



**ÁGATHA VAZ DA CRUZ COSTA**

**TECNOLOGIA BIM APLICADA À CONCEPÇÃO DO  
SISTEMA HIDRÁULICO PREDIAL DE COMBATE A  
INCÊNDIO DO MUSEU NACIONAL/ UFRJ**

**LAVRAS-MG**

**2023**

**ÁGATHA VAZ DA CRUZ COSTA**

**TECNOLOGIA BIM APLICADA À CONCEPÇÃO DO SISTEMA  
HIDRÁULICO PREDIAL DE COMBATE A INCÊNDIO DO MUSEU  
NACIONAL/ UFRJ**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do  
Curso de Engenharia Civil, para a  
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador

**LAVRAS-MG**

**2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Costa, Ágatha Vaz da Cruz.

Tecnologia BIM aplicada à concepção do sistema hidráulico  
predial de combate a incêndio do Museu Nacional/UFRJ / Ágatha  
Vaz da Cruz Costa. - 2023.

66 p.

Orientador(a): Michael Silveira Thebaldi.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Modelagem de Informação da Construção. 2. Sistema de  
Chuveiros Automáticos. 3. PPCI. I. Thebaldi, Michael Silveira. II.  
Título.

**ÁGATHA VAZ DA CRUZ COSTA**

**TECNOLOGIA BIM APLICADA À CONCEPÇÃO DO SISTEMA  
HIDRÁULICO PREDIAL DE COMBATE A INCÊNDIO DO MUSEU  
NACIONAL/ UFRJ**

**BIM TECHNOLOGY APPLIED TO THE WATER-BASED FIRE  
PROTECTION SYSTEM DESIGN OF THE NATIONAL MUSEUM/UFRJ**

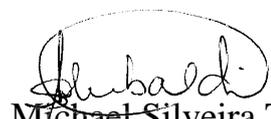
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do  
Curso de Engenharia Civil, para a  
obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 21 de julho de 2023.

Dr. Michael Silveira Thebaldi UFLA

Me. Mateus Alexandre da Silva UFLA

Me. Miguel Angel Corea Alvarez UFLA

  
Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi  
Orientador

**LAVRAS-MG**

**2023**

## RESUMO

O objetivo, por meio do presente estudo, foi a análise e dimensionamento do projeto hidráulico de combate a incêndio, desenvolvido para o Museu Nacional – UFRJ, de acordo com especificações normativas e aplicação de preceitos da tecnologia BIM. Foi feita uma apresentação das diretrizes normativas que abrangem o projeto das instalações hidráulicas de combate a incêndio e aspectos da tecnologia BIM. Após uma breve exposição sobre o layout da edificação, fez-se a sua caracterização nos parâmetros técnicos normativos, visando obter os requisitos mínimos no que diz respeito a medidas exigidas para prevenção e combate a incêndio. Por fim, foi desenvolvido o estudo do processo de dimensionamento e concepção da rede hidráulica através das especificações técnicas normativas, além da análise acerca das contribuições da tecnologia BIM para o fluxo de projeto. Devido ao histórico anterior de incêndios no Museu Nacional, o dimensionamento da rede preventiva foi feito a favor de uma maior segurança através da adoção de medidas adicionais como a rede de chuveiros automáticos e captação de água de duas fontes distintas, que não são exigidas por norma para a edificação em questão. A reserva de incêndio foi locada na forma de reservatório inferior, com adoção de 2 bombas principais trabalhando como reserva mútua e uma bomba *Jockey*. O sistema hidráulico foi composto por 26 hidrantes, sendo 6 no Alípio e 20 no Paço de São Cristóvão, além de 1118 chuveiros automáticos distribuídos pelos blocos B1, B2, B3 e B4. A demanda total desse sistema foi de 1518 litros por minuto, o que exigiu a instalação de registros de recalque do tipo duplo locados na calçada. A pressão total, exigida pelos chuveiros automáticos foi de 88 metros de coluna d'água. Além da modelagem em si, a tecnologia BIM foi aplicada nos processos de elaboração de quantitativos, documentação e compatibilização de disciplinas de projeto na forma de atualização semanal do modelo BIM na plataforma BIM Track. O processo de compatibilização foi vantajoso em questões de análise de conflitos, que foram expostos diretamente ao projetista na forma de *issues*. Uma desvantagem, porém, foi a curta periodicidade dessas atualizações no modelo, que por muitas vezes resultou em maiores conflitos devido a mudanças constantes no traçado.

**Palavras-chave:** Modelagem de Informação da Construção. Sistema de Chuveiros Automáticos. PPCI.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASME	<i>The American Society of Mechanical Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
BIM	<i>Building Information Model</i>
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militar do estado do Rio de Janeiro
CCAE	Chuveiro automático de controle para aplicações específicas
COSCIP	Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico
CPVC	Policloreto de Vinila Clorado
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
ESFR	Chuveiro automático de resposta e supressão rápidas
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
NT	Nota Técnica
PEAD	Polietileno
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

## LISTA DE SÍMBOLOS

$Q$	vazão (m <sup>3</sup> /s)
$P$	pressão (kPa)
$A_S$	área de cobertura de chuveiros automáticos (m <sup>2</sup> );
$A_0$	área de operação (m <sup>2</sup> )
$N$	número de chuveiros na área de operação ou recinto (unidade)
$N_R$	número de chuveiros por ramal na área de operação (unidade)
$A_{S,máx}$	área máxima de cobertura de um chuveiro automático (m <sup>2</sup> )
$x$	distância entre ramais na área de operação (m)
$A_{SR}$	área individual de cobertura de um chuveiro no recinto de maior demanda hidráulica (m <sup>2</sup> )
$A_r$	área total do recinto (m <sup>2</sup> )
$Q_{mín}$	vazão mínima do chuveiro mais hidráulicamente desfavorável (L/min)
$d$	densidade (L/min/m <sup>2</sup> )
$K$	fator de carga ( $\frac{L}{\text{min} \cdot \text{bar}^{1/2}}$ )
$P_{mín}$	pressão mínima, dada no chuveiro mais hidráulicamente desfavorável (bar)
$d_{a-b}$	diâmetro do trecho analisado (m)
$h_{p_{a-b}}$	perda de carga no trecho analisado (m)
$L_{a-b}$	comprimento do trecho analisado (m)
$Q_{a-b}$	vazão no trecho analisado (m <sup>3</sup> /s)
$C$	coeficiente de atrito (adimensional)
$P_n$	pressão normal (mca)
$P_v$	pressão de velocidade (mca)
$v$	velocidade (m/s)
$t$	tempo de duração da reserva de água (min)
$\gamma$	peso específico da água (N/m <sup>3</sup> )
$H_t$	altura manométrica total (m)
$\eta$	rendimento da bomba (adimensional)

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes de um chuveiro automático.....	14
Figura 2 - Sistemas de rede aberta.....	16
Figura 3 - Sistemas de rede fechada.....	16
Figura 4 - Sistema de tubo molhado.....	17
Figura 5 - Sistema de tubo seco.....	17
Figura 6 - Distâncias máximas a serem observadas no caso de obstrução, junto ao teto, de chuveiros automáticos, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020. ....	19
Figura 7 - Distâncias máximas a serem observadas no caso de obstrução ao lado de paredes, de chuveiros automáticos, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020. ....	20
Figura 8 - Distâncias limite a serem observadas no caso de obstrução à descarga de chuveiro automático causada por pilar ou tesoura avzada, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020 .....	20
Figura 9 - Distâncias limite a serem observadas no caso de obstrução à descarga de chuveiro automático causada por elementos suspensos ou sobre o piso, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020 .....	21
Figura 10 - Distância entre chuveiros a ser observada no caso de teto com desnível superior a 0,90m, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020 .....	22
Figura 11 - Cotas para cálculo da área de cobertura.....	22
Figura 12 - Elementos previstos para conexão de teste de alarme em edifícios de múltiplos pavimentos, conforme estabelecido pela NBR 10897 e NFPA 13.....	23
Figura 13 - Curvas de densidade e área.....	24
Figura 14 - Área de operação de chuveiros automáticos para cálculo utilizando o método de... densidade e área .....	25
Figura 17 - Diferentes configurações da tomada de recalque para uso do Corpo de Bombeiros, segundo NBR 10897:2020.....	31
Figura 19 - Processo colaborativo no projeto BIM .....	36
Figura 20 - Processo de documentação do modelo BIM.....	36
Figura 21 - Representação esquemática da divisão em blocos do Museu Nacional - Paço de São Cristóvão, Alípio e Áreas envoltórias.....	37
Figura 22 - Edificação do Paço (destaque em vermelho) em relação as demais áreas do Museu Nacional e sua fachada principal .....	37
Figura 23 - Planta do pavimento L1 e corte esquemático com indicação dos pavimentos no Paço	

de São Cristóvão .....	38
Figura 24 - Planta do pavimento L2 e corte esquemático com indicação dos pavimentos no Paço de São Cristóvão .....	38
Figura 25 - Planta do pavimento L3 e corte esquemático com indicação dos pavimentos no Paço de São Cristóvão .....	39
Figura 26 - Localização do bloco Alípio em relação ao Paço de São Cristóvão: Captura de tela da plataforma BIM Track .....	39
Figura 27 - Pavimentos do Alípio - Corte esquemático em perspectiva. ....	40
Figura 28 - Planta do pavimento S1 e corte esquemático com indicação dos pavimentos da edificação do Alípio.....	40
Figura 29 - Planta do pavimento S2 e corte esquemático com indicação dos pavimentos da edificação do Alípio.....	41
Figura 30 - Planta do pavimento S3 e corte esquemático com indicação dos pavimentos da edificação do Alípio .....	41
Figura 31 - Curva característica - Relação entre altura manométrica, vazão e modelos de bombas disponíveis na fabricante KSB .....	45
Figura 32 - Aba de Propriedades de elemento no Revit- Preenchimento de parâmetros do Subsistema e Setor .....	46
Figura 33 - Distribuição dos chuveiros automáticos na área hidráulicamente mais desfavorável .....	48
Figura 34 - Conexões de teste de alarme de incêndio: Configuração adotada em projeto. ....	50
Figura 35 - Exemplo de <i>issue</i> com diretrizes para posicionamento de <i>sprinklers</i> em relação aos grids do forro .....	50
Figura 36 -Captura de tela da plataforma BIM Track- Exemplo de <i>issue</i> acerca de conflito entre chuveiro automático e luminária .....	51
Figura 37- Locação, em planta dos hidrantes nos três pavimentos principais do Paço de São Cristóvão.....	52
Figura 38 - Locação, em planta dos hidrantes nos três pavimentos principais do Alípio. ....	52
Figura 39- Modelo de hidrantes utilizados na modelagem BIM.....	53
Figura 40 - Relação entre altura manométrica, vazão e modelos de bombas disponíveis na fabricante KSB e ponto de projeto para a bomba principal. ....	54
Figura 41 - Curvas características da bomba KSB linha “Meganorm” modelo “50-250” 3500 rpm e ponto de projeto .....	54
Figura 42- Cavalete de automação do sistema de bombas.....	55

Figura 43 - Esquema do sistema de bombas, sucção e recalque. ....56

## LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1- Materiais utilizados em instalações hidráulicas de combate a incêndio .....	12
Tabela 2- Distâncias máximas a serem observadas no caso de obstrução, junto ao teto, de chuveiros automáticos, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020. ....	19
Tabela 3- Dimensões A e B para obstruções suspensas ou sobre o piso.....	21
Tabela 4- Valores de C de Hazen-Williams para tubos novos .....	28
Tabela 5- Componentes dos diferentes sistemas de hidrantes e mangotinhos, segundo NT 2-02:2019 .....	29
Tabela 7- Exigências para edificações do grupo F Divisão F-1 com área superior a 900 m <sup>2</sup> , conforme estabelecido pelo COSCIP. ....	42
Tabela 8- Duração da reserva de água RTI de acordo com a categoria de risco da edificação, segundo o CBMERJ .....	44
Tabela 9- Vazões, perdas de carga e pressões obtidas com o método de cálculo hidráulico por recinto para o sistema de chuveiros automáticos.....	49
Tabela 10- Vazão, perda de carga e pressão requerida pelo sistema de hidrantes .....	53

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
1.1	Objetivos	8
1.1.1	Objetivo geral	8
1.1.2	Objetivos específicos	9
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>10</b>
2.1	Instalações hidráulicas prediais de combate a incêndio	10
2.1.1	Normatização nacional	10
2.1.1.1	Leis e Decretos	11
2.1.1.2	Normas ABNT	11
2.1.1.3	Notas Técnicas – Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro	13
2.1.2	Projeto	14
2.1.2.1	Sistema de combate a incêndio por chuveiros automáticos	14
2.1.2.2	Sistema de combate a incêndio por hidrantes e mangotinhos	29
2.1.2.3	Sistema combinado e abastecimento de água e bombeamento	30
2.1.3	Estado da Arte	33
2.2	Modelagem da informação da construção (BIM)	35
2.2.1	Fluxo de projeto	35
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>37</b>
3.1	Objeto de estudo	37
3.2	Características e classificação da edificação segundo CBMERJ e ABNT	41
3.3	Dimensionamento e concepção hidráulica	42
3.3.1	Rede de hidrantes e mangotinhos	42
3.3.2	Rede de chuveiros automáticos	43
3.3.3	Reserva Técnica de Incêndio	44
3.3.4	Sistema de Bombas de incêndio	44
3.4	Modelagem e processos bim	46
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>48</b>
4.1	Sistema de chuveiros automáticos	48
4.2	Sistema de hidrantes e mangotinhos	51
4.3	Sistema de bombeamento	53
4.4	Reserva de incêndio e hidrantes de recalque	56
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>58</b>
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICES	62

## **1. INTRODUÇÃO**

A ocorrência de incêndios em edificações pode culminar em grandes desastres que ocasionam em mortes e perdas materiais. Apesar disso, a importância de estabelecer e cumprir as medidas protetivas e combativas a incêndios ficou evidente após o acontecimento de tragédias, como o incêndio na Boate Kiss em Santa Maria, Rio Grande do Sul, no ano de 2013. A edificação do Museu Nacional-UFRJ, localizado no Rio de Janeiro sofreu em 2018 um incêndio de proporções catastróficas, que destruiu grande parte de seu acervo, e causou perdas imensuráveis ao patrimônio histórico-cultural do Brasil (FERREIRA, 2019). Segundo Oliveira (2021) esse incêndio causou não só perdas ao acervo, mas também grande prejuízo à estrutura, de forma a impossibilitar a visita ou utilização da edificação. As proporções do incêndio de 2018 se devem aos materiais com pouca resistência ao fogo e, ainda, mecanismos ineficazes de prevenção e combate a incêndio.

A água é um ótimo agente extintor, principalmente em edificações, uma vez que age sobre o incêndio de materiais sólidos, por meio do resfriamento e diminuição da inflamabilidade, além de ser abundante e de baixo custo (BRENTANO, 2007). A água é utilizada em instalações de combate a incêndio, que são compostas por hidrantes e mangotinhos ou chuveiros automáticos, cujo dimensionamento e premissas de projeto devem seguir especificações de órgãos normativos competentes (BRASIL, 2017).

A tecnologia BIM surge como ferramenta de auxílio não só para modelagem, mas também para elaboração de orçamentos, compatibilização entre projetos e no acompanhamento do ciclo de vida da edificação, através dos parâmetros de informação presentes em cada elemento do modelo BIM.

### **1.1 Objetivos**

#### **1.1.1 Objetivo geral**

Conceber o projeto hidráulico de combate a incêndio desenvolvido para o Museu Nacional – UFRJ, de acordo com especificações normativas nacionais e aplicação da tecnologia BIM.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar e verificar as variáveis de projeto a serem adotadas para projeto de rede de combate a incêndio na edificação estudada;
- Dimensionar a rede de combate a incêndios proposta; e
- Expor e discutir sobre as características do projeto e soluções adotadas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Instalações Hidráulicas Prediais De Combate A Incêndio

A água é o agente extintor mais conhecido pelo ser humano e se destaca pela sua abundância e ótima capacidade de absorção de calor. Ela age combatendo reações de combustão de materiais sólidos que queimam em superfície e profundidade, deixando resíduos (CBMERJ, 2019). Deste modo, tem-se que esta é uma ótima ferramenta para combater a incêndios em edificações, sendo a mais utilizada para este fim (BRENTANO, 2007).

A eficiência da água como agente extintor se dá pelo fato de que ela proporciona diferentes formas de combate ao fogo de acordo com o estado físico em que se encontra. No estado líquido é capaz de agir sobre os elementos combustíveis e comburentes, absorvendo o calor da reação de combustão, promovendo o resfriamento. Essa absorção de calor faz com que a água se transforme em vapor, capaz de reduzir a taxa de oxigênio no ambiente e promover menor inflamabilidade (BRENTANO, 2007).

O conjunto de bombas de incêndio, tubulação, hidrantes, mangotinhos, reservatórios para incêndio, mangueiras e chuveiros automáticos (*sprinklers*) compõem as instalações hidráulicas de prevenção e combate a incêndio, também conhecidas como Sistema Preventivo (CBMERJ, 2019). Segundo Brentano (2007), esse sistema pode ser de duas formas: sob comando ou automático.

O sistema sob comando é composto por elementos que devem ser operados manualmente: os hidrantes e mangotinhos, localizados estrategicamente pela área que deve ser protegida, seguindo preceitos estabelecidos pela norma brasileira NBR 13714 (ABNT, 2000). Apesar da operação manual, após o acionamento do sistema o abastecimento deste deve ser automático a partir das bombas e/ou da gravidade (BRENTANO, 2007).

