} = (1.498,98) \times (45,00)^{-1}$$

$$\text{Pot}_{\text{BI}} = 33,31 \text{ cv}$$

Obs.: considerar $\gamma = 1.000 \text{ kgf/m}^3$ (peso específico da água). Pot_{BI} é obtido em cv (cavalo-vapor). Recomendado o rendimento (η) de 60% para bombas de incêndio. 1 hp = 1,014 cv; 1 m^3/s = 60.000 l/min; 1 l/s = 60 l/min; 10 mca = 100 kPa.

* Para reduzir a pressão da bomba recomenda-se o aumento do diâmetro da tubulação (geral e subgeral).

Passo 28: Cálculo do volume da reserva d'água de incêndio.

$$V_{RI} = Q_m \times T$$

Onde:

- V_{RI} = Volume da reserva d'água de incêndio (l);
- Q_m = Vazão da bomba de incêndio (L/min);
- T = Tempo de funcionamento do sistema (min).

$$V_{RI} = Q_m \times T$$

$$V_{RI} = 1.275,03 \text{ L/min} \times 60 \text{ min}$$

$$V_{RI} = 76,501,80 \text{ L}$$

$$V_{RI} = 76,50 \text{ m}^3$$

Passo 29: Cálculo das velocidades.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água em segmentos – aplicar a fórmula abaixo;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

Onde:

- V = Velocidade da água (m/s);
- Q_m = Vazão no segmento (m^3/s);
- A = Área da secção do tubo (m^2);
- $A = \pi \times (d_m/2)^2$;
- $\pi = 3,1416$;
- d_m = Diâmetro interno real, expresso em metros (m). = Raio da circunferência da secção do tubo.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água segmento entre a RI e a IBI;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,02125 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,1539/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 1,14 \text{ m/s}$$

Cálculo da velocidade de escoamento d'água segmento entre a EBI e a VGA – idem para o segmento entre a VGA a CS-11 e o segmento entre a CS-11 e o Ponto C;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,02125 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,1041/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 2,50 \text{ m/s}$$

Cálculo da velocidade de escoamento d'água segmento entre o Ponto C ao Ponto B;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,01748 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,08/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 3,48 \text{ m/s}$$

Cálculo da velocidade de escoamento d'água segmento entre o Ponto B ao Ponto A;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,008699 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,0678/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 2,41 \text{ m/s}$$

Cálculo da velocidade média de escoamento d'água no segmento total entre a EBI e o Ponto C – aplicar a fórmula abaixo.

$V_m = nd \times (t_1 + t_2 + t_3)^{-1}$
--

$$t_x = d \times (V_x)^{-1}$$

Onde:

- V_m = Velocidade média no segmento total (m/s);
- n = Número de segmentos;
- x = Identificação do segmento;
- d = Distância percorrida no segmento total (m);
- t = Tempo gasto para escoamento no segmento;
- V = Velocidade de escoamento no segmento (m/s).

Portanto:

$$V_m = nd \times (t_{EBIVGA} + t_{VGACS} + t_{CSC})^{-1}$$

$$V_m = 3d \times [(d/2,50) \times 3]^{-1}$$

$$V_m = 2,50 \text{ m/s}$$

2.18 EXERCÍCIO FICTÍCIO II⁸

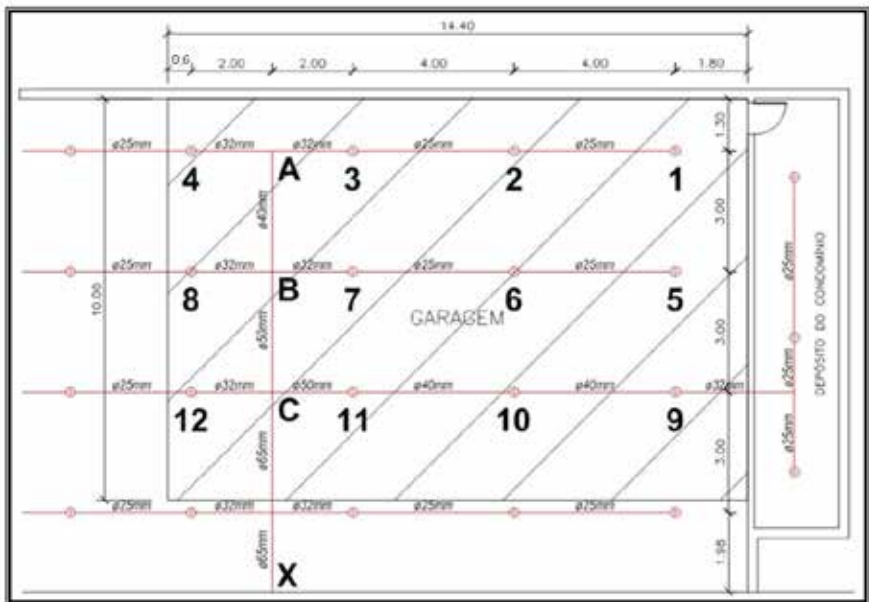
Calcular a vazão e pressão no ponto X, a partir da área de operação estabelecida (vide Fig. 2.76), considerando em funcionamento simultâneo os 12 chuveiros automáticos.

ATENÇÃO: Este exercício fictício tem como objetivo apresentar um roteiro para elaboração de cálculo, porém é recomendável observar as exigências mínimas da norma técnica adotada, quando da realização de um cálculo para uma situação real. Obs.: Os diâmetros indicados são os diâmetros internos reais das tubulações.

⁸ Fonte: ABNT NBR 10.897:2014 – dados para o cálculo.

Dados iniciais para o cálculo

- Ocupação: Estacionamento de veículos (Garagem)
- Classificação da ocupação: Risco ordinário – Grupo I
- Teto: Não combustível obstruído e não obstruído
- Valor de Hazen-Williams – tubos (C): 120
- Na área de operação: indicados os diâmetros internos reais – DI – mm
- Medidas em metros (m)
- Adotar: 1 bar = 14,50 psi = 10,20 mca = 100 kPa



Obs.: dentro da área de operação adotar o número de bicos para o cálculo.

Fig. 2.76 - Área de operação

Passo 1: Especificação da legislação e/ou norma técnica a ser adotada;

- ABNT NBR 10.897:2014

Passo 2: Identificação da edificação ou risco a ser protegido quanto à classificação da ocupação;

- Risco Ordinário – Grupo I (Estacionamento de veículos)

Passo 3: Determinação da área de operação dos chuveiros automáticos;

- $A_{op} = 144 \text{ m}^2$

Passo 4: Determinar a densidade (mm/min) para área de operação;

- $d = 6 \text{ mm/min}$

Passo 5: Determinação dos espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais), conforme legislação e/ou norma técnica adotada;

- E_c e $E_r = 4,60 \text{ m}$ (espaçamento máximo)

Passo 6: Determinação dos espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais), de acordo com o projeto técnico;

- Espaçamento entre chuveiros automáticos (E_c) = 4,00 m
- Espaçamento entre ramais (E_r) = 3,00 m

Passo 7: Determinação da área de cobertura por chuveiro automático;

$$A_{cc} = E_c \times E_r$$

Onde:

- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2);
- E_c = Espaçamento entre chuveiros automáticos (m);
- E_r = Espaçamento entre ramais (m).

$$\begin{aligned} A_{cc} &= E_c \times E_r \\ A_{cc} &= 4,00 \text{ m} \times 3,00 \text{ m} \\ A_{cc} &= 12 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Obs.: área de cobertura máxima para risco ordinário – grupo I = 12,10 m^2 .

Passo 8: Estabelecer o número de chuveiros automáticos contidos na área de operação;

$$N_c = A_{op} \times (A_{cc})^{-1}$$

Onde:

- N_c = Número de chuveiros automáticos contidos na área de operação;
- A_{op} = Área de operação (m^2);
- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2).

$$\begin{aligned} N_c &= A_{op} \times (A_{cc})^{-1} \\ N_c &= 144 \text{ m}^2 \times (12 \text{ m}^2)^{-1} \\ N_c &= 12 \text{ chuveiros automáticos} \end{aligned}$$

Passo 9: Cálculo do lado maior e menor da área de operação;

Comprimento paralelo aos ramais (lado maior);

- Comprimento paralelo aos ramais (X) = $1,20 \times (\text{Área de operação})^{0,5}$

$$\text{Comprimento paralelo aos ramais (X)} = 1,20 \times (144 \text{ m}^2)^{0,5}$$

$$\text{Comprimento paralelo aos ramais (X)} = 14,40 \text{ m}$$

Comprimento perpendicular aos ramais.

- Comprimento perpendicular aos ramais (Y) = $\text{Área de operação} \times [\text{Comprimento paralelo aos ramais (X)}]^{-1}$

$$\text{Comprimento perpendicular aos ramais (Y)} = 144 \text{ m}^2 \times (14,40 \text{ m})^{-1}$$

$$\text{Comprimento perpendicular aos ramais (Y)} = 10 \text{ m}$$

Passo 10: Cálculo do número de chuveiros automáticos no ramal paralelo ao lado maior da área de operação;

- Número de chuveiros automáticos por ramal = $1,20 \times (\text{Área de operação})^{0,5} \times (\text{Espaçamento máximo entre chuveiros automáticos})^{-1}$

$$\text{Número de chuveiros automáticos por ramal} = 1,20 \times (144 \text{ m}^2)^{0,5} \times (4 \text{ m})^{-1} = 3,60 = 4 \text{ chuveiros automáticos}$$

Passo 11: Cálculo do número de ramais na área de operação;

- Número de chuveiros automáticos entre ramais = Comprimento perpendicular aos ramais (Y) x (Espaçamento máximo entre ramais)⁻¹

$$\text{Número de chuveiros automáticos entre ramais} = 10,00 \text{ m} \times (3)^{-1} = 3,33 = 3 \text{ chuveiros automáticos}$$

Passo 12: Cálculo da vazão (Q_1) e da pressão (P_1) no chuveiro mais desfavorável hidráulicamente;

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 01;

$$Q = A_{cc} \times d$$

Onde:

- Q = Vazão no chuveiro automático (L/min);
- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2);
- d = Densidade (mm/min).

$$Q_1 = A_{cc} \times d$$

$$Q_1 = 12 \text{ m}^2 \times 6 \text{ mm/min}$$

$$Q_1 = 72 \text{ L/min} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 01.

- Valor adotado: diâmetro nominal (DN) da rosca do bico de chuveiro automático = 15 mm; para o coeficiente de descarga (K) = 80 L/min x bar^{-0,5}

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min);
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

$$Q_1 = K_1 \times (P_1)^{0,5}$$

$$72 \text{ L/min} = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (P)^{0,5}$$

$$P_1 = 0,81 \text{ bar} = 8,26 \text{ mca} = 11,74 \text{ psi} = 81 \text{ kPa}$$

Passo 13: Cálculo da vazão e da pressão no segundo chuveiro mais desfavorável hidráulicamente;

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1;

$$Q_{21} = Q_1 = 72 \text{ L/min} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1;

Perda de carga distribuída no tubo

$$J = 605 \left(\frac{Q_m^{1,85}}{C^{1,85} d_m^{4,87}} \right) 10^5$$

Onde:

- J = Perda de carga por atrito, expressa em quilopascals por metro (kPa/m);
- Q_m = Vazão, expressa em litros por minuto (L/min);
- C = Fator de Hazen-Williams;
- d_m = Diâmetro interno real, expresso em milímetros (mm).

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 25 \text{ mm}$
- $Q_m = 72 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (72 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (25 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 3,695 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,367 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 3,66 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 0,60 m (DN 25 mm - 1 Cotovelo de 90°) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 4,00 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 4,60 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 3,695 x 4,60 = 17 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto 2 (kPa) = $P_1 + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 81 + 17 + 0 = 98 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto 2;

$P_n = P_t - P_v$

Onde:

- P_n = Pressão normal (kPa);
- P_t = Pressão total (kPa);
- P_v = Pressão de velocidade (kPa).

$$P_v = [225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}$$

Onde:

- P_v = Pressão de velocidade (kPa);
- Q_m = Vazão (L/min);
- d_m = Diâmetro interno real (mm).

$$P_n = P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\}$$

$$P_n = 98 \text{ kPa} - \{[225 \times (72 \text{ L/min})^2] \times (25 \text{ mm})^{-4}\}$$

$$P_n = 95,01 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto 2 é de 98 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 95,01 kPa. A vazão (Q_{21}) no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1 é de 72 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

Onde:

- V = Velocidade da água (m/s);
- Q_m = Vazão no segmento (m³/s);
- A = Área da secção do tubo (m²);
- $A = \pi \times (d_m/2)^2$;
- $\Pi = 3,1416$;
- d_m = Diâmetro interno real, expresso em metros (m). = Raio da circunferência da secção do tubo.

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,025/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 2,44 \text{ m/s}$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 02;

- A pressão no chuveiro automático nº 02 é igual à pressão no Ponto 2 (P_2).

$$P_2 = 97,84 \text{ kPa} = 0,98 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 02.

$$Q_2 = K_2 \times (P_2)^{0,5}$$

$$Q_2 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (0,98 \text{ bar})^{0,5}$$

$$Q_2 = 79,20 \text{ L/min} = 0,00132 \text{ m}^3/\text{s}$$

Atenção: K_1 ao K_{12} – Os coeficientes de descarga dos bicos de chuveiros automáticos são similares ($80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$).

