



**ANA CAROLINA FERREIRA  
PEDRO HENRIQUE RODRIGUES DE ABREU**

**ADEQUABILIDADE DO MÉTODO DO CONSUMO MÁXIMO  
PROVÁVEL PARA O DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS  
PREDIAIS DE ÁGUA FRIA DE ACORDO COM O  
APRESENTADO NA NBR5626/2020**

**LAVRAS – MG**

**2021**

**ANA CAROLINA FERREIRA**  
**PEDRO HENRIQUE RODRIGUES DE ABREU**

**ADEQUABILIDADE DO MÉTODO DO CONSUMO MÁXIMO PROVÁVEL PARA O  
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA DE ACORDO  
COM O APRESENTADO NA NBR5626/2020**

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**  
**2021**

**ANA CAROLINA FERREIRA  
PEDRO HENRIQUE RODRIGUES DE ABREU**

**ADEQUABILIDADE DO MÉTODO DO CONSUMO MÁXIMO PROVÁVEL PARA O  
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA DE ACORDO  
COM O APRESENTADO NA NBR5626/2020**

**SUITABILITY OF THE MAXIMUM PROBABLE CONSUMPTION METHOD FOR  
THE DESIGN OF BUILDING WATER SUPPLY SYSTEMS IN ACCORDANCE  
WITH THE PRESENTED IN NBR5626/2020**

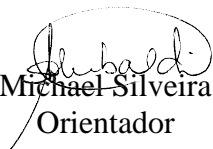
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Engenharia Civil,  
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 15 de junho de 2021.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi – DRH UFLA

MSc. Flávia Vilela Corrêa – DRH UFLA

MSc. Mateus Alexandre da Silva – DRH UFLA

  
Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

## RESUMO

O método do Consumo Máximo Provável é comumente utilizado para o dimensionamento de instalações prediais de água fria. Este método, que utiliza um coeficiente probabilístico para estimar a vazão provável nos trechos do sistema em função dos aparelhos que são abastecidos por cada nó, era o método preconizado pela NBR 5626 (ABNT, 1998) mas não mais por sua nova edição, de 2020. No entanto, de acordo com a mesma, métodos probabilísticos ainda podem ser utilizados, desde que o dimensionamento do sistema respeite as diretrizes de funcionamento hidráulico estabelecidas. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar o funcionamento hidráulico de um sistema predial de água fria de uma edificação, a fim de verificar a adequabilidade do método de dimensionamento do Consumo Máximo Provável aos novos parâmetros de projeto e funcionamento hidráulico determinados na NBR 5626 (ABNT, 2020), especificamente em relação às pressões mínimas e variação da carga de pressão nos chuveiros no sistema de distribuição de acordo com as combinações de uso simultâneo desses com diferentes aparelhos sanitários. Dessa forma, foi realizado o dimensionamento do sistema por meio do método do Consumo Máximo Provável e verificado o funcionamento da mesma, além de avaliado a carga de pressão dinâmica para chuveiros da edificação em condição de operação isolada e em operação concomitante com diversos outros aparelhos. Com os resultados obtidos, foi comprovada a eficiência da utilização do método probabilístico para o dimensionamento de sistemas prediais de água fria apenas para combinações de uso simultâneo do chuveiro com apenas mais um aparelho sanitário, já que foram atendidos os critérios estabelecidos pela NBR 5626 (ABNT, 2020), de acordo com o traçado estudado. Porém ao se usar o chuveiro de forma simultânea com mais de um aparelho sanitário, a variação da carga de pressão no chuveiro poderia ultrapassar a redução limite de 10% determinada pela NBR 5626 (ABNT, 2020).

Palavras-chave: Carga de Pressão Dinâmica. Chuveiro. Desempenho. Saneamento. Aparelhos Hidráulicos.

## **ABSTRACT**

The Maximum Probable Consumption method is commonly used for designing drinking water building installations. This method, which uses a probabilistic coefficient to estimate the probable flow in the system sections depending on the devices that are supplied by each node, was the method recommended by NBR 5626 (ABNT, 1998) but no longer by your new edition, from 2020. However, according to it, probabilistic methods can still be used, if the design of the system respects the established hydraulic operation guidelines. Thus, the objective of this work is to analyze the hydraulic operation of a drinking water building system, in order to verify the suitability of the Maximum Probable Consumption method to the new design parameters and hydraulic operation determined in the NBR 5626 (ABNT, 2020), specifically in relation to the minimum pressures and pressure head variation in showers, according to scenarios of simultaneous use of this with different sanitary devices. Thus, the dimensioning of a structure was carried out using the Maximum Probable Consumption method and his functioning was verified, besides evaluating the dynamic pressure head for the building's showers in isolated operation condition and in simultaneous operation with several other devices. With the obtained results, the efficiency of using the probabilistic method for the design of drinking water building systems was proven only for combinations of simultaneous use of the shower with just one more sanitary appliance, as the criterion established by NBR 5626 (ABNT, 2020) were accorded, to the studied layout. However, when using the shower simultaneously with more than one sanitary appliance, the pressure head variation in the shower could exceed the 10% reduction limit determined by NBR 5626 (ABNT, 2020).

**Keywords:** Dynamic Pressure Head. Shower. Performance. Sanitation. Hydraulic Devices.

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivo Específico</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Hidráulica aplicada aos sistemas prediais de água fria</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Pressão e carga de pressão</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Equação da Continuidade</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Equação de Bernoulli</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Perda de Carga</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Instalações prediais de água fria</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Principais Componentes</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Traçado da rede</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Aspectos normativos relacionados ao dimensionamento e desempenho hidráulico.</b> .....	<b>19</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>23</b>
	<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>25</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1</b>	<b>Caracterização da edificação estudada e diretrizes de traçado da rede de água fria</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2</b>	<b>Dimensionamento por meio do método de Consumo Máximo Provável</b> .....	<b>27</b>
<b>2.3</b>	<b>Perda de carga e verificação do funcionamento hidráulico</b> .....	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>
	<b>ANEXO A – Normograma de pesos, vazões e diâmetros</b> .....	<b>42</b>
	<b>ANEXO B – Projeto hidráulico predial de água fria</b> .....	<b>43</b>

## **CAPÍTULO 1**

### **1 INTRODUÇÃO GERAL**

Este trabalho de conclusão de curso, realizado como artigo científico e separado em dois capítulos, trata da análise do método do Consumo Máximo Provável como meio eficiente e prático no dimensionamento de sistemas prediais de água fria. Buscou-se realizar a análise do traçado e dimensionamento de cada trecho da tubulação, assim como o cálculo das perdas de carga e verificação das cargas de pressão dinâmicas nos chuveiros da edificação, de acordo com os parâmetros de dimensionamento exigidos pela NBR 5626 (ABNT, 2020).

O primeiro capítulo é constituído por: introdução, a qual apresenta a forma pela qual o artigo foi redigido; objetivos a serem atingidos com a elaboração do trabalho; e referencial teórico, o qual expõe os sistemas prediais de água fria e seus aspectos relativos a concepção e materiais utilizados, os conceitos da hidráulica aplicada a tais sistemas e os pontos normativos relacionados ao dimensionamento e desempenho hidráulico. O segundo capítulo trás o artigo em si e foi dividido em quatro tópicos.

No primeiro tópico foi realizada uma introdução dos assuntos abordados no trabalho mostrando as características de uma instalação de água fria, a norma utilizada como parâmetro para verificação hidráulica, o método de dimensionamento e as análises a serem realizadas. O segundo tópico aborda os materiais e métodos utilizados no trabalho, apresentando a edificação estudada e as diretrizes para o traçado da rede de água fria, a metodologia de dimensionamento do sistema por meio do método do Consumo Máximo Provável e da verificação de funcionamento hidráulico por meio do preconizado na NBR 5626 (ABNT, 2020).

No terceiro tópico são expostos os resultados obtidos por meio do dimensionamento hidráulico e das combinações de uso simultâneo do chuveiro com diferentes aparelhos sanitários, e as discussões acerca destes. E, por fim, o quarto tópico é formado pela conclusão a respeito da eficácia do método do Consumo Máximo Provável para dimensionamento de sistemas de água fria de acordo com os parâmetros definidos na NBR 5626 (ABNT, 2020).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a aplicabilidade do método do Consumo Máximo Provável para o dimensionamento de sistemas prediais de água fria, de forma que os parâmetros de projeto e funcionamento hidráulico definidos na NBR 5626 (ABNT, 2020) sejam atendidos.

### **2.2 Objetivo Específico**

- Analisar o traçado da rede de distribuição de água e determinar os valores de vazão, diâmetro e velocidade de cada trecho da tubulação utilizando o método do consumo máximo provável;
- Calcular as perdas de carga localizada e distribuída e verificar se as cargas de pressão dinâmicas nos chuveiros da edificação atendem ao limite de redução de 10% exigido pela NBR 5626 (ABNT, 2020);
- Verificar as respostas de funcionamento hidráulico face ao uso simultâneo do chuveiro com diferentes aparelhos sanitários, em relação ao uso isolado dos diferentes chuveiros e ao método do Consumo Máximo Provável.



### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Hidráulica aplicada aos sistemas prediais de água fria**

De acordo com Guedes (2018), pode-se definir hidráulica dentro da engenharia como sendo a aplicação dos conceitos da mecânica dos fluidos para solucionar problemas referentes a captação, armazenamento, controle, adução e uso da água.

Além disso, um importante segmento dentro da hidráulica é a hidrodinâmica. Essa área abrange às velocidades, às acelerações e, principalmente, às forças que atuam em um fluido em movimento. Dessa forma, ressaltam-se algumas importantes equações como a equação da continuidade e a equação de Bernoulli (AZEVEDO NETTO, 1998).

##### **3.1.1 Pressão e carga de pressão**

A pressão é a relação entre a força aplicada perpendicularmente sobre a área de uma superfície (GOMES, 2018). Em uma instalação predial, é considerada pressão o esforço que a água exerce contra as tubulações. Ela é função do nível da água, e assim, quanto maior a altura desde um ponto qualquer da tubulação até o nível da água do reservatório, maior é a pressão (LUCAS, 2011).

As pressões têm como grandeza a relação entre a força e área, levando a unidade de medida como  $N/m^2$ , também denominada Pascal (Pa) e o  $kgf/cm^2$ , por exemplo. Porém, dentro das instalações prediais de água fria é mais usual o emprego do m.c.a (metro de coluna d'água), que é uma unidade de carga de pressão (AZEVEDO NETTO, 1998; CARVALHO JÚNIOR, 2014). Carga de pressão, de acordo com Brunetti (2008), é definida como sendo a altura em que pode ser elevada uma coluna de um fluido por uma pressão  $p$ . Dessa forma, ela pode ser expressa pela divisão da pressão pelo peso específico do fluido.

Em instalações prediais, consideram-se três tipos de pressão: estática, dinâmica e de serviço. A pressão estática é a pressão da água quando ela está parada dentro da tubulação. Já a pressão dinâmica é verificada quando a água está em movimento, e depende do traçado da tubulação, dos diâmetros adotados para os tubos e do número e tipos de acessórios empregados, que terão efeito sobre a perda de carga. Por último tem-se a pressão de serviço, a qual é a máxima pressão a que se pode submeter um tubo, conexão, válvula, registro, ou outro dispositivo, quando em uso normal (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

Além disso, Creder (2018) cita pressões que estão relacionadas à ocorrência de transientes hidráulicos, sendo elas: a sobrepressão de fechamento, que é o maior acréscimo de pressão que se verifica na pressão estática durante e logo após o fechamento de uma peça de utilização; a subpressão de abertura, que é o maior decréscimo de pressão que se verifica na pressão estática logo após a abertura de uma peça de utilização; e, a pressão total de fechamento, que é o valor máximo de pressão atingido pela água na seção logo a montante de uma peça de utilização em seguida ao seu fechamento que equivale à soma da sobrepressão de fechamento com a pressão estática na seção considerada.

A fim de realizar a medição da pressão, são empregados alguns equipamentos denominados “manômetros” os quais podem ter várias formas, como por exemplo, o manômetro de coluna e o manômetro de Bourdon (MARTINS; GUKOVAS, 2010). Já para controlar a pressão na canalização são utilizados dispositivos como pressurizadores e válvulas reguladoras de pressão. O primeiro é utilizado para aumentar ou manter a pressão na rede. Já o segundo atua na redução da pressão, otimizando o consumo de água, evitando o desgaste prematuro das instalações hidráulicas, e substituindo os reservatórios intermediários (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

### 3.1.2 Equação da Continuidade

Segundo Baptista e Coelho (2010), a vazão em volume é constante em todas as seções transversais, a qualquer instante, no escoamento permanente e conservativo de fluido incompressível.

