



ENZO AKIRA HATISUKA MARANI

**FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE INSTALAÇÃO
PREDIAL DE ÁGUA FRIA EM FUNÇÃO DO USO
SIMULTÂNEO DOS APARELHOS SANITÁRIOS**

LAVRAS – MG

2019

ENZO AKIRA HATISUKA MARANI

**FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE INSTALAÇÃO PREDIAL DE ÁGUA FRIA
EM FUNÇÃO DO USO SIMULTÂNEO DOS APARELHOS SANITÁRIOS**

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
2019**

ENZO AKIRA HATISUKA MARANI

**FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE INSTALAÇÃO PREDIAL DE ÁGUA FRIA
EM FUNÇÃO DO USO SIMULTÂNEO DOS APARELHOS SANITÁRIOS
HYDRAULIC OPERATION OF BUILDING WATER SYSTEM DUE TO THE
SIMULTANEOUS USE OF SANITARY APPLIANCES**

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 01 de Novembro de 2019.

Marina Neves Merlo UFLA

Mateus Alexandre da Silva UFLA

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

RESUMO

O dimensionamento de uma instalação predial de água fria pode ser feito por dois métodos: Consumo Máximo Possível e Consumo Máximo Provável. O Método do Consumo Máximo Possível considera o funcionamento de todos dispositivos hidráulicos ao mesmo tempo, e o método do Consumo Máximo Provável é baseado no cálculo de probabilidades, atribuindo valores de peso para cada equipamento hidráulico, realizando uma análise prática das instalações. A possibilidade de ocorrência do uso de todas as peças hidráulicas ao mesmo tempo em uma edificação unifamiliar é baixa, entretanto, caso todos os dispositivos estivessem em funcionamento, a tubulação poderia estar subdimensionada ou ser suficiente para atender a vazão demandada. Assim, o objetivo deste trabalho é analisar as diferenças entre o dimensionamento da instalação predial de água fria para um edifício unifamiliar pelos dois métodos citados. Em seguida, analisar o funcionamento da instalação predial dimensionada pelo método do Consumo Máximo Provável, caso todos os dispositivos estivessem em funcionamento e em algumas hipóteses que podem ocorrer rotineiramente de aparelhos em funcionamento simultâneo, aplicando suas vazões ao método do Consumo Máximo Provável. Para o estudo, os principais parâmetros de vazão, diâmetro de tubos, velocidade e pressões mínimas e máximas para o dimensionamento das tubulações, estabelecidas pela NBR 5626 (ABNT, 1998), foram observados. Procurou-se realizar o traçado da rede de distribuição da maneira mais econômica, adotando o menor trajeto possível, diminuindo assim a perda de carga ao longo do percurso. Além disso, para melhor disposição e eficiência, foram definidas três colunas principais para atender a edificação. Diante dos resultados obtidos, na análise comparativa entre métodos, as vazões e diâmetros foram menores no método do Consumo Máximo Provável e as pressões, em geral, atingiram melhores resultados no mesmo método. Na análise do dimensionamento, o Consumo Máximo Provável não terá total eficiência com todos os dispositivos em funcionamento, visto que os diâmetros adotados não foram projetados para atender a vazão de todos os equipamentos em uso simultâneo, causando uma elevação na perda de carga que leva à insuficiência de carga de pressão no sistema. Para o dimensionamento com as vazões dos cenários hipotéticos, em nenhum caso a pressão do sistema conseguiu proporcionar o funcionamento ótimo de todos os dispositivos hidráulicos.

Palavras-chave: Saneamento, Tubulações, Eficiência hidráulica

ABSTRACT

The design a building supply water installation can be done by two methods: Maximum Possible Consumption and Maximum Probable Consumption. The Maximum Possible Consumption Method considers the operation of all hydraulic devices at the same time, and the Maximum Probable Consumption method is based on calculating probabilities, assigning weight values to each hydraulic equipment, performing a practical analysis of the pipelines. The possibility of using all hydraulic parts at the same time in a single-family building is low, however, if all devices were in operation, the piping could be undersized or not enough to attend the demanded flow. The objective of this study is to analyze the differences between the sizing of a water supply installation for a single-family building by the two mentioned methods. Then, to analyze the operation of the building installation dimensioned by the Maximum Probable Consumption method if all the devices were in operation and in some cases that may occur routinely of devices in simultaneous operation, applying their flows to the Maximum Probable Consumption method. For the study, the main parameters of flow, pipe diameter, velocity and minimum and maximum pressures for pipe design, established by NBR 5626 (ABNT, 1998) were observed. The layout of the water distribution was performed in the most economical way, adopting the shortest possible route, thus reducing the pressure drop along the route. In addition, for better layout and efficiency, three main columns were defined to suit the building. For the results obtained in the comparative analysis between methods, the flowrates and diameters were lower in the Maximum Probable Consumption and the pressures, in general, achieved better results in the same method. At the designing analysis, the Maximum Probable Consumption will not be fully efficient with all devices in operation, as the adopted diameters are not designed to meet the flow of all equipment in simultaneous use, causing an increase in head loss leading to insufficient pressure head in the system. For the design with the flow rates of the hypothetical scenarios, in all circumstances the system could not provide optimum operation of all hydraulic appliances.