Passo 14: Cálculo da vazão e da pressão no terceiro chuveiro mais desfavorável hidraulicamente (fórmulas de cálculo – vide passo 13);

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

$$Q_{32} = Q_1 + Q_2 = 151,20 \text{ L/min} = 0,00252 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 25 \text{ mm}$
- $Q_m = 151,20 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (151,20 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (25 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 14,44 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 1,444 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 14,44 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 1,50 m (DN 25 mm - 1 Tê) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 4,00 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 5,50 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 14,44 x 5,50 = 79,42 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto 3 (kPa) = $P_2 + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 98 + 79,42 + 0 = 177,42 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto 3;

$$P_n = P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\}$$

$$P_n = 177,42 \text{ kPa} - \{[225 \times (151,20 \text{ L/min})^2] \times (25 \text{ mm})^{-4}\}$$

$$P_n = 164,25 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto 3 é de 177,42 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 164,25 kPa. A vazão (Q_{32}) no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2 é de 151,20 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,00252 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,025/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 5,13 \text{ m/s}$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 03;

- A pressão no chuveiro automático nº 03 é igual à pressão no Ponto 3 (P_3).

$$P_3 = 177,42 \text{ kPa} = 1,77 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 03.

$$Q_3 = K_3 \times (P_3)^{0,5}$$
$$Q_3 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (1,77 \text{ bar})^{0,5}$$
$$Q_3 = 106,43 \text{ L/min} = 0,00177 \text{ m}^3/\text{s}$$

Passo 15: Cálculo da vazão e da pressão no Ponto A (fórmulas de cálculo – vide passo 13);

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto A e o Ponto 3;

$$Q_{A3} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 257,63 \text{ l/min} = 0,00429 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto A e o Ponto 3;

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 32 \text{ mm}$
- $Q_m = 257,63 \text{ l/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$
$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (257,63 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (32 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$
$$J_{\text{kPa/m}} = 11,63 \text{ kPa/m; ou}$$
$$J_{\text{mca/m}} = 1,163 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 11,63 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 1,80 m (DN 32 mm - 1 Tê) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 2,00 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,80 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 11,63 x 3,80 = 44,19 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto A (kPa) = $P_3 + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 177,42 + 44,19 + 0 = 221,61 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto A;

$$P_n = P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\}$$

$$P_n = 221,61 \text{ kPa} - \{[225 \times (257,63 \text{ L/min})^2] \times (32 \text{ mm})^{-4}\}$$

$$P_n = 207,37 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto A é de 221,61 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 207,37 kPa. A vazão (Q_{A3}) no segmento entre o Ponto A e o Ponto 3 é de 257,63 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto A e o Ponto 3.

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,00429 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,032/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 5,33 \text{ m/s}$$

Passo 16: Cálculo da vazão e pressão do chuveiro automático nº 04;

Cálculo da pressão no Ponto 4;

$$P_A = P_4 + \{[605 \times (K_4 \times P_4^{0,5})^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (D)^{-4,87} \times (10)^5] \times L_{total}\} \pm E$$

Temos:

- $P_A = 221,61 \text{ kPa}$
- $P_4 =$ Pressão no chuveiro automático nº 04
- $K_4 = 80 \text{ L/min} \times (\text{bar})^{-0,5} = 8 \text{ L/min} \times (\text{kPa})^{-0,5}$
- $C = 120$
- $D = 32 \text{ mm}$
- Comprimento equivalente no segmento ($L_{virtual}$) = 1,80 m (DN 32 mm - 1 Tê) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 2,00 m
- Comprimento total no segmento ($L_{total} = L_{virtual} + L_{real}$) = 3,80 m
- Elevação no trecho (E): zero m

$$P_A = P_4 + \{[605 \times (K_4 \times P_4^{0,5})^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (D)^{-4,87} \times (10)^5] \times L_{total}\} \pm E$$

$$221,61 = P_4 + \{[605 \times (8 \times P_4^{0,5})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (32)^{-4,87} \times (10)^5] \times 3,80\} \pm 0$$

$$221,61 = P_4 + (0,072 \times P_4^{0,925})$$

$$P_4 = 211,42 \text{ kPa} = 2,11 \text{ bar}$$

Obs.: A Pressão no Ponto 4 é igual à Pressão no chuveiro automático de nº 04.

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 04;

$$\begin{aligned}Q_4 &= K_4 \times (P_4)^{0,5} \\Q_4 &= 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (2,11 \text{ bar})^{0,5} \\Q_4 &= 116,21 \text{ L/min} = 0,00194 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto A e o Ponto 4.

$$\begin{aligned}V &= Q_m \times (A)^{-1} \\V &= 0,00194 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,032/2)^2]^{-1}\} \\V &= 2,41 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Passo 17: Cálculo da vazão e da pressão no Ponto B (fórmulas de cálculo – vide passo 13);

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto B e o Ponto A;

$$Q_{BA} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 373,84 \text{ L/min} = 0,006231 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto B e o Ponto A;

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 40 \text{ mm}$
- $Q_m = 373,84 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned}J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (373,84 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (40 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \\J_{\text{kPa/m}} &= 7,81 \text{ kPa/m; ou} \\J_{\text{mca/m}} &= 0,78 \text{ mca/m}\end{aligned}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}} = 7,81 \text{ kPa/m}$)
- Comprimento equivalente no segmento ($L_{\text{virtual}} = 2,40 \text{ m}$ (DN 40 mm - 1 Tê = 2,40 m))
- Comprimento real do segmento ($L_{\text{real}} = 3,00 \text{ m}$)
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}} = 5,40 \text{ m}$)
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}} = 7,81 \times 5,40 = 42,17 \text{ kPa}$)
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_{t}) no Ponto B (kPa) = $P_{\text{A}} + J_{\text{kPa}} +/-(E) = 221,61 + 42,17 + 0 = 263,78 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_{n}) no Ponto B;

$$P_{\text{n}} = P_{\text{t}} - \{[225 \times (Q_{\text{m}})^2] \times (d_{\text{m}})^{-4}\}$$

$$P_{\text{n}} = 263,78 \text{ kPa} - \{[225 \times (373,84 \text{ L/min})^2] \times (40 \text{ mm})^{-4}\}$$

$$P_{\text{n}} = 251,50 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_{t}) no Ponto B é de 263,78 kPa e a Pressão normal (P_{n}) é de 251,50 kPa. A vazão (Q_{BA}) no segmento entre o Ponto B e o Ponto A é de 373,84 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto B e o Ponto A.

$$V = Q_{\text{m}} \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,006231 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,040/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 4,96 \text{ m/s}$$

Passo 18: Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto C e o Ponto B;

Cálculo do coeficiente de descarga (K) no Ponto A – sub-ramal 123;

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min);
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

$$Q_{A3} = K_{123} \times (P_A)^{0,5}$$

$$257,63 \text{ L/min} = K_{123} \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (2,22 \text{ bar})^{0,5}$$

$$K_{123} = 172,91 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} = 17,29 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5} = 54,14 \text{ L/min} \times \text{mca}^{-0,5}$$

Cálculo do coeficiente de descarga (K) no Ponto A – sub-ramal 4;

$$Q_{A4} = K_{A4} \times (P_A)^{0,5}$$

$$116,21 \text{ L/min} = K_{A4} \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (2,22 \text{ bar})^{0,5}$$

$$K_{A4} = 78 \text{ l/min} \times \text{bar}^{-0,5} = 7,80 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5} = 24,42 \text{ L/min} \times \text{mca}^{-0,5}$$

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto B e o Ponto 5;

$$Q_{B5} = K_{123} \times (P_B)^{0,5}$$

$$Q_{B5} \text{ L/min} = 172,91 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (2,64 \text{ bar})^{0,5}$$

$$Q_{B5} = 280,95 \text{ L/min} = 0,004682 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto B e o Ponto 8;

$$Q_{B8} = K_{A4} \times (P_B)^{0,5}$$

$$Q_{B8} \text{ L/min} = 78 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (2,64)^{0,5}$$

$$Q_{B8} = 126,73 \text{ L/min}$$

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto C e o Ponto B;

$$Q_{CB} = Q_{BA} + Q_{B5} + Q_{B8} = 781,52 \text{ L/min} = 0,01302 \text{ m}^3/\text{s}$$

Passo 19: Cálculo da pressão no Ponto C;

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto C e o Ponto B;

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 50,00 \text{ mm}$
- $Q_m = 781,52 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned} J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (781,52 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (50 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 10,31 \text{ kPa/m; ou} \\ J_{\text{mca/m}} &= 1,03 \text{ mca/m} \end{aligned}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 10,31 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 3,10 m (DN 50 mm - 1 Cruzeta) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,00 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 6,10 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 10,31 x 6,10 = 62,89 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto C (kPa) = $P_B + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 263,78 + 62,89 + 0 = 326,67 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto C;

$$\begin{aligned}P_n &= P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\} \\P_n &= 326,67 \text{ kPa} - \{[225 \times (781,52 \text{ L/min})^2] \times (50 \text{ mm})^{-4}\} \\P_n &= 304,68 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto C é de 326,67 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 304,68 kPa. A vazão (Q_{CB}) no segmento entre o Ponto C e o Ponto B é de 781,52 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto C e o Ponto B.

$$\begin{aligned}V &= Q_m \times (A)^{-1} \\V &= 0,013325 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,050/2)^2]^{-1}\} \\V &= 6,63 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Obs.: Para diminuir a velocidade no trecho o diâmetro da tubulação deve ser aumentado.

Passo 20: Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto X e o Ponto C;

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto C e o Ponto 9;

$$\begin{aligned}Q_{C9} &= K_{123} \times (P_C)^{0,5} \\Q_{C9} \text{ L/min} &= 172,91 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (3,27)^{0,5} \\Q_{C9} &= 312,68 \text{ L/min} = 0,005211 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto B e o Ponto 12;

$$\begin{aligned}Q_{C12} &= K_{A4} \times (P_C)^{0,5} \\Q_{C12} \text{ L/min} &= 78 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (3,27)^{0,5} \\Q_{C12} &= 141,05 \text{ L/min} = 0,002351 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto X e o Ponto C.

$$Q_{XC} = Q_{CB} + Q_{C9} + Q_{C12} = 1.235,25 \text{ L/min} = 0,02059 \text{ m}^3/\text{s}$$

Passo 21: Cálculo da pressão no Ponto X;

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto X e o Ponto C;

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 65 \text{ mm}$
- $Q_m = 1.235,25 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned} J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (1.235,25 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (65 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 6,70 \text{ kPa/m; ou} \\ J_{\text{mca/m}} &= 0,67 \text{ mca/m} \end{aligned}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 6,70 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 7,40 m (DN 65mm – 2 Cruzeta) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 4,98 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 12,38 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 6,70 x 12,38 = 82,95 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto X (kPa) = $P_c + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 326,67 + 82,95 + 0 = 409,62 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto X;

$$\begin{aligned} P_n &= P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\} \\ P_n &= 409,62 \text{ kPa} - \{[225 \times (1.235,25 \text{ L/min})^2] \times (65 \text{ mm})^{-4}\} \\ P_n &= 390,39 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto X é de 409,62 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 390,39 kPa. A vazão (Q_{XC}) no segmento entre o Ponto X e o Ponto C é de 1.235,25 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto X e o Ponto C.

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$
$$V = 0,02059 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,065/2)^2]^{-1}\}$$
$$V = 6,20 \text{ m/s}$$

Obs.: É recomendado que as velocidades de fluxo d'água nos segmentos sejam menores ou iguais a 5,00 m/s (até a expedição da bomba de incêndio). Deve-se aumentar o diâmetro interno real do tubo para obter a redução da velocidade. O aumento do diâmetro interno real do tubo ocasionará a redução da perda de carga distribuída.

2.19 EXERCÍCIO FICTÍCIO III⁹

Calcular a vazão e pressão no Ponto CS, a partir da área de operação estabelecida (vide Fig. 2.77), considerando em funcionamento simultâneo os 8 chuveiros automáticos.

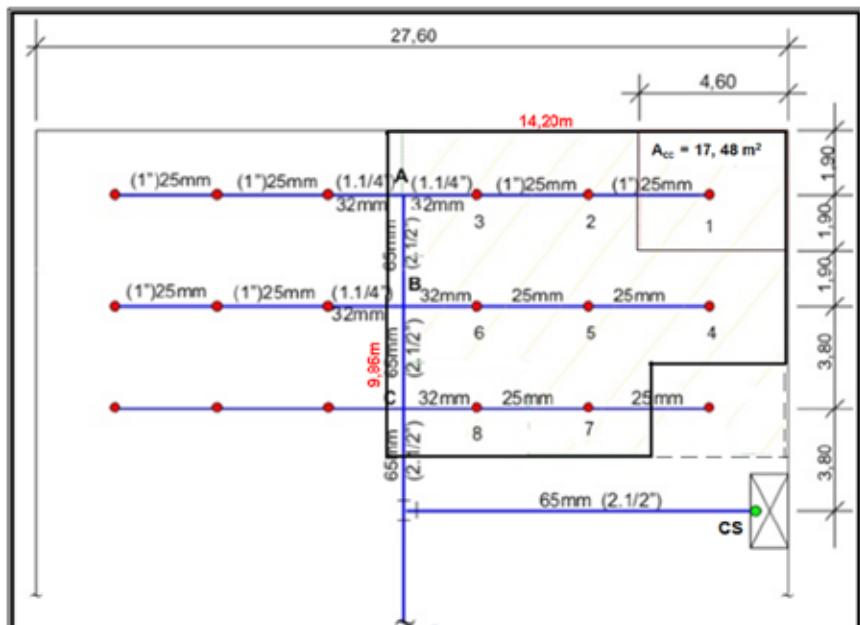
ATENÇÃO: Este exercício fictício tem como objetivo apresentar um roteiro básico para elaboração de cálculo, porém é recomendável observar as exigências mínimas da norma técnica adotada, quando da realização de um cálculo para uma situação real. Obs.: Os diâmetros indicados são os diâmetros internos reais das tubulações.