Considerando que a hidráulica trata, praticamente, de condução de água, que é um fluido praticamente incompressível, ou seja, cuja a massa específica pode ser considerada constante no regime permanente, a equação da continuidade aplicada em um trecho entre duas seções onde haja entrada e saída de água, assume sua forma mais simples, expressa pela Equação 1 (BAPTISTA; LARA, 2003):

$$Q = A_1v_1 = A_2v_2 = \text{cte} \quad (1)$$

Em que:

$Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$v$  = velocidade média na seção ( $\text{m}/\text{s}$ ); e

$A$  = área da seção de escoamento ( $\text{m}^2$ ).

### 3.1.3 Equação de Bernoulli

De acordo com Akutsu (2017) a equação de Bernoulli expressa que a carga ou energia total de um fluido, se mantém constante ao longo de uma linha de corrente, se as hipóteses de escoamento de líquidos perfeitos, sem efeito de viscosidade, incompressível e em regime permanente, forem consideradas. Em termos de hidráulica, uma maneira apropriada de exprimir as diferentes formas de energia é por unidade de peso de água, ou seja:  $P/\gamma$  = pressão,  $Z$  = potencial,  $v^2 / 2g$  = cinética; levando a se ter como unidade de medida de energia à altura de coluna de água (m.c.a.). A carga de energia total em um determinado ponto da tubulação pode ser obtida por meio da Equação 2.

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

No interior de um tubo de corrente, dois pontos de uma trajetória de partículas considerando valores médios de velocidade, podem ser representados pelo balanço de energia da Equação 3.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} = \text{cte} \quad (3)$$

Em que:

$\frac{P_1}{\gamma}$  = energia de pressão no ponto 1 (m.c.a.);

$Z_1$  = energia potencial no ponto 1 (m);

$\frac{V_1^2}{2g}$  = energia ou carga cinética no ponto 1 (m.c.a.);

$\frac{P_2}{\gamma}$  = energia de pressão no ponto 2 (m.c.a.);

$Z_2$  = energia potencial no ponto 2 (m); e

$\frac{V_2^2}{2g}$  = energia ou carga cinética no ponto 2 (m.c.a.).

Entretanto, essa equação representa condições ideais. Na prática, os fluidos não são ideais e tampouco os escoamentos se dão em condições ideais, o que torna necessário a introdução de um fator corretivo para validar o balanço de energia: a perda de carga ( $\Delta H$ ), como expresso na Equação 4 (BAPTISTA; COELHO, 2010).

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{1-2} \quad (4)$$

Em que:

$\Delta H_{1-2}$  = perda de carga ocorrida entre os pontos 1 e 2.

### 3.1.4 Perda de Carga

Segundo Azevedo Netto (1998), a perda de carga é a perda de energia sob forma de calor devido às forças de atrito externas e internas ao fluido e à viscosidade durante o escoamento do fluido em uma tubulação. Dessa forma, a perda de carga é influenciada pelo comprimento, diâmetro e rugosidade dos tubos, pela viscosidade e temperatura do fluido, e pela utilização de peças especiais como curvas, joelhos, registros, válvulas, entre outras. Com isso, tubos rugosos, com diâmetros menores, maiores comprimentos, fluidos com maior viscosidade e temperatura, e maior utilização de peças especiais, geram maiores atritos e choques, tendo, conseqüentemente, uma maior perda de carga e menor pressão nas peças de utilização (GUEDES, 2018).

Pode-se classificar as perdas de carga em: perda de carga distribuída; e perda de carga localizada. A perda de carga distribuída ocorre em função da resistência oferecida ao escoamento ao longo da tubulação, em seus trechos retilíneos. Ela pode ser calculada pela Equação de Darcy-Weissbach (Equação 5), também conhecida como Fórmula Universal da Perda de Carga, a qual pode ser utilizada para qualquer tipo de fluido e é válida para qualquer regime de escoamento, do laminar ao turbulento (MARTINS; GUKOVAS, 2010).

$$h_f = f \left( \frac{L}{D} \right) \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Em que:

$h_f$  = perda de carga distribuída (m);

$f$  = fator de atrito (adimensional);

$L$  = comprimento retilíneo do trecho considerado (m);

$D$  = diâmetro interno da tubulação (m); e

$g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ).

Por meio dos experimentos de Nikuradse, foi determinado que o fator de atrito ( $f$ ) depende do regime de escoamento e da rugosidade do conduto (AZEVEDO NETTO, 1998). Ele pode ser determinado por várias equações experimentais como: von Karmann, Hagen-Poiseuille, Colebrook-White, Nikuradse e Swamee-Jain (PIMENTA, 1981).

Para identificação dos regimes de escoamento é utilizado um parâmetro adimensional denominado número de Reynolds ( $Re$ ), apresentado na Equação 6, o qual é definido pela relação entre as forças de inércia, responsáveis pelo movimento, e pelas forças viscosas, contrárias ao movimento e que equilibram as forças inerciais. Para valores do número de Reynolds menores que 2000 o regime de escoamento é laminar, para valores maiores que 4000 o regime de escoamento é turbulento, e o intervalo entre 2000 e 4000 é dito como zona de transição (MACINTYRE, 2010).

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (6)$$

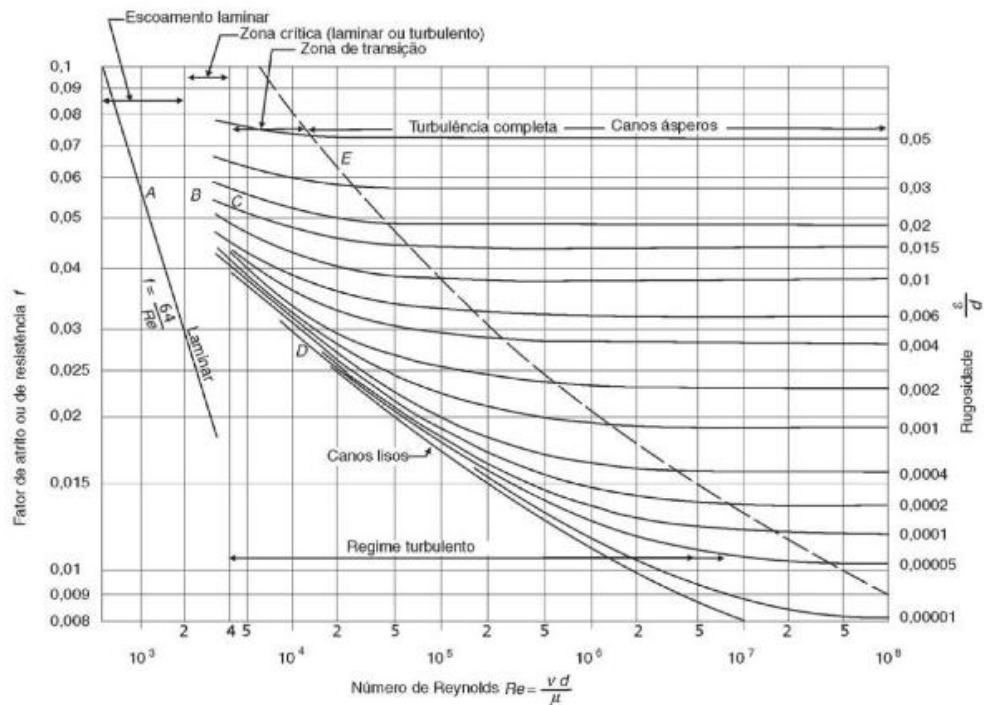
Em que:

$Re$  = número de Reynolds (adimensional); e

$\nu$  = viscosidade cinemática do fluido ( $m^2/s$ ).

De acordo com Porto (2006), as rugosidades dos diversos materiais utilizados na condução de água são de difícil especificação, devido aos processos industriais e o grau de acabamento da superfície. Por meio de ensaios esse problema pode ser contornado, em função da linha média do perfil de rugosidade da peça. Dessa forma, um engenheiro e também professor, chamado Lewis Ferry Moody construiu um dos mais convenientes ábacos para determinar o coeficiente de atrito de tubulações. A Figura 1 indica o diagrama de Moody, em que o fator de atrito está associado aos valores de rugosidade relativa e do número de Reynolds.

Figura 1 – Diagrama de Moody.



Fonte: Macintyre (2010).

Em relação às fórmulas empíricas para estimativa da perda de carga, a mais consagrada pelo uso é a fórmula de Hazen-Williams (Equação 7). Ela foi resultado de um estudo estatístico considerando dados experimentais de um grande número de fontes e de materiais distintos como tubos de aço, concreto, cobre, entre outros. Porém, por não levar em conta as propriedades físicas do líquido, deverá ser considerado a água em temperatura ambiente. Além disso, as tubulações devem ter diâmetro mínimo de 50 mm e apresentar escoamento turbulento (AZEVEDO NETTO, 1998).

$$J = 10,646 \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}} \quad (7)$$

Em que:

J = perda de carga unitária (m/m);

C = coeficiente de rugosidade (adimensional); e

Q = vazão ( $m^3/s$ ).

Segundo Gomes (2018) a equação de Hazen-Williams é mais aplicada em redes de distribuição de água, adutoras e sistemas de recalque, por conta da sua restrição quanto ao diâmetro, onde é recomendado em geral o uso de diâmetro maior ou igual a 50mm. Já para

tubulações de pequeno diâmetro como nas instalações prediais de água fria e quente, em que tem-se normalmente trechos curtos e diâmetros menores que 50 mm, é comum a utilização da fórmula empírica de Fair-Whipple-Hsiao, a qual é expressa pela Equação 8, 9 e 10, de acordo com o material e temperatura da água, sendo que conforme a NBR 5626 (ABNT, 2020), o termo água fria é definido como água potável em temperatura ambiente.

Para tubos de aço galvanizado e água fria:

$$J = 0,002021 \frac{Q^{1,88}}{D^{4,88}} \quad (8)$$

Para tubos de cobre ou latão e água fria:

$$J = 0,000874 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (9)$$

Para água quente:

$$J = 0,000704 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (10)$$

As perdas de carga localizadas, expressadas pela Equação 11, são originadas de variações bruscas da geometria do escoamento. São comuns em tubulações com curvas, válvulas, alargamentos, estreitamentos, entre outros (MARTINS; GUKOVAS, 2010).

$$hf_{loc} = k \frac{v^2}{2g} \quad (11)$$

Em que:

$hf_{loc}$  = perda de carga localizada (m); e

$k$  = coeficiente de perda de carga localizada (adimensional).

De acordo com Guedes (2018), em situações em que o número de peças especiais for pequeno, a velocidade for menor que 1 m/s, ou quando o comprimento da tubulação for maior ou igual a 4000 vezes o seu diâmetro, as perdas de carga localizada podem ser desprezadas. Entretanto, Ilha e Gonçalves (1994) consideram que a presença de uma singularidade (peças e conexões) em uma tubulação leva a uma degradação de energia, e que devido tal singularidade estar usualmente confinada em um comprimento pequeno, é comum designar a correspondente dissipação de energia de perda de carga localizada. Além disso, segundo Azevedo Netto (1998),

pode-se considerar o valor de  $k$  constante para cada tipo de peça especial em escoamentos turbulentos, independente do diâmetro da tubulação, e da natureza e velocidade do fluido.

Para o cálculo da perda de carga localizada, um conceito útil é o de comprimentos equivalentes. Neste método as peças e conexões são substituídos por comprimentos equivalentes ( $L_e$ ) que resultem na mesma perda de carga da peça ou conexão. Os comprimentos equivalentes são fornecidos por meio de tabelas em função das peças especiais utilizadas e do seu diâmetro. O  $L_e$  é somado ao comprimento real ( $L$ ) da tubulação, e assim é encontrado o valor do comprimento virtual ( $L_v$ ). Desse modo o cálculo da perda de carga pode ser feito por meio da equação da perda de carga distribuída (Equação 5), utilizando agora o valor de  $L_v$  em substituição ao valor de  $L$  (BAPTISTA; LARA, 2003).

Carvalho Júnior (2014) apresenta que a perda de carga total do sistema será a somatória das perdas de carga distribuídas e localizadas. Para calcular a pressão dinâmica em qualquer ponto da instalação, utiliza-se a Equação 12, que negligencia o efeito da variação de energia cinética entre os pontos analisados.

$$P_d = P_e - \Delta H \quad (12)$$

Em que:

$P_d$  = carga de pressão dinâmica (m.c.a);

$P_e$  = carga de pressão estática (m.c.a); e

$\Delta H$  = perda de carga total (m.c.a).

### 3.2 Instalações prediais de água fria

As instalações prediais de água fria são regulamentadas pela NBR 5626 (ABNT, 2020), que foi publicada em 1998 e teve sua atualização em 2020. A norma estabelece as recomendações e exigências mínimas de projeto a fim de atender às condições de habitabilidade, higiene e conforto.