Keywords: Sanitation, Pipelines, Hydraulic Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Linha de energia e linha piezométrica em escoamento permanente.....	16
Figura 2 - Diagrama de Moody	20
Figura 3- Ramal externo e ramal interno com seus componentes	24
Figura 4 - Barrilete concentrado	25
Figura 5 - Barrilete ramificado	25
Figura 6 - Instalação predial de água fria alimentada indiretamente.....	26
Figura 7 - Normograma de pesos, vazões e diâmetros	30
Figura 8 - Ábaco simplificado (somatórios de 0 a 100)	30
Figura 9 - Planta baixa térreo	34
Figura 10 - Planta baixa pavimento superior.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Peso relativo dos pontos de utilização, identificados em função do aparelho sanitário e da peça de utilização.....	36
Tabela 2 - Diâmetro mínimo dos sub-ramais.....	37
Tabela 3 - Comprimento equivalente (Le) para tubo liso.....	38
Tabela 4 - Número de seções equivalentes em tubos de 20 mm.....	39
Tabela 5 - Dimensionamento da instalação predial das Colunas e Barriletes.....	42
Tabela 6 - Dimensionamento da instalação predial dos banheiros da suíte 1 e 3 e banheiro 1.	43
Tabela 7 - Dimensionamento da instalação predial da cozinha e área de serviço.....	45
Tabela 8 - Dimensionamento da instalação predial do banheiro da suíte 2.....	47
Tabela 9 - Dimensionamento da Hipótese 1 (funcionamento simultâneo dos três chuveiros) abastecido pela coluna A.....	49
Tabela 10 - Comparação do dimensionamento da Hipótese 2 (funcionamento simultâneo da pia, torneira e máquina de lavar) e da Hipótese 3 (funcionamento simultâneo do tanque e máquina de lavar) abastecidos pela coluna F.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dimensionamento da instalação hidráulica predial.....	40
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Influência da pressão em porcentagem na instalação dos banheiros abastecidos pela coluna A.	44
Gráfico 2 - Influência da pressão em porcentagem na instalação da cozinha e área de serviço abastecidos pela coluna C.	46
Gráfico 3 - Influência da pressão em porcentagem na instalação do banheiro abastecido pela coluna F.....	48
Gráfico 4 - Pressões nos trechos e as variações em porcentagem entre a hipótese 1 e os métodos analisados.	50
Gráfico 5 - Pressões nos trechos e as variações em porcentagem entre a hipótese 2 e os métodos analisados.	52
Gráfico 6 - Pressões nos trechos e as variações em porcentagem entre a hipótese 3 e os métodos analisados.	52
Gráfico 7 - Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões máximas na coluna A.	53
Gráfico 8- Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões máximas na coluna C.	54
Gráfico 9 - Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões máximas na coluna F.	55
Gráfico 10 - Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões referentes a hipótese 1.	56
Gráfico 11 - Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões referentes a hipótese 2.	57
Gráfico 12 - Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões referentes a hipótese 3.	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivo Específico.....	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	Hidrodinâmica	14
3.1.1	Equação da continuidade	14
3.1.2	Equação de Bernoulli	15
3.2	Cálculo de condutos sobre pressão	17
3.2.1	Perda de carga distribuída	18
3.2.1.1	Fórmula de Darcy-Weisbach	18
3.2.1.2	Fórmula de Hazen-Williams	20
3.2.2	Perda de carga localizada	21
3.2.2.1	Expressão geral das perdas de carga localizadas	21
3.2.2.2	Método dos comprimentos virtuais	22
3.3	Instalações prediais de água fria.....	22
3.3.1	Principais componentes	24
3.3.2	Parâmetros de projeto e dimensionamento	26
3.3.2.1	Projeto de instalações hidráulicas.....	27
3.3.2.2	Pressões máximas e mínimas.....	27
3.3.2.3	Dimensionamento	28
3.3.2.3.1	Consumo simultâneo provável (consumo máximo provável) e consumo simultâneo (consumo máximo possível)	28
3.3.3	Verificação do funcionamento	31
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1	Projeto e traçado da rede de distribuição de água.....	34
4.2	Dimensionamento por meio do método de consumo máximo provável	36
4.3	Dimensionamento por meio do método de consumo máximo possível..	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	Dimensionamento do reservatório de água fria	41