Dados iniciais para o cálculo

- Ocupação: Escritórios
- Classificação da ocupação: Risco Leve
- Teto: Não combustível obstruído e não obstruído

⁹ Fonte: ABNT NBR 10.897:2014 – dados para o cálculo.

- Valor de Hazen-Williams – tubos (C): 150
- Na área de operação: indicados os diâmetros internos reais – DI – mm
- Medidas em metros (m)
- Adotar: 1 bar = 14,50 psi = 10,20 mca = 100 kPa



Obs.: dentro da área de operação adotar o número de bicos para o cálculo.

Fig. 2.77 - Área de operação

Passo 1: Especificação da legislação e/ou norma técnica a ser adotada;

- ABNT NBR 10.897:2014

Passo 2: Identificação da edificação ou risco a ser protegido quanto à classificação da ocupação;

- Risco Leve (Escritórios)

Passo 3: Determinação da área de operação dos chuveiros automáticos;

- $A_{op} = 140 \text{ m}^2$

Passo 4: Determinar a densidade (mm/min) para área de operação;

- $d = 4,1 \text{ mm/min}$

Passo 5: Determinação dos espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais), conforme legislação e/ou norma técnica adotada;

- $E_c \text{ e } E_r = 4,60 \text{ m}$ (espaçamento máximo)

Passo 6: Determinação dos espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais), de acordo com o projeto técnico;

- Espaçamento entre chuveiros automáticos (E_c) = 4,60 m
- Espaçamento entre ramais (E_r) = 3,80 m

Passo 7: Determinação da área de cobertura por chuveiro automático;

$$A_{cc} = E_c \times E_r$$

Onde:

- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2);
- E_c = Espaçamento entre chuveiros automáticos (m);
- E_r = Espaçamento entre ramais (m).

$$A_{cc} = E_c \times E_r$$

$$A_{cc} = 4,60 \text{ m} \times 3,80 \text{ m}$$

$$A_{cc} = 17,48 \text{ m}^2$$

Obs.: Área de cobertura máxima para risco leve = 20,90 m^2

Passo 8: Estabelecer o número de chuveiros automáticos contidos na área de operação;

$$N_c = A_{op} \times (A_{cc})^{-1}$$

Onde:

- N_c = Número de chuveiros automáticos contidos na área de operação;
- A_{op} = Área de operação (m^2);
- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2).

$$N_c = A_{op} \times (A_{cc})^{-1}$$

$$N_c = 140 \text{ m}^2 \times (17,48 \text{ m}^2)^{-1}$$

$$N_c = 8 \text{ chuveiros automáticos}$$

Passo 9: Cálculo do lado maior e menor da área de operação;

Comprimento paralelo aos ramais (lado maior);

- Comprimento paralelo aos ramais (X) = $1,2 \times (\text{Área de operação})^{0,5}$

$$\text{Comprimento paralelo aos ramais (X)} = 1,2 \times (140 \text{ m}^2)^{0,5}$$

$$\text{Comprimento paralelo aos ramais (X)} = 14,20 \text{ m}$$

Comprimento perpendicular aos ramais.

- Comprimento perpendicular aos ramais (Y) = $\text{Área de operação} \times [\text{Comprimento paralelo aos ramais (X)}]^{-1}$

$$\text{Comprimento perpendicular aos ramais (Y)} = 140 \text{ m}^2 \times (14,20 \text{ m})^{-1}$$

$$\text{Comprimento perpendicular aos ramais (Y)} = 9,86 \text{ m}$$

Passo 10: Cálculo do número de chuveiros automáticos no ramal paralelo ao lado maior da área de operação;

- Número de chuveiros automáticos por ramal = $1,20 \times (\text{Área de operação})^{0,5} \times (\text{Espaçamento máximo entre chuveiros automáticos})^{-1}$

$$\text{Número de chuveiros automáticos por ramal} = 1,20 \times (140 \text{ m}^2)^{0,5} \times (4,60 \text{ m})^{-1} = 3,09 = 3 \text{ chuveiros automáticos}$$

Passo 11: Cálculo do número de ramais na área de operação;

- Número de chuveiros automáticos entre ramais = Comprimento perpendicular aos ramais (Y) x (Espaçamento máximo entre ramais)⁻¹

$$\begin{aligned} \text{Número de chuveiros automáticos entre ramais} &= 9,86 \text{ m} \times (3,80)^{-1} \\ &= 2,60 = 3 \text{ chuveiros automáticos} \end{aligned}$$

Passo 12: Cálculo da vazão (Q_1) e da pressão (P_1) no chuveiro mais desfavorável hidráulicamente;

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 01;

$$Q = A_{cc} \times d$$

Onde:

- Q = Vazão no chuveiro automático (L/min);
- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m²);
- d = Densidade (mm/min).

$$\begin{aligned} Q_1 &= A_{cc} \times d \\ Q_1 &= 17,48 \text{ m}^2 \times 4,1 \text{ mm/min} \\ Q_1 &= 71,67 \text{ L/min} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 01.

- Valor adotado: diâmetro nominal (DN) da rosca do bico de chuveiro automático = 15 mm; para o coeficiente de descarga (K) = 80 L/min x bar^{-0,5}

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min);
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

$$Q_1 = K_1 \times (P_1)^{0,5}$$

$$71,67 \text{ L/min} = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (P)^{0,5}$$

$$P_1 = 0,80 \text{ bar} = 8,19 \text{ mca} = 11,64 \text{ psi} = 80,3 \text{ kPa}$$

Passo 13: Cálculo da vazão e da pressão no segundo chuveiro mais desfavorável hidráulicamente;

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1;

$$Q_{21} = Q_1 = 71,67 \text{ L/min} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1;

Perda de carga distribuída no tubo

$$J = 605 \left(\frac{Q_m^{1,85}}{C^{1,85} d_m^{4,87}} \right) 10^5$$

Onde:

- J = Perda de carga por atrito, expressa em quilopascas por metro (kPa/m);
- Q_m = Vazão, expressa em litros por minuto (L/min);
- C = Fator de Hazen-Williams;
- d_m = Diâmetro interno real, expresso em milímetros (mm).

Sabendo que:

- $C = 150$
- $d_m = 25 \text{ mm}$
- $Q_m = 71,67 \text{ l/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (71,67 \text{ L/min})^{1,85} \times (150)^{-1,85} \times (25 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 2,40 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,24 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 2,40 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 4,60 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 4,60 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 2,40 x 4,60 = 11,04 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto 2 (kPa) = $P_1 + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 80,30 + 11,04 + 0 = 91,34 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto 2;

$$P_n = P_t - P_v$$

Onde:

- P_n = Pressão normal (kPa);
- P_t = Pressão total (kPa);
- P_v = Pressão de velocidade (kPa).

$$P_v = [225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}$$

Onde:

- P_v = Pressão de velocidade (kPa);
- Q_m = Vazão (L/min);
- d_m = Diâmetro interno real (mm).

$$P_n = P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\}$$

$$P_n = 91,34 \text{ kPa} - \{[225 \times (71,67 \text{ L/min})^2] \times (25 \text{ mm})^{-4}\}$$

$$P_n = 88,38 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto 2 é de 91,34 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 88,38 kPa. A vazão (Q_{21}) no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1 é de 71,67 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto 2 e o Ponto 1;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

Onde:

- V = Velocidade da água (m/s);
- Q_m = Vazão no segmento (m^3/s);
- A = Área da secção do tubo (m^2);
- $A = \pi \times (d_m/2)^2$;
- $\pi = 3,1416$;
- d_m = Diâmetro interno real, expresso em metros (m). = Raio da circunferência da secção do tubo.

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,025/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 2,44 \text{ m/s}$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 02;

- A pressão no chuveiro automático nº 02 é igual à pressão no Ponto 2 (P_2).

$$P_2 = 91,34 \text{ kPa} = 0,913 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 02.

$$\begin{aligned} Q_2 &= K_2 \times (P_2)^{0,5} \\ Q_2 &= 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (0,913 \text{ bar})^{0,5} \\ Q_2 &= 76,44 \text{ L/min} = 0,001274 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Atenção: K_1 ao K_8 – Os coeficientes de descarga dos bicos de chuveiros automáticos são similares ($80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$).

Passo 14: Cálculo da vazão e da pressão no terceiro chuveiro mais desfavorável hidráulicamente (fórmulas de cálculo – vide passo 13);

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

$$Q_{32} = Q_1 + Q_2 = 148,11 \text{ L/min} = 0,00247 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

Sabendo que:

- $C = 150$
- $d_m = 25 \text{ mm}$
- $Q_m = 148,11 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned} J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (148,11 \text{ L/min})^{1,85} \times (150)^{-1,85} \times (25 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \end{aligned}$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 9,196 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,92 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 9,196 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 0,00 m
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 4,60 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 4,60 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 9,196 x 4,60 = 42,30 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto 3 (kPa) = $P_2 + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 91,34 + 42,30 + 0 = 133,64 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto 3;

$$P_n = P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\}$$

$$P_n = 133,64 \text{ kPa} - \{[225 \times (148,11 \text{ L/min})^2] \times (25 \text{ mm})^{-4}\}$$

$$P_n = 121,01 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto 3 é de 133,64 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 121,01 kPa. A vazão (Q_{32}) no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2 é de 148,11 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,00247 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,025/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 5,03 \text{ m/s}$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 03;

- A pressão no chuveiro automático nº 03 é igual à pressão no Ponto 3 (P_3).

$$P_3 = 136,64 \text{ kPa} = 1,37 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 03.

$$\begin{aligned}Q_3 &= K_3 \times (P_3)^{0,5} \\Q_3 &= 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (1,37 \text{ bar})^{0,5} \\Q_3 &= 93,64 \text{ L/min} = 0,00156 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Passo 15: Cálculo da vazão e da pressão no Ponto A (fórmulas de cálculo – vide passo 13);

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto A e o Ponto 3;

$$Q_{A3} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 241,75 \text{ L/min} = 0,0040 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto A e o Ponto 3;

Sabendo que:

- $C = 150$
- $d_m = 32 \text{ mm}$
- $Q_m = 241,75 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned}J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (241,75 \text{ L/min})^{1,85} \times (150)^{-1,85} \times (32 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \\J_{\text{kPa/m}} &= 6,841 \text{ kPa/m; ou} \\J_{\text{mca/m}} &= 0,684 \text{ mca/m}\end{aligned}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 6,841 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 1,80 m (DN 32 mm – 1 Tê) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 2,30 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 4,10 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 6,841 x 4,10 = 28,05 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m

- Pressão total (P_t) no Ponto A (kPa) = $P_3 + J_{kPa} +/-(E) = 133,64 + 28,05 + 0 = 161,69 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto A;

$$P_n = P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\}$$

$$P_n = 161,69 \text{ kPa} - \{[225 \times (241,75 \text{ L/min})^2] \times (32 \text{ mm})^{-4}\}$$

$$P_n = 149,15 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto A é de 161,69 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 149,15 kPa. A vazão (Q_{A3}) no segmento entre o Ponto A e o Ponto 3 é de 241,75 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto A e o Ponto 3;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,0040 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,032/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 4,97 \text{ m/s}$$

Passo 16: Cálculo da vazão e pressão no Ponto B (fórmulas de cálculo – vide passo 13);

$$Q_{BA} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 241,75 \text{ L/min} = 0,0040 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto B e o Ponto A;

Sabendo que:

- $C = 150$
- $d_m = 65 \text{ mm}$
- $Q_m = 241,75 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (241,75 \text{ L/min})^{1,85} \times (150)^{-1,85} \times (65 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 0,217 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,0217 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 0,217 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 3,70 m (DN 65 mm – 1 Tê – vide Fig.: 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,80 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 7,50 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 0,217 x 7,50 = 1,63 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m

$$\text{Pressão total (P)}_{\text{no Ponto B (kPa)}} = P_A + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 161,69 + 1,63 + 0 = 163,32 \text{ kPa}$$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto B;

$$P_n = P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\}$$

$$P_n = 163,32 \text{ kPa} - \{[225 \times (241,75 \text{ L/min})^2] \times (65 \text{ mm})^{-4}\}$$

$$P_n = 162,58 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto B é de 163,32 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 162,58 kPa. A vazão (Q_{BA}) no segmento entre o Ponto B e o Ponto A é de 241,75 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto 3 e o Ponto 2;

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,0040 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,065/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 1,20 \text{ m/s}$$

Passo 17: Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto C e o Ponto B;

Cálculo do coeficiente de descarga (K) no Ponto A – sub-ramal 123;

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min);
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

$$\begin{aligned} Q_{A3} &= K_{123} \times (P_A)^{0,5} \\ 241,75 \text{ L/min} &= K_{123} \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (1,62 \text{ bar})^{0,5} \\ K_{123} &= 189,94 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} = 18,99 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5} = \\ &= 59,47 \text{ L/min} \times \text{mca}^{-0,5} \end{aligned}$$

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto B e o Ponto 4;

$$\begin{aligned} Q_{B4} &= K_{123} \times (P_B)^{0,5} \\ Q_{B4} \text{ L/min} &= 189,94 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (1,63 \text{ bar})^{0,5} \\ Q_{B4} &= 242,50 \text{ L/min} = 0,00404 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto C e o Ponto B.

$$Q_{CB} = Q_{BA} + Q_{B4} = 484,25 \text{ L/min} = 0,00807 \text{ m}^3/\text{s}$$

Passo 18: Cálculo da pressão no Ponto C;

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto C e o Ponto B;

Sabendo que:

$$C = 150$$

$$d_m = 65 \text{ mm}$$

$$Q_m = 484,25 \text{ L/min}$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (484,25 \text{ L/min})^{1,85} \times (150)^{-1,85} \times (65 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 0,78 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,078 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 0,78 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 3,70 m (DN 65 mm – 1 Cruzeta) – vide Fig. 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,80 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 7,50 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $7,50 \times 0,78 = 5,85 \text{ kPa}$
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_c) no Ponto C (kPa) = $P_B + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 163,32 + 5,85 + 0 = 169,17 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto C;

$$P_n = P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\}$$

$$P_n = 169,17 \text{ kPa} - \{[225 \times (484,25 \text{ L/min})^2] \times (65 \text{ mm})^{-4}\}$$

$$P_n = 166,21 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto C é de 169,17 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 166,21 kPa. A vazão (Q_{CB}) no segmento entre o Ponto C e o Ponto B é de 484,25 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto C e o Ponto B.