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020), alguns requisitos que devem ser atendidos por este tipo de instalação são: preservar a potabilidade da água; assegurar o fornecimento contínuo de água aos usuários e em quantidade adequada e com pressões e vazões compatíveis com o funcionamento previsto dos aparelhos sanitários, peças de utilização e demais componentes; prover setorização adequada do sistema de distribuição; evitar níveis de ruído



inadequados à ocupação do ambiente; e minimizar a ocorrência de patologias. Além disso as instalações devem possibilitar fácil manutenção e promover economia de água e energia.

O abastecimento do sistema predial pode ser feito por meio da rede de abastecimento pública ou a partir de fontes particulares. Segundo o novo Marco Legal do saneamento básico, atualizado em julho de 2020, as edificações permanentes urbanas serão conectadas às redes públicas, já as edificações para uso não residencial ou condomínios poderão utilizar outras fontes de abastecimento, incluindo águas subterrâneas, de reuso ou pluviais, desde que autorizados pelo órgão gestor competente e que promovam o pagamento pelo uso de recursos hídricos (SOUSA,2020).

Segundo Carvalho Júnior (2014), o sistema de abastecimento da rede predial de distribuição pode ser de três tipos: direto, indireto e misto. No primeiro tipo, a alimentação de todas as peças de utilização de água é feita diretamente pela rede pública. Assim, não é necessário a utilização de reservatórios, o que proporciona um menor custo estrutural ao projeto, já que a carga a ser aplicada sobre a estrutura predial será menor, e um menor custo de implantação, visto que o reservatório representa uma parcela considerável do sistema. Entretanto, tem como principal desvantagem a possibilidade de interrupção do abastecimento da edificação na ocorrência de qualquer problema na rede pública, seja de pressão insuficiente ou de continuidade.

Ainda segundo o autor supracitado, no sistema de distribuição indireto são utilizados reservatórios para que as interrupções no abastecimento ou às variações de pressões da rede pública sejam minimizadas, atuando como elemento de regulação da distribuição de água. Além disso, tal sistema é aplicado das três seguintes formas: sem bombeamento, em que um reservatório superior é abastecido e esse alimenta toda a rede hidráulica de distribuição por gravidade, sendo que, neste caso, as condições hidráulicas da rede são suficientes para elevar a água ao reservatório superior; com bombeamento, em que é adotado um reservatório inferior e a partir desse a água é bombeada por meio de um sistema de recalque até o reservatório superior que distribui a água por gravidade, sendo utilizado quando é inviável reservar todo o volume necessário no reservatório elevado ou quando a pressão da rede pública de abastecimento é insuficiente para abastecê-lo; e hidropneumático, utilizado a fim de obter pressão suficiente para o abastecimento da rede ou de um determinado ponto por meio de um equipamento de pressurização da água a partir de um reservatório inferior.

Por fim tem-se o sistema misto, o mais utilizado no Brasil, no qual a alimentação de elementos, como, por exemplo, torneiras externas e tanques, é feita diretamente por meio da

rede pública. Com isso, o restante da rede hidráulica de distribuição é alimentado pelo reservatório superior da edificação (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

De acordo com Ilha e Gonçalves (1994), a escolha do tipo de abastecimento e do sistema de distribuição a ser utilizado na instalação está relacionado à capacidade e utilização da edificação. Assim, deve-se levar em conta as vazões e pressões necessárias para abastecimento de todos os elementos da rede hidráulica de distribuição.

### **3.2.1 Principais Componentes**

Em um sistema predial de água fria os principais componentes utilizados são os tubos e conexões, os quais podem ser de aço galvanizado, cobre, ferro fundido, PVC rígido ou de outros materiais, de tal modo que satisfaçam a condição de que a pressão de serviço não deva ser superior à pressão estática, no ponto considerado, somada à sobrepressão devido a golpes de aríete (SILVA, 2019). Segundo informado no catálogo de Orientações para instalações de Água Fria da fabricante TIGRE (TIGRE, 2020), os tubos e conexões podem ser classificados em soldáveis ou roscáveis, apresentando algumas particularidades dependendo da escolha. Os tubos e conexões têm como função conduzir água fria em sistemas prediais e apresentam temperatura máxima de trabalho de 20 °C. Os tubos e conexões soldáveis de cloreto de polivinila (PVC) podem ser utilizados em todos os tipos e padrões de obras e suportam pressão de serviço de até 75 m.c.a. Algumas vantagens do uso de tubos de PVC são: o seu fácil manuseio, sua alta resistência à corrosão, baixa condutividade térmica e elétrica, flexibilidade, perda de carga menor e baixo custo, quando comparados a materiais metálicos. Em contrapartida os tubos e conexões roscáveis são recomendados para instalações onde haja necessidade de desmontagem da linha para mudança de projeto ou manutenções.

Tubos de aço carbono galvanizado e cobre também podem ser utilizados, porém estes materiais praticamente não possuem uso atualmente em sistemas de água fria, vistas as vantagens do uso do PVC. Os tubos de aço e cobre apresentam como principais vantagens a estabilidade dimensional e maior confiabilidade nos dados de desempenho (KAVASSAKI, 1987).

Além disso, outros importantes componentes utilizados nos sistemas hidráulicos de água fria são os reservatórios e as válvulas. Segundo Carvalho Júnior (2017) os reservatórios são utilizados para compensar a falta de água na rede pública, caso haja falhas no sistema de abastecimento e na rede de distribuição. No Brasil é normalmente utilizado um reservatório

superior, o que faz com que as instalações hidráulicas funcionem sob baixa pressão. De acordo com Ilha e Gonçalves (1994), as válvulas tem como objetivo estabelecer, controlar e interromper o fornecimento de água nas tubulações e aparelhos sanitários. As principais válvulas utilizadas são: válvula de gaveta, válvula globo, válvula de retenção, válvula redutora de pressão, válvula bóia, e misturadores.

### **3.2.2 Traçado da rede**

Partindo para o traçado da rede hidráulica de distribuição, aconselha-se fazer uma divisão dos pontos de consumo, fazendo com que os pontos de consumo do banheiro sejam alimentados por uma canalização específica e os pontos de consumo da cozinha e da área de serviço, por outra. Isso devido a probabilidade de uso não simultâneo dos equipamentos o que possibilita a utilização de uma canalização economicamente mais viável. Quanto menor for o número de pontos de consumo de uma canalização, menor será o diâmetro da tubulação e, conseqüentemente, menor o seu custo, isso dependendo do tipo de aparelho utilizado. A rede é composta pelos barriletes, tubulações originadas no reservatório do qual derivam as colunas de distribuição, essas por sua vez, alimentam os ramais, que por fim alimentam os sub-ramais das peças de utilização (CARVALHO JÚNIOR, 2016).

### **3.3 Aspectos normativos relacionados ao dimensionamento e desempenho hidráulico**

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020) algumas informações devem ser previamente levantadas para a elaboração do projeto de instalações hidráulicas prediais: características do consumo predial; características da oferta de água; valores estimados do indicador de consumo em função da tipologia do edifício; necessidades mínimas de reservação; e, no caso de captação local de água, as características da água, o nível do lençol subterrâneo e a avaliação do risco de contaminação, além da vazão de água potável disponível.

Para o dimensionamento das tubulações, alguns critérios são estabelecidos pela NBR 5626 (ABNT, 2020) relacionadas às limitações de pressões e velocidades para propiciar condições de funcionamento adequadas dos pontos de utilização. Nesse sentido, em um projeto de um sistema predial de água fria devem estar estabelecidos e explicitados, as vazões

consideradas nos pontos de utilização dos aparelhos sanitários para o dimensionamento do sistema de distribuição e as vazões máximas em tais pontos de utilização.

As tubulações devem ser dimensionadas de modo a limitar a velocidade de escoamento a valores que evitem a geração e propagação de ruídos e que evitem golpes de Aríete. Contudo, a NBR 5626 (ABNT, 2020) diz que o dimensionamento da tubulação assumindo um limite máximo de velocidade média da água de 3 m/s, não evita a ocorrência de golpe de aríete, mas limita a magnitude dos picos de sobrepressão. Ainda segundo a NBR 5626 (ABNT, 2020), na ocorrência de sobrepressões devidas a transientes hidráulicos, como por exemplo o provocado pelo fechamento da válvula de descarga, é estabelecido que devem ser considerados no dimensionamento das tubulações desde que não ultrapassem 200 kPa, aproximadamente 20 m.c.a.

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020) tal limitação de velocidade deve atender a um valor que não provoque cavitação, principalmente em mudanças bruscas de direção e em reduções acentuadas de seção de escoamento de componentes que apresentem restrição local de seção, como no caso de válvulas redutoras de pressão e peças de utilização restritoras de fluxo, para que assim os níveis de ruído mantenham-se dentro dos limites definidos pela NBR 10152 (ABNT, 2020) e possa também manter a integridade dos componentes.

Em relação à pressão dinâmica, a NBR 5626 (ABNT, 2020) indica que a pressão mínima da água atuante nos pontos de utilização deve ser aquela necessária para assegurar a vazão de projeto, podendo ser obtido o fator de vazão da peça de utilização ou do aparelho sanitário, se este for constante para a faixa operacional de vazões prevista, atendendo a Equação 13:

$$Q = K \times \sqrt{P} \quad (13)$$

Em que:

Q = vazão de projeto da peça de utilização ou aparelho sanitário (L/s);

K = fator de vazão do aparelho sanitário ( $L \cdot s^{-1} \cdot kPa^{-0,5}$ ); e

P = pressão dinâmica da água no ponto de utilização (m.c.a).

Em qualquer caso, a pressão dinâmica da água no ponto de utilização não pode ser inferior a 10 kPa (aproximadamente 1,02 m.c.a). De acordo com Creder (2018), em qualquer ponto da rede predial de distribuição a pressão dinâmica mínima admissível é de 5 kPa (aproximadamente 0,5 m.c.a), a fim de evitar pressão negativa no ponto crítico da rede de

distribuição, geralmente o ponto de encontro do barrilete com as colunas de distribuição, impedindo a contaminação da água.

A NBR 5626 (ABNT, 2020) fixa que considerando uma ducha ou chuveiro em funcionamento com vazão de projeto, ao abrir simultaneamente qualquer outro ponto de utilização, o valor da pressão dinâmica atuante na ducha não pode sofrer uma redução superior a 10% do valor anterior, o que implica em um acréscimo máximo de perda de carga acumulada de 0,10 em relação ao funcionamento hidráulico considerando apenas a ducha ou chuveiro em uso.

Por definição na NBR 5626 (ABNT, 2020), a pressão estática nos pontos de utilização não deve superar 400 kPa, aproximadamente 40 m.c.a. De acordo com Ilha e Gonçalves (1994), para limitar a pressão estática máxima em edifícios altos, pode ser construído um reservatório intermediário (caixa de quebra-pressão) ou utilizado válvulas redutoras de pressão. Segundo a NBR 5626 (ABNT, 2020), no dimensionamento do sistema de distribuição predial deve-se promover o abastecimento de água com vazões e pressões conforme parâmetros de projeto. Para calcular a vazão em cada trecho deve-se adotar um método reconhecido ou devidamente fundamentado, sendo empírico ou probabilístico. Já os diâmetros devem ser escolhidos levando em conta alguns fatores como: os valores das velocidades e vazões consideradas, a limitação de ruído e o meio de isolamento acústica adotado, a forma de instalação, o tipo de material utilizado, a disponibilidade de perda de carga, e a pressão dinâmica mínima necessária para o funcionamento do aparelho sanitário. Além disso, o diâmetro nominal de sub-ramais e seus engates ou tubos de ligação, não possuem limites.

Segundo Azevedo Netto e Fernández (2015), um método usualmente empregado para o cálculo das vazões máximas prováveis seria o do consumo simultâneo provável (Consumo Máximo Provável), o qual consiste em atribuir peso para cada tipo de aparelho, relacionando a soma total dos pesos à vazão do trecho escolhido, conforme é mostrado na Equação 14. Os pesos são estabelecidos por comparação dos efeitos produzidos nos diferentes tipos de aparelho, e estão representados na Tabela 1.

$$Q = 0,3 \times \sqrt{\Sigma \text{ peso}} \quad (14)$$

Em que:

$\Sigma$ peso = somatório dos pesos relativos ao trecho (adimensional).

Tabela 1 - Vazões e pesos relativos nos pontos de utilização.