Já um sistema automático, de acordo com Brentano (2007), é composto geralmente por *sprinklers*, que devem ser distribuídos de forma adequada no espaço a ser protegido, seguindo especificações da NBR 10897 (ABNT, 2020). Os elementos são acionados a partir de um sistema de detecção de incêndio.

#### 2.1.1 Normatização nacional

No Brasil, a responsabilidade da normatização acerca da prevenção e combate a incêndio se dá de forma conjunta entre diversos órgãos: a Associação Brasileira de Normas Técnicas

(ABNT), o Corpo de Bombeiros Militar, os governos federal, estaduais e municipais e os Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia (CREAs), entre outros. Essas organizações trabalham mutuamente, desenvolvendo documentos técnicos, leis e decretos que objetivam a segurança da vida e do patrimônio através da especificação de diretrizes de projetos, desempenho de materiais e condutas preventivas (BRASIL, 2017; CBMERJ, 2019; RIO DE JANEIRO, 2018).

#### 2.1.1.1 Leis e Decretos

A Lei nº 13.425, de 30 de março de 2017 estabelece diretrizes acerca da prevenção e combate a incêndio em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público (BRASIL, 2017). Esse documento é válido para todo o território nacional e define também a responsabilidade dos municípios, estados e do Corpo de Bombeiros acerca desse tema.

Art. 2º O planejamento urbano a cargo dos Municípios deverá observar normas especiais de prevenção e combate a incêndio e a desastres para locais de grande concentração e circulação de pessoas, editadas pelo poder público municipal, respeitada a legislação estadual pertinente ao tema (BRASIL, 2017).

Art. 3º Cabe ao Corpo de Bombeiros Militar planejar, analisar, avaliar, vistoriar, aprovar e fiscalizar as medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público, sem prejuízo das prerrogativas municipais no controle das edificações e do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano e das atribuições dos profissionais responsáveis pelos respectivos projetos (BRASIL, 2017).

No estado do Rio de Janeiro, onde está localizado o Museu Nacional, o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSCIPI) estabelecido por meio do Decreto-Lei nº42, de 17 de dezembro de 2018, estabelece exigências para edificações e atividades, de forma a promover segurança contra incêndio, possibilitando assim proteção à vida, ao patrimônio e ao meio ambiente (RIO DE JANEIRO, 2018). Baseando-se em documentos técnicos desenvolvidos pelo CBMERJ e ABNT, o COSCIPI estabelece quais medidas de segurança contra incêndio e pânico deverão ser tomadas, em função de características como: ocupação e atividade, número de pavimentos, área e população, dentre outras.

#### 2.1.1.2 Normas ABNT

No âmbito dos procedimentos para projeto de Instalações Hidráulicas Prediais de Combate a Incêndio, as normas mais importantes são:

- a) NBR 10897 - Proteção contra Incêndio por Chuveiro Automático. Estabelece requisitos mínimos para todos os elementos envolvidos nas instalações prediais de combate a incêndio por meio do uso de chuveiros automáticos (ABNT, 2020);
- b) NBR 13714 – Sistemas de Hidrantes e de Mangotinhos para Combate a Incêndio. Indica parâmetros para dimensionamento, instalação e manutenção de componentes do sistema de hidrantes e mangotinhos para combate a incêndio (ABNT, 2000);

Além das normas supracitadas, a ABNT estabelece outros documentos que são imprescindíveis para a efetividade na prevenção e no combate a incêndio. Esses são responsáveis por fixar parâmetros de desempenho de materiais, simbologia adotada em projeto e sinalização das edificações e locais de evento, além de promover treinamento acerca da operação de equipamentos e evacuação de locais atingidos por incêndios (ABNT, 2023).

O sistema sob comando, composto pelas instalações dos hidrantes e mangotinhos necessita de operadores devidamente preparados para a operação. Devido a isso, a NBR 13714 (ANBT, 2000) estabelece que é necessária a formação de uma brigada de incêndio, seguindo especificações da NBR 14276 (ABNT, 2006). A brigada é formada por uma equipe de pessoas treinadas para combater e prevenir inícios de incêndios, promover o abandono da área e prestar os primeiros socorros, se necessário (BRENTANO, 2007; ABNT, 2000, 2006).

Os componentes das instalações hidráulicas de combate a incêndio devem ser constituídos por materiais resistentes ao calor e capazes de promover estanqueidade e estabilidade se expostos ao fogo. Apesar de estabelecer opções predefinidas de tipos de tubos e conexões a serem utilizadas nas instalações, a NBR 10897 permite uso de materiais não convencionais, desde que os elementos sejam ensaiados e tenham seu desempenho comprovado por instituições de competência técnica reconhecida (ABNT, 2020). Os materiais convencionais, permitidos pela normatização brasileira, juntamente com as respectivas normas regulamentadoras a serem consultadas, podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Materiais utilizados em instalações hidráulicas de combate a incêndio.

Descrição	Normas Regulamentadoras
Tubulação de aço (com ou sem costura)	NBR 5580; NBR 5587; NBR 5590
Tubulação em cobre	NBR 13206
Tubulação em ferro dúctil	NBR 7675; ISSO 2531
Tubulação em PVC	NBR 5647-1; NBR 5647-2; NBR 5647-3; NBR 5647-4

Tubulação em Cloridreto de Vinila Clorado (CPVC)	NBR 15647; NBR 15648
Tubulação em polietileno (PEAD)	NBR 15561
Conexões de ferro fundido maleável	NBR 6943; NBR 6925
Conexão do tipo solda em aço e flanges de aço	ASME B16.9
Conexões de cobre	NBR 11720
Conexões em PEAD por termofusão ou eletrofusão	NBR 15593
Conexões em CPVC	NBR 15647; NBR 15648
Acoplamentos mecânicos ranhurados	ANSI/AWWA C 606; ISSO 6182-12
Junta elástica para tubos e conexões	NBR 7674

---

Fonte: Adaptado de ABNT, 2020.

### 2.1.1.3 Notas Técnicas – Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro

Dentre outras funções vinculadas ao Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ), compete ao órgão “estudar, analisar, planejar e elaborar as normas de segurança contra incêndio e pânico, assim como exigir e fiscalizar seu cumprimento” (RIO DE JANEIRO, 2018, p.1).

A normatização acerca dos procedimentos necessários para proteção contra incêndio e pânico podem ser consultadas nas Notas Técnicas (NTs) desenvolvidas pelo CBMERJ. Elas são documentos elaborados por comissões normativas do próprio Corpo de Bombeiros, desenvolvidos de forma a cumprir especificações do COSCIP. As NTs tratam desde medidas de segurança a serem definidas em projeto até processos necessários no cadastro de profissionais habilitados, fiscalização e inspeção de edificações e áreas de risco (CBMERJ, 2019).

Segundo o CBMERJ (2019), as Notas Técnicas são elaboradas utilizando-se como referência as normas brasileiras e outros documentos técnicos internacionais, como os padrões da *National Fire Protection Association* (NFPA), dos EUA, por exemplo. Essas NTs são divididas em diversos grupos de acordo com seu conteúdo. No âmbito das instalações hidráulicas prediais de combate a incêndio, se destacam:

- a) NT 2-02: Estabelece condições para dimensionamento, instalação, manutenção, manuseio e características de sistemas de hidrantes e mangotinhos para combate a incêndio em edificações (CBMERJ, 2019a);

- b) NT 2-03 (parte 1): Fixa parâmetros técnicos para projeto e execução do sistema de chuveiros automáticos/*sprinklers* em edificações, exceto em áreas de armazenamento (CBMERJ, 2019b);
- c) NT 2-03 (parte 2): Estabelece parâmetros técnicos para projeto e execução do sistema de chuveiros automáticos/*sprinklers* para áreas de armazenamento (CBMERJ, 2019c);
- d) NT 2-04: Estabelece princípios para escolha de bombas centrífugas para sistemas hidráulicos de combate a incêndio (CBMERJ, 2019d);
- e) NT 2-15: Fixa requisitos para instalação de hidrantes urbanos, conforme estabelecido pelo COSCIP (CBMERJ, 2019e).

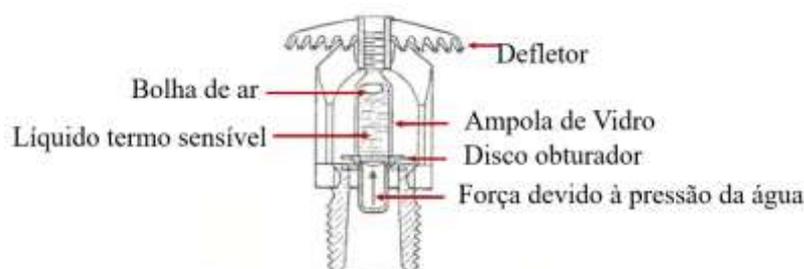
## 2.1.2 Projeto

O projeto das instalações hidráulicas de combate a incêndio deve seguir diretrizes e parâmetros técnicos especificadas pelas normas brasileiras NBR 13714 (ABNT, 2000) e NBR 10897 (ABNT, 2020). A consulta desses documentos para verificação das peculiaridades de projeto de ambos os sistemas preventivos é de extrema importância (ABNT, 2000; ABNT, 2020).

### 2.1.2.1 Sistema de combate a incêndio por chuveiros automáticos

Os chuveiros automáticos são compostos por corpo, obturador, elemento termo sensível e defletor, conforme pode ser visto na Figura 1 (BRENTANO, 2007).

Figura 1 - Componentes de um chuveiro automático.



Fonte: Adaptado de Brentano (2007).

De acordo com Brentano (2007), o princípio de funcionamento do chuveiro automático se dá por meio do rompimento do elemento termossensível quando atingida a temperatura de acionamento.

De acordo com a NBR 10897 (ABNT, 2020) os chuveiros automáticos utilizados em projeto podem ser classificados conforme:

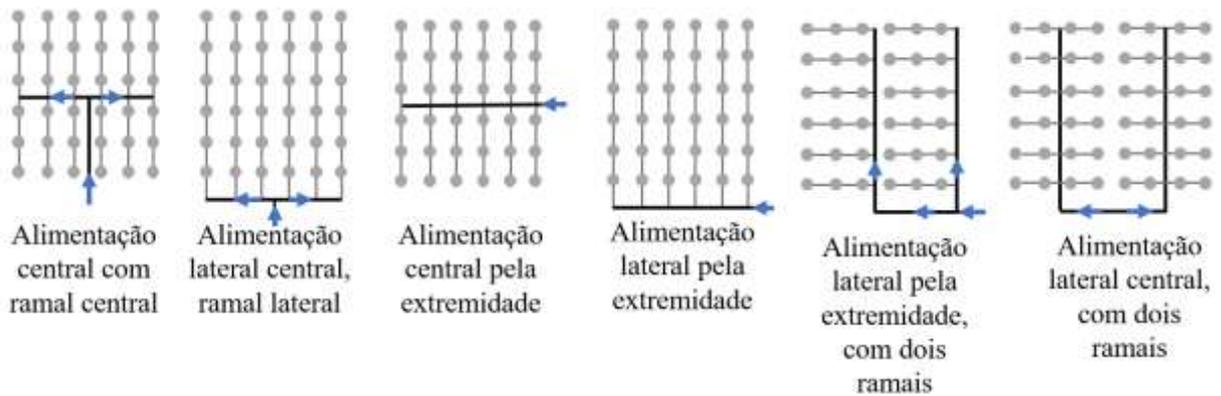
- a) Orientação de instalação: chuveiros em pé, pendentes, embutidos, flush, lateral ou oculto;
- b) Velocidade de operação: resposta rápida, cujo elemento termo sensível tem índice de resposta igual ou inferior a  $50 \text{ (m s)}^{1/2}$  ou resposta padrão, cujo índice de resposta é igual ou superior a  $80 \text{ (m s)}^{1/2}$ ;
- c) Condições especiais de uso: decorativos, resistentes à corrosão ou secos;
- d) Características de desempenho e projeto: chuveiro automático de controle para aplicações específicas (CCAIE) e chuveiro automático de resposta e supressão rápidas (ESFR);
- e) Distribuição de água: cobertura padrão, spray ou cobertura estendida.

O sistema de chuveiros automáticos consiste na integração dos emissores de água com as tubulações aéreas e enterradas, alimentadas por um sistema de abastecimento automático provido de pelo menos uma válvula de controle e dispositivo de alarme. Os parâmetros de projeto são estabelecidos pela NT 2-03 (CBMERJ, 2019d), NBR 10897 (ABNT, 2020) e, quando não houver informações nessas duas, pode-se fazer consultas a Norma Internacional NFPA 13/2019 (ABNT, 2020; CBMERJ, 2019d; NFPA, 2019).

Segundo Brentano (2007), as formas de distribuição das tubulações no sistema de chuveiros automáticos dependem não só de condições hidráulicas, mas também do arranjo arquitetônico e estrutural do projeto. Embora a disposição dos tubos possa ser feita de diversas maneiras, a rede é classificada em duas formas, conforme o modo de alimentação dos ramais: rede aberta e rede fechada.

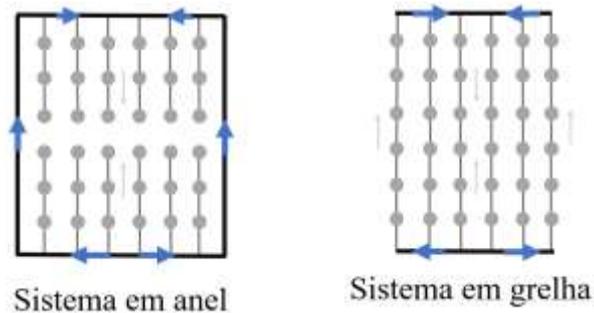
A rede aberta conta com água circulando pelos ramais em apenas um sentido, ou seja, a distribuição é feita de forma ramificada (ABNT, 2020; BRENTANO, 2007). Diferentes formas de disposição da tubulação em redes deste tipo podem ser vistas na Figura 2. Já a rede fechada conta com os ramais ligados entre si, fazendo com que a água chegue por ambas as extremidades (BRENTANO, 2007), como pode ser visto na Figura 3.

Figura 2 - Sistemas de rede aberta.



Fonte: Adaptado de Brentano (2007).

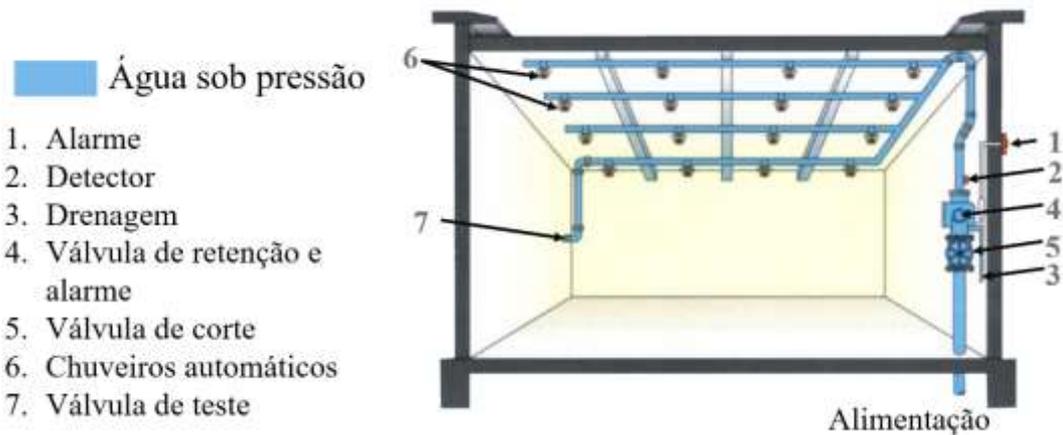
Figura 3 - Sistemas de rede fechada.



Fonte: Adaptado de Brentano (2007).

O sistema de chuveiros automáticos pode ser dividido em três, de acordo com sua composição e funcionamento: tubo molhado, tubo seco, ação prévia ou dilúvio (ABNT, 2020; BRENTANO, 2007). No sistema de tubo molhado, apresentado na Figura 4, os chuveiros são conectados à tubulação, que se encontra preenchida de água, fazendo com que haja descarga imediata assim que o sistema for acionado. Não é um sistema indicado para locais com baixas temperaturas, pois há risco de congelamento da água (ABNT, 2020; SILVA, 2012).

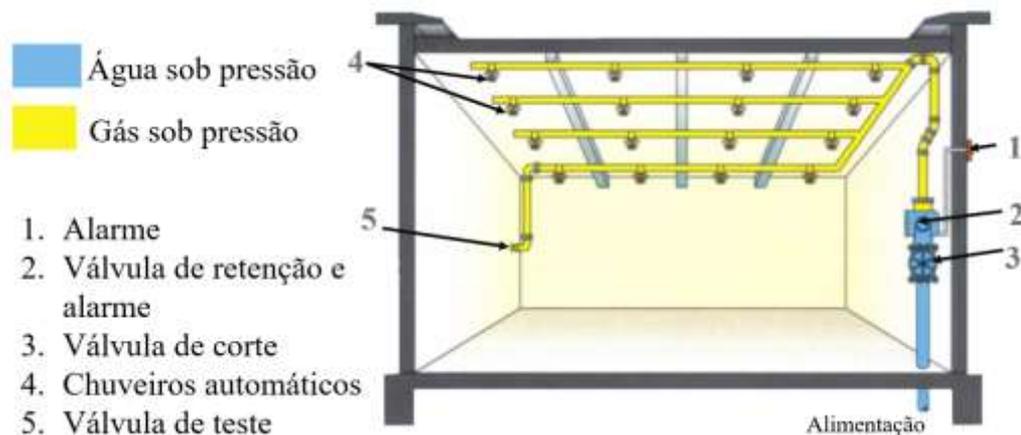
Figura 4 - Sistema de tubo molhado.