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$

$$V = 0,00807 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,065/2)^2]^{-1}\}$$

$$V = 2,43 \text{ m/s}$$

Passo 19: Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto CS e o Ponto C;

Atenção: O sub-ramal ligado a C possui dois chuveiros pertencentes à área de operação, será calculado um coeficiente de descarga K para o ponto C.

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min);
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

Temos que – sub-ramal I, sub-ramal II e sub-ramal III são simétricos:

$$KC \text{ (para vazão somente de dois bicos – 07 e 08)} = K_{C7-8}$$

$$KA \text{ (para vazão somente de dois bicos – 02 e 03)} = K_{A2-3}$$

$$\text{Portanto: } K_{C7-8} = K_{A2-3}$$

$$Q_2 + Q_3 = K_{A2-3} \times (P_A)^{0,5}$$

$$170,08 \text{ L/min} = K_{A2-3} \text{ l/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (1,62 \text{ bar})^{0,5}$$

$$K_{A2-3} = 133,63 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} = 13,36 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5} = \\ = 41,84 \text{ L/min} \times \text{mca}^{-0,5}$$

$$K_{A2-3} = 13,36 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5}$$

Portanto:

$$Q_C = K_{A2-3} \times (P_C)^{0,5}$$

$$Q_{C7} = 13,36 \text{ L/min} \times \text{kPa}^{-0,5} \times (169,17)^{0,5}$$

$$Q_{C7} = 173,77 \text{ L/min} = 0,0029 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obs.: Este valor (Q_{C7}) corresponde à vazão que alimenta os dois chuveiros automáticos no sub-ramal III (Bicos de no 7 e no 8).

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto CS e o Ponto C;

$$Q_{CSC} = Q_{CB} + Q_{C7} = 658,02 \text{ L/min} = 0,01097 \text{ m}^3/\text{s}$$

Passo 20: Cálculo da pressão no Ponto CS;

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto CS e o Ponto C;

Sabendo que:

- $C = 150$
- $d_m = 65 \text{ mm}$
- $Q_m = 658,02 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (658,02 \text{ L/min})^{1,85} \times (150)^{-1,85} \times (65 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 1,38 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,14 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 1,38 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = 7,40 m (DN 65 mm – 2 Cruzetas) – vide Fig.: 2.68
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 17,60 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 25 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $1,38 \times 25 = 34,50 \text{ kPa}$
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto CS (kPa) = $P_c + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 169,17 + 34,50 + 0 = 203,67 \text{ kPa}$

Cálculo da Pressão Normal (P_n) no Ponto CS;

$$P_n = P_t - \{[225 \times (Q_m)^2] \times (d_m)^{-4}\}$$
$$P_n = 203,67 \text{ kPa} - \{[225 \times (658,02 \text{ L/min})^2] \times (65 \text{ mm})^{-4}\}$$
$$P_n = 198,21 \text{ kPa}$$

Obs.: Pressão total (P_t) no Ponto CS é de 203,67 kPa e a Pressão normal (P_n) é de 198,21 kPa. A vazão (Q_{CSC}) no segmento entre o Ponto CS e o Ponto C é de 658,02 L/min.

Cálculo da velocidade de escoamento d'água no segmento entre o Ponto CS e o Ponto C¹⁰.

$$V = Q_m \times (A)^{-1}$$
$$V = 0,01097 \text{ m}^3/\text{s} \times \{[3,1416 \times (0,065/2)^2]^{-1}\}$$
$$V = 3,31 \text{ m/s}$$

2.20 EXERCÍCIO FICTÍCIO IV¹¹

- **Título:** Sistema de abastecimento de água malhada em anel para chuveiros automáticos.
- **Método de resolução:** por vazões corretivas.
- **Redes em malha:** são redes que demandam cálculos mais complexos, pois possuem circuitos fechados.

10 É recomendado que as velocidades de fluxo d'água nos segmentos sejam menores ou iguais a 5,00 m/s (até a expedição da bomba de incêndio). Deve-se aumentar o diâmetro interno real do tubo para obter a redução da velocidade. O aumento do diâmetro interno real do tubo ocasionará a redução da perda de carga distribuída.

11 Fonte: ABNT NBR 10.897:2014 – dados para o cálculo.

Princípios básicos a serem atendidos nas redes em anel:

- **Conservação da massa:** a soma algébrica das vazões em cada nó é nula;

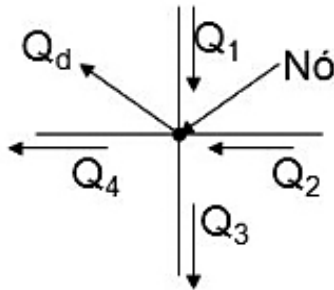
$$\sum Q = \pm Q_1 \pm Q_2 \pm Q_3 \pm \dots \pm Q_n = 0$$

- **Conservação da energia:** a soma algébrica das perdas de carga (partindo e chegando ao mesmo nó) em qualquer circuito fechado (malha ou anéis) é igual a zero.

$$\sum \Delta H = \pm \Delta H_1 \pm \Delta H_2 \pm \Delta H_3 \pm \dots \pm \Delta H_n = 0$$

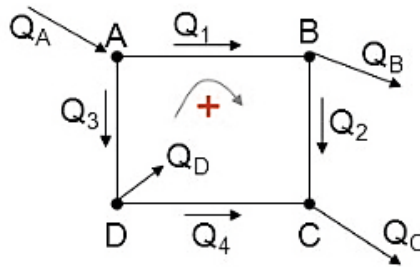
Convenciona-se preliminarmente:

Nó: sentido do escoamento para o nó como positivo;



$$\sum Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_d = 0$$

Anel: sentido do escoamento horário como positivo.



$$\sum \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_4 - \Delta H_3 = 0$$

Sequência de cálculo:

- Com base na demanda de água arbitrar uma vazão inicial para os segmentos;
- Calcular as perdas de carga (lineares) em função do comprimento da tubulação, observando o sentido de giro arbitrado para o anel;
- Calcular as vazões corretivas com base nos dados calculados;
- Repetir o processo iterativo até que o somatório das perdas de carga fique igual ou próximo a zero.

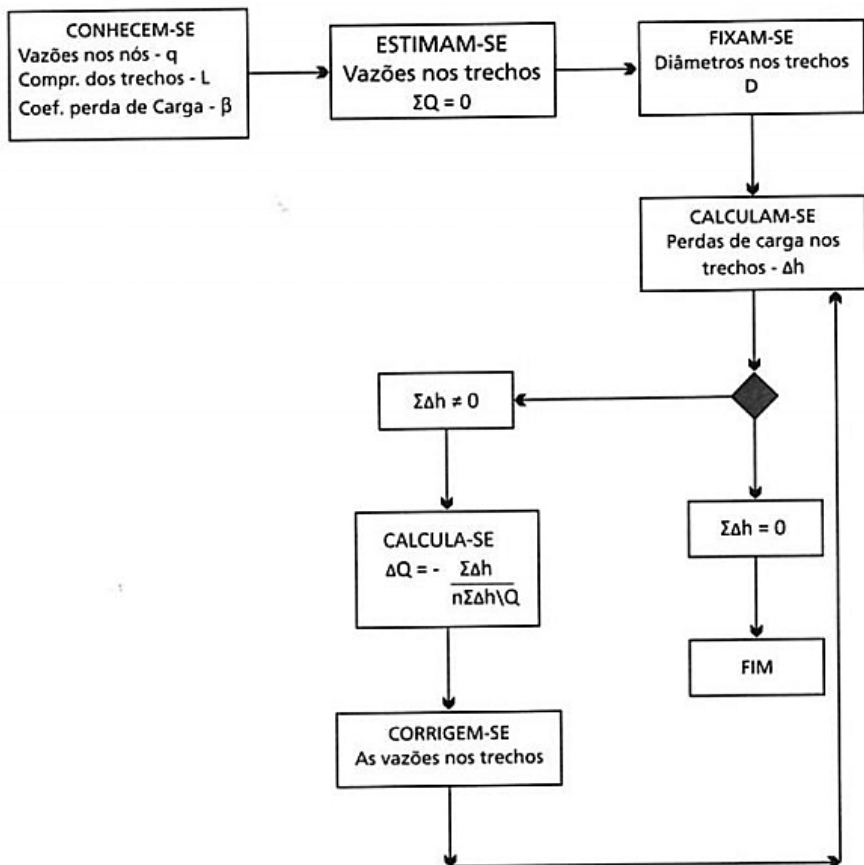


Fig. 2.78 - Fluxograma para o cálculo

Fórmulas utilizadas:

Vazão corretiva:

$$\Delta Q_0 = - \sum J_{0t} \times [\sum n \times (J_{0t} \times Q_0^{-1})]^{-1}$$

Onde:

- J_{0t} = Perda de carga por atrito no segmento, expressa em quilopascas por metro (kPa/m);
- Q_0 = Vazão no segmento, expressa em litros por minuto (L/min);
- $n = 1,85$ (para a fórmula de Hazen-Williams) – $2,00$ (para a fórmula Universal).

Fórmula de Hazen-Williams:

$$J = 605 \left(\frac{Q_m^{1,85}}{C^{1,85} d_m^{4,87}} \right) 10^5$$

Onde:

- J = Perda de carga por atrito, expressa em quilopascas por metro (kPa/m);
- Q_m = Vazão, expressa em litros por minuto (L/min);
- C = Fator de Hazen-Williams;
- d_m = Diâmetro interno real, expresso em milímetros (mm).

2.20.1 EXERCÍCIO

Calcular a vazão e a pressão no Ponto CS, considerando em funcionamento simultâneo os quatro chuveiros automáticos (vide Fig. 2.79).

ATENÇÃO: Este exercício fictício tem como objetivo apresentar um roteiro básico para elaboração de cálculo, porém é recomendável observar as exigências mínimas da norma técnica adotada, quando da realização de um cálculo para uma situação real.

Dados iniciais para o cálculo

- Valor de Hazen-Williams – tubos (C): 120
- Na área de operação: indicados os diâmetros internos reais – DI – (mm)
- Medidas em metros (m)
- Pressão total igual à Pressão normal ($P_t = P_n$)

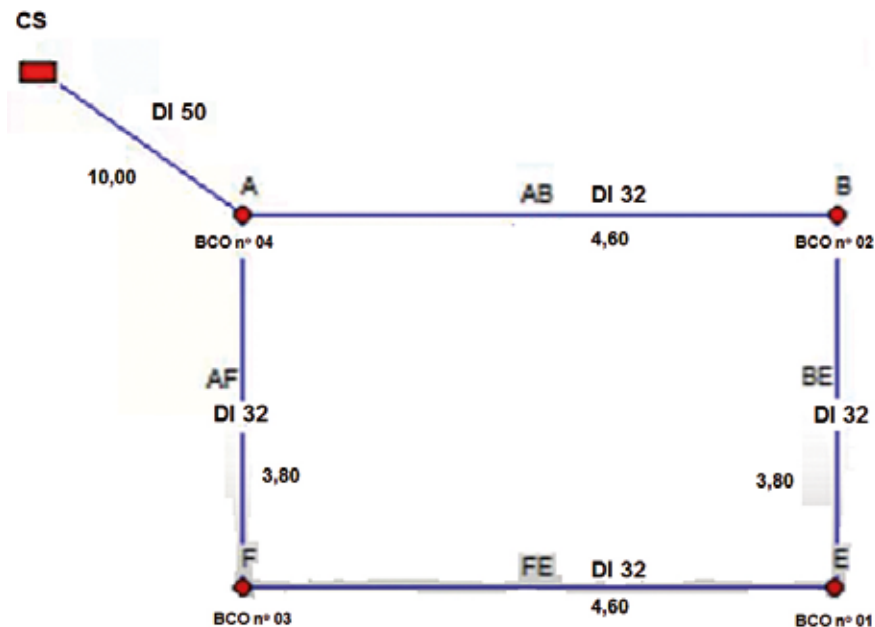


Fig. 2.79 - Área de operação – 4 chuveiros automáticos

Passo 1: Especificação da legislação e/ou norma técnica a ser adotada;

- ABNT NBR 10.897:2014

Passo 2: Identificação da edificação ou risco a ser protegido quanto à classificação da ocupação;

- Risco Leve (Escritórios)

Passo 3: Determinação da área de operação dos chuveiros automáticos – 4 chuveiros automáticos em funcionamento (arbitrado);