5.2	Comparação entre o método do Consumo Máximo Provável e Consumo Máximo Possível	41
5.3	Comparação do dimensionamento das hipóteses definidas	48
5.4	Análise do dimensionamento do método do Consumo Máximo Provável com todos os dispositivos hidráulicos em funcionamento	53
5.5	Análise do dimensionamento do método do Consumo Máximo Provável com as vazões das hipóteses definidas	55
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	61
	APÊNDICE A – Projeto de dimensionamento das instalações hidrossanitárias.....	63
	APÊNDICE B – Dimensionamento pelo método do Consumo Máximo Provável	64
	APÊNDICE C – Dimensionamento pelo método do Consumo Máximo Possível	68
	APÊNDICE D – Método C.M.Pr. com vazões máximas.....	72
	APÊNDICE E – Método C.M.Pr. com vazões das hipóteses definidas	74

1 INTRODUÇÃO

O sistema de abastecimento predial de água progrediu consideravelmente com a qualificação profissional e o aprimoramento técnico e científico, juntamente com o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias. À vista disso, conveniou-se por padronizar exigências e recomendações como forma de garantia de qualidade e bom desempenho, criando assim as normas técnicas, como a NBR 5626/98 referente à instalação predial de água fria.

De acordo com Carvalho Júnior (2013), uma instalação predial de água fria constitui-se pelo conjunto de instalações, equipamentos, reservatórios e dispositivos necessários para o abastecimento dos pontos destinados a utilização da água na edificação, promovendo a quantidade e qualidade suficiente para manter o fornecimento.

Nessa vertente, a NBR 5626 (ABNT, 1998) estabelece critérios de vazão, diâmetro de tubos, velocidade e pressões mínimas e máximas para o dimensionamento das tubulações. Além disso, as bibliografias desenvolvidas classificam o dimensionamento em dois princípios: Consumo Máximo Possível e Consumo máximo Provável.

Botelho e Ribeiro Júnior (2010) descrevem que a utilização do Método do Consumo Máximo Possível ocorre em locais onde a utilização das peças é simultânea em razão da demanda, como em quarteis, fábricas, vestiários esportivos, entre outros estabelecimentos, os quais em devidos horários, decorre-se o funcionamento dos dispositivos hidráulicos ao mesmo tempo. Já o método do Consumo máximo Provável é preconizado pela NBR 5626/98 e é baseado no cálculo de probabilidades para a análise prática das instalações com o funcionamento satisfatório.

Sabe-se que no caso de uma edificação unifamiliar, a possibilidade de ocorrência do uso de todas as peças hidráulicas ao mesmo tempo é baixa, entretanto, caso todos os dispositivos funcionassem ao mesmo tempo, a tubulação poderia estar subdimensionada ou ser suficiente para atender a vazão demandada.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar as diferenças entre o dimensionamento da instalação predial de água fria para um edifício unifamiliar pelos dois métodos citados. Em seguida, analisar o funcionamento da instalação predial dimensionada pelo método do Consumo Máximo Provável, caso todos os dispositivos estivessem em funcionamento e em algumas hipóteses que podem ocorrer rotineiramente de aparelhos em funcionamento simultâneo, aplicando suas vazões ao método do Consumo Máximo Provável.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o funcionamento hidráulico de instalação predial de água fria em função do uso simultâneo dos aparelhos sanitários comparado com o dimensionamento em função do uso provável.

2.2 Objetivo Específico

- Determinar a vazão e diâmetro de cada trecho da tubulação por meio do método do consumo máximo provável, calculando a perda de carga distribuída e localizada na instalação predial, e verificando se os parâmetros de dimensionamento estão dentro dos limites estabelecidos por norma;
- Verificar a vazão e diâmetro de cada trecho da tubulação por meio do método do consumo máximo possível, calculando a perda de carga total esperada;
- Realizar uma análise comparativa entre os aspectos principais de funcionamento nos trechos dimensionados e seu funcionamento esperado por cada método, avaliando tecnicamente os resultados; e
- Analisar os cenários de funcionamento simultâneo de aparelhos sanitários, a partir do dimensionamento proposto para o método do consumo máximo provável.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Hidrodinâmica

De acordo com Çengel e Cimbala (2015), a hidrodinâmica é um segmento da mecânica dos fluidos que estuda o movimento de fluidos aproximados como incompressíveis. Para determinar esse movimento em qualquer instante (t), é necessário conhecer a grandeza e a direção da velocidade (v) em um ponto, considerando também as condições do fluido relacionadas aos valores de pressão (P) e massa específica (ρ) (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2018).

Assim, para estabelecer essas grandezas, simplificam-se as equações de fluxo normalmente utilizadas considerando os escoamentos unidimensionais e em regime permanente (BAPTISTA; COELHO, 2014). Dentre estas equações mencionadas, destacam-se: a equação da continuidade e a equação de Bernoulli.