Fonte: Adaptado de Silva (2012).

O sistema de tubo seco, conforme mostrado na Figura 5, é composto por tubulação completa gás pressurizado, que pode ser ar ou nitrogênio. O acionamento do sistema faz com que a água entre na tubulação e seja descarregada pelos chuveiros. É mais complexo, exige maior frequência e cuidados de manutenção, porém é ideal para locais onde há risco de congelamento da água (ABNT, 2020; SILVA, 2012).

Figura 5 - Sistema de tubo seco.



Fonte: Adaptado de Silva (2012).

O sistema de ação prévia é bem similar ao tubo seco, sendo a diferença entre eles a presença obrigatória do sistema automático de detecção na mesma área em que os chuveiros automáticos estão instalados. É indicado para locais onde é necessário evitar ao máximo a presença de água, como salas com aparelhos eletrônicos (ABNT, 2020; SILVA, 2012).

No sistema de dilúvio são utilizados chuveiros abertos, que não possuem elemento termo sensível, acoplados a uma tubulação ligada a rede de abastecimento. O acionamento do sistema é feito a partir de uma válvula de dilúvio aberta automaticamente pelo sistema de detecção. Seu uso é indicado em locais de elevada carga de incêndio e alto risco de propagação rápida (ABNT, 2020; SILVA, 2012).

Cada pavimento da edificação a ser protegido por chuveiros automáticos deve contar com pelo menos uma coluna de alimentação, que pode servir múltiplos pavimentos desde que a área de cada um não exceda 4800 m<sup>2</sup>. Em casos de pavimentos com área superior a esse valor, colunas adicionais devem ser previstas (ABNT, 2020).

A distância mínima entre chuveiros automáticos é de 1,80 m, a menos que haja anteparos de material incombustível, de dimensão mínima de 0,2 m de largura e 0,15 m de altura instalados na metade da distância entre os chuveiros. No caso dos chuveiros automáticos pendentes, a aresta inferior desse anteparo deve se estender até o nível do defletor dos chuveiros. Também é necessário prever distanciamento de 0,025 m 0,3 m entre o defletor do chuveiro e forros ou tetos em que não haja obstruções, a menos que os chuveiros utilizados sejam específicos para uso em forro e tenham desempenho aprovado por entidade de reconhecida competência técnica (ABNT, 2020).

Outra diretriz importante, quanto a distâncias a serem respeitadas é entre chuveiros automáticos e paredes, conforme estabelecido pela ABNT NBR 10897 (ABNT, 2020). Para o caso dos chuveiros automáticos de resposta rápida, pendentes de cobertura padrão instalados sob teto sem obstruções, a distância mínima é de 0,10 m, enquanto a distância máxima não deve exceder 2,30 m.

Ainda, alguns locais contam com obstruções que afetam a descarga dos chuveiros automáticos, fazendo com que haja considerações adicionais a serem feitas nos distanciamentos citados anteriormente. Conforme apresentado na Figura 6, o posicionamento de chuveiros automáticos localizados sob teto com obstruções, geralmente causadas por vigas de concreto, deve respeitar os distanciamentos mostrados na Tabela 2 para que não haja prejuízo na descarga de água. Vale ressaltar, também, que a distância máxima entre o teto e o defletor do chuveiro não deve ultrapassar 0,56 m (ABNT, 2020).

Figura 6 - Distâncias máximas a serem observadas no caso de obstrução, junto ao teto, de chuveiros automáticos, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

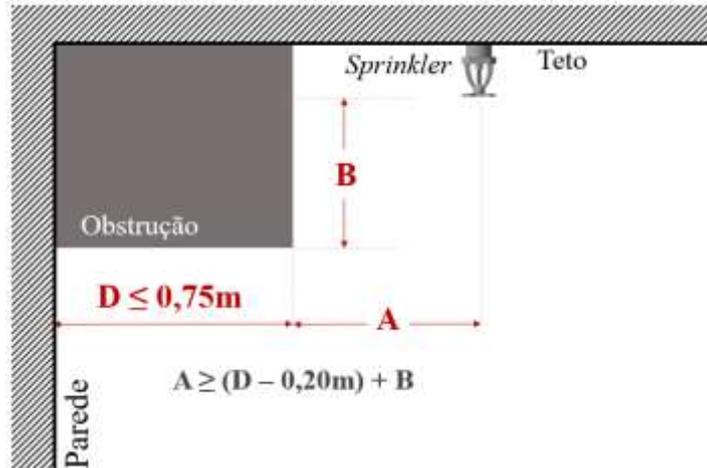
Tabela 2 - Distâncias máximas a serem observadas no caso de obstrução, junto ao teto, de chuveiros automáticos, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020.

Distância entre chuveiros e a lateral da obstrução (A), em mm	Distância máxima do defletor acima do nível inferior da obstrução (B), em mm
Menor que 300	0
≥ 300 e < 450	65
≥ 450 e < 600	90
≥ 600 e < 750	140
≥ 750 e < 900	190
≥ 900 e < 1050	240
≥ 1050 e < 1200	305
≥ 1200 e < 1350	355
≥ 1350 e < 1500	420
≥ 1500 e < 1650	460
≥ 1650 e < 1800	510
≥ 1800 e < 1950	610
≥ 1950 e < 2100	760
≥ 2100 e < 2250	890

Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

Elementos de dimensão inferior a 0,75m, localizados ao lado de paredes também configuram uma obstrução à descarga, sendo assim, o posicionamento dos chuveiros automáticos adjacentes pode ser feito de acordo com o apresentado na Figura 7 (ABNT, 2020).

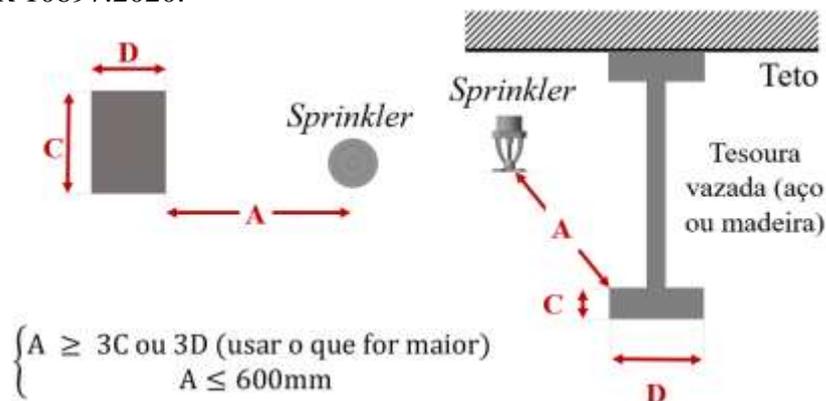
Figura 7 - Distâncias máximas a serem observadas no caso de obstrução ao lado de paredes, de chuveiros automáticos, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

No caso de obstrução causada por pilares ou tesouras vazadas, como mostrado na Figura 8, o espaçamento a ser considerado é de 3 vezes a maior dimensão da obstrução (em planta para o caso do pilar e em elevação para o caso da tesoura), sendo sempre inferior a 0,6 m (ABNT, 2020).

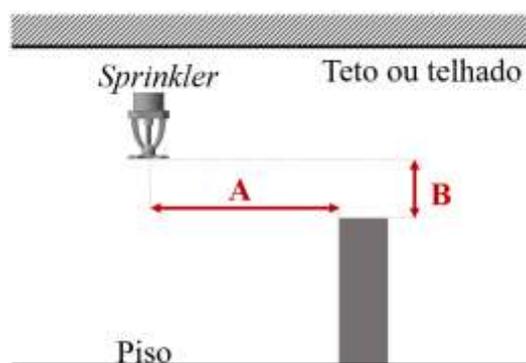
Figura 8 - Distâncias limite a serem observadas no caso de obstrução à descarga de chuveiro automático causada por pilar ou tesoura vazada, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

As obstruções suspensas ou sobre o piso que estejam localizadas a 0,45 m, ou menos, abaixo do defletor devem seguir as especificações apresentadas na Figura 9 e na Tabela 3 (ABNT, 2020).

Figura 9 - Distâncias limite a serem observadas no caso de obstrução à descarga de chuveiro automático causada por elementos suspensos ou sobre o piso, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

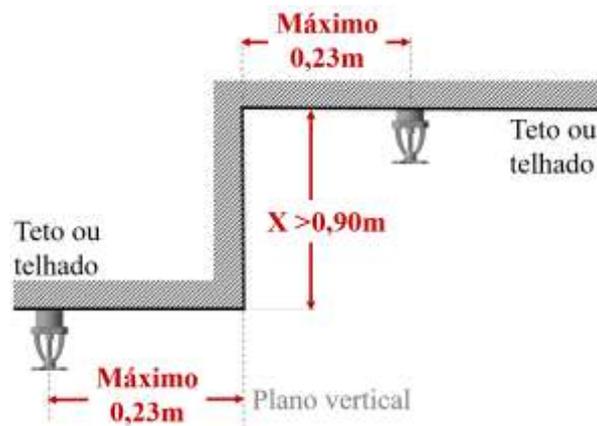
Tabela 3 - Dimensões A e B para obstruções suspensas ou sobre o piso

Distância horizontal (A), em mm	Distância vertical mínima abaixo do defletor (B), em mm
< 150	75
≥ 150 < 225	100
≥ 225 < 300	150
≥ 300 < 375	200
≥ 375 < 450	240
≥ 450 < 600	310
≥ 600 < 750	390
≥ 750	450

Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

O espaçamento de chuveiros também deve ser revisto em situações em que há diferença de nível entre defletor e o teto ou telhado. Caso essa seja superior a 0,90m, o plano vertical do desnível deve ser considerado como uma parede, conforme Figura 10. Se o desnível for menor que 0,90m, pode-se considerar teto plano e manter o espaçamento entre chuveiros de acordo com as regras citadas anteriormente (ABNT, 2020).

Figura 10 - Distância entre chuveiros a ser observada no caso de teto com desnível superior a 0,90m, conforme estabelecido na ABNT NBR 10897:2020.

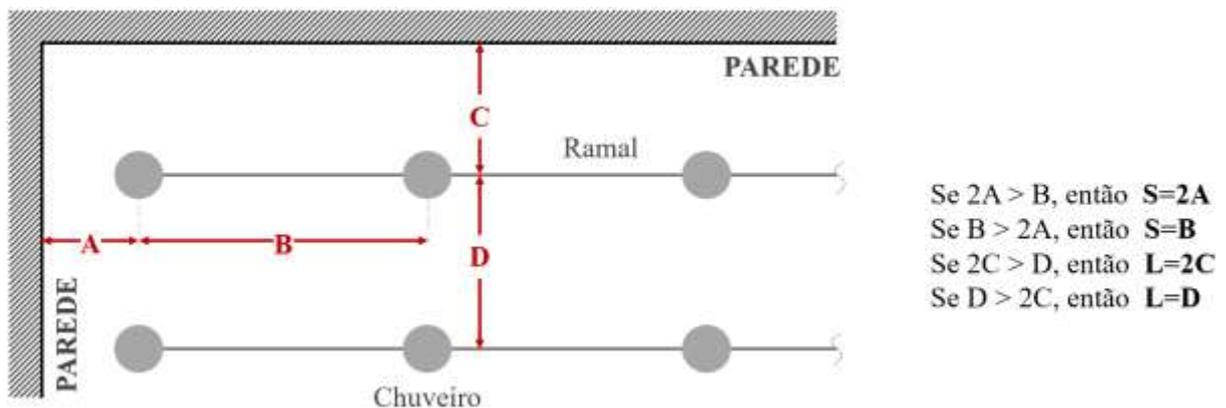


Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

A área de cobertura ( $A_S$ ) de chuveiros automáticos pendente de cobertura padrão pode ser calculada pela Equação 1, que relaciona a distância entre chuveiros (ou até a parede ou obstrução) e a distância entre ramais, conforme mostrado na

Figura 11. O valor calculado não pode exceder a área de 12,10m<sup>2</sup>, máximo considerado para esse modelo de chuveiros (ABNT, 2020).

Figura 11 - Cotas para cálculo da área de cobertura.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

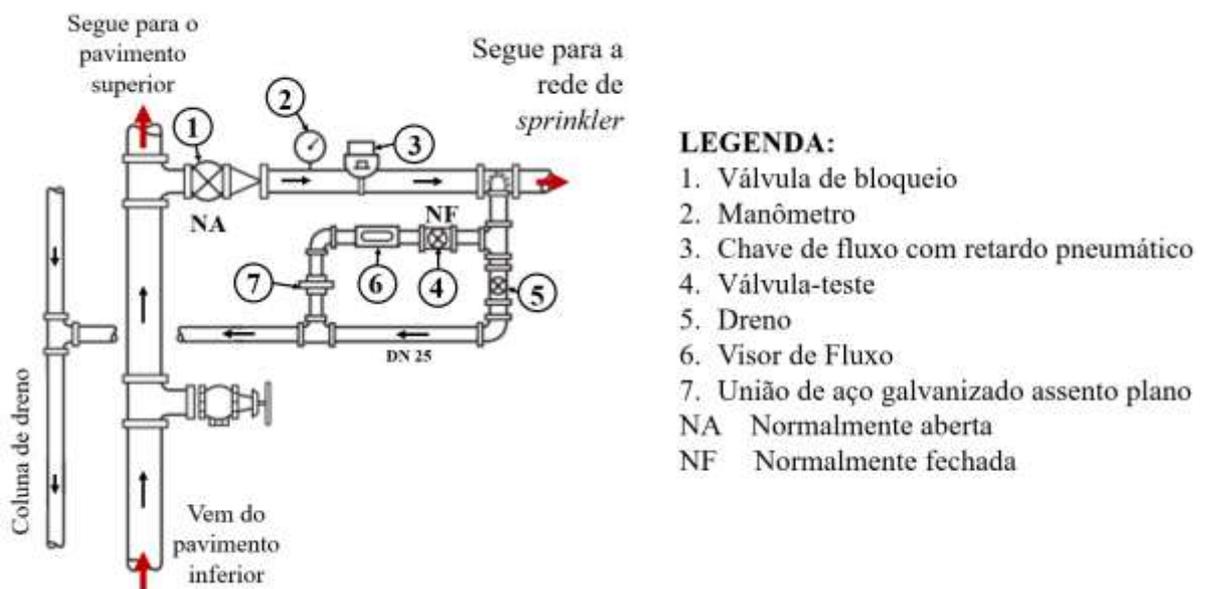
$$A_S = SL \quad (1)$$

De forma a promover maior segurança e manter a premissa de desempenho mínimo, a escolha dos materiais dos tubos e conexões das instalações deve ser feita de forma a atender os requisitos da NBR 10897 (ABNT, 2020). Uma vez que os requisitos mínimos não sejam

alcançáveis, devem ser previstas soluções adicionais para proteção. Vale ressaltar que há limitações na escolha dos materiais e conexões de acordo com os diâmetros nominais da tubulação. Os tubos de materiais ferrosos não podem ter diâmetro inferior a 25 mm, enquanto os de cobre ou materiais não metálicos podem contar com diâmetros a partir de 20 mm. As conexões do tipo roscadas não podem ser utilizadas em tubulações com diâmetro nominal superior a 50 mm. Outra particularidade acerca das conexões está nas reduções de diâmetro, que devem ser feitas com luvas de redução, preferencialmente (ABNT, 2020).

Como o acionamento dos chuveiros é feita de forma automática, é importante que não haja falhas na detecção do incêndio. Dessa forma, faz-se necessário o uso de conexões de teste de alarme, cujo padrão pode ser visto na Figura 12. Sua localização deve ser após o sistema de alarme de fluxo de água (ABNT, 2020).

Figura 12 - Elementos previstos para conexão de teste de alarme em edifícios de múltiplos pavimentos, conforme estabelecido pela NBR 10897 e NFPA 13.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020); NFPA (2008).

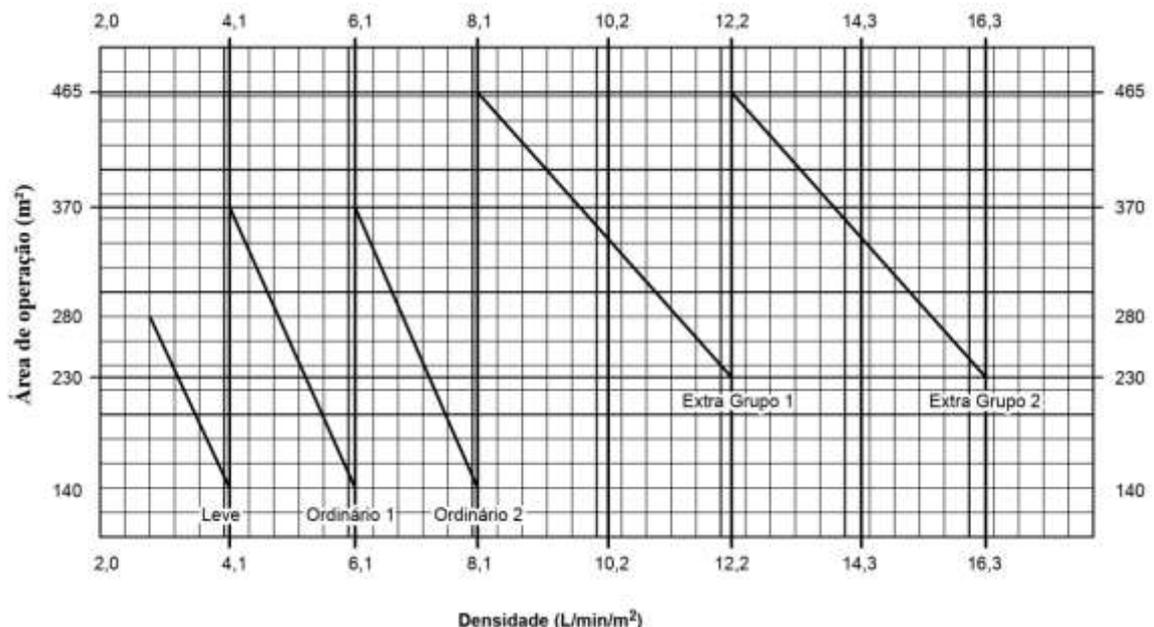
As válvulas de controle e manômetros do sistema de chuveiro automático devem estar em locais de fácil acesso, podendo estar instaladas dentro de abrigos que protejam contra danos mecânicos (ABNT, 2020).