<b>Aparelho sanitário</b>	<b>Peças de utilização</b>	<b>Vazão de projeto (L/s)</b>	<b>Peso relativo</b>
Bacia ou vaso sanitário	Caixa de descarga	0,15	0,3
	Válvula de descarga	1,70	32
Banheira	Misturador (água fria)	0,30	1,0
Bebedouro	Válvula obturadora	0,10	0,1
Bidê	Misturador (água fria x quente)	0,10	0,1
Chuveiro ou ducha	Misturador (água fria x quente)	0,20	0,4
Chuveiro elétrico	Válvula obturadora	0,10	0,1
Lavadora de pratos ou de roupas	Válvula obturadora	0,30	1,0
Lavatório	"Torneira" ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Mictório cerâmico com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50	2,8
Mictório cerâmico sem sifão integrado	Caixa de descarga ou válvula de descarga de mictório	0,15	0,3
Mictório tipo calha	Caixa de descarga ou válvula obturadora	0,15/m de calha	0,3
Pia/lavatório (cozinha e banheiro)	"Torneira" ou misturador (água fria)	0,25	0,7
	"Torneira" com aquecedor	0,10	0,1
Tanque	"Torneira"	0,25	0,7
"Torneira" de jardim ou lavagem em geral	"Torneira" (válvula obturadora)	0,20	0,4

Fonte: Azevedo Netto e Fernández (2015).

Segundo as recomendações da NBR 5626 (ABNT, 2020), a determinação das perdas de carga nas tubulações e o cálculo das pressões dinâmicas nos pontos de utilização devem ser feitos mediante o emprego de equações pertinentes, sendo a equação universal de perda de carga, Equação de Darcy-Weisbach (Equação 5), a mais indicada.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Instalação Predial de Água Fria**. NBR 5626, 2020.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. NBR 10152, 2020.
- AKUTSU, Jorge; AMBIENTAL, Engenharia. **Hidráulica geral e aplicada**. São Carlos. Depto de Produção Gráfica, 2017.
- AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- AZEVEDO NETTO, José Martiniano de; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández Y. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2015.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; LARA, Márcia. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte: UFMG, 2003.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3. ed. rev. e ampl. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2. ed. São Paulo. 2008.
- CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projeto**. 2. ed. – São Paulo: Blücher, 2014.
- CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. Editora Blücher, 2017.
- CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projetos**. Editora Blücher, 2016.
- CREDER, Hélio. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 6. ed. [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- GOMES, M. H. R. **Apostila de mecânica dos fluidos**. 2018. Faculdade de engenharia. Universidade Federal de Juiz de Fora.
- GUEDES, H. A. S. **Apostila de Hidráulica**. Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas. 2018.
- ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M. **Sistemas Prediais de Água Fria**. São Paulo: EPUSP, 1994. Boletim Técnico PCC n. 08.
- KAVASSAKI, Y. **Tubulações para instalações prediais de água**. São Paulo, 1987.
- LUCAS, L. **Conceitos fundamentais de hidráulica**. Belo Horizonte. 2011.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Instalações Hidráulicas: prediais e industriais**. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MARTINS, J. R. S.; GUKOVAS, M. **Hidráulica Básica**. 2010.

PIMENTA, Carlito Flavio. **Curso de hidráulica geral**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, v. 1, 1981.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

SILVA, Felipe de Andrade; SILVEIRA, Odílio Gervasio. **Análise de viabilidade técnica e econômica na utilização de PVC, PPR e PEX para um projeto de instalação predial de água fria**. Engenharia Civil-Pedra Branca, 2019.

SOUSA, Ana Cristina Augusto de. **O que esperar do novo marco do saneamento?**. Cadernos de Saúde Pública, v. 36, p. e00224020, 2020.

TIGRE. **Orientação Para Instalação de Água Fria**, 2020.



## CAPÍTULO 2

### 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de instalações hidráulicas estão em constantes evoluções, devido ao desenvolvimento e utilização de novos materiais e técnicas. Tais sistemas são regulamentados por normas as quais tem como objetivo padronizar diretrizes e exigências como forma de garantir a qualidade e o bom desempenho das instalações. A NBR 5626 (ABNT, 2020) é a versão mais recente utilizada para instalações prediais de água fria e água quente.

Segundo Carvalho Júnior (2014), uma instalação predial de água fria constitui-se no conjunto de tubulações, equipamentos, reservatórios e dispositivos destinados ao abastecimento dos aparelhos e pontos de utilização de água da edificação, de forma que a qualidade e a demanda de água sejam garantidas.

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020), o dimensionamento das tubulações dos sistemas de distribuição deve ser efetuado a fim de promover o abastecimento de água com vazões e pressões conforme parâmetros de projeto, sendo que o método utilizado deve ser reconhecido ou devidamente fundamentado, seja ele empírico ou probabilístico.

Para Botelho (2006) é pouco provável que todos os aparelhos de uma edificação vão ser utilizados de forma simultânea. Nesse sentido, pode ser utilizado o método do Consumo Máximo Provável para realizar o dimensionamento dos sistemas prediais, já que o mesmo faz uma estimativa do número de aparelhos que possivelmente seriam utilizados de forma simultânea.

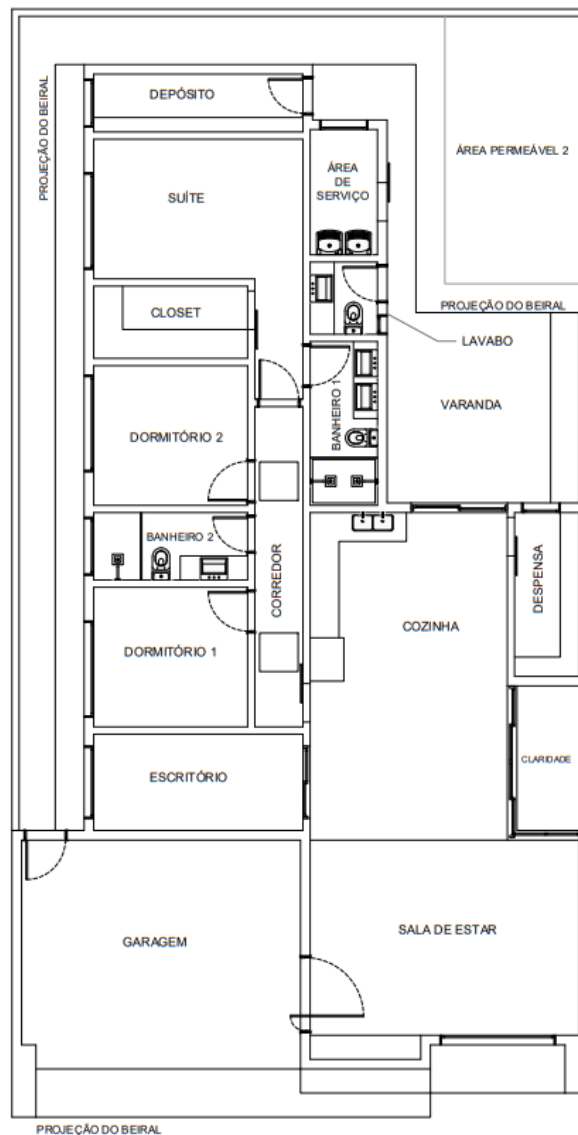
Assim, este trabalho teve como objetivo analisar a aplicabilidade do método do Consumo Máximo Provável, de forma eficiente e prática, para o dimensionamento de sistemas prediais de água fria a fim de verificar se as cargas de pressão dinâmicas nos chuveiros da edificação atendem ao limite de redução de 10% exigido pela NBR 5626 (ABNT, 2020). Além de verificar as respostas de funcionamento hidráulico face ao uso simultâneo do chuveiro com diferentes aparelhos sanitários, em relação ao uso isolado dos diferentes chuveiros e ao método do Consumo Máximo Provável.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da edificação estudada e diretrizes de traçado da rede de água fria

O projeto abordado neste estudo trata-se de uma edificação de apenas um pavimento, com 198,57 m<sup>2</sup> distribuídos entre os ambientes: depósito, suíte, área de serviço, lavabo, dois banheiros, dois dormitórios, cozinha, despensa, sala de estar, escritório e garagem. Foi estabelecido um reservatório de água fria, instalado na parte superior da edificação. A planta baixa da residência pode ser vista abaixo, na Figura 2.

Figura 2 – Planta Baixa da Edificação.



Fonte: Dos Autores (2021).

O local de instalação do reservatório de água foi definido levando em consideração a localização da maior parte dos aparelhos hidráulicos, ou seja, na cobertura acima do banheiro da suíte e lavabo. A partir daí, foram determinadas as saídas dos barriletes e o posicionamento das colunas. Para cada ambiente que necessitava de abastecimento de água, foi atribuído uma coluna, sendo eles: lavanderia, lavabo, cada um dos banheiros e cozinha. Cada coluna abasteceu determinados aparelhos sanitários, que podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Colunas e seus respectivos aparelhos sanitários.

<b>Colunas</b>	<b>Aparelhos</b>
1	TQ; MLR
2	LV; DH; BCA
3	2LV; DH; BCA; CH
4	PIA; 2BE
5	LV; DH; BCA; CH

Fonte: Dos Autores (2021). Em que: TQ: tanque; MLR: máquina de lavar roupa; LV: lavatório; DH: ducha higiênica; BCA: bacia sanitária com caixa acoplada; CH: chuveiro; PIA: pia; BE: bebedouro.

Após definido o posicionamento das colunas, iniciou-se o traçado dos ramais. Com os ramais distribuídos de maneira satisfatória, levando em consideração os aspectos arquitetônicos e estruturais da residência, os sub-ramais foram traçados, ligando os ramais horizontais a cada aparelho sanitário. Previamente ao dimensionamento, foram posicionados no início de cada coluna um registro de gaveta e acessórios onde havia necessidade.

## **2.2 Dimensionamento por meio do método de Consumo Máximo Provável**

Para o dimensionamento das tubulações, primeiramente foi obtido o somatório dos pesos relativo dos equipamentos e posteriormente foram determinadas as vazões e os diâmetros nominais de cada trecho do sistema. Para tal, utilizou-se a tabela de pesos relativos que relaciona o aparelho sanitário e sua respectiva peça de utilização, mostrados na Tabela 1.

Em seguida, para obter o diâmetro interno da tubulação foi utilizado o normograma de pesos, vazões e diâmetros, apresentado no Anexo A. Para sua utilização, foi necessário somar os pesos relativos dos equipamentos em cada trecho.

Após determinação dos diâmetros internos, foi possível calcular as áreas das seções das tubulações dos trechos. Em seguida foram calculadas as velocidades pela Equação 1. Essas

foram verificadas de acordo com as limitações da NBR 5626 (ABNT, 2020), que assume um limite máximo de velocidade média da água de 3 m/s.

Determinados os diâmetros e vazões de cada trecho, pôde-se iniciar o cálculo da perda de carga utilizando o método dos comprimentos virtuais.

### 2.3 Perda de carga e verificação do funcionamento hidráulico

Para o cálculo dos comprimentos virtuais, foi necessária a medição em planta do comprimento real de cada trecho projetado, nos quais posteriormente, foi adicionado o comprimento equivalente de todas as peças correspondentes ao trecho, valores estes que estão dispostos em razão do número de diâmetros da tubulação (Tabela 3). Com isso, foi possível determinar o comprimento virtual da tubulação, conforme Equação 15.

Tabela 3 – Comprimento equivalente ( $L_e$ ) em número de diâmetros de tubulação.

Peça	Comprimento em número de diâmetros
Ampliação Gradual	12
Cotovelo de 90°	45
Cotovelo de 45°	20
Curva de 90°	30
Curva de 45°	15
Entrada normal	17
Entrada de borda	35
Junção	30
Redução gradual	6
Registro de gaveta, aberto	8
Registro de globo, aberto	350
Registro de ângulo, aberto	170
Saída de canalização	35
Tê, passagem direta	20
Tê, saída de lado	50
Tê, saída bilateral	65
Válvula de retenção	100

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto e Fernandez (2015).

$$L_{\text{virtual}} = L + L_{\text{eq.}} \quad (15)$$

Em que:

$L_{\text{virtual}}$  = comprimento virtual; e

$L_{\text{eq.}}$  = comprimento equivalente.

Desse modo, o cálculo da perda de carga pôde ser feito por meio da equação de Flamant, conforme a Equação 16. Conforme indicado pela NBR 15704-1 (ABNT, 2011), nos trechos onde havia registros de pressão, a perda de carga foi contabilizada separadamente, por meio da Equação 17, em que os valores do coeficiente k foram determinados por meio da Tabela 4, e a perda de carga obtida foi posteriormente somada à perda de carga total do sistema, representada pela equação 18. Por fim, analisou-se a pressão dinâmica disponível nos chuveiros, visto que são os pontos mais desfavoráveis da instalação, utilizando a Equação 12.

$$h_f = 0,000824 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \times L \quad (16)$$

$$\Delta_h = 8 \times 10^5 \times K \times Q^2 \times \pi^{-2} d^{-4} \quad (17)$$

Em que:

$\Delta_h$  = perda de carga no registro (m.c.a.);

K = coeficiente de perda de carga no registro;

d = diâmetro interno da tubulação (mm).

Tabela 4 – Valores máximos de coeficiente k da perda de carga nos registros.