Ainda segundo os autores supracitados, observa-se que para atender a situação em que o escoamento ocorre em outras dimensões, pequenos ajustes podem ser feitos como a utilização de características médias (velocidade e densidade média, entre outros) e coeficientes de correção para os efeitos das variações em uma seção transversal.

3.1.1 Equação da continuidade

A equação da continuidade corresponde à lei da conservação de massa. Para os líquidos praticamente incompressíveis, a massa específica (ρ) é constante ($\rho_1 = \rho_2$), e considerando um trecho de um tubo de corrente com seções A_1 e A_2 e velocidades V_1 e V_2 , a quantidade de massa que entra na seção A_1 iguala-se a quantidade de massa que sai da seção A_2 (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2018).

Aplicando esses conceitos, a equação expressa-se de uma forma simples (Equação 1):

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \text{constante} \quad (1)$$

Em que:

Q = vazão (m^3/s);

V = velocidade média na seção (m/s); e

A = área da seção de escoamento (m^2).

3.1.2 Equação de Bernoulli

Segundo Silva, Mascarenhas e Miguez (2007, p.93) a equação de Bernoulli é conhecida universalmente por traduzir o fato de que a “variação de energia de um sistema é igual ao trabalho efetuado pelas forças que atuam sobre o mesmo”.

De acordo com os mesmos autores, para expressar a energia do escoamento em uma dimensão linear, considera-se uma partícula de água com peso específico (γ), massa específica (ρ) e massa (m), em uma cota (z) com relação a um plano de referência. Sabendo que a partícula está submetida à aceleração da gravidade (g) e levando em conta as energias cinética, potencial de posição e de pressão, pode-se definir as parcelas de energia que a partícula está submetida.

Pelo fato de todas as parcelas de energia serem definidas por unidade de peso de fluido e possuírem uma dimensão linear, pode-se representar a equação por meio de cargas (PORTO, 2006), que possuem dimensão de comprimento:

$$\text{carga de pressão : } \frac{P}{\gamma}$$

$$\text{carga cinética: } \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{carga de posição ou elevação: } z$$

E, para atender o princípio de conservação, a energia total permanece constante ao longo do escoamento (SILVA; MASCARENHAS; MIGUEZ, 2007), assim, tem-se definido na Equação 2:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z = \text{constante} \quad (2)$$

Sendo que:

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

P = pressão (kgf/m^2);

γ = peso específico (kgf/m^3);

z = cota em relação a um plano de referência (m).

Entretanto, na dedução desse teorema foram consideradas apenas as forças que atuam produzindo trabalho, deixando de lado aquelas que agem de maneira resistente nas superfícies laterais do tubo, e nesse caso, para os líquidos reais, os efeitos do atrito externo e a influência da viscosidade geram uma perda de energia denominada perda de carga (ΔH), que se dissipa sob forma de calor (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015), como mostrado na Equação 3.

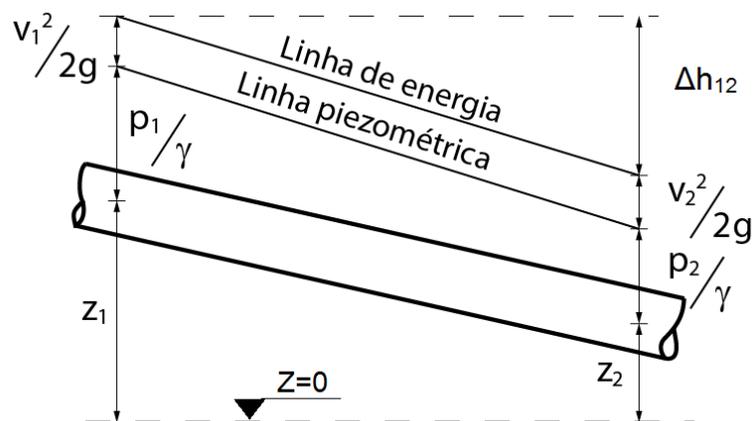
$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \Delta H \quad (3)$$

De acordo com Baptista e Coelho (2014), as parcelas dessa equação podem ser representadas graficamente em um sistema de referência pelo fato de terem dimensões lineares.

Segundo Porto (2006), elas são representadas por linhas que identificam a cota geométrica dos pontos referentes a cada parcela:

- A linha de carga efetiva ou linha piezométrica é designada pelo somatório dos pontos referentes as cargas de pressão e elevação ($\frac{P}{\gamma} + z$);
- A linha de cargas totais ou de energia acrescenta os valores da carga cinética ($\frac{v^2}{2g}$), e designa a energia mecânica total;
- Para fluidos reais, a perda de carga também é representada com a diminuição da carga total ao longo da trajetória (Δh_{12}) – como mostrado na Figura 1.