Segundo a NBR 10897 (ABNT, 2020), os sistemas de chuveiros automáticos devem ser dimensionados por tabela ou cálculo hidráulico. De acordo com Brentano (2007), o método de cálculo hidráulico é considerado mais preciso e gera uma instalação mais econômica. Ao contrário do método de tabelas, esse pode ser utilizado em edificações de qualquer classe de risco

e sem limitação de área a ser protegida. No cálculo hidráulico, o dimensionamento do sistema de chuveiros automáticos é feito com base em uma área de operação ( $A_0$ ), representativa do trecho mais hidráulicamente desfavorável, isto é, que apresenta menor pressão. Cabe ao projetista uma investigação do traçado do projeto e definição da área mais desfavorável, ou seja, dos locais de maior demanda hidráulica, por meio da análise de parâmetros como: desnível geométrico, comprimento da tubulação e número de peças que causam a perda de carga (ABNT, 2020).

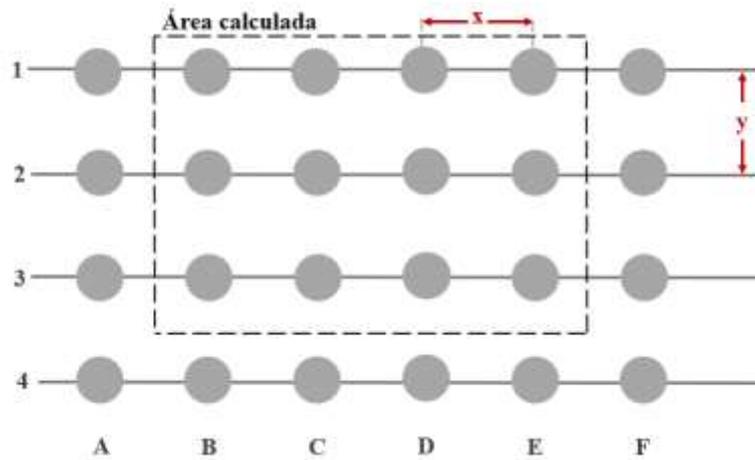
No método de cálculo hidráulico, a demanda mínima de água para as instalações de chuveiros automáticos pode ser calculada com auxílio das curvas de densidade e área, conforme Figura 13. Há duas formas distintas de realizar a estimativa da demanda a partir de dois diferentes modos de se obter a área de operação do projeto. No primeiro método, a área de operação é considerada como retangular, conforme mostrado na Figura 14, e as dimensões seguem a seguinte regra: o lado paralelo aos ramais é equivalente a, pelo menos, 1,2 vezes a raiz quadrada da área de operação. Caso a área seja inferior a 140 m<sup>2</sup>, deve ser considerado esse valor para análise das curvas. O número de chuveiros ( $N$ ) é dado pelo arredondamento da divisão da área de operação pela área de cobertura por chuveiro automático, conforme a Equação 2. O número de chuveiros por ramal ( $N_R$ ) é dado pela Equação 3 (ABNT, 2020).

Figura 13 - Curvas de densidade e área.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

Figura 14 - Área de operação de chuveiros automáticos para cálculo utilizando o método de densidade e área.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

$$N = \frac{A_o}{A_{S,máx}} \quad (1)$$

$$N_R = \frac{1,2 \sqrt{A_o}}{x} \quad (2)$$

Sendo  $A_o$  a área de operação, dada em metros quadrados ( $m^2$ ),  $A_{S,máx}$  a área máxima de cobertura do chuveiro, expressa em metros quadrados ( $m^2$ ) e  $x$  a distância entre chuveiros em um mesmo ramal, dada em metros (m). Vale ressaltar que  $A_{S,máx} = 12,10 m^2$  para o caso do uso de chuveiros automáticos pendentos de resposta rápida, conforme especificado na NBR 10897 (ABNT, 2020).

Já o segundo método para obtenção da área de operação, denominado método de dimensionamento por recinto consiste na adoção de uma área igual ao tamanho do recinto de maior demanda hidráulica. O número de chuveiros é obtido pelo posicionamento feito a partir as especificações da NBR 10897 e a área de cobertura de cada um é dada conforme a Equação 4 (ABNT, 2020).

$$A_{SR} = \frac{A_r}{N} \quad (3)$$

Sendo  $A_{SR}$  a área de cobertura de cada chuveiro presente no recinto, dada em metros quadrados ( $m^2$ ),  $A_r$  representa a área do recinto expressa em metros quadrados ( $m^2$ ) e  $N$  o número

de chuveiros do recinto. Vale ressaltar que  $A_{SR}$  não pode ser superior a  $A_{S,máx}$ . Caso isso ocorra, se faz necessário o uso de mais chuveiros automáticos no recinto.

Brentano (2007) estabelece que a vazão mínima ( $Q_{mín}$ ), presente no chuveiro mais hidráulicamente desfavorável é definida pela multiplicação da densidade estipulada e a área de operação deste, conforme Equação 5.

$$Q_{mín} = dA_{SR} \quad (4)$$

Sendo  $Q_{mín}$  a vazão mínima de cada chuveiro, dada em litros por minuto (L/min),  $d$  a densidade obtida nas curvas de densidade e área (Figura 13) com área de aplicação igual a área de operação, expressa em litros por minuto por metro quadrado (L/min/m<sup>2</sup>) e  $A_{SR}$  a área de cobertura individual dos chuveiros, dada em metros quadrados (m<sup>2</sup>).

Segundo a ABNT (2020), a vazão de um chuveiro automático e a pressão dinâmica atuante nesse possuem uma relação de proporcionalidade estabelecida através do fator de descarga  $K$ , que pode ser calculado conforme Equação 6. Geralmente é um parâmetro definido pelo fabricante.

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (5)$$

Em que  $K$  é o fator de descarga, dado em litros por minuto por bar elevado à meio ( $\frac{L}{\min \text{ bar}^{1/2}}$ ),  $Q$  é a vazão, expressa em litros por minuto (L/min) e  $P$  é a pressão, dada em bar (bar) (ABNT, 2020).

Com a manipulação matemática da Equação 6, considerando  $Q = Q_{mín}$  e  $P = P_{mín}$ , chega-se à Equação 7, através da qual calcula-se a pressão mínima requerida no chuveiro mais hidráulicamente desfavorável (BRENTANO, 2007).

$$P_{mín} = \frac{Q_{mín}^2}{K^2} \quad (6)$$

Sendo  $P_{mín}$  a pressão no chuveiro mais hidráulicamente desfavorável, dada em bar (bar),  $Q_{mín}$  é a vazão mínima, calculada para o chuveiro mais hidráulicamente desfavorável, expressa

em litros por minuto (L/min) e K o fator de descarga, dado em  $\left(\frac{L}{\text{min bar}^{1/2}}\right)$ , conforme estipulado pelo fabricante dos chuveiros analisados.

Segundo a NBR 10897 (ABNT, 2020), a pressão de operação de chuveiros automáticos deve estar entre 48 kPa e 1210 kPa.

Inicialmente, o diâmetro das tubulações pode assumir valores mínimos estipulados pelo método de cálculo por tabelas, conforme estabelecido na NBR 10897 (2020). A definição final desses diâmetros deve ser dada por meio da análise de pressão, vazão e densidade, que devem estar conforme as especificações mínimas previstas no cálculo hidráulico (BRENTANO, 2007). Brentano (2007) também estabelece o uso da fórmula de Forchheimer, mostrada na Equação 8, para cálculo do diâmetro mínimo de sub-ramais. Para início do procedimento de cálculo, considera-se o primeiro chuveiro (a) como o mais hidráulicamente desfavorável, para o qual  $Q_{\text{mín}}$  e  $P_{\text{mín}}$  foram calculados. A partir desses valores é possível determinar o diâmetro do próximo trecho e os valores de vazão e pressão para os próximos chuveiros automáticos.

$$d_{a-b} = 0,585\sqrt{Q_{a-b}} \quad (8)$$

Em que  $d_{a-b}$  é o diâmetro do trecho a-b do sub-ramal que alimenta o chuveiro a, dado em metros (m),  $Q_{a-b}$  é a vazão do trecho a-b, expressa em metros cúbicos por segundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). O chuveiro b representa o segundo chuveiro com maior demanda hidráulica (BRENTANO, 2007).

A perda de carga ao longo do trecho de tubulação também deve ser considerada e é calculada através da equação de Hazen-Williams, conforme Equação 9. As perdas referentes a conexões e válvulas devem ser consultadas junto aos manuais e catálogos técnicos dos fabricantes (ABNT, 2020; BRENTANO, 2007).

$$hp_{a-b} = 10,65L_{a-b} \left( \frac{Q_{a-b}^{1,85}}{C^{1,85} d_{a-b}^{4,87}} \right) 10^5 \quad (9)$$

Em que  $hp_{a-b}$  é a perda de carga por atrito no trecho a-b, expressa em metros (m),  $L_{a-b}$  é o comprimento do trecho a-b, em metros (m),  $Q_{a-b}$  é a vazão no trecho a-b, dada em metros cúbicos por segundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), C é o coeficiente de atrito de Hazen-Williams, e  $d_{a-b}$  é o diâmetro interno da tubulação no trecho a-b, expresso em metros (m). O coeficiente de atrito de Hazen-

Williams é um valor característico do material do tubo, conforme mostrado na Tabela 4 (ABNT, 2020).

Tabela 4 - Valores de C de Hazen-Williams para tubos novos.

<b>Tubo</b>	<b>C</b>
Ferro dúctil ou fundido, sem revestimento	100
Aço preto (sistemas secos inclusive os de ação prévia)	100
Aço preto (sistemas molhados, inclusive os sistemas de dilúvio)	120
Galvanizado	120
Plástico	150
Ferro fundido ou dúctil com revestimento de cimento	140
Cobre ou aço inoxidável	150

Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

A análise de pressões em tubulações deve considerar a ação da pressão normal ( $P_n$ ) e a pressão de velocidade ( $P_v$ ), dada pela Equação 10, agindo simultaneamente. A pressão total ( $P_b$ ) no chuveiro b é calculada através da Equação 11. A pressão normal é a diferença altimétrica (dada em metros) entre o ponto analisado na tubulação e o nível de referência cuja altura manométrica é zero, geralmente onde está a bomba de recalque. (ABNT, 2020; BRENTANO, 2007).

$$P_v = 0,083 \frac{Q_{a-b}^2}{d_{a-b}^4} \quad (10)$$

$$P_b = P_n + P_v + hp_{a-b} \quad (11)$$

Em que as pressões  $P_n$ ,  $P_v$  e  $P_b$  são dados em metros de coluna d'água (mca),  $Q_{a-b}$  é a vazão do trecho analisado, dada em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ),  $d_{a-b}$  é o diâmetro do trecho, expresso em metros (m) e  $hp_{a-b}$  é a perda de carga no trecho, dada em metros de coluna d'água (mca) (ABNT, 2020; BRENTANO, 2007).

A partir da definição dessa pressão no segundo chuveiro ( $P_b$ ), é possível seguir os mesmos passos e assim definir os diâmetros dos ramais de chuveiros subsequentes. A determinação da próxima vazão que será utilizada como base de cálculo é dada pela Equação 6 (BRENTANO, 2007).

### 2.1.2.2 Sistema de combate a incêndio por hidrantes e mangotinhos

Hidrantes são definidos como pontos de tomada de água com uma ou duas saídas, compostas por válvulas angulares, adaptadores, tampões e mangueiras de incêndio, entre outros acessórios. Já um mangotinho é um ponto simples de tomada de água composto por válvula de abertura rápida, adaptador, mangueira semirrígida, esguicho regulável, válvula e carretel (ABNT, 2000; CBMERJ, 2019a).

O sistema de hidrantes e mangotinhos é subdividido em 3 tipos, sendo que cada um deles conta com diferentes componentes, conforme pode ser visto na Tabela 5 (ABNT, 2000).

Tabela 5 - Componentes dos diferentes sistemas de hidrantes e mangotinhos, segundo a NT 2-02:2019.

Materiais	Tipos de sistemas		
	1	2	3
Abrigo (s)	x	x	x
Mangueira(s) de incêndio		x	x
Chaves para hidrantes, engate rápido		x	x
Esguicho	x	x	x
Mangueira semirrígida	x	x	

Fonte: Adaptado de ABNT (2000).

Os hidrantes e mangotinhos devem ser posicionados em locais estratégicos, de forma a permitir o alcance em toda a área da edificação a ser protegida. É recomendado que esses pontos estejam de 1 a 1,5 m do piso, localizados em posições centrais da edificação a ser protegida, a menos de 5 m das portas externas e acessos. É importante não os colocar em escadas e antecâmaras de fumaça, uma vez que isso pode comprometer a fuga dos ocupantes em caso de incêndio. Todos os pontos devem estar devidamente sinalizados de acordo com especificações da NBR 13435 (ABNT, 2000).

Os pontos de tomada de água devem estar protegidos em abrigos de uso exclusivo para equipamentos de combate a incêndio. Esses abrigos devem ter formato paralelepipedal com dimensões mínimas a variar de acordo com a classe de risco da edificação (CBMERJ, 2000a).

O dimensionamento das tubulações é feito por meio da análise do uso simultâneo dos dois jatos de água mais hidráulicamente desfavoráveis, considerando-se as vazões mínimas como sendo as especificadas pela NT 2-02. Nenhum ponto de tomada de água deve ter pressão que exceda 1000 kPa e nem o dobro da obtida no ponto mais desfavorável. Outro limite estabelecido

em projeto é a velocidade da água nas tubulações, que deve ser inferior a 5 m/s (ABNT, 2000; CBMERJ, 2019b).

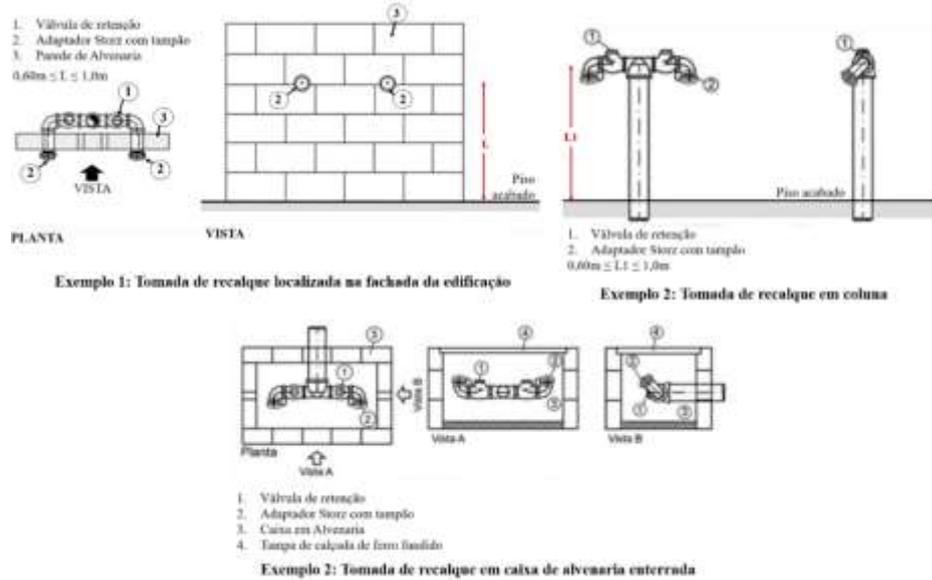
O cálculo das pressões deve levar em conta a perda de carga nas tubulações, que é calculada através da equação de Hazen-Williams (Equação 9). As perdas em conexões e válvulas devem ser consultadas nos catálogos técnicos dos fabricantes (ABNT, 2000).

### **2.1.2.3 Sistema combinado e abastecimento de água e bombeamento**

O combate ao incêndio também pode ser feito por meio da utilização dos sistemas de chuveiros automáticos e de hidrantes e mangotinhos de forma conjunta. Nesse caso, o fornecimento de água e os diâmetros da tubulação devem ser suficientes para suprir a demanda de ambos os sistemas (NFPA, 2008), e o dimensionamento do sistema de abastecimento e bombeamento deve ser feito considerando a soma da demanda do sistema de hidrantes e mangotinhos e do sistema de chuveiros automáticos (ABNT, 2000; ABNT, 2020).

O abastecimento dos sistemas de combate a incêndio, tanto no caso da utilização de chuveiros automáticos quanto no sistema de hidrantes e mangotinhos ou ainda no sistema combinado, deve ser previsto por meio da Reserva Técnica de Incêndio (RTI), composta por, pelo menos, um reservatório que permite o combate por determinado tempo, necessário para a chegada do Corpo de Bombeiros ao local. Além da fonte principal de abastecimento, se faz necessária a instalação da tomada de recalque para uso do Corpo de Bombeiros, que deve estar localizada na edificação ou próximo a ela, em local de fácil acesso à viatura, podendo estar na fachada, em coluna ou enterrada junto ao passeio público, conforme Figura 15 (ABNT, 2020; BRENTANO, 2007; CBMERJ, 2019).