Diâmetro nominal	Diâmetro externo	Valores de k	Faixa de vazão para determinação de k L/s
15	20	45	$0,25 \pm 0,05$
20	25	40	$0,50 \pm 0,10$
25	32	32	$0,85 \pm 0,25$

Fonte: NBR 15704-1 (ABNT, 2011).

$$\Delta H = 0,000824 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \times L_{\text{virtual}} \quad (18)$$

Após o redimensionamento hidráulico, foram realizadas combinações a fim de analisar o funcionamento simultâneo do chuveiro com os demais aparelhos, verificando a pressão dinâmica encontrada. Para isso, foi contabilizado a vazão de projeto, indicada pela Tabela 1, de cada trecho de acordo com a combinação. A porcentagem de variação da pressão foi determinada tomando como referência a pressão dinâmica do chuveiro operando isoladamente.

Nas Tabelas 5 e 6, estão expostas as combinações do funcionamento simultâneo para o chuveiro do banheiro 1 e o chuveiro do banheiro 2, respectivamente.

Tabela 5 – Combinações de funcionamento simultâneo para o chuveiro do banheiro 1.

<b>Combinações</b>	<b>Aparelhos</b>
A	CH e LV
B	CH e BCA
C	CH e DH
D	CH e CH
E	CH e PIA

Fonte: Dos Autores (2021). Em que: CH: chuveiro; LV: lavatório; BCA: bacia sanitária com caixa acoplada; DH: ducha higiênica; PIA: pia.

Tabela 6 – Combinações de funcionamento simultâneo para o chuveiro do banheiro 2.

<b>Combinações</b>	<b>Aparelhos</b>
A'	CH e LV
B'	CH e BCA
C'	CH e DH
D'	CH e CH
E'	CH e PIA

Fonte: Dos Autores (2021). Em que: CH: chuveiro; LV: lavatório; BCA: bacia sanitária com caixa acoplada; DH: ducha higiênica; PIA: pia.

A planta baixa da instalação hidráulica de água fria, seus isométricos, bem como a divisão dos trechos considerados no dimensionamento podem ser vistos no Anexo B.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os pontos mais desfavoráveis, verificou-se que as pressões encontradas não satisfizeram os requisitos da norma NBR 5626 (ABNT, 2020), a qual determina que a pressão dinâmica da água nos pontos de utilização não pode ser inferior a 10 kPa (utilizando o valor da aceleração da gravidade de  $9,81 \text{ m/s}^2$ , tem-se 1,02 m.c.a.). Dessa forma, foi necessário realizar o redimensionamento nesses trechos, fixando a altura do reservatório em 0,8 m e variando os valores de diâmetro, aumentando-os, de montante à jusante, partindo barrilete, a fim de atender a norma.

Após realizar o redimensionamento pelo método do Consumo Máximo Provável, foram determinadas as pressões dinâmicas em cada chuveiro da edificação. Os valores encontrados estão expressos na Tabela 7.

Tabela 7 – Pressão dinâmica nos chuveiros obtidas por meio do método do Consumo Máximo Provável.

<b>Aparelho sanitário</b>	<b>Carga de pressão dinâmica (m.c.a.)</b>
Chuveiro Banheiro 1	1,06
Chuveiro Banheiro 2	1,25

Fonte: Dos Autores (2021).

Foram também determinadas as cargas de pressão dinâmicas considerando o uso individual dos chuveiros em cada banheiro. Os resultados podem ser vistos nas Tabelas 8.

Tabela 8 – Variáveis hidráulicas de dimensionamento e verificação do funcionamento hidráulico para a operação individual do chuveiro do banheiro 1 e 2.

	<b>Trecho</b>	<b>Q (L/s)</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>Di (mm)</b>	<b>L virtual (m)</b>	<b><math>\Delta H</math> (m.c.a.)</b>	<b>P/<math>\gamma</math> (m.c.a.)</b>
Banheiro 1	A'-B'	0,1	40	35,2	7,01	0,005	-
	B'-C'	0,1	32	27,8	4,49	0,009	-
	C'-D'	0,1	32	27,8	0,25	0,001	-
	D'-E'	0,1	32	27,8	3,71	0,008	-
	E'-F'	0,1	20	17	2,58	0,403	1,27
Banheiro 2	A'-B'	0,1	40	35,2	7,01	0,005	-
	B'-O'	0,1	32	27,8	10,89	0,022	-
	O'-P'	0,1	25	21,6	3,17	0,021	-
	P'-Q'	0,1	25	21,6	2,92	0,127	1,53

Fonte: Dos Autores (2021).

No uso isolado dos chuveiros, as pressões encontradas mantiveram-se acima da carga de pressão mínima estabelecida pela NBR 5626 (ABNT,2020). Pelo fato de o chuveiro utilizar uma vazão de projeto baixa, 0,1 L/s, a perda de carga em cada trecho apresentou valores inferiores aos demais cenários. Assim, essa diminuta interferência nas perdas de carga, resultou em um valor elevado da pressão no ponto de saída do chuveiro.

Já na Tabela 9 estão apresentados os valores das pressões dinâmicas para cada combinação de uso simultâneo para o chuveiro do banheiro 1.



Tabela 9 – Variáveis hidráulicas de dimensionamento e verificação do funcionamento hidráulico para as combinações de operação simultânea para o chuveiro do banheiro 1.

<b>Combinação</b>	<b>Trecho</b>	<b>Q (L/s)</b>	<b>DN (mm)</b>	<b>Di (mm)</b>	<b>L virtual (m)</b>	<b><math>\Delta H</math> (m.c.a.)</b>	<b>P/<math>\gamma</math> (m.c.a.)</b>
A	A'-B'	0,25	40	35,2	7,01	0,023	-
	B'-C'	0,25	32	27,8	4,49	0,045	-
	C'-D'	0,25	32	27,8	0,25	0,003	-
	D'-E'	0,25	32	27,8	3,71	0,037	-
	E'-F'	0,1	20	17	2,58	0,403	1,19
B	A'-B'	0,25	40	35,2	7,01	0,023	-
	B'-C'	0,25	32	27,8	4,49	0,045	-
	C'-D'	0,25	32	27,8	0,25	0,003	-
	D'-E'	0,25	32	27,8	3,71	0,037	-
	E'-F'	0,1	20	17	2,58	0,403	1,19
C	A'-B'	0,2	40	35,2	7,01	0,016	-
	B'-C'	0,2	32	27,8	4,49	0,031	-
	C'-D'	0,2	32	27,8	0,25	0,002	-
	D'-E'	0,2	32	27,8	3,71	0,025	-
	E'-F'	0,1	20	17	2,58	0,403	1,22
D	A'-B'	0,2	40	35,2	7,01	0,016	-
	B'-C'	0,1	32	27,8	4,49	0,009	-
	C'-D'	0,1	32	27,8	0,25	0,001	-
	D'-E'	0,1	32	27,8	3,71	0,008	-
	E'-F'	0,1	20	17	2,58	0,403	1,26
E	A'-B'	0,35	40	35,2	7,01	0,041	-
	B'-C'	0,35	32	27,8	4,49	0,082	-
	C'-D'	0,1	32	27,8	0,25	0,001	-
	D'-E'	0,1	32	27,8	3,71	0,008	-
	E'-F'	0,1	20	17	2,58	0,403	1,17

Fonte: Dos Autores (2021). Em que: Combinação A: chuveiro e lavatório; Combinação B: chuveiro e bacia sanitária com caixa acoplada; Combinação C: chuveiro e ducha higiênica; combinação D: chuveiro e chuveiro; Combinação E: chuveiro e pia.

Analisando os valores das cargas de pressão nos chuveiros, pôde-se observar que todos sofreram aumento em relação às encontradas pelo método do Consumo Máximo Provável, atendendo assim a NBR 5626 (ABNT, 2020). Tal aumento se deve ao fato de que as vazões utilizadas nas combinações de consumo simultâneo são menores que as utilizadas no método

do Consumo Máximo Provável, resultando em menores perdas de carga e conseqüentemente em maiores cargas de pressão.

Observou-se que a menor pressão ocorreu na combinação E, pois apresenta valores de perda de carga mais elevados devido a utilização concomitante com a pia, a qual possui vazão de projeto maior em relação aos demais aparelhos considerados nas combinações. No mesmo sentido, a maior pressão foi estabelecida na combinação D, pois o uso simultâneo dos dois chuveiros levou a uma perda de carga menor devido ao baixo valor de vazão de projeto apresentada por tal aparelho.

Na Tabela 10, estão apresentados os valores das pressões de cada combinação para o chuveiro do banheiro 2.

Tabela 10 – Variáveis hidráulicas de dimensionamento e verificação do funcionamento hidráulico para as combinações de operação simultânea para o chuveiro do banheiro 2.

Combinação	Trecho	Q (L/s)	DN (mm)	Di (mm)	L virtual (m)	$\Delta H$ (m.c.a.)	P/ $\gamma$ (m.c.a.)
A'	A'-B'	0,25	40	35,2	7,01	0,023	-
	B'-O'	0,25	32	27,8	10,89	0,110	-
	O'-P'	0,25	25	21,6	3,17	0,106	-
	P'-Q'	0,1	25	21,6	2,92	0,127	1,33
B'	A'-B'	0,25	40	35,2	7,01	0,023	-
	B'-O'	0,25	32	27,8	10,89	0,110	-
	O'-P'	0,25	25	21,6	3,17	0,106	-
	P'-Q'	0,1	25	21,6	2,92	0,127	1,33
C'	A'-B'	0,2	40	35,2	7,01	0,016	-
	B'-O'	0,2	32	27,8	10,89	0,074	-
	O'-P'	0,2	25	21,6	3,17	0,072	-
	P'-Q'	0,1	25	21,6	2,92	0,127	1,41
D'	A'-B'	0,2	40	35,2	7,01	0,016	-
	B'-O'	0,1	32	27,8	10,89	0,022	-
	O'-P'	0,1	25	21,6	3,17	0,021	-
	P'-Q'	0,1	25	21,6	2,92	0,127	1,51
E'	A'-B'	0,35	40	35,2	7,01	0,041	-
	B'-O'	0,1	32	27,8	10,89	0,022	-
	O'-P'	0,1	25	21,6	3,17	0,021	-
	P'-Q'	0,1	25	21,6	2,92	0,127	1,49

Fonte: Dos Autores (2021). Em que: Combinação A': chuveiro e lavatório; Combinação B': chuveiro e bacia sanitária com caixa acoplada; Combinação C': chuveiro e ducha higiênica; combinação D': chuveiro e chuveiro; Combinação E': chuveiro e pia.

Analisando os resultados obtidos para o banheiro 2 pode-se concluir que as pressões tiveram comportamento semelhante ao do banheiro 1, visto que todas apresentaram valores superiores ao obtido no método anterior.

O maior valor de pressão também foi encontrado no uso simultâneo dos dois chuveiros, na combinação D'. Porém, a menor pressão não se manteve na combinação do chuveiro com a pia (combinação E'), e sim nas combinações A' e B', já que seus aparelhos interferem nos trechos A'-B', B'-O' e O'-P', totalizando um comprimento virtual de 21,07 metros. Outro fator que contribui para o aumento da perda de carga e, conseqüentemente, diminuição da pressão

nestes trechos, foi a redução do diâmetro nos trechos B'-O' e O'-P', passando de 35,2 mm para 27,8 mm, e de 27,8 mm para 21,6 mm, respectivamente. Enquanto isso, na combinação E' ocorre interferência apenas no trecho A'-B', que apresenta comprimento virtual de 7,01 metros e diâmetro de 35,2 mm.