Figura 1- Linha de energia e linha piezométrica em escoamento permanente.



Fonte: Adaptado de PORTO (2006).

3.2 Cálculo de condutos sobre pressão

De acordo com Azevedo Netto e Fernandez (2015), as canalizações são projetadas para funcionarem como condutos forçados ou livres, sendo que: Os condutos forçados operam totalmente cheios e com seção transversal fechada, em que o líquido escoar com pressão diferente da atmosférica; e os condutos livres funcionam sempre por gravidade, apresentando pressão atmosférica em qualquer ponto da superfície livre.

Um regime de escoamento pode-se comportar de forma laminar, quando é caracterizado por um movimento ordenado e com linhas de corrente suaves; de forma turbulenta, quando ocorre um movimento desordenado com várias flutuações aleatórias de velocidade; e de transição, quando o fluido situa-se em uma determinada região entre os dois regimes até o ápice para se tornar turbulento (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

Reynolds, através de experimentação, verificou que a mudança entre regimes laminar e turbulento ocorre devido não só a velocidade, mas também pelo diâmetro do tubo e viscosidade do fluido. Assim, ele postulou que o início da turbulência estava relacionado a uma constante adimensional conhecida como número de Reynolds (R_e) (HOUGHTALEN; HWANG; AKAN, 2012), como mostrado na Equação 4.

$$R_e = \frac{Dv}{\nu} \quad (4)$$

Em que:

D = diâmetro do tubo (m);

v = velocidade média (m/s); e

ν = viscosidade cinemática do fluido (m²/s).

Verificou-se que em muitos experimentos o número de Reynolds para o regime laminar ocorre na faixa de 0 até 2000; a zona de transição varia entre 2000 e 4000, em que não se determina com clareza se o regime é laminar ou turbulento; e regime turbulento quando Reynolds for maior que 4000 (MACINTYRE, 1996).

De acordo com Fox, McDonald e Pritchard (2010), a turbulência é um fenômeno inevitável e muitas vezes indesejável, pois cria uma maior resistência ao escoamento. Completando esse pensamento, segundo Azevedo Netto e Fernandez (2015), a resistência ao

escoamento quando em regime turbulento é uma combinação das forças devido a viscosidade e à inércia; já em regime laminar, o escoamento se deve inteiramente a viscosidade.

Assim, o escoamento de um determinado fluido de um ponto a outro em uma tubulação, independente do regime estudado, sofre uma perda de energia devido à resistência ao movimento que é vencida. Essa perda de energia é comumente chamada de perda de carga (CAVALCANTI; CRUZ; BARRETO, 2009).

Além disso, ao longo de uma canalização retilínea percebe-se que a perda de carga é menor comparada a uma tubulação com uma série de peças especiais (curvas, joelhos, entre outros), pois ocorre uma maior turbulência na região da peça que influencia diretamente em uma dissipação de energia (CARVALHO; SILVA, 2008).

Assim, para efeitos de estudo, a perda de carga pode ser classificada em:

- Perda de carga distribuída; e
- Perda de carga localizada.

Outros fatores que também influenciam diretamente na perda de carga são: o material empregado na fabricação do tubo; o processo de fabricação; a existência de revestimentos especiais contra os efeitos de corrosão; estado de conservação das paredes do tubo; e a idade da tubulação, que com o passar do tempo ocorre um aumento de rugosidade que provoca uma redução na seção de escoamento devido a deposição de substâncias presentes na água (CARVALHO, 1999).

3.2.1 Perda de carga distribuída

3.2.1.1 Fórmula de Darcy-Weisbach

Diversas equações experimentais foram desenvolvidas em tempos remotos para obter-se uma relação com a perda de carga distribuída, e a mais popular para aplicações em engenharia hidráulica foi criada por Darcy e Weisbach (HOUGHTALEN; HWANG; AKAN, 2012), expressando-se da seguinte forma (Equação 5):

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

Sendo que:

h_f = Perda de carga distribuída (m);

f = fator de atrito (adimensional);

L = comprimento (m);