Figura 15 - Diferentes configurações da tomada de recalque para uso do Corpo de Bombeiros, segundo a NBR 10897:2020.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

O volume mínimo de água da reserva nos sistemas de hidrantes e mangotinhos e chuveiros automáticos é calculado pela Equação **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

$$V = Qt \quad (12)$$

Em que  $V$  é o volume da reserva, dado em litros (L),  $Q$  é a vazão, expressa em litros por minuto (L/min) e  $t$  é o tempo, definido como 60 min para sistemas tipo 1 e tipo 2 e 30 min para sistema tipo 3. A vazão do sistema de hidrantes e mangotinhos deve seguir especificações da NBR 13714 (ABNT, 2000). O volume mínimo da reserva no sistema de chuveiros automáticos deve levar em conta a área da edificação e a densidade que foi definida em projeto através dos métodos descritos pela NBR 10897 (ABNT, 2020) e o tempo de duração da reserva de água, definido como 30 min para áreas de risco leve, 60 min para risco ordinário e 90 min para risco extraordinário (ABNT, 2000; CBMERJ, 2019a).

De acordo com a NBR 13714 e NBR 10897 (ABNT, 2000, 2020), a reserva técnica de incêndio deve ser a principal forma de abastecimento do sistema de combate a incêndio, podendo ter três formas:

- a) reservatório elevado
- b) reservatório ao nível do solo ou subterrâneo, piscinas e fontes naturais como rios, lagos, lagoas e represas, desde que previstas bombas de incêndio (ABNT, 2020);
- c) tanque de pressão.

Os reservatórios elevados devem estar na cobertura da edificação ou em estrutura separada dessa. É importante que eles sejam bem fechados, de forma a não permitir a incidência de luz solar em seu interior e nem presença de objetos estranhos. Por estar posicionado em uma cota mais alta, os reservatórios elevados apresentam a vantagem de promover uma pressão pela ação da gravidade. Apesar disso, muitas vezes a tal pressão ainda não é a mínima exigida, fazendo com que haja necessidade de elevá-lo mais ainda ou utilizar bombas de incêndio. Outros pontos a serem ressaltados são as limitações arquitetônicas e sobrecarga estrutural que esses elementos podem trazer em razão de sua grande dimensão e peso (ABNT, 2020; BRENTANO, 2007).

Já os reservatórios com fundo ao nível do solo devem estar equipados com motobombas que realizam o recalque da água até os pontos de utilização através dos poços de sucção, cujas dimensões são especificadas na NBR 10897 (ABNT, 2020).

Reservatórios cujo abastecimento provém de fontes não-potáveis devem conter a separação entre câmara de decantação e câmara de sucção. O nível de água e larguras mínimas para os elementos responsáveis pela coleta de água são padronizados pela NBR 10897 (ABNT, 2020).

Os tanques de pressão são reservatórios de água no formato de cilindro, feitos em aço e que exigem um alto grau de controle e verificação dos seus parâmetros de funcionamento, além de exigirem manutenções mais frequentes, em média a cada três anos. Possuem pouco volume, variando de 10 m<sup>3</sup> a 25 m<sup>3</sup> (ABNT, 2020; BRENTANO, 2007).

Embora a utilização de uma só bomba no recalque de água para as instalações de combate a incêndio seja permitida pela NBR 13714 (ABNT, 2000), geralmente são utilizados três diferentes equipamentos no processo: uma bomba principal, acionada por motor elétrico, aliada a uma bomba secundária cujo acionamento pode ser elétrico ou de combustão interna. Essas duas bombas trabalham independentemente, de forma que uma atue de reserva caso outra falhe. A função desse conjunto é promover o abastecimento das instalações à uma vazão mínima, estabelecida nos elementos mais desfavoráveis da instalação. Já o terceiro elemento é uma bomba de pressurização, também conhecida como *Jockey*, cuja função é manter pressurizadas as tubulações, de forma a compensar eventuais perdas de pressão que poderiam acionar acidentalmente as bombas principais. Todas as bombas devem ser instaladas em locais em que estejam protegidas contra intempéries e danos mecânicos, entre outros fatores que possam afetar seu funcionamento (ABNT, 2000; BRENTANO, 2007).

As bombas devem ser instaladas sob a condição de sucção positiva (afogada), em que o nível de água do reservatório está acima do nível em que se encontra a bomba, de forma que a

canalização esteja sempre escorvada no momento do acionamento do sistema (BRENTANO, 2007; CBMERJ, 2019b).

A definição da altura manométrica total ( $H_t$ ) é de extrema importância para a escolha das bombas a serem utilizadas, e pode ser calculada através da Equação 13.

$$H_t = h_s + h_r \quad (13)$$

Em que  $h_s$  é a altura manométrica de sucção, representativa da energia necessária para que a água passe pela canalização de sucção e chegue até a bomba, considerando as perdas de carga nesse processo. Já  $h_r$  é a altura de recalque, representativa da energia necessária para que a água atinja o ponto de utilização mais desfavorável hidraulicamente com a pressão mínima exigida, incluindo as perdas de cargas em tubos, conexões e válvulas (BRENTANO, 2007).

Utilizando a altura manométrica total é possível calcular a potência da bomba através da Equação 14 (LIMA, 2022).

$$P = \frac{\gamma Q H_t}{\eta} \quad (14)$$

Em que  $P$  é a potência da bomba, em watts (W),  $\gamma$  é o peso específico da água, expresso em newtons por metro cúbico (N/m<sup>3</sup>),  $Q$  é a vazão requerida para o funcionamento do sistema de combate a incêndio, dada em metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s),  $H_t$  é a altura manométrica total, dada em metros (m) e  $\eta$  é a eficiência da bomba, adimensional.

A definição do modelo da bomba é feita através da análise de documentos técnicos de fabricantes, que desenvolvem tabelas ou ábacos com os valores de vazão, altura manométrica e potência, entre outros parâmetros para cada equipamento do seu catálogo.

### 2.1.3 Estado da Arte

Leal (2018), observou o crescimento vertical das cidades, especialmente na região de João Pessoa, Paraíba, como um possível obstáculo na implantação de projetos de instalações hidráulicas de combate a incêndio, uma vez que edificações de múltiplos pavimentos exigem um alto potencial hidráulico. Nesse contexto, a questão mais problemática, segundo o autor, seria a utilização do suprimento de água a partir do dispositivo de recalque do Corpo de Bombeiros, que é exigido pelas normas brasileiras. Sendo assim, Leal (2018) realizou medições de pressão e

vazão atingidas nos hidrantes quando alimentados pela viatura do Corpo de Bombeiros do Estado da Paraíba em uma edificação de 30 pavimentos na cidade de João Pessoa. A partir do 12º pavimento os valores de pressão e vazão obtidos foram inferiores aos estabelecidos pelas normas brasileiras. Portanto, verificou-se a importância da análise da capacidade do sistema de bombeamento de água das viaturas do Corpo de Bombeiros, de forma a prever, ainda na etapa de projeto, soluções para o efetivo combate a incêndio.

Outro ponto de importância nas instalações hidráulicas é a posição do reservatório e utilização de bombas de incêndio. Conforme a NBR 13714 e NBR 10897 (ABNT, 2000, 2020), as bombas de incêndio são itens opcionais no caso em que o abastecimento for feito por meio de reservatório elevado, disposto de forma a gerar pressão e vazão mínimas estabelecidas pelas normas brasileiras nos elementos de maior demanda hidráulica. Sendo assim, surge o questionamento sobre o que é melhor economicamente: o aumento da altura do reservatório elevado, de forma que o abastecimento seja feito totalmente por gravidade ou a instalação de um sistema de bombeamento para compensar as perdas. Nesse contexto, Santos e Faria (2022) elaboraram um estudo comparativo entre essas duas soluções para o sistema de combate a incêndio por hidrantes em edificação multifamiliar vertical, com altura de 19,50 m, na cidade de Joinville, Santa Catarina. A vazão mínima na edificação estudada foi de 70 L/min, a uma pressão mínima de 4,10 mca, o que implicou em uma necessidade de desnível adicional de 1,61 m entre reservatório e o hidrante mais desfavorável. O custo para elevação do reservatório inclui o valor do reforço estrutural necessário e execução de alvenaria, de acordo com preços definidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI). O custo do sistema de bombas foi obtido pela cotação em lojas especializadas em equipamentos de combate a incêndio. Nesse estudo, os autores concluíram que o valor para implementação do sistema de bombas foi o dobro do valor gasto para elevação do reservatório. Vale ressaltar que isso não representa a totalidade dos projetos de instalações para combate a incêndio, uma vez que parâmetros como tamanho do reservatório, pressão exigida e concepção arquitetônica podem fazer com que, para um projeto específico, o sistema de bombas de incêndio possa ser a melhor escolha não só em termos econômicos, mas, principalmente, técnicos.

O abastecimento do reservatório das instalações hidráulicas de combate a incêndio com águas de reuso é uma alternativa interessante, conforme defendido por Bulhões (2019). A autora desenvolveu um estudo na cidade de Vitória da Conquista, Bahia, acerca da substituição da água potável por água residuária do tratamento de esgoto. Vale ressaltar que a água residuária é proveniente das estações de tratamento dos municípios, onde o efluente só pode ser lançado com características mínimas estabelecidas por órgãos regulamentadores brasileiros como o Conselho

Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de forma que o risco de contaminação é nulo. Portanto, a utilização dessa água em reservas técnicas de incêndio seria perfeitamente aceitável.

## **2.2 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)**

A Modelagem de Informação da Construção (BIM, em inglês) é o processo holístico de criação e gerenciamento de informações para um recurso construído. Com base em um modelo inteligente e habilitada por uma plataforma na nuvem, a BIM integra dados estruturados e multidisciplinares para produzir uma representação digital de um recurso em todo seu ciclo de vida, desde o planejamento e o projeto até a construção e as operações (AUTODESK, 2023).

Embora a implantação dessa tecnologia no mercado brasileiro da engenharia seja relativamente recente, o início do desenvolvimento da tecnologia BIM se deu por volta de 1970. Segundo Eastman et al. (2014, p. vi), o primeiro registro documentado de uso do BIM foi feito por Robert Aish em 1986. Aish (1986 citado por EASTMAN et al. 2014, p.vi) elaborou um artigo que ilustrava os conceitos BIM de modelagem 3D, extração automática de desenhos, componentes inteligentes paramétricos, banco de dados e faseamento temporal em um estudo de caso de renovação do Terminal 3 do Aeroporto de Heathrow, em Londres.

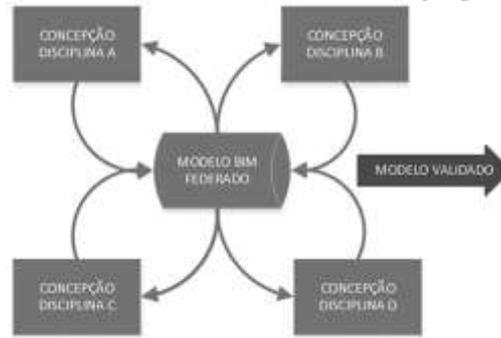
O BIM frequentemente é associado, de forma equivocada, apenas à modelagem 3D da edificação, uma vez que essa é a parte mais visível do projeto. Porém, além de representar a construção através de um modelo virtual 3D altamente preciso, o BIM também engloba informações de dados e parâmetros que permitem atividades mais complexas como o acompanhamento do ciclo de vida da edificação, extração de quantitativos, relatórios de especificação e até mesmo a operação da edificação. (EASTMAN et al. 2014; LEUSIN, 2021)

De acordo com Sacks (2021, p. 13), “os objetos do processo BIM são modelos de construção, ou modelos BIM”. Esses modelos podem ser representações digitais com atributos gráficos e regras paramétricas, componentes com dados acerca de como se comportam e dados consistentes e não redundantes.

### **2.2.1 Fluxo de projeto**

Para Leusin (2021, p. 20) o fluxo de projeto no BIM é colaborativo e se destaca devido a maior fluidez na comunicação entre os participantes, permitida pela presença do banco de dados comum, conhecido como o modelo BIM, conforme mostrado na Figura 16.

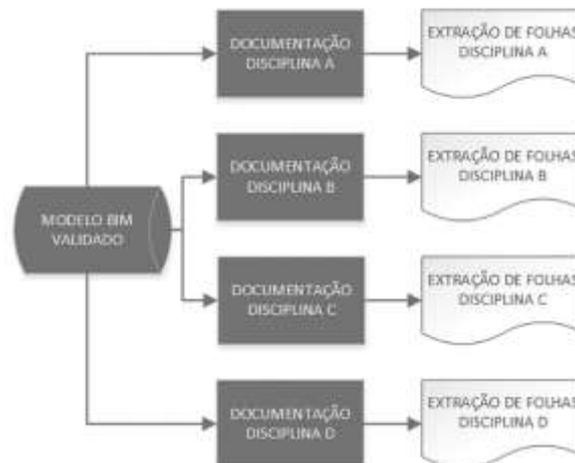
Figura 16 - Processo colaborativo no projeto BIM



Fonte: LEUSIN, 2021.

O modelo BIM é, na verdade, um conjunto composto por diversos modelos conjugados representativos de cada disciplina do projeto e/ou áreas da edificação, que geralmente são hospedados em plataformas que permitem a sobreposição entre esses arquivos. Nesse processo colaborativo, todos os participantes conseguem visualizar o modelo BIM, de forma a facilitar o processo de compatibilização, porém só conseguem alterar aquilo que é de sua responsabilidade. Uma vez que este modelo esteja finalizado, de acordo com as exigências dos participantes, o processo passa para as etapas de documentação e extração de folhas, conforme mostrado na Figura 17 (LEUSIN, 2021).

Figura 17 - Processo de documentação do modelo BIM.



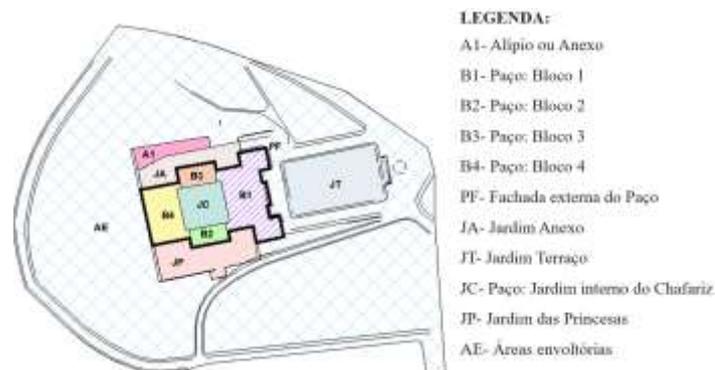
Fonte: LEUSIN, 2021.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho é o Museu Nacional - UFRJ, localizado na Quinta da Boa Vista, na cidade do Rio de Janeiro. Trata-se de uma edificação bicentenária com área construída superior a 13.000 m<sup>2</sup>. Para fins de projeto a edificação é dividida em diversos setores, conforme pode ser visto na Figura 18.

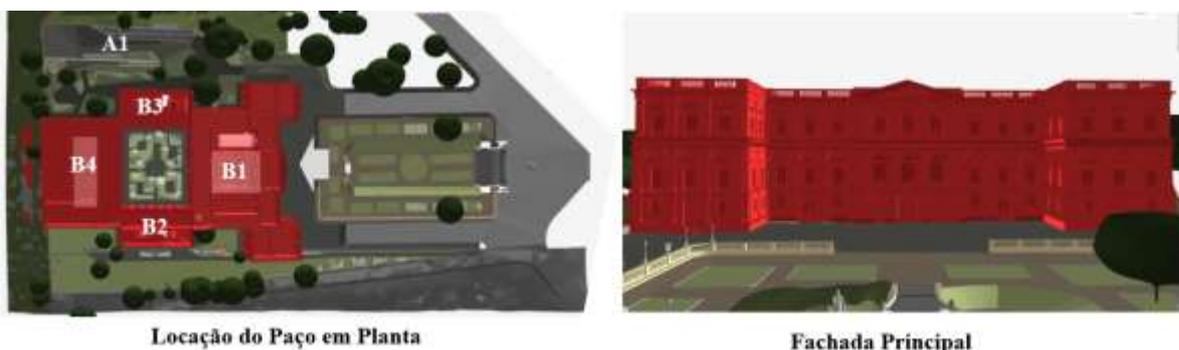
Figura 18 - Representação esquemática da divisão em blocos do Museu Nacional - Paço de São Cristóvão, Alípio e Áreas envoltórias



Fonte: A Autora (2023).

A parte central, composta pelos blocos B1, B2, B3 e B4 é conhecida como Paço de São Cristóvão, onde está localizada a fachada principal. O Paço constitui a maior parte construída (Figura 19), sendo que somente o pavimento térreo ocupa uma área de aproximadamente 4800 m<sup>2</sup>.