- $A_{op} = 69,92 \text{ m}^2$

Passo 4: Determinar a densidade (mm/min) para área de operação;

- $d = 4,1 \text{ mm/min}$

Passo 5: Determinação dos espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais), conforme legislação e/ou norma técnica adotada;

- $E_c \text{ e } E_r = 4,60 \text{ m}$ (espaçamento máximo)

Passo 6: Determinação dos espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais), de acordo com o projeto técnico;

- Espaçamento entre chuveiros automáticos (E_c) = 4,60 m
- Espaçamento entre ramais (E_r) = 3,80 m

Passo 7: Determinação da área de cobertura por chuveiro automático;

$$A_{cc} = E_c \times E_r$$

Onde:

- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2);
- E_c = Espaçamento entre chuveiros automáticos (m);
- E_r = Espaçamento entre ramais (m).

$$\begin{aligned} A_{cc} &= E_c \times E_r \\ A_{cc} &= 4,60 \text{ m} \times 3,80 \text{ m} \\ A_{cc} &= 17,48 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Obs.: área de cobertura máxima para risco leve = 20,90 m^2

Passo 8: Estabelecer o número de chuveiros automáticos contidos na área de cálculo;

$$N_c = A_{op} \times (A_{cc})^{-1}$$

Onde:

- N_c = Número de chuveiros automáticos contidos na área de cálculo;
- A_{op} = Área de operação (m^2);
- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2).

$$\begin{aligned} N_c &= A_{op} \times (A_{cc})^{-1} \\ N_c &= 69,92 \text{ m}^2 \times (17,48 \text{ m}^2)^{-1} \\ N_c &= 4 \text{ chuveiros automáticos} \end{aligned}$$

Passo 09: Cálculo da vazão (Q_1) e da pressão (P_1) no chuveiro nº 01;

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 01;

$$Q = A_{cc} \times d$$

Onde:

- Q = Vazão no chuveiro automático (L/min);
- A_{cc} = Área de cobertura por chuveiro automático (m^2);
- d = Densidade (mm/min).

$$\begin{aligned} Q_1 &= A_{cc} \times d \\ Q_1 &= 17,48 \text{ m}^2 \times 4,1 \text{ mm/min} \\ Q_1 &= 71,67 \text{ L/min} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 01.

Valor adotado: diâmetro nominal (DN) da rosca do bico de chuveiro automático = 15 mm; para o coeficiente de descarga (K) = $80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$

$$Q = K \times (P)^{0,5}$$

Onde:

- Q = Vazão por chuveiro automático (L/min);
- P = Pressão (bar);
- K = Fator de descarga do chuveiro automático (L/min x bar^{-0,5}).

$$Q_1 = K_1 \times (P_1)^{0,5}$$

$$71,67 \text{ L/min} = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (P)^{0,5}$$

$$P_1 = P_E = 0,80 \text{ bar} = 8,19 \text{ mca} = 81,86 \text{ kPa}$$

ATENÇÃO: Do Passo 10 ao Passo 17 são cálculos com valores iniciais (SOLUÇÃO INICIAL), pois pode haver a necessidade da correção final (ITERAÇÃO), conforme os princípios básicos: conservação da massa e de energia do sistema (vide Passo 18).

Passo 10 – Cálculo das vazões e pressões iniciais

Considerando que o sistema proposto é composto de 4 chuveiros automáticos que possuem o mesmo coeficiente de descarga (K), podemos iniciar o cálculo a partir do Ponto E dando sentido para as vazões e seus valores (iniciais). Pode-se arbitrar o sentido das vazões (vide Fig. 2.80).

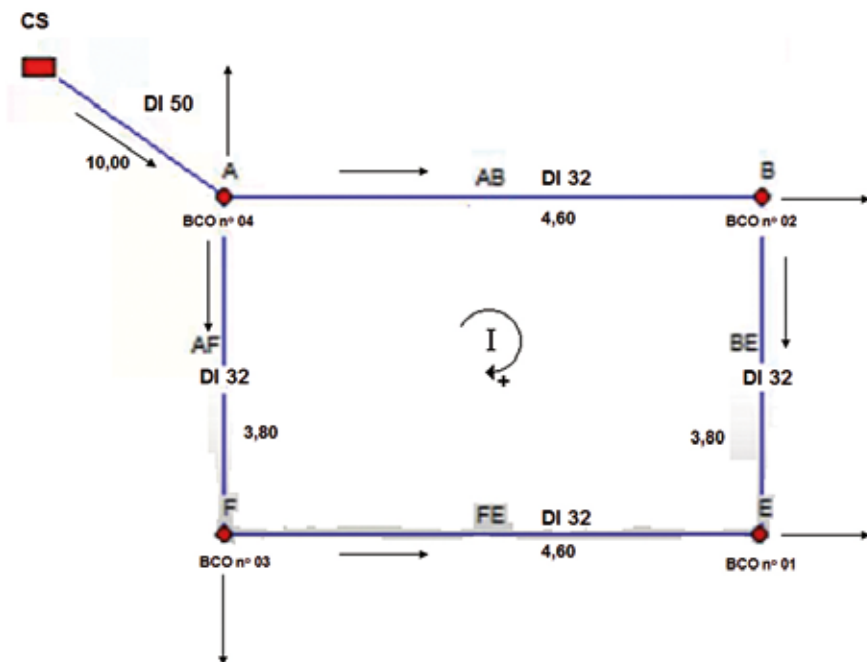


Fig. 2.80 - Área de operação – sentido das vazões

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto B e o Ponto E (adotada uma suposta divisão);

$$Q_{BE} = Q_1 - 30 \text{ L/min} = 41,67 \text{ L/min} = 0,000695 \text{ m}^3/\text{s}$$

Logo:

$$Q_{FE} = 30 \text{ L/min} = 0,00050 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto B e o Ponto E.

Perda de carga distribuída no tubo

$$J = 605 \left(\frac{Q_m^{1,85}}{C^{1,85} d_m^{4,87}} \right) 10^5$$

Onde:

- J = Perda de carga por atrito, expressa em quilopascals por metro (kPa/m);
- Q_m = Vazão, expressa em litros por minuto (L/min);
- C = Fator de Hazen-Williams;
- d_m = Diâmetro interno real, expresso em milímetros (mm).

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 32 \text{ mm}$
- $Q_m = 41,67 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned} J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (41,67 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (32 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 0,3998 \text{ kPa/m; ou} \\ J_{\text{mca/m}} &= 0,040 \text{ mca/m} \end{aligned}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 0,3998 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = Desconsiderar
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,80 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,80 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 0,3998 x 3,80 = 1,52 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto B (kPa) = $P_E + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 81,86 + 1,52 + 0 = 83,38 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto B é de 83,38 kPa. A vazão (Q_{BE}) fictícia no segmento entre o Ponto B e o Ponto E é de 41,67 L/min.

Passo 11 – Cálculo da vazão e pressão no chuveiro automático nº 02;

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 02;

$$P_B = P_2 = 83,38 \text{ kPa} = 0,834 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 02.

$$\begin{aligned} Q_2 &= K_2 \times (P_2)^{0,5} \\ Q_2 &= 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (0,834 \text{ bar})^{0,5} \\ Q_2 &= 73,05 \text{ L/min} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Passo 12 – Cálculo da pressão no Ponto A (vazão no sentido horário);

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto A e o Ponto B;

$$Q_{AB} = Q_{BE} + Q_2 = 114,72 \text{ L/min} = 0,00191 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto A e o Ponto B;

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 32 \text{ mm}$
- $Q_m = 114,72 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned} J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (114,72 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (32 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 2,603 \text{ kPa/m; ou} \\ J_{\text{mca/m}} &= 0,026 \text{ mca/m} \end{aligned}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 2,603 kPa/m

- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = Desconsiderar
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 4,60 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 4,60 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 2,603 x 4,60 = 11,98 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto A (kPa) = $P_B + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 83,38 + 11,98 + 0 = 95,36 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto A é de 95,36 kPa. A vazão (Q_{AB}) fictícia (sentido horário) no segmento entre o Ponto A e o Ponto B é de 114,72 L/min.

Passo 13 – Cálculo da vazão e pressão no chuveiro automático nº 04;

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 04;

$$P_A = P_4 = 95,36 \text{ kPa} = 0,954 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 04.

$$Q_4 = K_4 \times (P_4)^{0,5}$$

$$Q_4 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (0,954 \text{ bar})^{0,5}$$

$$Q_4 = 78,12 \text{ L/min} = 0,00130 \text{ m}^3/\text{s}$$

Passo 14 – Cálculo da pressão no Ponto F;

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto F e o Ponto E;

$$Q_{FE} = 30,00 \text{ L/min} = 0,00050 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto F e o Ponto E;

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 32 \text{ mm}$
- $Q_m = 30 \text{ L/min}$

$$\begin{aligned} J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 605 \times (30 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (32 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5 \\ J_{\text{kPa/m}} &= 0,2177 \text{ kPa/m; ou} \\ J_{\text{mca/m}} &= 0,0217 \text{ mca/m} \end{aligned}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 0,2177kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = Desconsiderar
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 4,60 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 4,60 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 0,2177 x 4,60 = 1,00 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto F (kPa) = $P_E + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 81,86 + 1,00 + 0 = 82,86 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto F é de 82,86 kPa. A vazão (Q_{FE}) inicial no segmento entre o Ponto F e o Ponto E é de 30 L/min.

Passo 15 – Cálculo da vazão e pressão no chuveiro automático nº 03;

Cálculo da pressão no chuveiro automático nº 03;

$$P_F = P_3 = 82,86 \text{ kPa} = 0,829 \text{ bar}$$

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 03.

$$Q_3 = K_3 \times (P_3)^{0,5}$$

$$Q_3 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (0,829 \text{ bar})^{0,5}$$

$$Q_3 = 72,82 \text{ L/min} = 0,00121 \text{ m}^3/\text{s}$$

Passo 16 – Cálculo da pressão no Ponto A (vazão no sentido anti-horário);

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto A e o Ponto F;

$$Q_{AF} = Q_{FE} + Q_3 = 102,82 \text{ L/min} = 0,00171 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da perda de carga na tubulação no segmento entre o Ponto F e o Ponto A;

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 32 \text{ mm}$
- $Q_m = 102,82 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (102,82 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (32 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 2,126 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,213 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 2,126 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = Desconsiderar
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 3,80 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 3,80 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 2,126 x 3,80 = 8,08 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto A (kPa) = $P_F + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 83,38 + 8,08 + 0 = 91,46 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto A é de 91,46 kPa. A vazão (Q_{AF}) inicial sentido anti-horário no segmento entre o Ponto A e o Ponto F é de 102,82 L/min.

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 04.

$$Q_4 = K_4 \times (P_4)^{0,5}$$

$$Q_4 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (0,914 \text{ bar})^{0,5}$$

$$Q_4 = 76,51 \text{ L/min} = 0,00128 \text{ m}^3/\text{s}$$

Passo 17 – Verificação do equilíbrio das pressões no Ponto A;

$$|P_{\text{Ash}} - P_{\text{Asah}}| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

Onde:

- P_{Ash} = Pressão no ponto A – vazão no sentido horário (kPa);
- P_{Asah} = Pressão no ponto A – vazão no sentido anti-horário (kPa).

$$|P_{\text{Ash}} - P_{\text{Asah}}| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

$$|95,36 - 91,46| = 3,90 \text{ kPa}$$

Obs.: necessita ser efetuada a correção das vazões (Q_1 ; Q_2 ; Q_3 ; Q_4), nos segmentos e nos chuveiros automáticos, a partir das vazões iniciais arbitradas.

Passo 18 – Correção das vazões nos segmentos (iteração 1);

Aplicação no método de Hardy-Cross utilizando-se de uma planilha de cálculo;

DADOS INICIAIS					SOLUÇÃO INICIAL (0)				ITERAÇÃO 1 (i)		
Anel	Segmento	L _{total} (m)	dm (mm)	Q ₀ (l/min)	J _{0u} kPa/m	J _{0t} kPa	J _{0t} x (Q ₀) ⁻¹	ΔQ ₀ (l/min)	Q ₁ (l/min)	J _{1t} kPa	J _{1t} x (Q ₁) ⁻¹
I	CS - A	10	50,00								
	A - B	4,6	32,00	114,72	2,6033	11,98	0,104	-9,44	105,28	10,22	0,097
	B - E	3,8	32,00	41,67	0,3998	1,52	0,036	-9,44	32,23	0,94	0,029
	F - E	4,6	32,00	-30,00	0,2177	-1,00	0,033	-9,44	-39,44	-1,66	0,042
	A - F	3,8	32,00	-102,82	2,1259	-8,08	0,079	-9,44	-112,26	-9,5	0,085
Somatória						4,41	0,253			0,000	0,253

Observações:

- (*) somatória ($Q_1 + Q_2 + Q_3$);
- valores para a vazão e perda de carga total – no sentido horário adotar valor positivo e no sentido anti-horário adotar valor negativo.