D = diâmetro interno (m);

v = velocidade média de escoamento (m/s); e

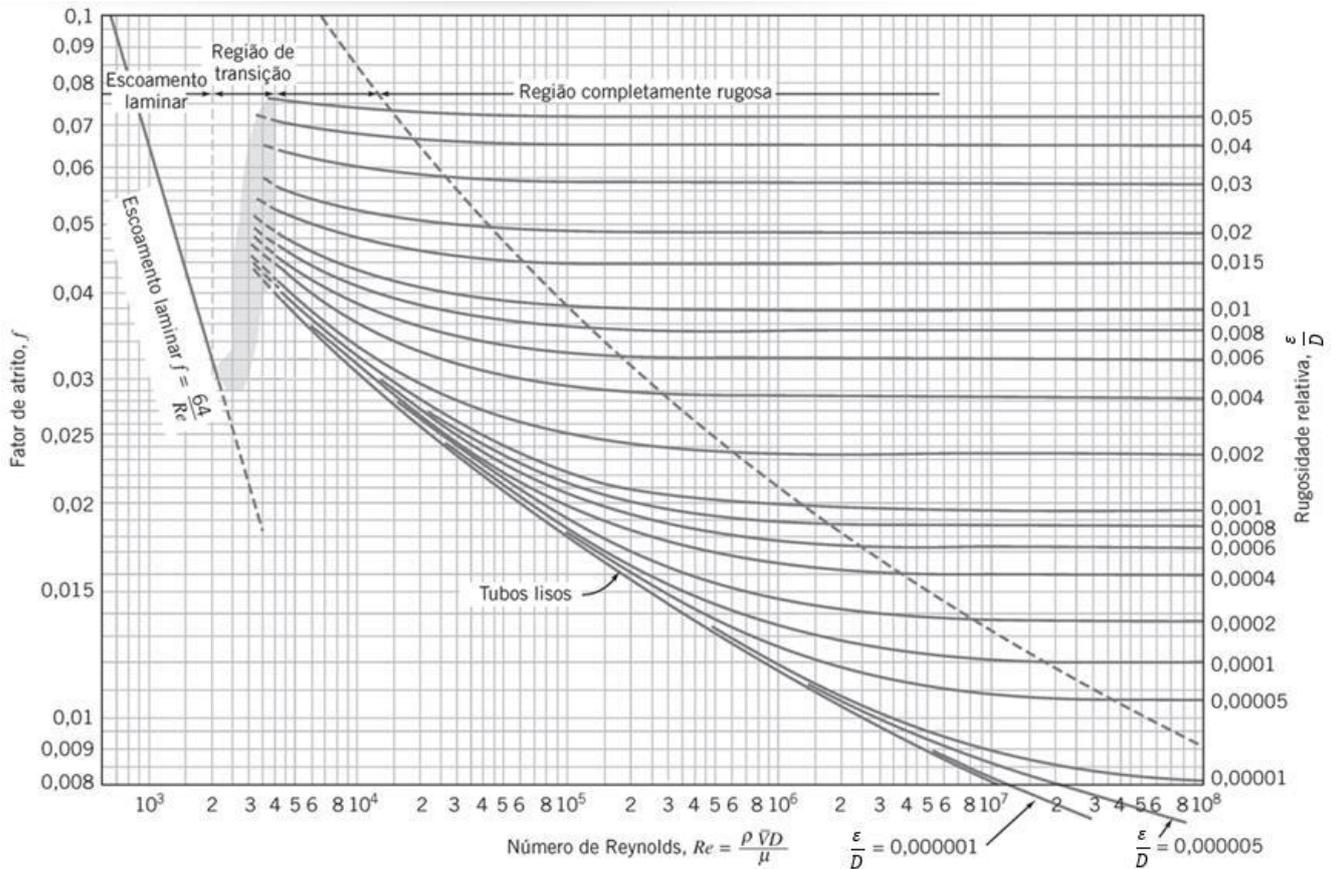
O fator de atrito (f) se estabelece em função da rugosidade do tubo, da viscosidade, da densidade do líquido, da velocidade e do diâmetro. Ele necessita de aferição e varia de acordo com a situação de escoamento, o que dificulta a sua utilização. Assim, os engenheiros e pesquisadores optaram por deixar o coeficiente de forma prática através da utilização de gráficos, tabelas e equações empíricas (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Muitas equações para prever o valor do fator de atrito foram desenvolvidas desde 1930, e algumas continuam sendo usadas até hoje, entre elas: equação de Blasius, equação de Colebrook-White, equação de Nikuradse, equação de Swamee-Jain; e a equação Churchill (ALLEN, 1996).

As formulações propostas apresentam inúmeras limitações e são de difícil resolução mesmo com ajuda de programas matemáticos específicos e calculadoras programáveis, pois os valores de f estão apresentados em ambos os lados da equação, tornando o cálculo do fator de atrito o maior obstáculo para definir a perda de carga (MELLO; FERREIRA; CARVALHO, 1999).

Em contrapartida, o diagrama de Moody expressa o fator de atrito abrangendo sua utilização para todos os regimes de escoamento, em que os valores de f estão representados em um gráfico; sendo que para Reynolds menor que 2000 é apontado apenas uma curva para os valores de rugosidade relativa; e para valores acima de 2000, o valor de f é relacionado em diversas curvas com os valores da rugosidade relativa e de Reynolds (ROMA, 2006). A Figura 2 indica o diagrama de Moody.