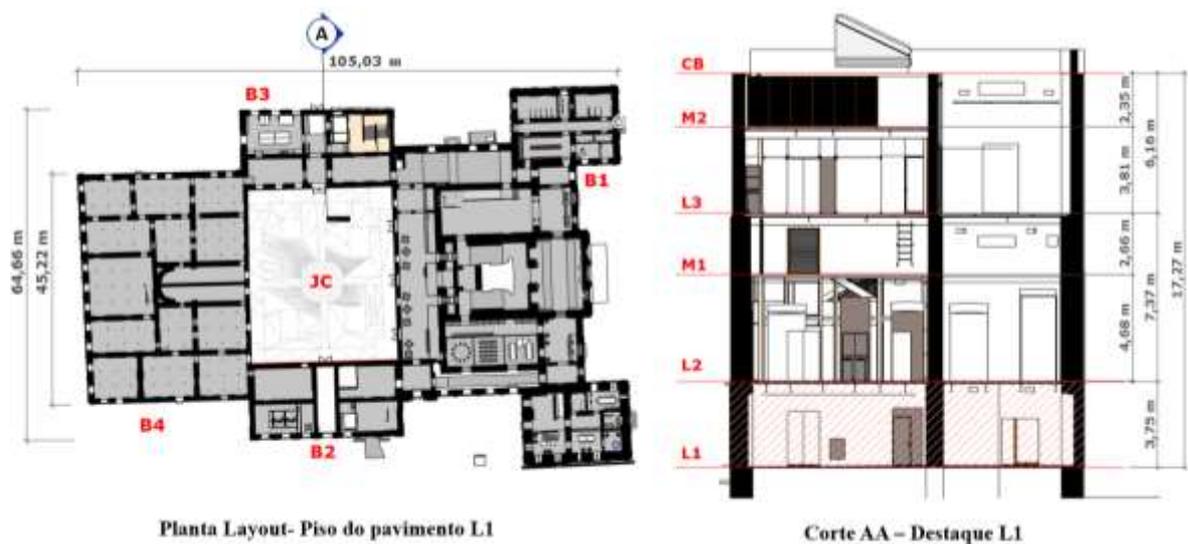
Figura 19 - Edificação do Paço (destaque em vermelho) em relação as demais áreas do Museu Nacional e sua fachada principal



Fonte: A Autora (2023).

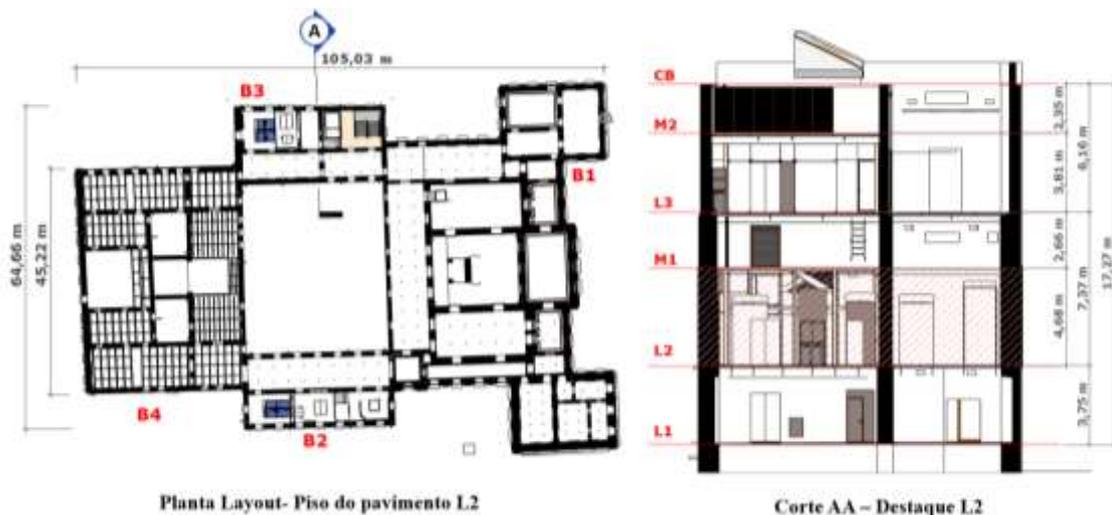
Todos esses blocos do Paço possuem três pavimentos principais (L1, L2 e L3), dois mezaninos (M1 e M2) e a cobertura. Para melhor entendimento do layout da edificação, são mostrados na Figura 20, Figura 21 e Figura 22 as plantas dos pavimentos principais e localização em corte de cada um. Devido à grande magnitude do projeto, os detalhamentos dos mezaninos, assim como tubulações e demais elementos presentes no projeto como um todo são mostrados nos Apêndices A e B.

Figura 20 - Planta do pavimento L1 e corte esquemático com indicação dos pavimentos no Paço de São Cristóvão.



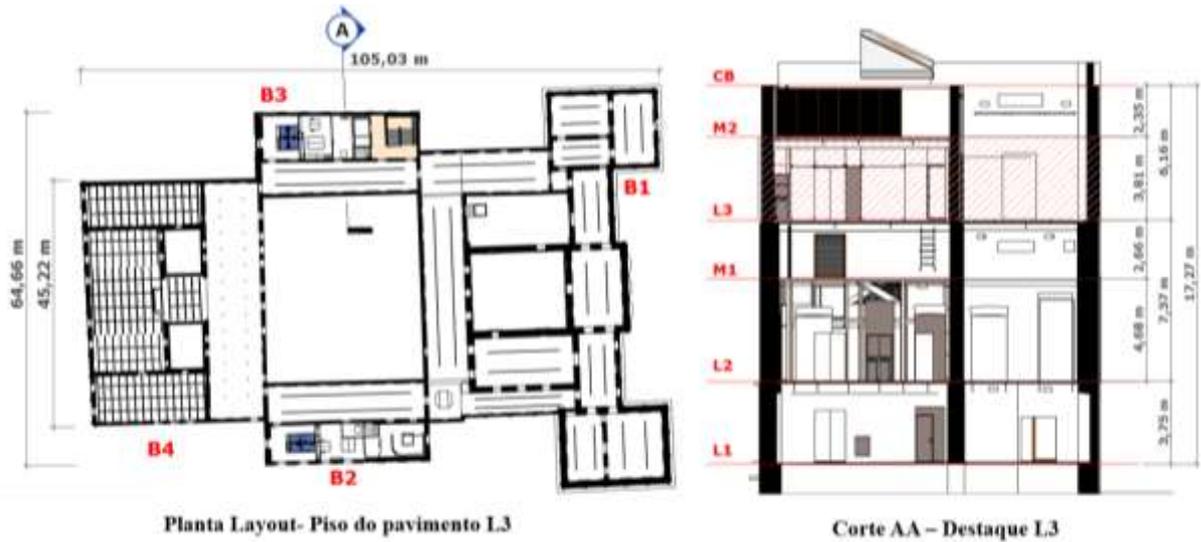
Fonte: A Autora (2023).

Figura 21 - Planta do pavimento L2 e corte esquemático com indicação dos pavimentos no Paço de São Cristóvão.



Fonte: A Autora (2023).

Figura 22 - Planta do pavimento L3 e corte esquemático com indicação dos pavimentos no Paço de São Cristóvão.



Fonte: A Autora (2023).

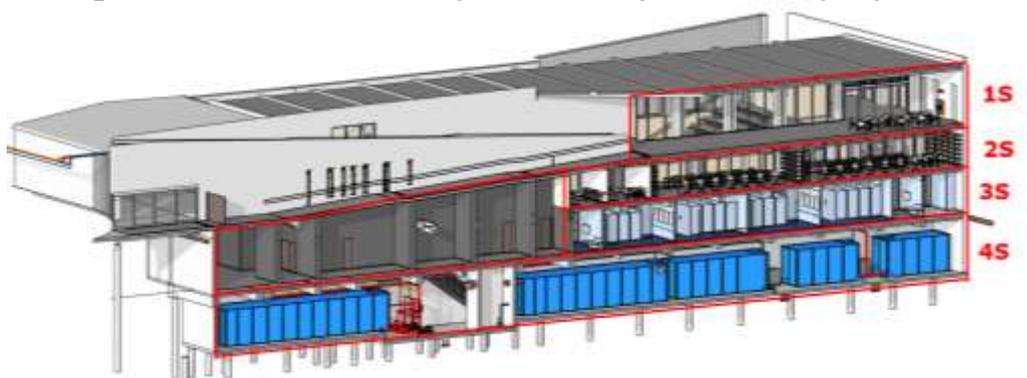
Já o Alípio, setor também incluído no projeto de incêndio, é locado no subsolo (Figura 23). A edificação em questão tem 4 níveis, sendo o mais profundo destinado aos reservatórios e sistemas de bombeamento de água, conforme pode ser visto na Figura 24.

Figura 23 - Localização do bloco Alípio em relação ao Paço de São Cristóvão: Captura de tela da plataforma *BIM Track*.



Fonte: A Autora (2023).

Figura 24 - Pavimentos do Alípio - Corte esquemático em perspectiva.



Fonte: A Autora (2023).

A planta dos pavimentos do Alípio, assim como a localização indicada em corte, podem ser vistos em Figura 25, Figura 26 e Figura 27. Devido à grande magnitude do projeto, o detalhamento da edificação, no que se refere às demais plantas de piso, cortes e perspectivas com detalhamento, importantes para a análise e melhor entendimento, se encontram nos Apêndice A e B, na forma de Prancha.

Figura 25 - Planta do pavimento S1 e corte esquemático com indicação dos pavimentos da edificação no Alípio.



Fonte: A Autora (2023)

Figura 26 - Planta do pavimento S2 e corte esquemático com indicação dos pavimentos da edificação no Alípio.



Fonte: A Autora (2023).

Figura 27 - Planta do pavimento S3 e corte esquemático com indicação dos pavimentos da edificação no Alípio.



Fonte: A Autora (2023).

### 3.2 Características e classificação da edificação segundo o CBMERJ e ABNT

Ao se analisar a ocupação, número de pavimentos e área edificada do Museu Nacional, é possível classificá-lo de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo COSCIP e CBMERJ (RIO DE JANEIRO, 2018; CBMERJ, 2019) como no Grupo F, em que se tem uso para um “Local de Reunião Público”, divisão “F-1”, com descrição de “Local onde há objeto de valor inestimável”, com um risco “Médio 1”.

A partir da definição do seu Grupo, Divisão e análise do número de pavimentos são estabelecidos quais medidas necessárias para prevenção e combate a incêndio, conforme demonstrado na Tabela 6 (RIO DE JANEIRO, 2018).

Tabela 6 - Exigências para edificações do grupo F, Divisão F-1, com área superior a 900 m<sup>2</sup>, conforme estabelecido pelo COSCIP.

Medida de Segurança	Exigência	Medida de Segurança	Exigência
Extintores	X	Plano de emergência	-
Hidrantes e Mangotinhos	X	Controle de fumaça	-
Chuveiros Automáticos	-	Hidrante urbano	X
Sinalização de Segurança	X	Acesso de viatura em edificações	X
Iluminação de Emergência	X	Compartimentação vertical	
Alarme de Incêndio	X	Segurança Estrutural contra Incêndio	X
Detecção de Incêndio	X	Controle de Materiais de Acabamento	X
Saídas de Emergência	X	-	-

Fonte: Adaptado de Rio de Janeiro (2018).

O uso de chuveiros automáticos não é obrigatório nos casos de edificações do Grupo F-1, com três pavimentos e área superior a 900m<sup>2</sup> (RIO DE JANEIRO, 2018), porém, levando em conta o histórico de incêndios do local, como o ocorrido em 2018, definiu-se que haveria a instalação deste tipo de sistema, para a promoção de maior segurança ao patrimônio do museu.

### 3.3 Dimensionamento e Concepção hidráulica

#### 3.3.1 Rede de hidrantes e mangotinhos

Optou-se pela utilização do sistema de hidrantes tipo 2, com tubulação em aço carbono Schedule 40 e conexões ranhuradas do tipo *Grooved* da marca *Tupy*. O posicionamento e número de hidrantes necessários foi estabelecido conforme especificações da NT 2-03 (CBMERJ, 2019d) e NBR 13714 (ABNT, 2000).

Conforme especificado pela NBR 13714 (ABNT, 2000), o dimensionamento do sistema de hidrantes e mangotinhos foi feito com base no uso simultâneo dos dois jatos de água mais desfavoráveis hidraulicamente, sob uma vazão mínima estabelecida por norma. Assim como definido pela NBR 13714 (ABNT, 2000), a perda de carga foi calculada pela equação de Hazen Williams (Equação 9), considerando o coeficiente de atrito C igual a 120. A linha *Tupy Grooved* não possui comprimento equivalente específico definido pelo fabricante, sendo assim, adotou-se os valores utilizados para conexões em aço galvanizado.

### 3.3.2 Rede de chuveiros automáticos

O projeto leva em conta a utilização de chuveiros automáticos de resposta rápida pendentes, de dois modelos distintos: *Reliable G5-56* para locais onde há necessidade de embutir o equipamento no forro e *Reliable F1FR Series* em locais onde não há forro. Ambos os modelos são de rosca NPT, diâmetro de 1/2" (meia polegada) e fator de descarga  $K$  igual a  $80 \left( \frac{L}{\min \text{ bar}^{1/2}} \right)$ .

A distribuição dos chuveiros foi feita de acordo com as diretrizes da NBR 10897 (ABNT, 2020), NT 2-03 (CBMERJ, 2019d) e da norma internacional NFPA 13 (NFPA, 2019). Toda a rede de *sprinklers* é do tipo aberta com sistema de tubo molhado, com tubulação em aço carbono Schedule 40. As conexões escolhidas são de dois tipos: Linha *Tupy Grooved* para diâmetros nominais a partir de 50 mm e linha *Tupy Forged* para diâmetros iguais ou inferiores a 40 mm.

Foi utilizado o método de cálculo hidráulico por recinto, no qual a área de operação, representativa do local com maior demanda hidráulica trata-se de uma sala no mezanino do terceiro pavimento do Bloco 2. A distribuição dos chuveiros automáticos pela sala seguiu as especificações da NBR 10897 (ABNT, 2020) na questão dos distanciamentos e área máxima de cobertura dos chuveiros. Através da Equação 4 pôde-se calcular a área de cobertura de cada chuveiro ( $A_{SR}$ ), utilizada juntamente com  $A_R$  para a análise das curvas de densidade e área (ABNT, 2020).

A definição dos diâmetros dos ramais foi escolhida a partir da utilização da equação de Forchheimer (Equação 8) e recomendações da NBR 10897 (ABNT, 2020), que estabelece o diâmetro mínimo de 25 mm para tubulações em aço (ABNT, 2020). Foram analisados também os diâmetros comerciais disponíveis, tanto para tubulações quanto para as conexões utilizadas.

Assim como especificado pela NBR 10897 (ABNT, 2020), a perda de carga distribuída foi calculada pela equação de Hazen Williams (Equação 9), considerando o fator  $C$  igual a 120. As linhas *Tupy Grooved* e *Tupy Forged* não possuem comprimento equivalente específico definido pelo fabricante, sendo assim, adotou-se os valores utilizados para conexões em aço galvanizado.

De acordo com Brentano (2007) a perda de carga nas tubulações de sucção da bomba pode ser desconsiderada devido a sua pequena magnitude, principalmente em casos em que há sucção positiva, como na edificação analisada.

Segundo a NBR 10897 (ABNT, 2020), faz-se necessário a instalação da válvula de governo e alarme, locada no início da tubulação de recalque do sistema de chuveiros automáticos.

Outra medida necessária, segundo NFPA (2008), é a instalação de válvulas de teste de alarme, presentes a cada pavimento da edificação e com configuração similar ao ilustrado na Figura 12.

### 3.3.3 Reserva Técnica de Incêndio

Conforme estabelecido pela NFPA (2008), em sistemas combinados o volume total da reserva de incêndio corresponde à soma dos volumes de água demandados pelo sistema de hidrantes e mangotinhos e pelo sistema de chuveiros automáticos.

O volume da RTI para o sistema de chuveiros automáticos é calculado a partir da Equação **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, em que a vazão pode ser obtida pelo método de cálculo hidráulico. A duração da reserva de água, considerado para cálculo desse volume, varia de acordo com a categoria de risco da edificação, conforme Tabela 7 (ABNT, 2000, 2020; CBMERJ, 2019b, 2019c).

Tabela 7 - Duração da reserva de água RTI de acordo com a categoria de risco da edificação, segundo o CBMERJ.

Categoria de Risco	Duração t (min)
Leve	30
Ordinário Grupo 1 e 2	30
Extraordinário Grupo 1 e 2	60

Fonte: Adaptado de CBMERJ (2019c).

De acordo com CBMERJ (2019b), o volume de reserva para o sistema de hidrantes e mangotinhos é definida a partir da análise do número de hidrantes na edificação e classificação dessa quanto ao risco de incêndio. A NT 2-02 (CBMERJ, 2019c) estabelece que para edificações de risco Médio 1 o volume mínimo da reserva é de 6.000 litros. Se há mais de quatro hidrantes na edificação, é necessário acrescentar 500 litros por cada hidrante excedente a quatro, respeitando o limite máximo de 30.000 litros (CBMERJ, 2019b).

Adicionalmente, optou-se pelo uso de reservatório inferior exclusivo apoiado no subsolo do Bloco A1.

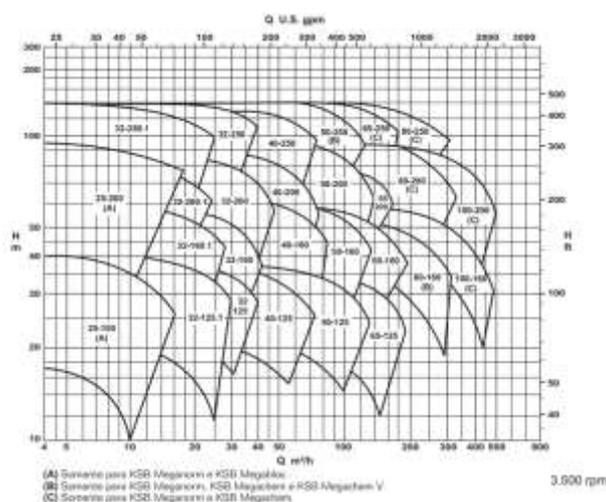
### 3.3.4 Sistema de Bombas de incêndio

Assim como recomendado pela NBR 10897 (ABNT, 2020), o sistema de bombas conta com 3 unidades: 2 principais e uma terceira (*jockey*). Os motores são alimentados por circuitos

elétricos trifásicos com fontes distintas de energia e independentes do consumo geral da edificação, de forma a permitir o desligamento da energia sem prejuízo ao funcionamento do sistema de bombeamento.