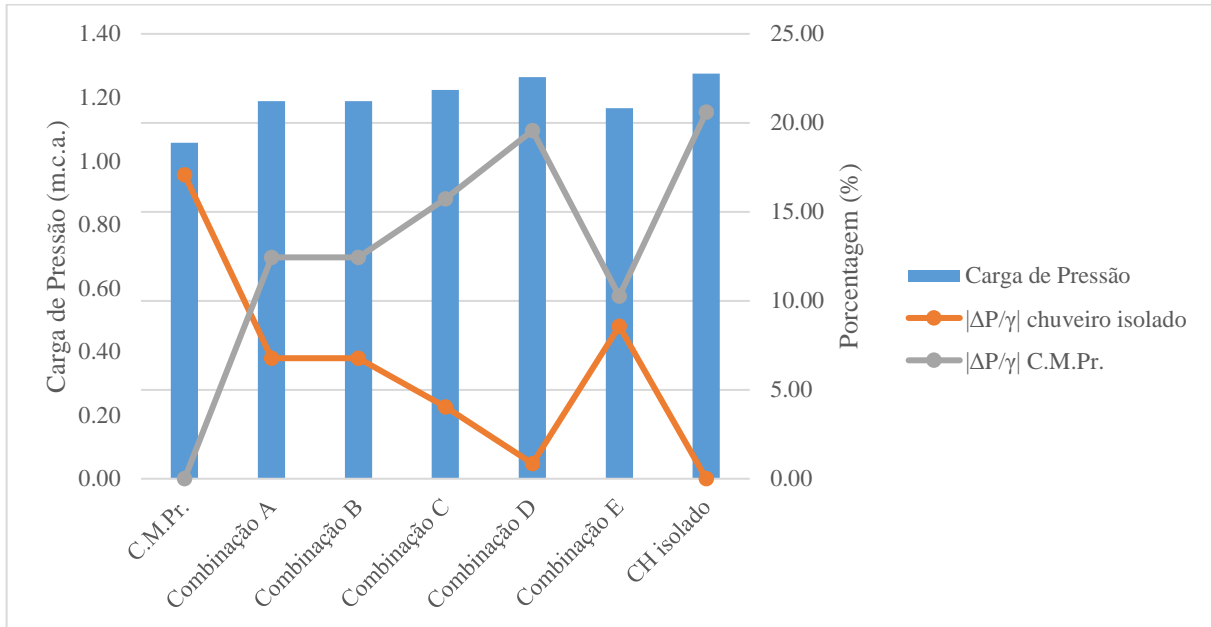
Além disso, percebeu-se que os valores de pressões das combinações foram maiores para o chuveiro do banheiro 2. Essa superioridade deve-se, principalmente, a um menor valor de perda de carga no registro de pressão, já que o diâmetro utilizado no último trecho é superior, o que leva a utilizar um coeficiente  $k$  menor. Desse modo, com uma menor perda de carga, a carga de pressão dinâmica no chuveiro do banheiro 2 se manteve superior que em relação ao chuveiro do banheiro 1. Ao comparar o trajeto percorrido pela água na tubulação para ambos os chuveiros, tem-se que no primeiro chuveiro, o comprimento virtual é de 18,04 metros, enquanto no segundo chuveiro é de 24 metros. Já em relação ao diâmetro interno, o primeiro chuveiro apresenta trechos com maiores diâmetros que em relação ao segundo chuveiro, o que leva a uma redução da perda de carga. Porém, mesmo assim, o chuveiro do banheiro 1 apresentou maior perda de carga total, justamente devido ao registro de pressão de menor diâmetro utilizado no último trecho, o qual apresentou uma perda de carga de 0,35 m.c.a., enquanto no chuveiro do banheiro 2 foi de 0,11 m.c.a.

Analisando-se o comportamento das pressões nos chuveiros, foi possível perceber que não houve redução da pressão em nenhum dos casos analisados, tendo como base o método do Consumo Máximo Provável. Isso se deve ao fato de que a vazão de projeto utilizada nas combinações e na análise do chuveiro operando isoladamente, não ultrapassou a vazão obtida pelo método. Dessa forma, obtiveram-se perdas de carga menores e por consequência pressões maiores.

Analisando todos os casos, percebeu-se que todas as pressões no chuveiro 2 foram maiores que no chuveiro 1. Os principais fatores que levaram a essa diferença foi a concepção do traçado, já que para alimentar o banheiro 1 foi necessário trechos de maiores comprimentos de tubulação; e a diferença de diâmetro no último trecho, o qual interferiu diretamente na perda de carga do registro de pressão. Isso tudo levou o chuveiro 1 a apresentar uma maior perda de carga total no sistema, fazendo com que sua pressão fosse menor que a do chuveiro 2.

No Gráfico 1, é relacionado a carga de pressão dinâmica e sua porcentagem de variação em relação ao uso isolado do chuveiro e ao método do Consumo Máximo Provável para todos os casos no chuveiro do banheiro 1.

Gráfico 1 – Cargas de pressão e suas variações, em porcentagem, para operação do chuveiro do banheiro 1 em operação simultânea com outros aparelhos, em relação ao uso isolado do chuveiro e ao método do Consumo Máximo Provável.

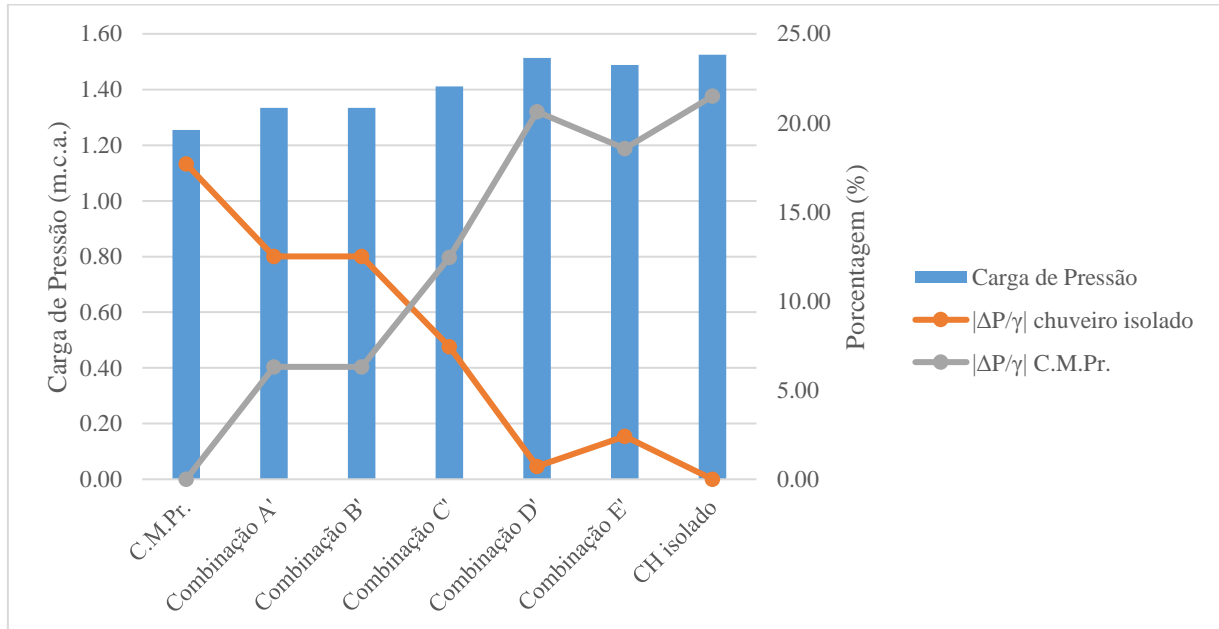


Fonte: Dos Autores (2021). Em que: C.M.Pr.: Consumo Máximo Provável; Combinação A: chuveiro e lavatório; Combinação B: chuveiro e bacia sanitária com caixa acoplada; Combinação C: chuveiro e ducha higiênica; combinação D: chuveiro e chuveiro; Combinação E: chuveiro e pia; CH: chuveiro.

Tomou-se como base o chuveiro operando isoladamente, por conta de apresentar o maior valor de carga de pressão, sendo 1,27 m.c.a. No gráfico 1 percebeu-se que a combinação D obteve uma pressão de 1,26 m.c.a, exibindo assim a menor porcentagem de variação, com um valor de 0,86%. No método do Consumo Máximo Provável a pressão encontrada foi de 1,06 m.c.a, o que levou a uma maior porcentagem de variação, 17,08%, sendo assim, o único caso a ultrapassar os 10% de redução recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 2020).

No Gráfico 2, é relacionado a carga de pressão dinâmica e sua porcentagem de variação em relação ao uso isolado do chuveiro e ao método do Consumo Máximo Provável para todos os casos no chuveiro do banheiro 2.

Gráfico 2 - Cargas de pressão e suas variações, em porcentagem, para operação do chuveiro do banheiro 2 em operação simultânea com outros aparelhos, em relação ao uso isolado do chuveiro e ao método do Consumo Máximo Provável.



Fonte: Dos Autores (2021). Em que: C.M.Pr.: Consumo Máximo Provável; Combinação A': chuveiro e lavatório; Combinação B': chuveiro e bacia sanitária com caixa acoplada; Combinação C': chuveiro e ducha higiênica; combinação D': chuveiro e chuveiro; Combinação E': chuveiro e pia; CH: chuveiro.

No gráfico 2, também se tomou como base o chuveiro em uso isolado, por apresentar a maior carga de pressão, 1,53 m.c.a. De forma semelhante a combinação D, a combinação D' foi a que apresentou a menor porcentagem de variação, 0,72%. Em alguns casos a porcentagem de variação foi mais significativa, no método do Consumo Máximo Provável variou 17,70%, na combinação A' 12,50%, e na combinação B' 12,50%. Tais casos ultrapassaram a redução máxima de 10% recomendada pela NBR 5626 (ABNT, 2020).

De forma geral, pode-se concluir que o método do Consumo Máximo Provável se mostrou satisfatório e pode ser aplicado a fim de se seguir os requisitos exigidos e recomendados pela NBR 5626 (ABNT, 2020), visto que em todas as análises as pressões obtidas foram maiores que 1,02 m.c.a. Fazendo-se combinações com o chuveiro e apenas mais um aparelho sanitário, em relação ao método do Consumo Máximo Provável, não fez com a pressão sofresse redução de 10% do seu valor inicial, tampouco houve redução. Observa-se que em nenhuma das combinações os valores de pressão foram inferiores aos calculados anteriormente, entretanto combinando-se mais de um aparelho isto poderia acontecer, acarretando uma redução mais significativa da pressão e podendo assim não mais satisfazer as

condições da norma. Do mesmo modo, tomando como base o chuveiro isolado, percebeu-se que as variações em alguns casos sofreram reduções maiores que a permitida.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do dimensionamento da edificação estudada pelo método do Consumo Máximo Provável, observou-se que os valores de velocidade ficaram abaixo do limite máximo permitido pela NBR 5626 (ABNT, 2020). Já os diâmetros tiveram que ser aumentados nos trechos que sofreram interferência do chuveiro, para que assim a carga de pressão dinâmica em tais pontos ficasse acima do valor mínimo permitido.

Além disso, o chuveiro do banheiro 1 apresentou valores de cargas de pressão dinâmica menores que os do banheiro 2, devido principalmente à utilização, no último trecho, de um registro de pressão em uma tubulação de diâmetro menor, o que levou a apresentar uma maior perda de carga total na tubulação e conseqüentemente uma menor carga de pressão dinâmica.

Com a utilização das vazões de projeto nas combinações de uso simultâneo do chuveiro com diferentes aparelhos, constatou-se que ao comparar as variações das pressões dinâmicas de cada caso em relação ao método do Consumo Máximo Provável, todas as pressões sofreram aumento, já que tal método utiliza vazões superiores às utilizadas nas combinações de uso simultâneo. Assim, todos os casos analisados atenderam aos critérios estabelecidos pela NBR 5626 (ABNT, 2020).

Ao tomar como referência o chuveiro em uso unitário, por conta de ser o caso em que se apresentou maior valor de pressão dinâmica, percebe-se que as variações das pressões sofrem uma redução maior que a permitida pela NBR 5626 (ABNT, 2020). Sendo que no banheiro 1 tal redução ocorreu apenas no método do Consumo Máximo Provável, e no banheiro 2 ela ocorreu no método do Consumo Máximo Provável e nas combinações A' e B'.

Portanto, o método do Consumo Máximo Provável pode ser utilizado de forma eficiente para o dimensionamento de sistemas prediais de água fria, atendendo aos critérios estabelecidos pela NBR 5626 (ABNT, 2020), de acordo com o traçado analisado. Entretanto, tal eficácia se comprova apenas na combinação de uso simultâneo do chuveiro com mais um aparelho sanitário, podendo não haver eficiência ao se utilizar mais de um aparelho de forma simultânea com o chuveiro, já que causaria uma elevação na perda de carga do sistema, a qual ocasionaria uma carga de pressão dinâmica insuficiente no ponto de saída para o chuveiro.



## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Instalação Predial de Água Fria**. NBR 5626, 2020.