Figura 2 - Diagrama de Moody.



Fonte: FOX; MCDONALD; PRITCHARD (2010).

3.2.1.2 Fórmula de Hazen-Williams

Dentre as fórmulas empíricas mais utilizadas destaca-se a fórmula de Hazen-Williams (Equação 6), que relaciona a perda de carga unitária, J (m/m), em função da vazão em volume, Q (m³/s); diâmetro interno, D (m); e o coeficiente de rugosidade, C (adimensional) (PORTO, 2006).

$$J = 10,646 \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,87}} \quad (6)$$

Em que:

J = Perda de carga unitária (m/m);

C = coeficiente de rugosidade (adimensional);

Q = vazão em volume (m³/s); e

D = diâmetro interno (m).

De acordo com Baptista e Coelho (2014), essa fórmula é bastante utilizada principalmente em condutos circulares com diâmetro superior a 50 mm conduzindo água, sendo que o coeficiente de rugosidade C é tabelado, e depende da natureza e o estado do material empregado nas paredes do tubo. Por isso, Kamand (1998) completa que a limitação principal dessa equação empírica é o fato de que um único fator de rugosidade é admitido independente dos tamanhos do tubo e das velocidades de fluxo, e devido a essa suposição as perdas de cargas calculadas por esse método podem diferenciar significativamente daquelas calculadas por outras equações.

3.2.2 Perda de carga localizada

As perdas de carga localizada podem ser desprezadas nas tubulações longas cujos comprimentos são cerca de 4000 vezes o diâmetro; em situações em que a velocidade é muito baixa (menor que 1 m/s); e quando o número de peças especiais não é grande. Alguns exemplos são o cálculo de linhas de adutoras, redes de distribuição, entre outros (CORDERO, 2013).

3.2.2.1 Expressão geral das perdas de carga localizadas

A expressão geral para perdas de carga localizada pode ser expressa de um modo geral como a Equação 7:

$$h_{fl} = k \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Sendo que:

h_{fl} = Perda de carga localizada(m);

k = coeficiente adimensional;

Para fins de aplicação, considera-se constante o valor de k em um escoamento turbulento para uma mesma peça, independente do diâmetro da tubulação, natureza e velocidade do fluido, isso devido à comprovação experimental que para valores de Reynolds

maiores que 50000 a constante k é praticamente constante (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

3.2.2.2 Método dos comprimentos virtuais

Esse método consiste em substituir as peças hidráulicas tais como: entrada e saída de canalizações, mudanças de direção (curvas, cotovelos, joelhos, tês), registros, válvulas e mudanças de diâmetros (reduções, alargamentos), por comprimentos de canalização que provocam a mesma perda de carga das peças com as características de diâmetro e vazão analisadas. Então o comprimento equivalente é adicionado ao comprimento real da tubulação, e assim encontra-se o comprimento virtual da canalização (L_v) para realizar o cálculo da perda de carga distribuída (SOARES, 2003), como mostrado na Equação 8.

$$L_v = L + L_e \quad (8)$$

Em que:

L_e = comprimento equivalente (m);

L_v = comprimento virtual (m); e

L = comprimento da tubulação (m).

Os comprimentos equivalentes (L_e) em metros das principais peças de instalações hidráulicas prediais são organizados em tabelas para tubos rugosos (tubos de aço-carbono, galvanizados), e para tubos lisos (plástico, cobre ou ligas de cobre).

O método dos comprimentos equivalentes em números de diâmetros é uma particularidade do método de comprimentos virtuais. Considerando os comprimentos equivalentes tabelados (L_e), percebe-se que ao dividi-los pelo diâmetro das tubulações (D), encontra-se o valor da relação denominada número de diâmetros $[\frac{L_e}{D}]$, e assim determina-se o comprimento equivalente multiplicando o número de diâmetros pelo valor do diâmetro da tubulação (MACINTYRE, 1996).

3.3 Instalações prediais de água fria

A NBR 5626 (ABNT, 1998) define algumas exigências a observar na elaboração de projetos de instalações prediais de água fria, de modo que durante a vida útil do edifício devem ser atendidos os seguintes requisitos:

- Preservar a potabilidade da água;
- Garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade adequada e com pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários, peças de utilização e demais componentes;
- Promover economia de água e energia;
- Possibilitar manutenção fácil e econômica;
- Evitar níveis de ruído inadequados à ocupação do ambiente; e
- Proporcionar conforto aos usuários, prevendo peças de utilização adequadamente localizadas, de fácil operação, com vazões satisfatórias e atendendo as demais exigências do usuário.

Macintyre (1990) afirma que as instalações de água fria compreendem os encanamentos, hidrômetros, conexões, válvulas, equipamentos, reservatórios, aparelhos e peças de utilização que possibilitam o suprimento, a medição e distribuição de água nos pontos planejados para utilização como torneiras, chuveiros, vasos sanitários, entre outros.