As duas bombas principais são idênticas e trabalham individualmente como reserva uma da outra. A escolha dessa bomba foi feita através da análise de curvas características e tabelas fornecidas por fabricantes. Catálogos na forma de tabela geralmente já expõe todas as características da bomba sem necessidade de interpretar os ábacos. Já para o caso das curvas características, o primeiro passo é analisar, através dos valores de altura manométrica e vazão, qual modelo se encaixa nesses requisitos de projeto, conforme exemplificado na Figura 28.

Figura 28 - Curva característica - Relação entre altura manométrica, vazão e modelos de bombas disponíveis na fabricante KSB.



Fonte: KSB Bombas Hidráulicas (2018).

Vale ressaltar que a altura manométrica é definida a partir dos cálculos de pressão requerida para o sistema de chuveiros automáticos ou de hidrantes e mangotinhos, o que for maior. Já a vazão deve ser a soma das vazões de ambos os sistemas de combate a incêndio. O modelo pré-selecionado com auxílio da Figura 28 possui curvas específicas para definição de outros parâmetros da bomba, como potência de eixo e rendimento. Uma estimativa corrigida da potência é obtida através da Equação 14.

De acordo com Brentano (2007), a bomba *jockey*, também conhecida como bomba de pressurização, é uma importante ferramenta utilizada para compensar eventuais perdas de pressão que poderiam acionar acidentalmente as bombas principais. A escolha desse elemento foi feita de forma similar à da bomba principal, exceto pelo fato de que a vazão e altura manométrica não são as mesmas que os valores de projeto. O CBMERJ (2019d) estabelece que

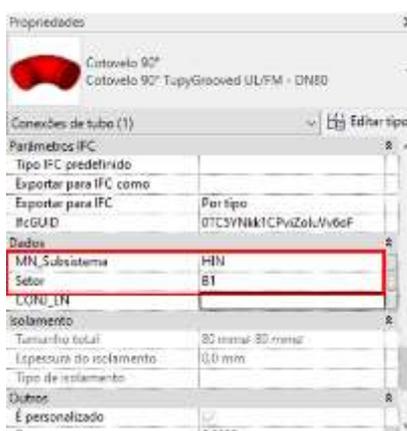
a diferença de pressão de acionamento entre bomba principal e bomba jockey seja de 10 mca, ou seja, a escolha da bomba de pressurização deve ser feita considerando uma altura manométrica 10 mca superior à pressão de projeto. Já a vazão considerada é bem pequena em relação ao valor de projeto, sendo de no máximo 1,2 m<sup>3</sup>/h.

### 3.4 Modelagem e processos BIM

A modelagem do projeto das instalações hidráulicas foi feita no *software* Autodesk Revit, versão 2023. O software se mostrou vantajoso devido a tecnologia BIM implementada e a presença de diversas bibliotecas de peças e acessórios fornecidos por fabricantes.

Assim como a edificação em si, o modelo BIM do sistema hidráulico de combate a incêndio foi dividido entre setores. Para fins de compatibilidade de processos e questões contratuais, as demais disciplinas presentes no projeto de restauração do Museu Nacional também seguiram o mesmo padrão. A setorização da modelagem se deu a partir do preenchimento dos parâmetros “MN\_Substema” e “Setor” dentro do próprio Revit (Figura 29), de forma que fosse possível definir modelos BIM distintos. “MN\_Substema” indica a disciplina do arquivo BIM, no caso “HIN” representa as instalações hidráulicas de combate a incêndio. Já o “Setor” segue os mesmos códigos descritos na Figura 18. Vale ressaltar que esses padrões foram discutidos anteriormente entre a equipe de coordenação BIM e demonstrados aos projetistas na forma de documentos.

Figura 29 - Aba de Propriedades de elemento no Revit- Preenchimento de parâmetros do substema e setor.



Fonte: A Autora (2023).

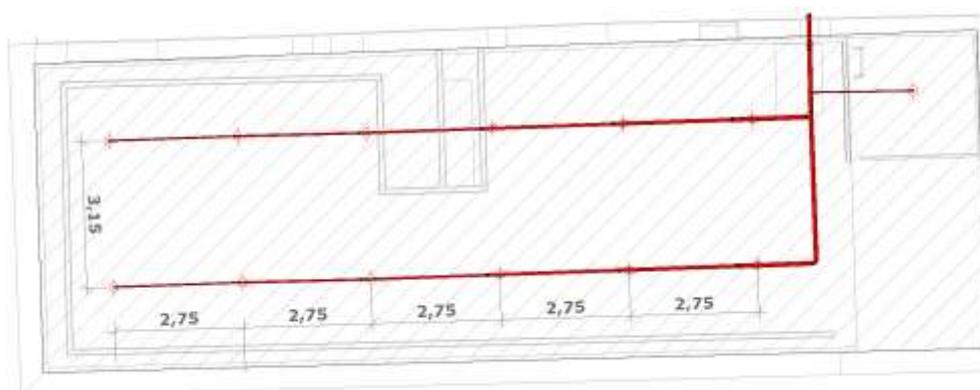
Assim como estipulado por Leusin (2021), o processo de compatibilização entre as disciplinas se deu por meio do modelo BIM federado em formato “*ifc*”, atualizado semanalmente e hospedado na plataforma BIM Track, onde todos os projetistas possuíam acesso. Nessa plataforma é possível visualizar todos os modelos sobrepostos. Os conflitos encontrados pela equipe de coordenação BIM são expostos na forma de *issues*, nas quais os projetistas responsáveis pelas disciplinas em conflito são notificados para resolver conjuntamente as incompatibilidades.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Sistema de Chuveiros Automáticos

A distribuição dos chuveiros automáticos e de toda a rede de tubulações pode ser visto nas pranchas do Apêndice B e Apêndice C. No total, foram necessárias 1118 unidades sendo 546 do tipo “*Reliable F1FR Series*” e 572 do tipo “*Reliable G5-56*”. Na Figura 30, observa-se 13 chuveiros distribuídos pelos 140 m<sup>2</sup> do recinto escolhido, resultando em uma área individual de cobertura dos chuveiros ( $A_S$ ) igual a 10,77 m<sup>2</sup>.

Figura 30 - Distribuição dos chuveiros automáticos na área hidráulicamente mais desfavorável da edificação.



Fonte: A Autora (2023).

A pressão total requerida pelo sistema de chuveiros automáticos foi de 882,88 kPa, enquanto a vazão total foi de 1118,00 L/min (Tabela 8). A planilha detalhada de dimensionamento pode ser vista no Apêndice D.

Tabela 8 - Vazões, perdas de carga e pressões obtidas com o método de cálculo hidráulico por recinto para o sistema de chuveiros automáticos.

Ref.	Quant. Sim. Chu.	Vazões		Tubulações			Pressões		Ref.
		A somar (L/min)	Acumulada (L/min)	DN adotado (mm)	Comp. real (m)	Perda de carga (kPa)	Pressão estática (kPa)	Pressão Requerida (kPa)	
10	1		65,69	25,00	2,75	8,49	67,43	75,92	11
11	2	69,71	135,40	32,00	2,75	21,08	75,92	97,00	12
12	3	78,79	214,19	40,00	2,75	13,97	97,00	110,97	13
13	4	84,27	298,47	50,00	2,75	8,56	110,97	119,53	14
14	5	87,47	385,93	50,00	2,75	16,18	119,53	135,72	15
15	6	93,20	479,13	65,00	4,25	9,37	135,72	145,08	A
16	1	0,00	65,69	25,00	2,17	8,49	67,43	75,92	17
17	2	69,71	135,40	32,00	2,75	21,08	75,92	97,00	18
18	3	78,79	214,19	40,00	2,75	13,97	97,00	110,97	19
19	4	84,27	298,47	50,00	2,75	8,56	110,97	119,53	20
20	5	87,47	385,93	50,00	2,75	16,18	119,53	135,72	21
21	6	93,20	479,13	65,00	1,25	10,66	135,72	146,37	A
22	1	0,00	65,69	25,00	2,10	18,96	67,43	232,76	A
A	13	0,00	1118,00	80,00	11,30	91,54	232,76	368,35	B
B	13	0,00	1118,00	100,00	170,00	212,57	368,35	828,42	C
C	13	0,00	1118,00	80,00	1,20	36,40	828,42	882,88	D

Fonte: A Autora (2023)

As conexões de teste de alarme de incêndio estão presentes nos três pavimentos principais onde há proteção por chuveiros automáticos, sendo duas unidades por pavimento, localizadas nos blocos B2 e B3, protegidas por abrigo, conforme pode ser visto na Figura 31 e de forma mais detalhada nas pranchas do Apêndice B.

Figura 31 - Conexões de teste de alarme de incêndio: Configuração adotada em projeto.

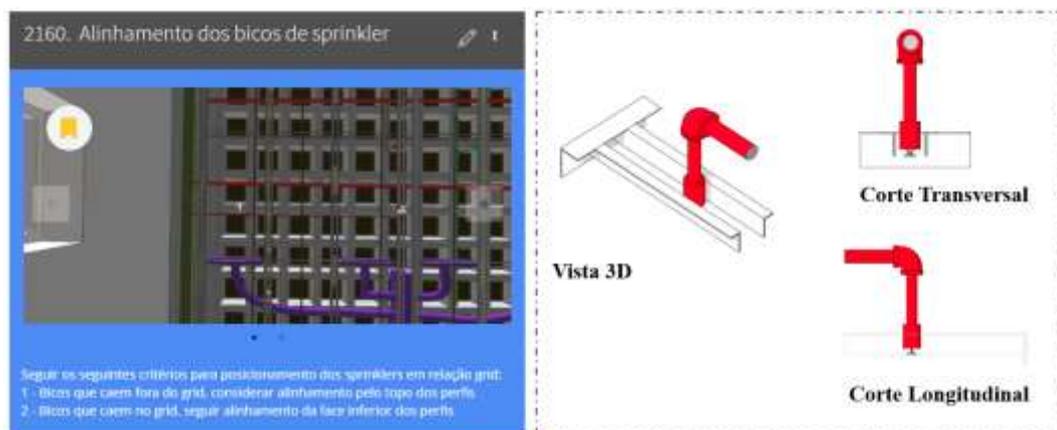


Fonte: A Autora (2023).

Quanto à modelagem BIM dos elementos do sistema de chuveiros automáticos, a Reliable, fornecedora de chuveiros automáticos, e Tupy, fornecedora das conexões, possuem biblioteca própria para Revit, onde foi possível encontrar todos os elementos necessários já completamente configurados, excluindo assim a necessidade de modelar as conexões.

Devido à grande dimensão da rede de chuveiros automáticos, o processo de compatibilização com as demais disciplinas foi complexo. Além de seguir as diretrizes normativas, a distribuição dos chuveiros foi baseada no posicionamento dos perfis metálicos de forros, dutos de climatização e elementos estruturais, conforme demonstrado na Figura 32.

Figura 32 - Exemplo de *issue* com diretrizes para posicionamento de *sprinklers* em relação aos grids do forro.



Fonte: A Autora (2023).

A frequência de atualização semanal dos modelos BIM não foi vantajosa no caso da compatibilização do sistema de chuveiros automáticos, uma vez que posição dos elementos das

demais disciplinas era constantemente modificado, o que implicou em conflitos, como o mostrado na Figura 33.

Figura 33 - Captura de tela da plataforma BIM Track- Exemplo de *issue* acerca de conflito entre chuveiro automático e luminária.



Fonte: A Autora (2023).

Uma desvantagem observada na utilização do Revit é a falta de processos automáticos para dimensionamento, fazendo com que os cálculos hidráulicos sejam feitos manualmente. Apesar disso, o Revit contém a ferramenta Dynamo, plataforma de programação visual que permite o desenvolvimento de rotinas que poderiam auxiliar nos cálculos, porém exigiria novos estudos acerca dessa linguagem de programação para aplicação em projeto.

Apesar de não fazer o dimensionamento da rede de forma automática, o Revit possui ferramentas que facilitam o processo de cálculo por planilhas. O desnível geométrico de elementos em relação a um ponto base preestabelecido, utilizado nos cálculos da pressão requerida, por exemplo, pode ser facilmente obtido a partir da ferramenta “elevação de ponto”. Outra vantagem acerca do uso do *software* é a possibilidade de elaboração de quantitativos e orçamentos de forma automática por meio das tabelas, sendo possível classificá-las por sistema, setor, pavimento ou até mesmo ambiente específico.

## 4.2 Sistema de Hidrantes e mangotinhos

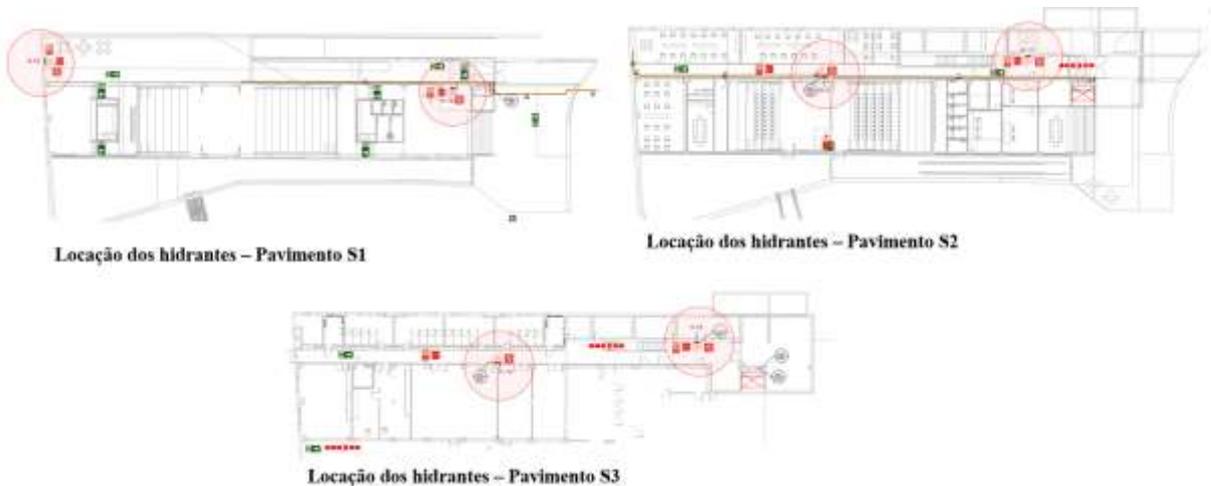
Os hidrantes foram distribuídos de forma estratégica de acordo com premissas da NBR 13714 (ABNT 2000), totalizando 26 unidades, sendo 20 no Paço de São Cristóvão (Figura 34) e 6 no Alípio (Figura 35). O posicionamento de forma mais detalhada, incluindo as tubulações e conexões do sistema estão presentes nas pranchas do Apêndice A.

Figura 34- Localização, em planta dos hidrantes nos três pavimentos principais do Paço de São Cristóvão.



Fonte: A Autora (2023).

Figura 35 - Localização, em planta dos hidrantes nos três pavimentos principais do Alípio.



Fonte: A Autora (2023).

A vazão mínima considerada nos dois elementos mais hidráulicamente desfavoráveis foi de 200 L/min, enquanto a pressão de trabalho adotada foi de 40 mca, o que está dentro dos limites mínimos especificados pela NT 2-02 para a edificação em questão (CBMERJ, 2019b). A Tabela 9 demonstra os valores obtidos para vazão e pressão requerida pelo sistema de hidrantes. A planilha de dimensionamento pode ser vista no Apêndice E.

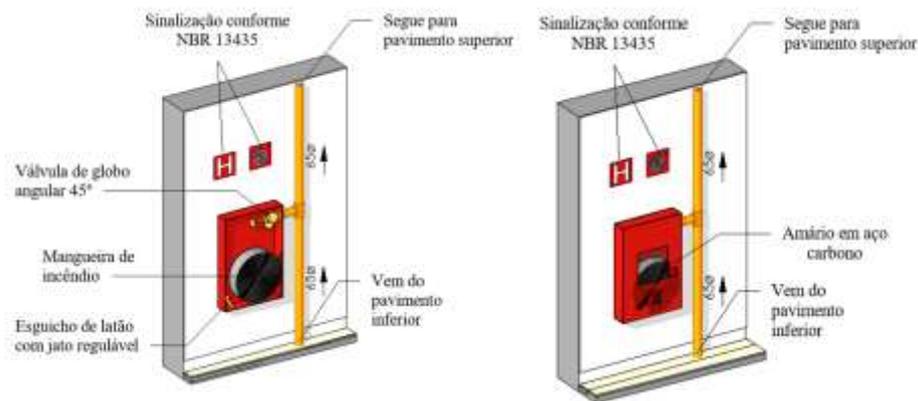
Tabela 9 - Vazão, perda de carga e pressão requerida pelo sistema de hidrantes.

Trecho	Pressão no Registro (mca)	Vazão (L/min)	Tubulação		Perda de carga Total (mca)	Pressão Estática Requerida (mca)
			DN Interno (mm)	Comp. (m)		
H1-A	40,00	200,00	68,00	123,40	3,45	56,61
H2-A	40,38	200,00	68,00	73,40	2,08	55,62
A-BI		400,00	77,00	77,20	5,22	74,53
BI-RI		400,00	102,00	1,40	0,16	74,68

Fonte: A Autora (2023).

As conexões necessárias para modelagem do projeto de hidrantes e mangotinhos foi disponibilizada pela biblioteca *Tupy*, enquanto os hidrantes, ilustrados na Figura 36, fazem parte do acervo de famílias para Revit, desenvolvidos pela empresa responsável pela modelagem BIM.