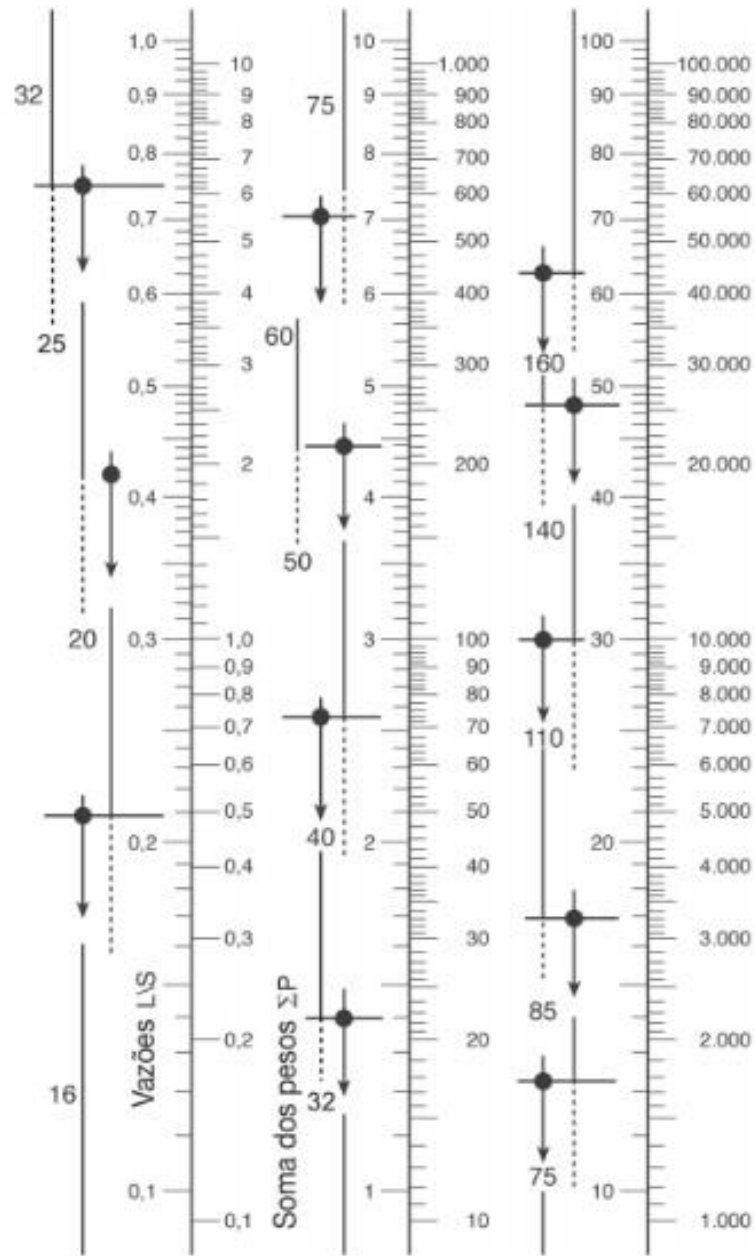
ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Registro - Requisitos e métodos de ensaio. Parte 1: Registros de pressão**. NBR 15704-1, 2011.

AZEVEDO NETTO, J. M. de; FERNÁNDEZ, M.F.Y. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2015.

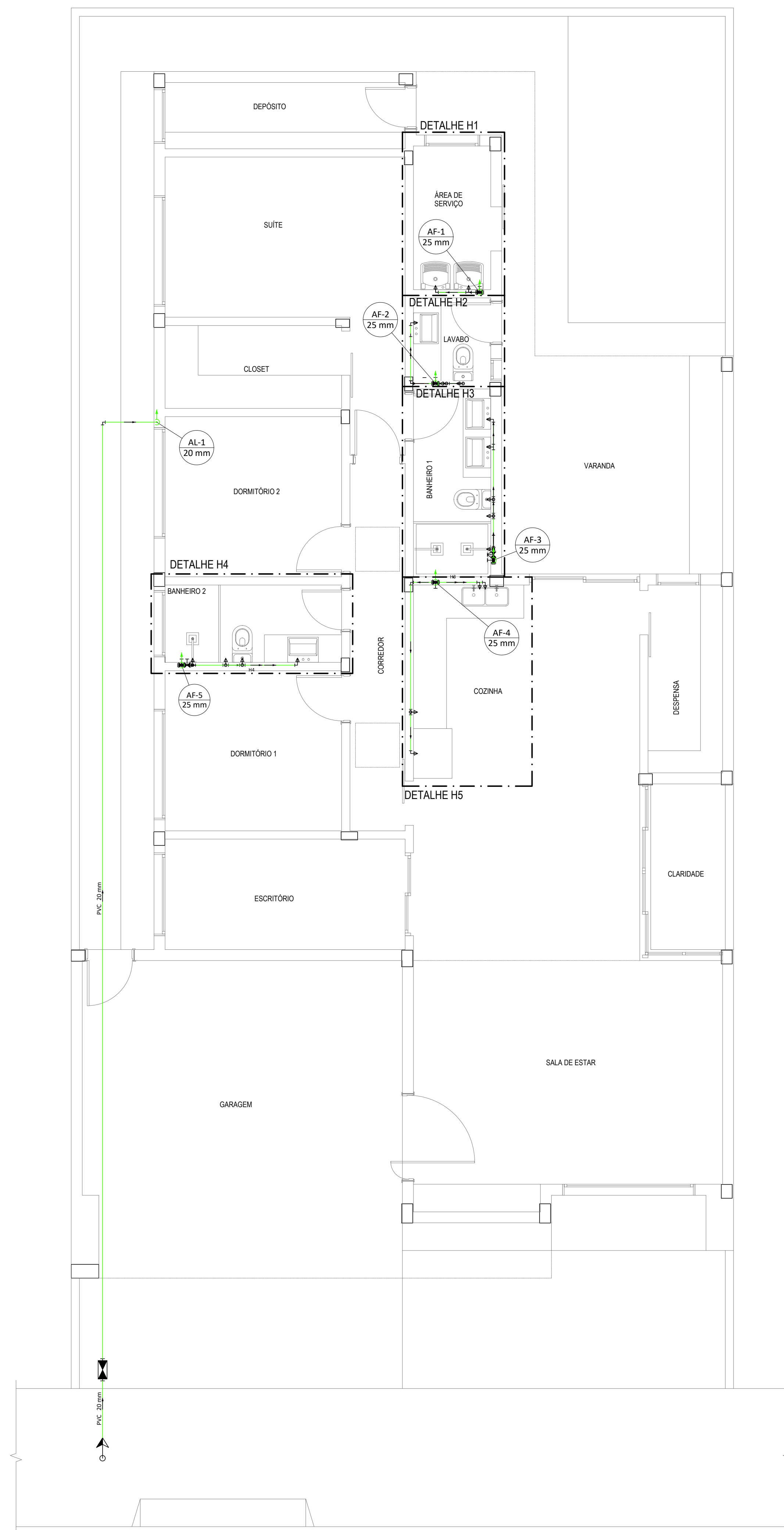
BOTELHO, Manoel Henrique Campos; RIBEIRO, Geraldo de Andrade Jr. **Instalações prediais: usando tubos de PVC e PPR**. 2º ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projeto**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2014.

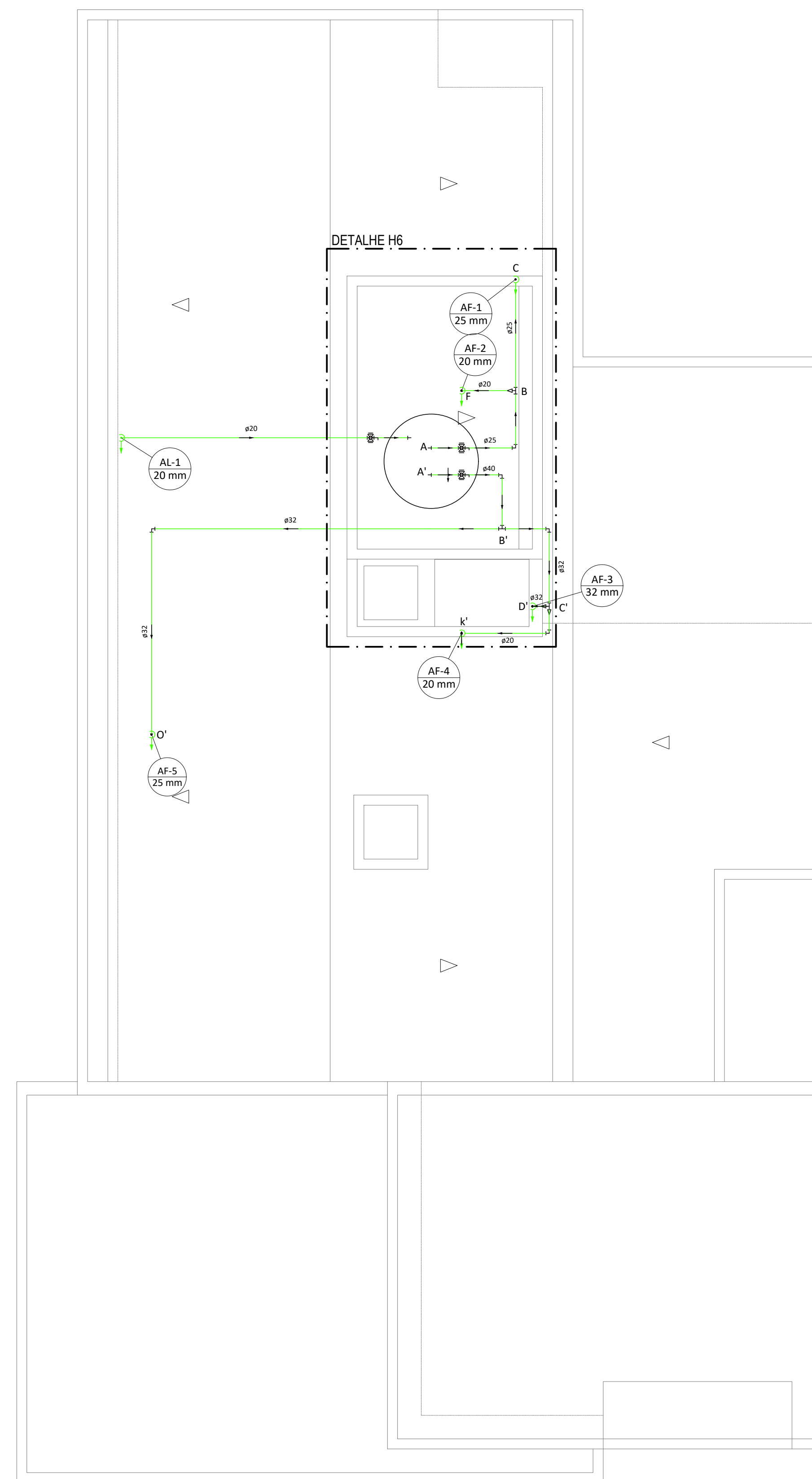
**ANEXO A – Normograma de pesos, vazões e diâmetros**



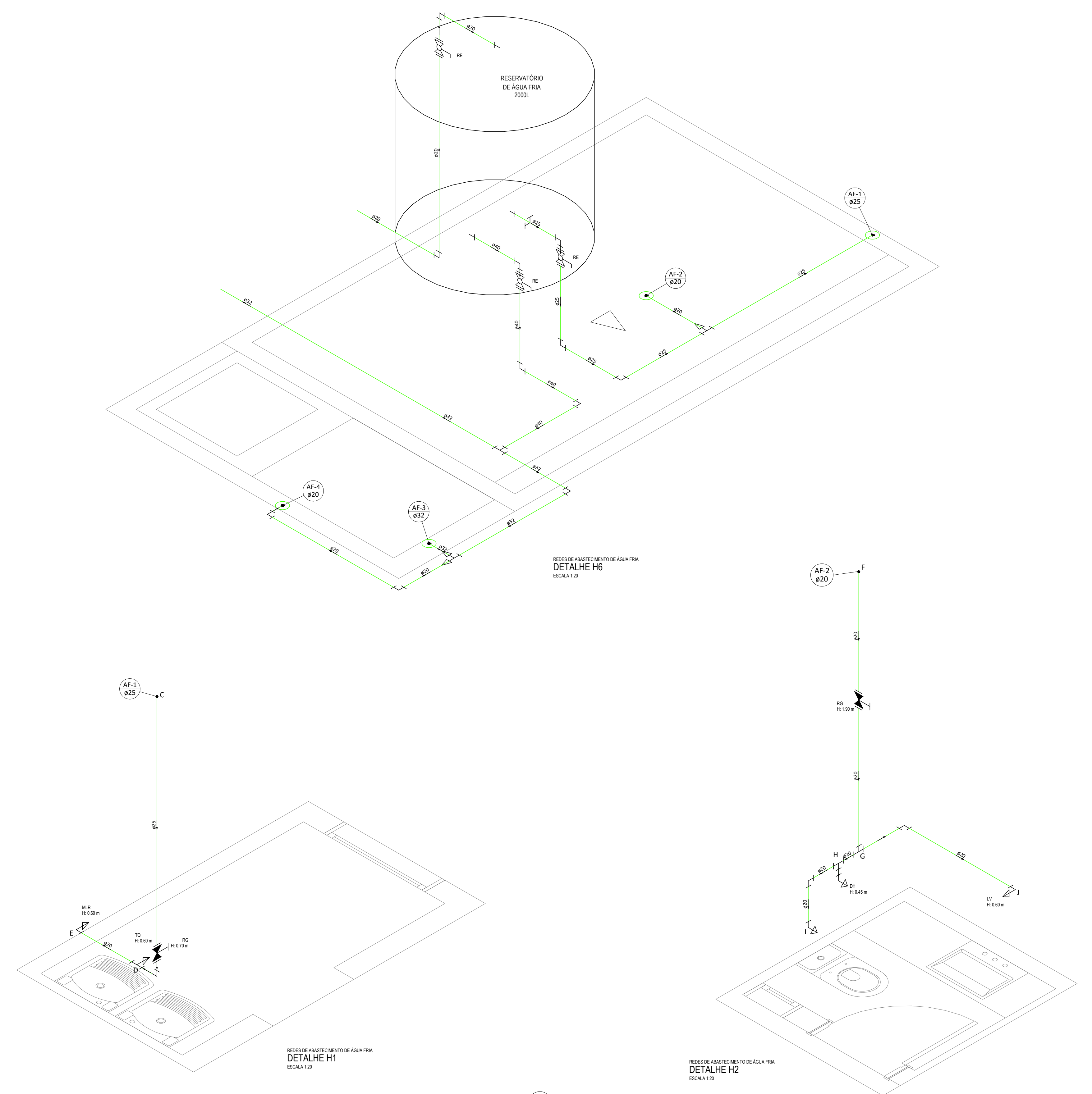
## **ANEXO B – Projeto hidráulico predial de água fria**



REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRIA  
PLANTA BAIXA - TERREO  
ESCALA 1:50

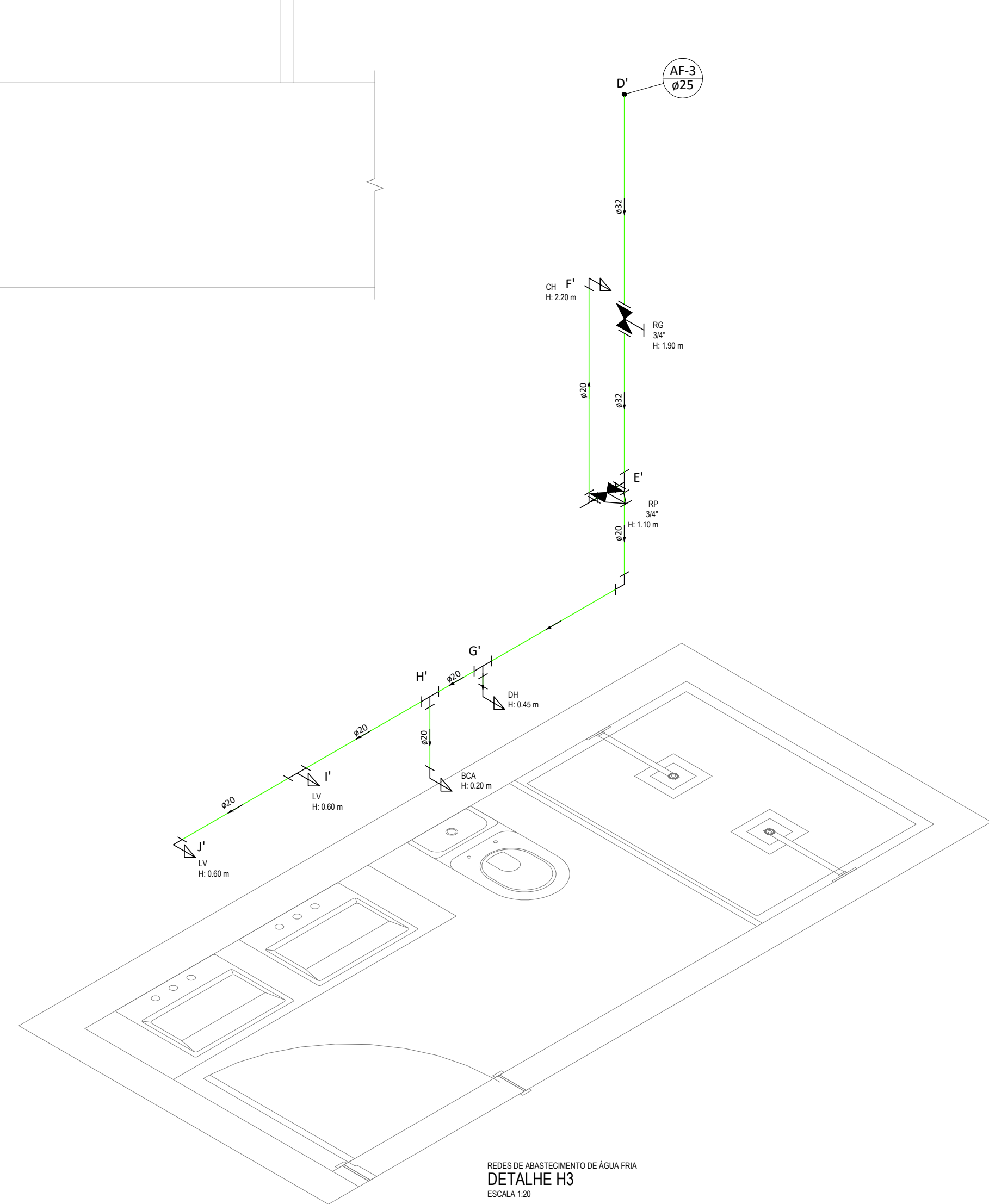


REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRIA  
PLANTA BAIXA - SUPERIOR  
ESCALA 1:50

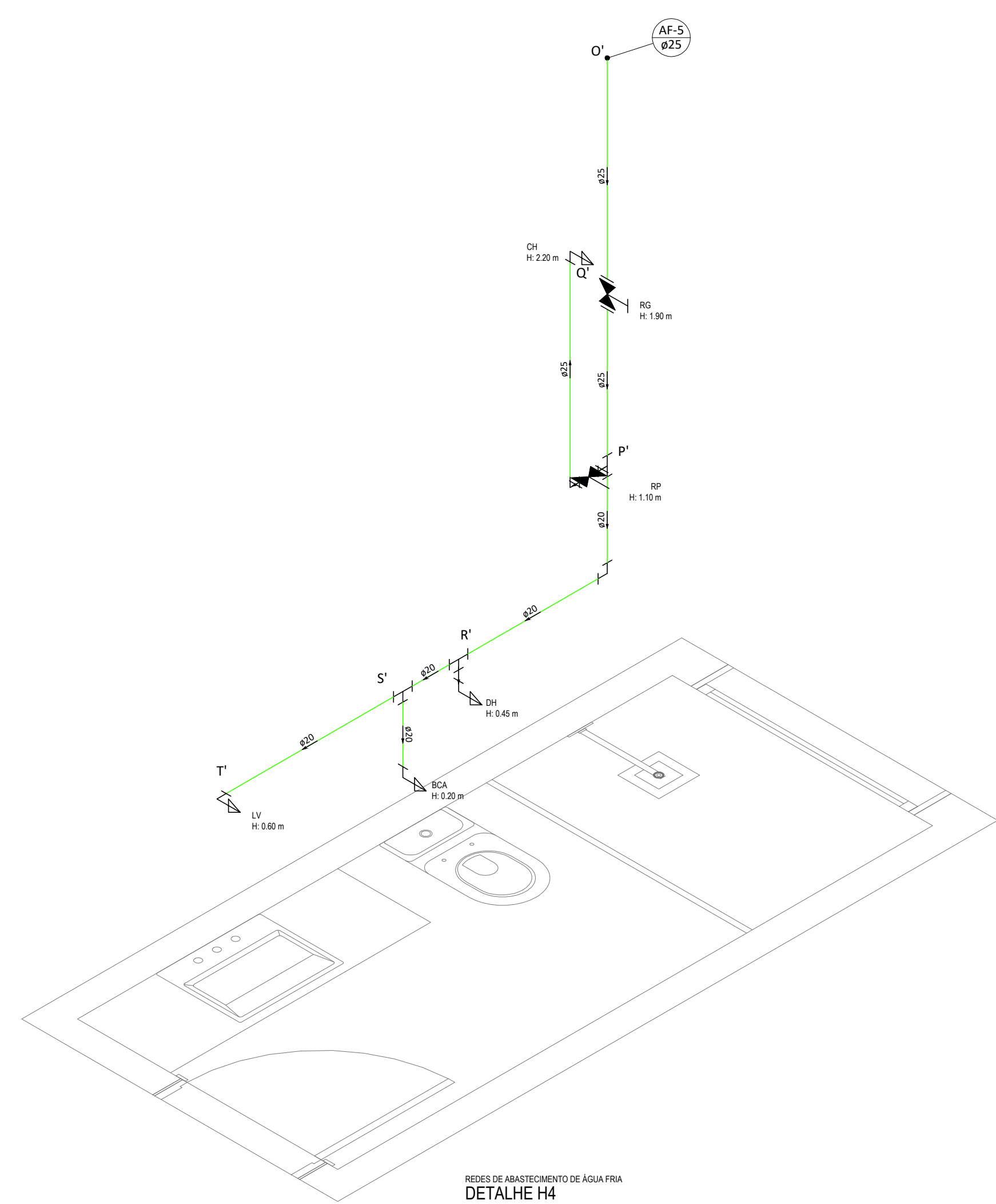


REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRIA  
DETALHE H1  
ESCALA 1:50

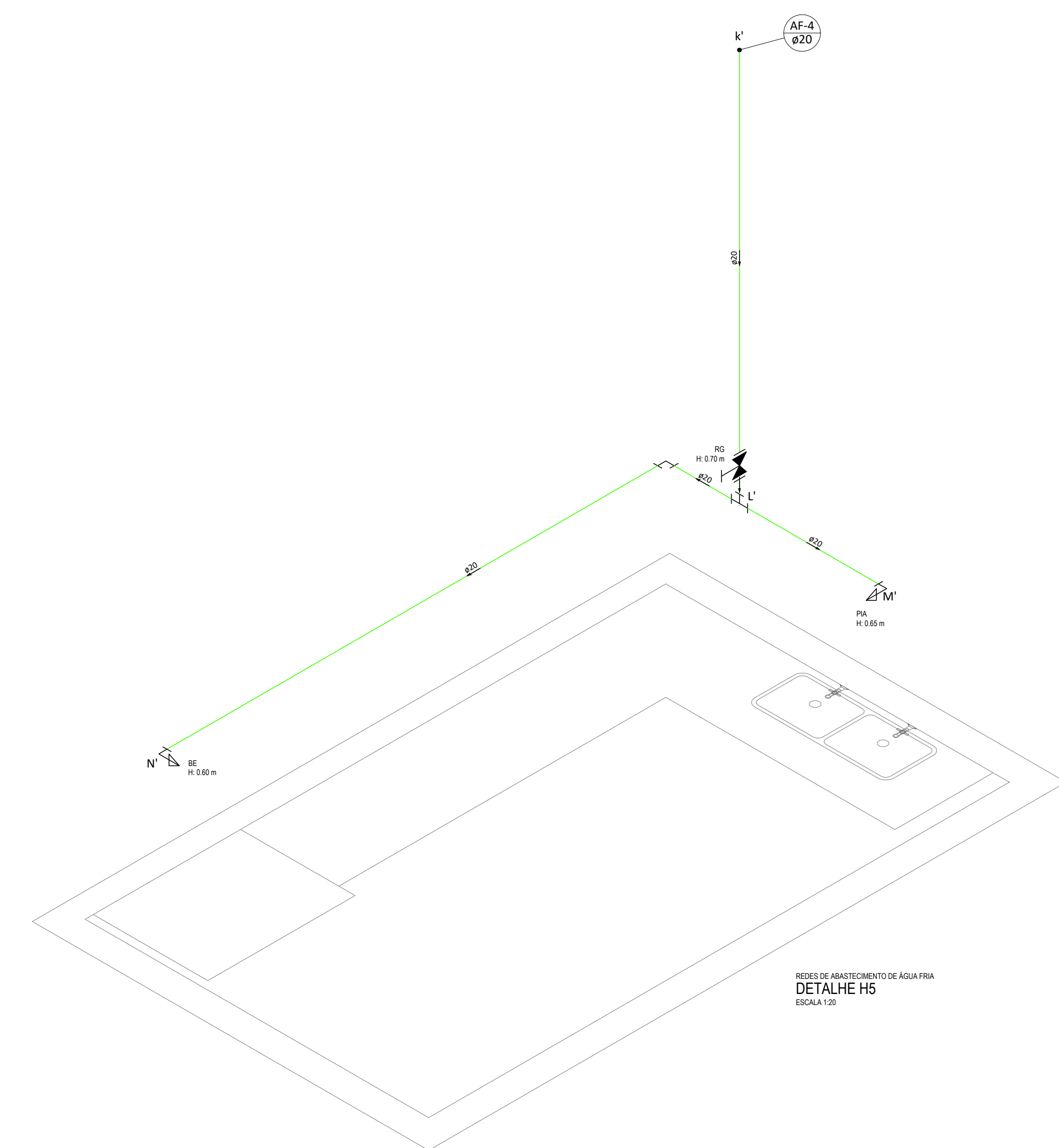
REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRIA  
DETALHE H2  
ESCALA 1:50



REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRIA  
DETALHE H3  
ESCALA 1:50



REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRIA  
DETALHE H4  
ESCALA 1:50



REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRIA  
DETALHE H5  
ESCALA 1:50