Onde:

- L_{total} = Comprimento total (m);
- d_m = Diâmetro interno real (mm);
- Q_0 = Vazão inicial (arbitrada);
- J_{0u} = Perda de carga distribuída – unitária (kPa/m);
- J_{0t} = Perda de carga total – solução inicial (kPa/m);
- ΔQ_0 = Vazão corretiva (L/min);
- Q_i = Vazão corrigida no segmento (L/min);

$$Q_i \text{ (L/min)} = \pm Q_0 \text{ (L/min)} \pm \Delta Q_0 \text{ (L/min)}$$

J_{it} = Perda de carga total – iteração 1 (kPa);

$$\Delta Q \leq 0,1 \text{ L/s ou } 6,00 \text{ L/min};$$

$$\sum J_{\text{total}} \leq 0,5 \text{ kPa ou } 0,05 \text{ mca.}$$

Adotar:

- $+ Q_0$ (L/min) – sentido horário do fluxo d'água no segmento;
- $- Q_0$ (L/min) – sentido anti-horário do fluxo d'água no segmento;
- $+ Q_i$ (L/min) – sentido horário do fluxo d'água no segmento;
- $- Q_i$ (L/min) – sentido anti-horário do fluxo d'água no segmento;
- $\pm \Delta Q_0$ (L/min) – depende do resultado do cálculo;

$$\Delta Q_0 = - \sum J_{ot} \times [\sum n \times (J_{ot} \times Q_0^{-1})]^{-1}$$

- $+ J_{0t}$ = sentido horário do fluxo d'água no segmento;
- $- J_{0t}$ = sentido anti-horário do fluxo d'água no segmento;

- $+ J_{it}$ = sentido horário do fluxo d'água no segmento;
- $- J_{it}$ = sentido anti-horário do fluxo d'água no segmento.

Passo 19 – Cálculo da pressão no Ponto A no sentido horário e anti-horário para verificação das condições de equilíbrio;

Pressão no Ponto A no sentido horário;

$$P_{Ash} = P_1 + J_{BE} + J_{AB}$$

$$P_{Ash} = 81,86 \text{ kPa} + 0,94 \text{ kPa} + 10,22 \text{ kPa}$$

$$P_{Ash} = 93,02 \text{ kPa}$$

Pressão no Ponto A no sentido anti-horário;

$$P_{Asah} = P_1 + J_{FE} + J_{AF}$$

$$P_{Asah} = 81,86 \text{ kPa} + 1,66 \text{ kPa} + 9,5 \text{ kPa}$$

$$P_{Asah} = 93,02 \text{ kPa}$$

Verificação do equilíbrio das pressões no Ponto A.

$$|P_{Ash} - P_{Asah}| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

$$|93,02 - 93,02| = \text{ZERO kPa}$$

Obs.: Pressões equilibradas.

Passo 20 – Cálculo da vazão e da pressão no Ponto CS.

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 04.

$$Q_4 = K_4 \times (P_4)^{0,5}$$

$$Q_4 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5} \times (0,9302, \text{ bar})^{0,5}$$

$$Q_4 = 77,16 \text{ L/min} = 0,00129 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo da vazão corrigida no segmento entre o Ponto CS e o Ponto A;

$$Q_{CS} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_{CS} = 71,67 \text{ L/min} + 73,05 \text{ L/min} + 72,82 \text{ L/min} + 77,16 \text{ L/min}$$

$$Q_{CS} = 294,70 \text{ L/min}$$

Cálculo da pressão no Ponto CS.

Sabendo que:

- $C = 120$
- $d_m = 50 \text{ mm}$
- $Q_m = 294,70 \text{ L/min}$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (Q_m)^{1,85} \times (C)^{-1,85} \times (d_m)^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 605 \times (294,70 \text{ L/min})^{1,85} \times (120)^{-1,85} \times (50 \text{ mm})^{-4,87} \times (10)^5$$

$$J_{\text{kPa/m}} = 1,697 \text{ kPa/m; ou}$$

$$J_{\text{mca/m}} = 0,170 \text{ mca/m}$$

Temos:

- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 1,697 kPa/m
- Comprimento equivalente no segmento (L_{virtual}) = Desconsiderar
- Comprimento real do segmento (L_{real}) = 10 m
- Comprimento total no segmento ($L_{\text{total}} = L_{\text{virtual}} + L_{\text{real}}$) = 10 m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 1,697 x 10 = 16,97 kPa
- Elevação no trecho (E): zero m
- Pressão total (P_t) no Ponto CS (kPa) = $P_A + J_{\text{kPa}} \pm (E) = 93,02 + 16,97 + 0 = 109,99 \text{ kPa}$

Obs.: Pressão total ($P_t = P_n$) no Ponto CS é de 109,99 kPa. A vazão (Q_{CS}) corrigida no segmento entre o Ponto CS e o Ponto A é de 294,70 L/min.

Exercício – Resposta:

A vazão e a pressão no Ponto CS, considerando em funcionamento simultâneo os quatro chuveiros automáticos (vide Fig. 2.80):

$$Q = 294,7 \text{ L/min}; P = 109,99 \text{ kPa.}$$

2.21 EXERCÍCIO FICTÍCIO V¹²

- **Título:** Sistema de abastecimento de água malhada em anel para chuveiros automáticos.
- **Método de resolução:** por vazões corretivas.

2.21.1 EXERCÍCIO

Calcular a vazão e a pressão no Ponto CS, considerando em funcionamento simultâneo os chuveiros automáticos indicados na figura (vide Fig. 2.81).

ATENÇÃO: Este exercício fictício tem como objetivo apresentar um roteiro básico para elaboração de cálculo, porém é recomendável observar as exigências mínimas da norma técnica adotada, quando da realização de um cálculo para uma situação real.

Dados iniciais para o cálculo

- Valor de Hazen-Williams – tubos (C): 120
- Pressão total igual à Pressão normal ($P_t = P_n$)
- Desconsiderar a perda de carga localizada e elevação nos segmentos
- Medidas em metros (m)
- Legislação e/ou norma técnica a ser adotada: NBR 10897:2014
- Classificação da ocupação: Risco Leve (Hotel)

12 Fonte: ABNT NBR 10.897:2014 – dados para o cálculo.

- Área de operação dos chuveiros automáticos (arbitrado): $A_{op} = 104,88 \text{ m}^2$
- Densidade (mm/min) para área de operação: 4,1 mm/min
- Espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais): E_c e $E_r = 4,60 \text{ m}$ (espaçamento máximo), de densidade menor que 10,20 mm/min
- Espaçamentos entre chuveiros automáticos (distância máxima entre chuveiros e ramais), de acordo com o projeto técnico: Espaçamento entre chuveiros automáticos (E_c) = 4,60 m; Espaçamento entre ramais (E_r) = 3,80 m
- Área de cobertura por chuveiro automático: $A_{cc} = 17,48 \text{ m}^2$
- Número de chuveiros automáticos contidos na área de cálculo: 6 bicos
- Diâmetros internos reais dos segmentos (DI): vide Figura 2.81
- Coeficiente de descarga do chuveiro automático: $80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$
- Vazão (Q_1) e da pressão (P_1) no chuveiro nº 01: $Q_1 = 71,67 \text{ L/min} = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s}$; $P_1 = P_D = 0,80 \text{ bar} = 8,03 \text{ mca} = 80,25 \text{ kPa}$ (arbitrado)

2.21.1.1 PARTE A

ATENÇÃO: São cálculos com valores iniciais (SOLUÇÃO INICIAL – FICTÍCIA), pois pode haver a necessidade da correção final (ITERAÇÃO), conforme os princípios básicos: conservação da massa e de energia do sistema (vide Parte B).

Considerando que o sistema proposto (Anel I e Anel II) é composto de 6 chuveiros automáticos que possuem o mesmo coeficiente de descarga (K), podemos iniciar o cálculo a partir do Ponto D (arbitrado) dando sentido para as vazões e seus valores (iniciais). Pode-se arbitrar o sentido das vazões (vide Fig. 2.81).

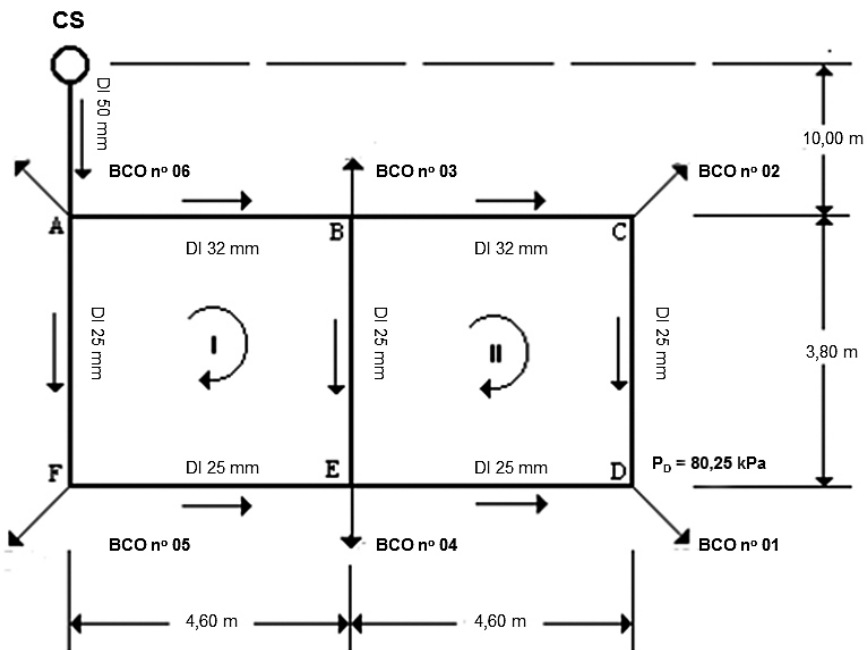


Fig. 2.81 - Área de operação – 6 chuveiros automáticos

Cálculo inicial das vazões e pressões nos segmentos (Anel I e II);

Obs.: Com base na fundamentação teórica e nos roteiros dos exercícios anteriores foram efetuados os cálculos a seguir.

Cálculo Anel II – sentido horário (+) – Pressão no Ponto D;

- $P_1 = P_D = 80,25 \text{ kPa} = 0,80 \text{ bar}$
- $Q_1 = 71,67 \text{ L/min}$
- $K_1 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$
- Vazão no segmento entre o Ponto C e o Ponto D (**arbitrado – divisão no segmento**): **35,83 L/min** = $0,000597 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diâmetro interno real (d_m): 25 mm
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = $1,073 \text{ kPa/m}$

- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $1,073 \times 3,80 = 4,078 \text{ kPa}$
- Pressão total (P_{C}) no Ponto C (kPa) = $P_{\text{D}} + J_{\text{kPa}} = 80,25 + 4,078 = 84,328 \text{ kPa}$
- $P_2 = 84,328 \text{ kPa} = 0,8433 \text{ bar}$
- $Q_2 = 73,46 \text{ L/min}$
- $K_2 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$
- Vazão no segmento entre o Ponto B e o Ponto C: $35,83 + 73,46 = 109,29 \text{ L/min} = 0,001822 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diâmetro interno real (d_{m}): 32 mm
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = $2,551 \text{ kPa/m}$
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $2,551 \times 4,60 = 11,734 \text{ kPa}$
- Pressão total (P_{C}) no Ponto B (kPa) = $P_{\text{C}} + J_{\text{kPa}} = 84,328 + 11,734 = 96,062 \text{ kPa}$

Cálculo Anel II – sentido anti-horário (-) – Pressão no Ponto D;

- Vazão no segmento entre o Ponto E e o Ponto D (**arbitrado – divisão no segmento**): **$35,84 \text{ L/min} = 0,000597 \text{ m}^3/\text{s}$**
- Diâmetro interno real (d_{m}): 25 mm
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = $1,074 \text{ kPa/m}$
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $1,074 \times 4,60 = 4,939 \text{ kPa}$
- Pressão total (P_{C}) no Ponto E (kPa) = $P_{\text{D}} + J_{\text{kPa}} = 80,25 + 4,939 = 85,189 \text{ kPa}$
- $P_4 = 85,189 \text{ kPa} = 0,852 \text{ bar}$
- $Q_4 = 73,84 \text{ L/min}$
- $K_4 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$
- Vazão no segmento entre o Ponto B e o Ponto E: $35,84 + 73,84 = 109,68 \text{ L/min} = 0,001828 \text{ m}^3/\text{s}$ (para o trecho será arbitrado o valor de $54,84 \text{ l/min}$)
- Diâmetro interno real (d_{m}): 25 mm

- Perda de carga distribuída unitária para vazão de 54,84 L/min ($J_{\text{kPa/m}}$)
= 2,358 kPa/m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 2,358 x 3,80 = 8,961 kPa
- Pressão total (P_{t}) no Ponto B (kPa) = $P_{\text{E}} + J_{\text{kPa}} = 85,189 + 8,961 = 94,150$ kPa

Verificação do equilíbrio das pressões no Ponto B;

$$|P_{\text{Ash}} - P_{\text{Asah}}| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

Onde:

- P_{Ash} = pressão no ponto – vazão no sentido horário (kPa);
- P_{Asah} = pressão no ponto – vazão no sentido anti-horário (kPa).

$$|P_{\text{Ash}} - P_{\text{Asah}}| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

$$|96,062 - 94,15| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

$$|1,91| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

Obs.: No Ponto “B” a condição de equilíbrio não é atendida. Adota-se a maior pressão para continuar o cálculo para determinar as vazões fictícias no Anel I.