Figura 36- Modelo de hidrantes utilizados na modelagem BIM

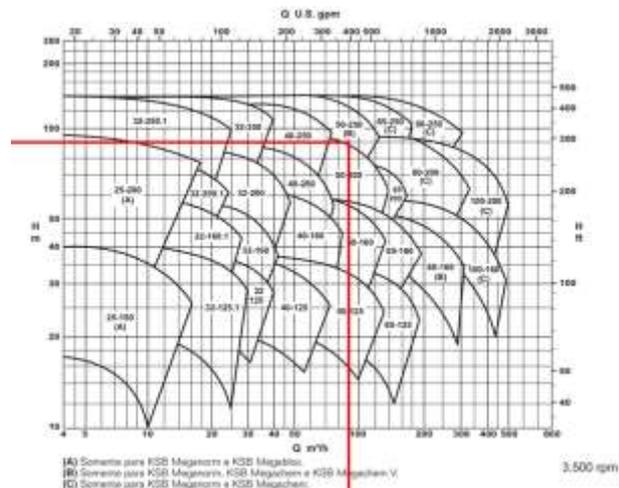


Fonte: A Autora (2023).

### 4.3 Sistema de bombeamento

Para a escolha da bomba principal foram utilizadas a altura manométrica de 88 mca e vazão total de 91,08 m<sup>3</sup>/h. Analisando o primeiro diagrama disponível, conforme Figura 37, obtém-se o modelo “50-250” das linhas “Meganorm”, “Megachem” e “Megachem V” com velocidade nominal de 3500 rpm.

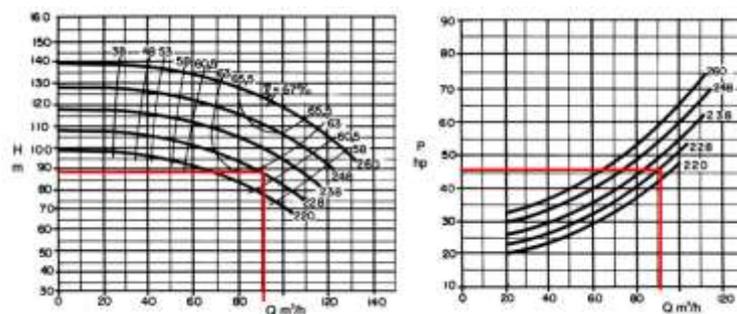
Figura 37 - Relação entre altura manométrica, vazão e modelos de bombas disponíveis na fabricante KSB e ponto de projeto para a bomba principal.



Fonte: Adaptado de KSB Bombas Hidráulicas (2018).

Analisando as curvas características do modelo “50-250” linha “Meganorm” com velocidade nominal 3500 rpm, conforme Figura 38, chegou-se aos valores de: diâmetro de rotor de 228 mm, rendimento médio entre 60,5 e 63% e potência de eixo de, aproximadamente, 45 CV. A potência corrigida, considerando o rendimento de 60,5% foi de 49,89 CV.

Figura 38. Curvas características da bomba KSB linha “Meganorm” modelo “50-250” 3500 rpm e ponto de projeto

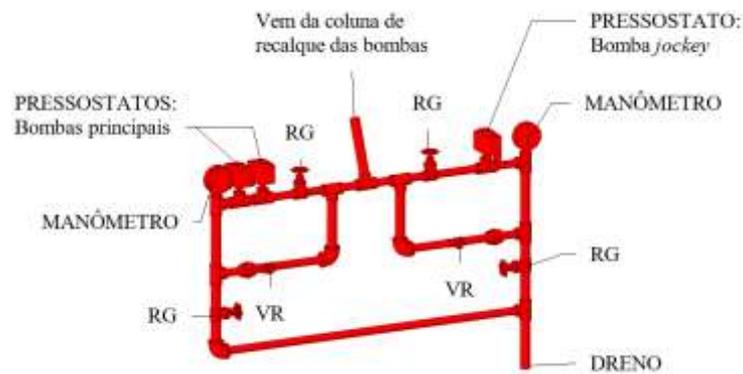


Fonte: Adaptado de KSB Bombas Hidráulicas (2018).

Analisando a Figura 37, é possível ver que a KSB não fornece equipamentos com os parâmetros requeridos pela bomba *jockey*, uma vez que a vazão dessa deve ser inferior a 1,2 m³/h e altura manométrica igual ou superior a 98 mca, segundo recomendação do CBMERJ (2019c). Sendo assim, foi necessário análise em outros fabricantes. Após análise de todo o catálogo do fabricante Thebe, que é exposto na forma de tabelas, chegou-se ao modelo “RE16B/BV”, uma bomba com altura manométrica de 100 mca, uma vazão de 0,49 m³/h e potência de 3 CV.

Um ponto importante do sistema de bombas é o cavalete de automação, ilustrado na Figura 39. Os elementos desse são responsáveis pelo monitoramento constante da pressão e presença de fluxo, de forma a promover o acionamento automático das bombas caso seja necessário. Os pressostatos da bomba principal acionarão uma das bombas principais em caso de queda de pressão na rede, causada por abertura da válvula dos hidrantes ou da válvula de controle de alarme. Devido a essa característica, vazamentos na rede também ativariam o sistema de bombas principais, uma vez que causam perdas de pressão. Sendo assim, a utilização da bomba *jockey* é imprescindível pois sua função é justamente compensar essas pequenas perdas causadas por vazamentos e impedir, assim, o acionamento das bombas principais (BRENTANO, 2008).

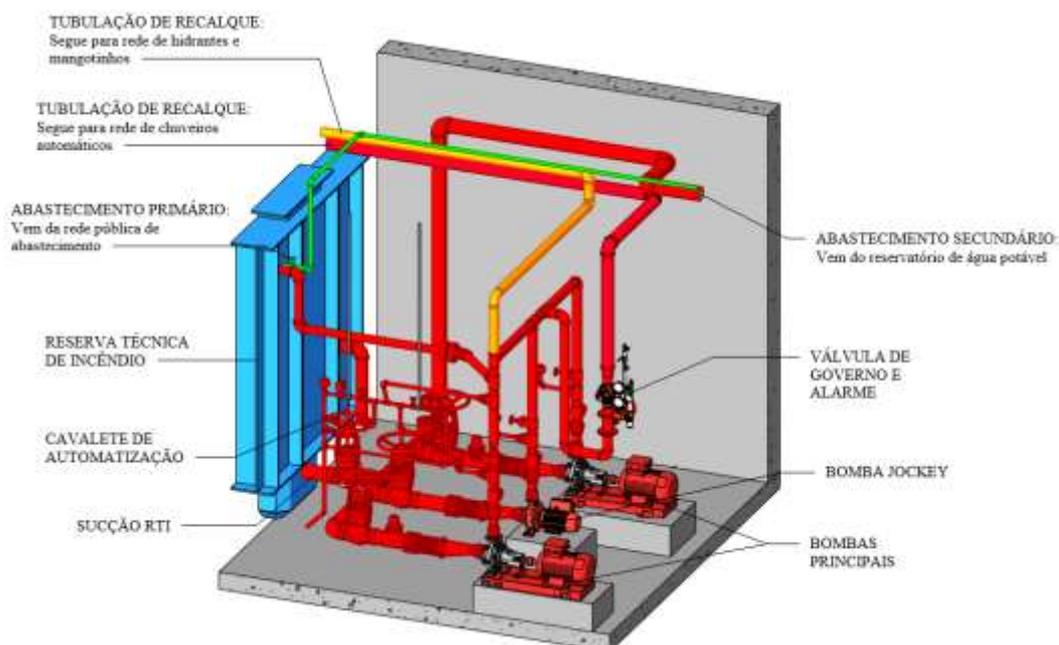
Figura 39- Cavalete de automação do sistema de bombas.



Fonte: A Autora (2023).

O sistema de bombeamento foi modelado com o uso de conexões fornecidas pela Tupy e algumas peças disponíveis no acervo técnico da empresa responsável pela modelagem BIM. A compatibilização do sistema de bombas com as demais disciplinas de projeto foi a menos complexa, uma vez que todo o pavimento S4 é de uso exclusivo para as instalações hidráulicas. A Figura 40 ilustra as tubulações e componentes do sistema de bombeamento, que também pode ser visto, de forma mais detalhada, nas pranchas de projeto presentes no Apêndice C.

Figura 40 - Esquema do sistema de bombas, sucção e recalque.



Fonte: A Autora (2023).

#### 4.4 Reserva de incêndio e hidrantes de recalque

Considerando o número de hidrantes e classificação da edificação segundo parâmetros do CBMERJ, pôde-se calcular o volume de reserva, obtendo um valor de  $17 \text{ m}^3$ . O tempo de duração da reserva de incêndio é de 30 minutos, conforme especificado pela NBR 10897 (ABNT, 2020), resultando em um volume de  $33,54 \text{ m}^3$  para o sistema de chuveiros automáticos. Sendo assim, o volume total da reserva técnica de incêndio é de  $50,54 \text{ m}^3$ .

As equipes técnicas responsáveis pelos projetos arquitetônico e estrutural definiram o reservatório a ser utilizado como ao nível do piso no subsolo S4, do tipo modular, fabricado em resina poliéster ortoftálica com absorvedor UV, reforçada com fibra de vidro segundo diretrizes normativas da NBR 13210 (ABNT,1994).

Vale ressaltar as características acerca do abastecimento de água da reserva técnica de incêndio: além da captação direta da rede pública, representada pela tubulação em verde da Figura 40, há previsão de sucção direta das duas células do reservatório de água potável, de forma a promover maior segurança acerca do volume de água disponível para combate a incêndio.

A vazão total requerida pelas instalações hidráulicas de combate a incêndio foi de  $1518,00 \text{ L/min}$ , exigindo a instalação de hidrante de recalque duplo, conforme preconizado pelo CBMERJ (2019c). Foram adotados 2 hidrantes de recalque locados no passeio público de acordo com

diretrizes normativas da NBR 13714 (ABNT, 2000) e CBMERJ (2019b), os quais podem ser vistos na planta de piso do pavimento L1, presente nas pranchas do Apêndice A.

## 5. CONCLUSÕES

O dimensionamento da rede hidráulica de combate a incêndio foi feito de acordo com as diretrizes normativas, resultando em valores de pressão e vazão dentro dos limites mínimos e máximos estabelecidos pelo CBMERJ.

Este trabalho, trata-se do projeto para uma edificação histórica com diversas peculiaridades construtivas, como presença de ângulos não retos, paredes estruturais extremamente espessas e vigas metálicas de reforço estrutural, que culminaram em uma rede complexa de tubulações de combate a incêndio, em especial o sistema de chuveiros automáticos. Outro ponto a ser destacado é o sistema de bombas de incêndio. A automatização do sistema de bombas exclui a necessidade de acionamento manual pelo operador, proporcionando autonomia e maior segurança.

O Museu Nacional é uma edificação de grande importância que já teve perdas significativas devido à incêndios anteriores. Nesse contexto, a aplicação das medidas adicionais de segurança nas instalações hidráulicas de combate a incêndio, como implantação de chuveiros automáticos e abastecimento de duas diferentes fontes de água, são ferramentas de suma importância não só para a segurança humana, mas também para a preservação da cultura e incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento.

A aplicação da tecnologia BIM foi de extrema importância para o processo, em virtude da disponibilidade e organização das informações acerca do projeto como um todo. Devido ao grande porte do projeto, a exposição direta dos conflitos entre disciplinas na forma de *issues* foi imprescindível para o processo de compatibilização.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT Catálogo**. 2023. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 08 mai. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10897**: Proteção contra Incêndio por Chuveiro Automático. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12692**: Extintores de Incêndio- Inspeção e Manutenção. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12693**: Sistemas de proteção por extintor de incêndio. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12693**: Sistemas de Proteção por Extintores de Incêndio. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13210**: Caixa de poliéster reforçado com fibra de vidro para água potável. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13714**: Sistemas de Hidrantes e de Mangotinhos para Combate a Incêndio. Rio de Janeiro, 2000.
- AUTODESK. **Projete e construa com BIM**: Modelagem de informação da construção. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/solutions/bim.%202018>. Acesso em 08 mai. 2023.
- AZHAR, S. **Building Information Modeling (BIM)**: trends, benefits, risks and challenges for the AEC Industry. *Leadership Management in Engineering*, v. 11, n. 3, p. 241-252, 2011.
- BRASIL. **Lei nº 13.425, de 30 de março de 2017**. Estabelece diretrizes gerais sobre medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres em estabelecimentos, edificações e áreas de reunião de público; altera as Leis nºs 8.078, de 11 de setembro de 1990, e 10.406, de 10 de janeiro de 2002 - Código Civil; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, n. 63, p. 1. 31 mar. 2017. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=31/03/2017&jornl=1&pagina=1&totalArquivos=136>. Acesso em 05 mai. 2023.
- BRENTANO, Telmo. **Instalações Hidráulicas de combate a incêndios nas edificações**. 3. Ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **NT 1-04**: Classificação das edificações e áreas de risco quanto ao risco de incêndio. Rio de Janeiro, 2019a. Disponível em: <https://www.cbmerj.rj.gov.br/290-notas-tecnicas>. Acesso em 12 jun. 2023.
- CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **NT 2-02**: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro, 2019b. Disponível em: <https://www.cbmerj.rj.gov.br/290-notas-tecnicas>. Acesso em 04 mai. 2023.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **NT 2-03:** Sistemas de chuveiros automáticos / sprinklers – Parte 1 – Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2019c. Disponível em: <https://www.cbmerj.rj.gov.br/290-notas-tecnicas>. Acesso em 04 mai. 2023.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **NT 2-03:** Sistemas de chuveiros automáticos / sprinklers – Parte 2 – Áreas de armazenamento. Rio de Janeiro, 2019d. Disponível em: <https://www.cbmerj.rj.gov.br/290-notas-tecnicas>. Acesso em 04 mai. 2023.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **NT 2-04:** Conjunto de pressurização para sistemas de combate a incêndio. Rio de Janeiro, 2019e. Disponível em: <https://www.cbmerj.rj.gov.br/290-notas-tecnicas>. Acesso em 04 mai. 2023.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **NT 2-15:** Hidrante urbano. Rio de Janeiro, 2019f. Disponível em: <https://www.cbmerj.rj.gov.br/290-notas-tecnicas>. Acesso em 04 mai. 2023.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM:** um guia de modelagem da informação e construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre, RS: Bookman, 2014. 283 p.

EUZEBIO, Sandro da Cunha. **PPCI Fácil:** manual completo de prevenção de incêndios. Pelotas, RS, 2011.

FERREIRA, Luiz Henrique. **Análise de Risco de Incêndio em Edificações Históricas:** Estudo de Caso do Conjunto de Edificações da Igreja São Pedro dos Clérigos, em Mariana-MG. Orientadora: Ana Letícia Pilz de Castro. 2019. 82 fl. Monografia de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, 2019.

LEAL, Igor Soares. **Verificação de parâmetros hidráulicos das instalações de combate a incêndio em edificações altas na cidade de João pessoa.** Orientador: Gilson Barbosa Athayde Junior. 2018. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

LEUSIN, S. **Gerenciamento e coordenação de projetos BIM:** um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso de empreendimentos. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2021. 153 p.

LIMA, E. P. C. **Mecânica das bombas:** Hidráulica, Bombas Centrífugas, Alternativas e Rotativas. 3 ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2022. 153 p.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. Fire Protection Handbook 2 vol. 20. ed. Quincy, Massachusetts, 2008.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. **NFPA 13.** Standart for the installation of Sprinkler Systems. Quincy, MA, 2019

RIO DE JANEIRO. **Decreto nº 42, de 17 de dezembro de 2018.** Regulamenta o Decreto-Lei nº 247, de 21 de julho de 1975, dispendo sobre o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico – COSCIP, no âmbito do estado do Rio de Janeiro. Disponível em: [https://www.cbmerj.rj.gov.br/pdfs/from\\_dgst/DECRETO\\_42-2018\\_-\\_COSCIP\\_-\\_26.12.18.pdf](https://www.cbmerj.rj.gov.br/pdfs/from_dgst/DECRETO_42-2018_-_COSCIP_-_26.12.18.pdf). Acesso em 05 mai. 2023.

RIO DE JANEIRO. **PORTARIA CBMERJ N° 1071 DE 27 DE AGOSTO DE 2019**. Aprova as Notas Técnicas do Corpo de Bombeiros Militar do estado do Rio de Janeiro necessárias ao cumprimento do decreto n° 42, de 17 de dezembro de 2018; e dá providências. Diário Oficial do estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, n.167, p.11. 4 set. de 2019. Disponível em: [https://www.cbmerj.rj.gov.br/notas\\_tecnicas/do\\_notas\\_tecnicas.pdf](https://www.cbmerj.rj.gov.br/notas_tecnicas/do_notas_tecnicas.pdf). Acesso em 03 mai. 2023.

OLIVEIRA. Museu Nacional do Rio de Janeiro: Estudo das instalações de prevenção e combate à incêndio. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.7, n.9, 21 set. 2021

SACKS, R. et al. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação e construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 3 ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2021. 544 p.

SANTOS, José Williams Felix dos. **Comparativo financeiro entre um sistema hidráulico preventivo de combate a incêndio com e sem bomba de reforço para atender uma edificação multifamiliar vertical para a cidade de Joinville-SC**. Orientadora: Michela Steluti Poleti. 2022. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Unisociesc, Joinville, 2022.

SILVA, R. J. V. **Dimensionamento de redes de sprinklers**. Porto, 2012  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Implementação de BIM na UNICAMP**. Disponível em: <https://www.depi.unicamp.br/implementacao-de-bim-building-information-modeling-na-unicamp/>. Acesso em 08 mai. 2023.