Ponto Cálculo Anel I – sentido horário (+) – Pressão no A;

- $P_3 = 96,062 \text{ kPa} = 0,9606 \text{ bar}$
- $Q_3 = 78,41 \text{ L/min}$
- $K_3 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$
- Vazão no segmento entre o Ponto A e o Ponto B: $109,29 + 54,84 + 78,41 = 242,54 \text{ L/min} = 0,004042 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diâmetro interno real (d_{m}): 32 mm
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 11,147 kPa/m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = 11,147 x 4,60 = 51,275 kPa
- Pressão total (P_{t}) no Ponto A (kPa) = $P_{\text{B}} + J_{\text{kPa}} = 96,062 + 51,275 = 147,34 \text{ kPa}$

Ponto Cálculo Anel I – sentido anti-horário (-) – Pressão no A;

- Vazão no segmento entre o Ponto F e o Ponto E (**arbitrado – divisão no segmento**): $54,84 \text{ L/min} = 0,000914 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diâmetro interno real (d_m): 25 mm
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 2,358 kPa/m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $2,358 \times 4,60 = 10,848 \text{ kPa}$
- Pressão total (P_l) no Ponto F (kPa) = $P_E + J_{\text{kPa}} = 85,189 + 10,848 = 96,036 \text{ kPa}$
- $P_5 = 96,036 \text{ kPa} = 0,9604 \text{ bar}$
- $Q_5 = 78,40 \text{ L/min}$
- $K_5 = 80 \text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$
- Vazão no segmento entre o Ponto A e o Ponto F: $54,84 + 78,40 = 133,24 \text{ L/min} = 0,002221 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diâmetro interno real (d_m): 25 mm
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 12,185 kPa/m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $12,185 \times 3,80 = 46,302 \text{ kPa}$
- Pressão total (P_l) no Ponto A (kPa) = $P_F + J_{\text{kPa}} = 96,036 + 46,302 = 142,34 \text{ kPa}$

Verificação do equilíbrio das pressões no Ponto B;

$$|P_{\text{Ash}} - P_{\text{Asah}}| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

Onde:

- P_{Ash} = pressão no ponto – vazão no sentido horário (kPa);
- P_{Asah} = pressão no ponto – vazão no sentido anti-horário (kPa).

$$|P_{\text{Ash}} - P_{\text{Asah}}| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

$$|147,34 - 142,34| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

$$|5,00| \leq 0,10 \text{ kPa}$$

Obs.: No Ponto “A” a condição de equilíbrio não é atendida. Há a necessidade de efetuar as correções das vazões nos segmentos dos anéis para equilíbrio das pressões.

2.21.1.2 PARTE B

Correções das vazões nos segmentos, a partir das vazões iniciais, aplicando o Método de Hardy-Cross;

ATENÇÃO: Correções em segmentos comuns.

Caso as correções estejam sendo efetuadas no Anel I;

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{Anel I}} - \Delta Q_{\text{Anel II}}$$

Caso as correções estarem sendo efetuadas no Anel II;

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{Anel II}} - \Delta Q_{\text{Anel I}}$$

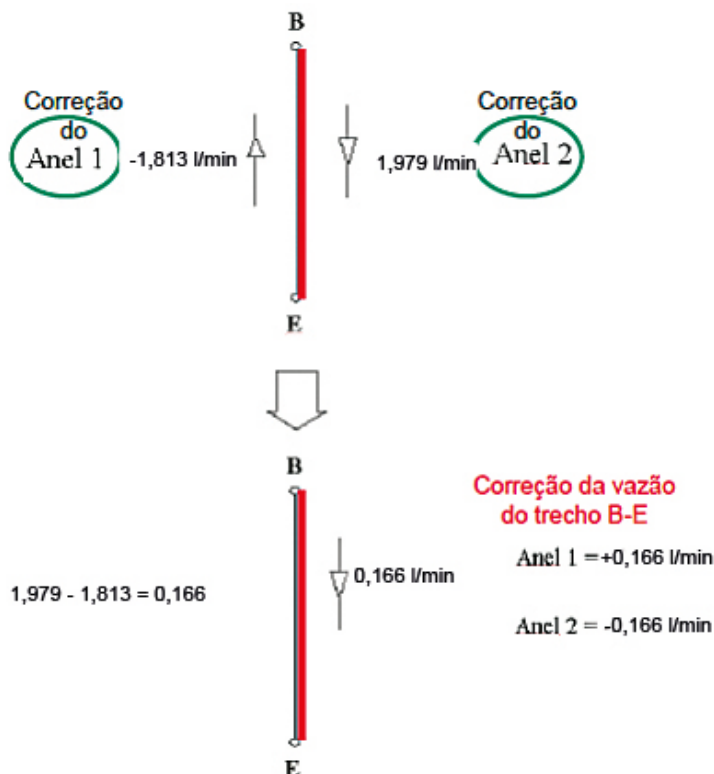


Fig. 2.82 - Correções em segmentos comuns

Planilha de cálculo para correções das vazões e pressões nos segmentos – Anel I;

DADOS INICIAIS				SOLUÇÃO INICIAL (0)				ITERAÇÃO 3 (i)			
Anel	Segmento	Ltotal (m)	dm (mm)	Q0 (l/min)	J0u kPa/m	J0t kPa	J0t X (Q0) ⁻¹	ΔQ0 (l/min)	Q2 (l/min)	Jit kPa	Jit X (Qi) ⁻¹
I	B - E	3,80	25,00	54,84	2,358	8,961	0,163	0,166	55,240	9,083	0,164
	A - B	4,60	32,00	242,54	11,147	51,275	0,211	-1,81295	240,289	50,397	0,210
	F - E	4,60	25,00	-54,84	2,358	-10,848	0,198	-1,81295	-57,092	-11,686	0,205
	A - F	3,80	25,00	-133,24	12,185	-46,302	0,348	-1,81295	-135,490	-47,761	0,353
Somatória						3,09	0,920			0,032	0,931

Observação:

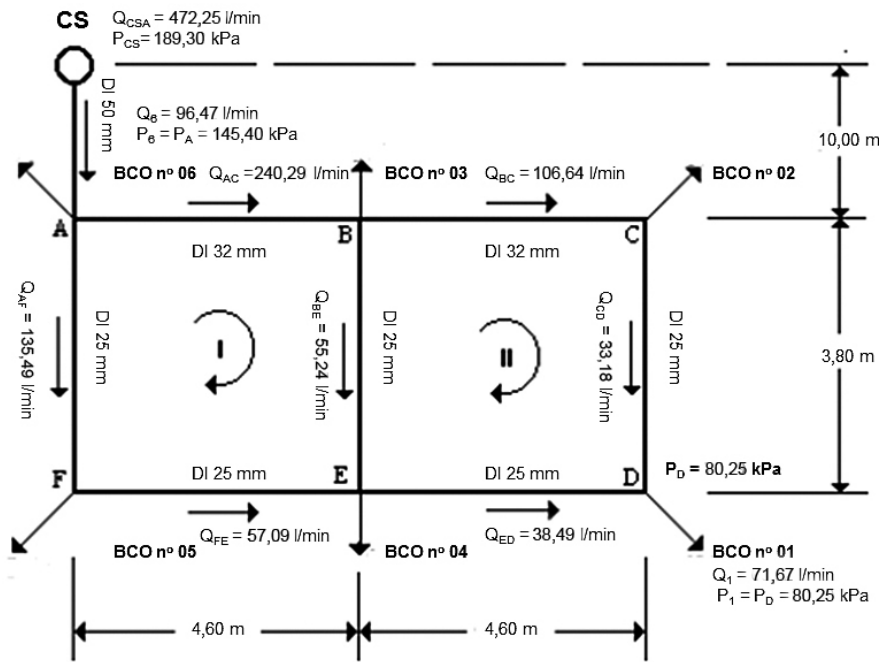
- Valores para a vazão e perda de carga total – no sentido horário adotar valor positivo e no sentido anti-horário adotar valor negativo.

Planilha de cálculo para correções das vazões e pressões nos segmentos – Anel II;

DADOS INICIAIS					SOLUÇÃO INICIAL (0)				ITERAÇÃO 3 (i)		
Anel	Segmento	Ltotal (m)	dm (mm)	Q0 (l/min)	J0u kPa/m	J0t kPa	J0t X (Q0) ⁻¹	ΔQ0 (l/min)	Q2 (l/min)	Jit kPa	Jit X (Qi) ⁻¹
II	C - D	3,80	25,00	35,83	1,073	4,078	0,114	-1,979	33,176	3,537	0,107
	B - C	4,60	32,00	109,29	2,551	11,734	0,107	-1,979	106,640	11,213	0,105
	E - D	4,60	25,00	-35,84	1,074	-4,939	0,138	-1,979	-38,494	-5,636	0,146
	B - E	3,80	25,00	-54,84	2,358	-8,961	0,163	-0,166	-55,240	-9,083	0,164
Somatória						1,91	0,522			0,030	0,523

Obs.: Valores para a vazão e perda de carga total – no sentido horário adotar valor positivo e no sentido anti-horário adotar valor negativo.

Correções das vazões nos segmentos – Anel I e II;



Obs.: A maior pressão no ponto de união e as vazões totais ajustadas devem ser transportadas no cálculo.

Fig. 2.83 – Área de operação – vazões e pressões corrigidas

2.21.1.3 Parte C

Cálculo da Pressão no Ponto A;

$$\begin{aligned}P_{A\ sh} &= P_D + J_{TOTAL\ CD} + J_{TOTAL\ BC} + J_{TOTAL\ AB} \\P_{A\ sh} &= 80,25 + 3,537 + 11,213 + 50,397 \\P_{A\ sh} &= 145,397\text{ kPa} \\&\text{OU}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{A\ sah} &= P_D + J_{TOTAL\ ED} + J_{TOTAL\ FE} + J_{TOTAL\ AF} \\P_{A\ sah} &= 80,25 + 5,636 + 11,686 + 47,761 \\P_{A\ sah} &= 145,333\text{ kPa}\end{aligned}$$

Verificação do equilíbrio das pressões no Ponto A – vazões corrigidas;

$$|P_{Ash} - P_{Asah}| \leq 0,10\text{ kPa}$$

Onde:

- P_{Ash} = pressão no ponto – vazão no sentido horário (kPa);
- P_{Asah} = pressão no ponto – vazão no sentido anti-horário (kPa).

$$\begin{aligned}|P_{Ash} - P_{Asah}| &\leq 0,10\text{ kPa} \\|145,397 - 145,33| &\leq 0,10\text{ kPa} \\|0,067| &\leq 0,10\text{ kPa}\end{aligned}$$

Obs.: No Ponto “A” a condição de equilíbrio é atendida. Pode-se continuar o cálculo.

Cálculo da vazão no chuveiro automático nº 06;

- $P_6 = 145,397\text{ kPa} = 1,454\text{ bar}$
- $Q_6 = 96,47\text{ L/min}$
- $K_6 = 80\text{ L/min} \times \text{bar}^{-0,5}$

Cálculo da vazão no segmento entre o Ponto CS e o Ponto A;

$$\begin{aligned}Q_{CS} &= Q_{AB} + Q_{AF} + Q_6 \\Q_{CS} &= 240,29 + 135,49 + 96,47 \\Q_{CS} &= 472,25 \text{ L/min}\end{aligned}$$

Cálculo da pressão no Ponto A.

- Vazão no segmento entre o Ponto CS e o Ponto A: $472,25 \text{ L/min} = 0,007871 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diâmetro interno real (d_m): 50 mm
- Perda de carga distribuída unitária ($J_{\text{kPa/m}}$) = 4,39 kPa/m
- Perda de carga total ($J_{\text{kPa}} = J_{\text{kPa/m}} \times L_{\text{total}}$) = $4,39 \times 10,00 = 43,90 \text{ kPa}$
- Pressão total (P_t) no Ponto CS (kPa) = $P_A + J_{\text{kPa}} = 145,397 + 43,90 = 189,3 \text{ kPa}$

Exercício – Resposta:

Valor da vazão e da pressão no Ponto CS, considerando em funcionamento simultâneo os seis chuveiros automáticos indicados na figura (vide Fig. 2.84): $Q = 472,25 \text{ L/min}$; $P = 189,3 \text{ kPa}$.

CONCLUSÃO

As medidas de segurança contra incêndio são o conjunto de dispositivos ou sistemas a serem instalados nas edificações ou áreas de risco, necessários para evitar o surgimento de um incêndio, limitar a sua propagação, possibilitar sua extinção e ainda propiciar a proteção à vida, ao meio ambiente e ao patrimônio.

O sistema de chuveiros automáticos trata-se de uma medida de proteção contra incêndio de fundamental importância para proteção das edificações com áreas extensas e alturas consideráveis.

Os profissionais de engenharia possuem a responsabilidade quanto à execução de projetos e dimensionamento desse sistema dentro dos parâmetros técnicos previstos nas legislações pertinentes.

Neste trabalho foi descrito alguns parâmetros básicos para o dimensionamento do cálculo hidráulico, porém, pela complexidade do sistema, bem como a diversidade de ocupações e isométricos a serem projetados para proteção das edificações, há a necessidade de estudo constante sobre o tema.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.897 - Proteção contra incêndio por chuveiro automático.** Rio de Janeiro. 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.897 - Proteção contra incêndio por chuveiro automático.** Rio de Janeiro. 1990.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.580 - Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluídos – Especificação.** Rio de Janeiro. 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.792 – Proteção contra incêndio, por sistema de chuveiros automáticos, para áreas de armazenamento em geral - Procedimento.** Rio de Janeiro. 1997.

BOMBAS: **guia básico / Eletrobrás** [et al.]. Brasília: IEL/NC, 2009.

BRENTANO, T., *Instalações Hidráulicas de Combate a Incêndios nas Edificações*, EDIPURCS, Porto Alegre, 2007.

DA SILVA, Ricardo Jorge Vaz, *Dimensionamento de redes de sprinklers*, FEUP – Faculdade de Engenharia do Porto, 2012.

GONÇALVES, O. M. e FEITOSA, E. P., *Sistema de chuveiros automáticos*, Texto Técnico - Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1998.

National Fire Protection Association (NFPA 13), Standard for the Installation of Sprinkler Systems, 2007.

PEREIRA, Aderson Guimarães. **Abordagem didática para dimensionamento de sistema de hidrantes prediais**. Rev. Cient. Brasileira. v. 3, 2010. Disponível em: <http://www.shitsuka.net/revista/Rev210_atual.pdf>. Acesso em 13 maio. 2012.

PEREIRA, Aderson Guimarães. **Roteiro de fórmulas básicas para o dimensionamento de sistema de hidrantes prediais**. Revista Bombeiros Emergências. São Paulo, 39º ed., p. 4-18, 2006.

PEREIRA, Aderson Guimarães. **Segurança contra incêndio**. São Paulo: EMTS Seguros, 2000.

PEREIRA, Aderson Guimarães. **Segurança contra incêndios**. São Paulo: LTR, 2009.

PEREIRA, Aderson Guimarães. **Sistema de hidrantes prediais para combate a incêndio**. São Paulo: Book Mix, 2004.

PEREIRA, Aderson Guimarães; POPOVIC, Raphael Rodriguez. **Tecnologia em segurança contra incêndio**. São Paulo: LTR, 2007.

PEREIRA, Aderson Guimarães; ARAÚJO JÚNIOR, Carlos Fernando de; MALAQUIAS, Mário Augusto Vicente. **O direito e o ensino aplicados à segurança contra incêndios**. São Paulo: LTR, 2011.

PEREIRA, Aderson Guimarães. **Segurança contra incêndios: Sistemas de hidrantes prediais e de mangotinhos**. São Paulo: LTR, 2013.

PEREIRA, Aderson Guimarães. **Manual Técnico – Sistemas hidráulicos de proteção contra incêndio**. São Paulo: Gráfica Marins & Marins, 2016.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica nº 22 – Sistema de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio**. São Paulo, 2019.

POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica nº 23 – Sistema de chuveiros automáticos**. São Paulo, 2019.

FONTES - REDE MUNDIAL DE COMPUTADORES:

<http://www.eq.ufrj.br/docentes/cavazjunior/sprinkler.pdf>

https://www.faneesp.edu.br/site/documentos/hidraulica_predial/incendio_sprinklers.pdf

<http://bombeirosrj.blogspot.com/2012/01/1-exercicio-resolvido-de-calculo-de.html>

<https://pt.slideshare.net/EsteffersonL/sprinklers-45767112>

ANEXOS

ANEXO 1

VÁLVULA DE GOVERNO E ALARME (VGA)

Fonte: <http://www.protectorfire.com.br/pdf/valvula-de-governo-e-alarme/valvula-de-governo-e-alarme-pro-1268.pdf>

A válvula de governo e alarme é um dispositivo de detecção de fluxo e alarme designada para instalação na tubulação principal do sistema de chuveiros automáticos. Sua finalidade é atuar como um alarme de incêndio a partir da abertura de um chuveiro automático. O alarme é ativado mecanicamente através do fluxo de água para motor de alarme.

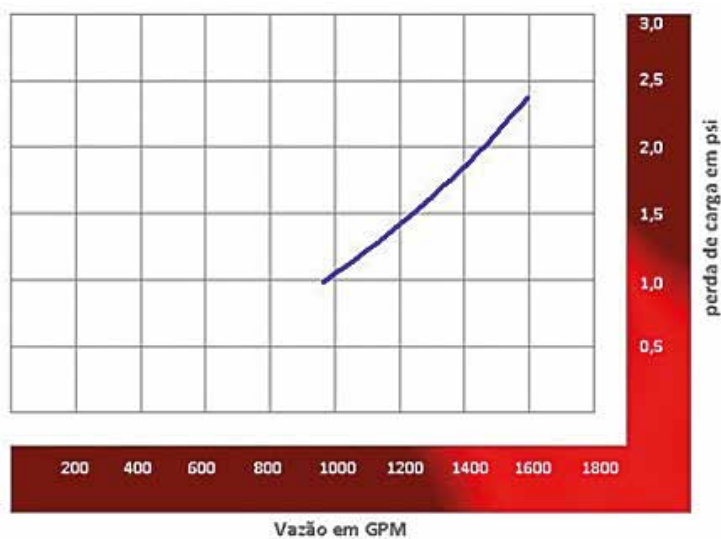
A válvula de governo pode ser fabricada em diâmetros de 4" e 6", devendo ser instalada na posição vertical. A válvula é do tipo retenção e alarme, possui um anel para assentamento no disco da portinhola sulcado, deve ser utilizada em sistema de chuveiro do tipo molhado. A válvula opera na base de pressão diferencial, pressão no sistema acima da válvula é sempre maior do que a pressão de baixo. Um desvio pode acomodar pequenos picos de pressão, então é recomendável que uma câmara de retardo seja instalada para evitar alarmes falsos devido às variáveis de pressão. Quando um chuveiro automático opera, a portinhola se abre, permitindo um fluxo de água no sistema, e ativa o gongo de alarme. O alarme continuará a soar até o fechamento da válvula do lado no *trim* do alarme.



- Características técnicas
- Conexão de entrada 4" e 6";
- Conexão de saída 4" e 6";
- Flanges padrão ANSI B16.5;
- Pressão máxima de trabalho: 175 psi (12,3 kgf/cm²) = 1.206,58 kPa = 12,07 bar = 123,04 mca;
- Pressão de teste: 350 psi (24,6 kgf/cm²);
- Fornecida com *trim*, câmara de retardo, motor de alarme, pressostato e acessórios para instalação;
- Fabricada em ferro fundido;
- Com aprovação UL;
- Acabamento na cor vermelha.
- Perda de carga – Válvula de DN 100 mm (4")



PERDA DE CARGA – VÁLVULA DE DN 150 MM (6")



INSTALAÇÃO

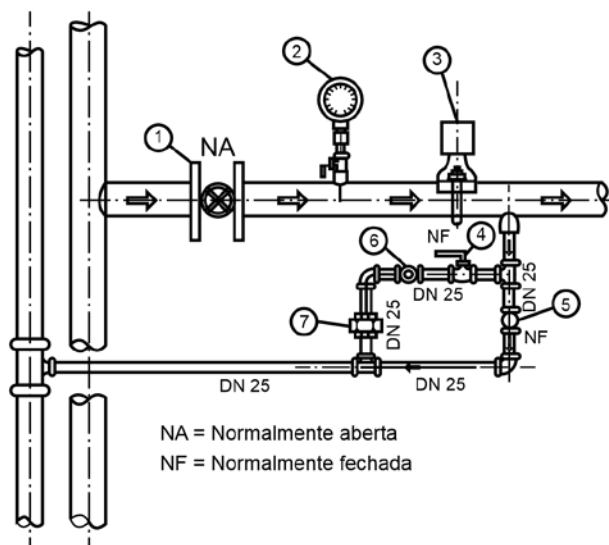


ANEXO 2

CONEXÃO SETORIAL DE DRENO, ENSAIO E ALARME (CS)

Fonte: ABNT NBR 10.897:2014

Em edificações de múltiplos pavimentos, a conexão de teste de alarme de cada pavimento deve ser conforme detalhe abaixo.



Legenda

NA = Normalmente aberta;

NF = Normalmente fechada;

1. Válvula de bloqueio;

2. Manômetro 0 a 20 mca;

3. Chave de fluxo com retardo pneumático, ligada ao painel de alarmes;

4. Válvula (T) teste – (D) drenagem;

5. Visor de fluxo;

6. União de aço galvanizado assento plano, com placa de orifício, resistente à corrosão, e orifício igual ao menor chuveiro utilizado na instalação.

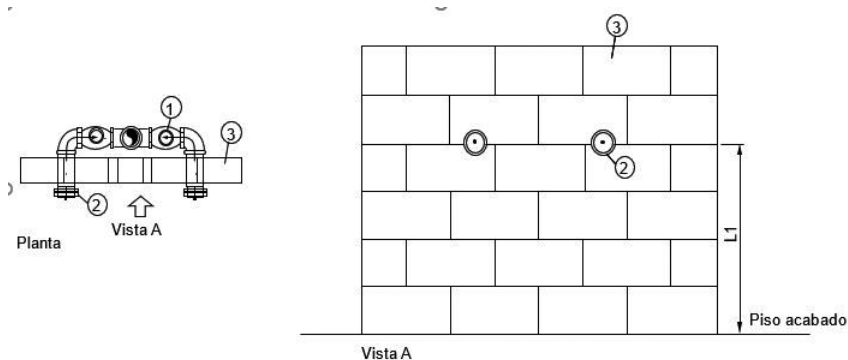
ANEXO 3

CONEXÃO DE RECALQUE USO EXCLUSIVO DO CORPO DE BOMBEIROS

Fonte: ABNT NBR 10.897:2014

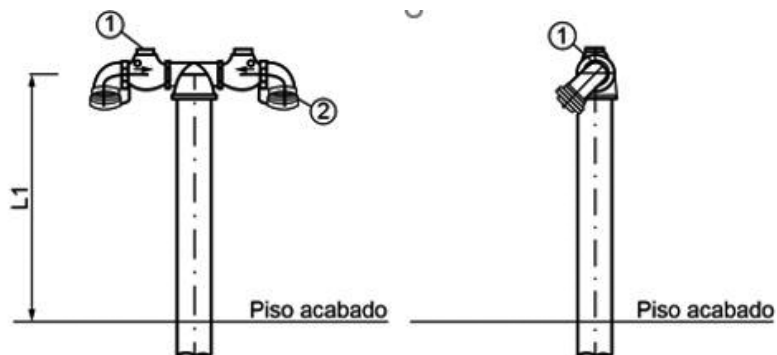
A tomada de recalque (também conhecida como registro de recalque ou conexão de recalque) é um dispositivo hidráulico destinado a permitir a introdução de água proveniente de fontes externas, na instalação hidráulica de combate a incêndio das edificações.

A conexão de recalque do sistema de chuveiros automáticos deve possuir duas entradas de água de DN 65 mm, providas de adaptadores e tampões tipo engate rápido, para uso exclusivo do Corpo de Bombeiros. Poderá ser localizada: na fachada principal ou muro de divisa com a rua, a altura mínima de 0,60 m e máxima de 1,00 m em relação ao piso; em coluna, junto à via de acesso de veículo ou via de circulação interna, de modo que permita fácil localização e acesso de viaturas do Corpo de Bombeiros; enterrada em uma caixa de alvenaria no passeio público.



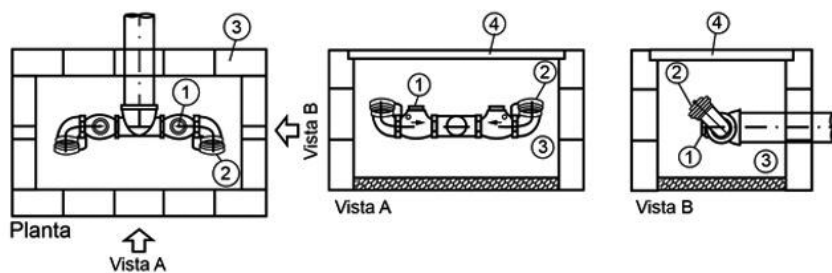
Legenda: 1. Válvula de retenção; 2. Adaptadores *storz* com tampão; 3. Parede de alvenaria; $L1 = 0,60 \text{ m a } 1,00 \text{ m}$.

Fig. 1 - Conexão de recalque na fachada da edificação



Legenda: 1. Válvula de retenção; 2. Adaptadores *storz* com tampão; 3. Parede de alvenaria; $L1 = 0,60 \text{ m}$ a $1,00 \text{ m}$.

Fig. 2 - Conexão de recalque em coluna



Legenda: 1. Válvula de retenção; 2. Adaptadores *storz* com tampão; 3. Caixa de alvenaria; 4. Tapa de calçada de ferro fundido.

Fig. 3 - Conexão de recalque em caixa de alvenaria

MODELO DE PLANILHA DE CÁLCULO - SPK

[illegible]

ANEXO 5

PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS

Fonte: <https://lcsime.files.wordpress.com/2012/08/catc3a1logo-bombas-schneider.pdf>

Comprimentos Equivalentes em Conexões										
Tabela de comprimentos equivalentes em metros de canalização, para cálculo das perdas de carga localizadas										
Conexão		Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização								
		Material	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
Curva 90°		PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
		Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	2,1
Curva 45°		PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
		Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Joelho 90°		PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3
		Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	4,2
Joelho 45°		PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9
		Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,9
Tê de Passagem Direta		PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3
		Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,7
Tê de Saída Lateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	8,4
Tê de Saída Bilateral		PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	10,0
		Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	8,4
União		PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2
		Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04
Saída de Canalização		PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	4,9
		Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	4,0
Luva de Redução (R)		PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	1,2
		Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	1,07
Registro de Gaveta ou Esfera Aberto		PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,1
		Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7
Registro de Globo Aberto		Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	43,0
Registro de Ângulo Aberto		Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	21,0
Válvula de Pil com Crivo		PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	37,4
		Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	30,0
Válvula de Retenção	Horizontal 	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	10,4
	Vertical 	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	16,1
Observações: 1 - Os valores acima estão de acordo com a NBR-5626/82 e Tabela de Perda de Carga da Tigre para PVC rígido e cobre, e NBR-92/80 e Tabela de Perda de Carga Tupy para ferro fundido galvanizado, bronze ou latão. 2 - (*) Os diâmetros indicados referem-se à menor bitola de reduções concêntricas, com fluxo da maior para a menor bitola, sendo a bitola maior uma medida acima da menor. Ex: 1 1/4" x 1" - 1 1/2" x 1 1/4"										