O sistema de abastecimento de água utilizado atualmente nas edificações é dividido em três tipos: público, em que a alimentação da edificação ocorre através da rede de distribuição da concessionária; particular, através de fontes e poços artesianos, por exemplo; e misto, o qual utiliza-se os dois sistemas e nesse caso o órgão gerenciador de recursos hídricos deve ser consultado (TIGRE, 2013).

Já em relação a distribuição de água potável, Borges e Borges (1992) organizam em três grupos principais:

- Distribuição direta, quando houver pressão suficiente e continuidade no sistema público para alimentar a edificação com uma distribuição de água ascendente e sem a existência de um reservatório domiciliar;
- Distribuição indireta, quando ocorre o uso de reservatório de acumulação para precaver das eventuais interrupções de fornecimento ou quando a pressão da rede pública é insuficiente para elevar a água ao reservatório superior; e

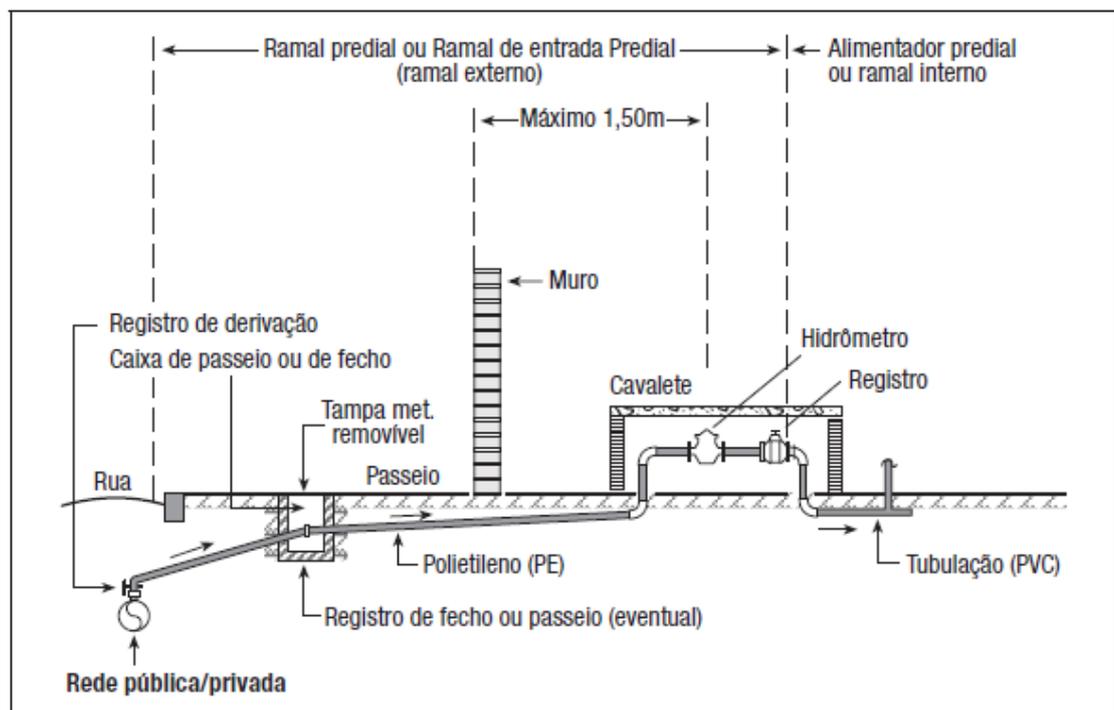
- Distribuição mista, quando há associação dos dois sistemas de distribuição (direto e indireto), em que parte da edificação ou alguns dispositivos são alimentados pela rede pública diretamente e parte é alimentada pelo reservatório.

3.3.1 Principais componentes

A instalação predial de água fria integra o conjunto de elementos necessários ao abastecimento que se inicia a partir da tomada inicial de água (geralmente o ramal predial) estendendo-se até as peças de utilização (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010). O abastecimento de água nas edificações é executado a partir do encanamento distribuidor público, sendo o ramal predial ou ramal externo, o trecho do encanamento compreendido entre o distribuidor público de água até o início da instalação predial, representada pelo aparelho medidor (hidrômetro) ou limitador de descarga (MACINTYRE, 1996).

O mesmo autor cita ainda que o alimentador predial ou ramal interno de alimentação é o trecho que se estende a partir do aparelho medidor ou limitador de consumo até a primeira derivação, ou até a válvula de flutuador (torneira de boia) à entrada do reservatório. A Figura 3 indica o detalhamento do ramal externo e interno de uma edificação.

Figura 3- Ramal externo e ramal interno com seus componentes.

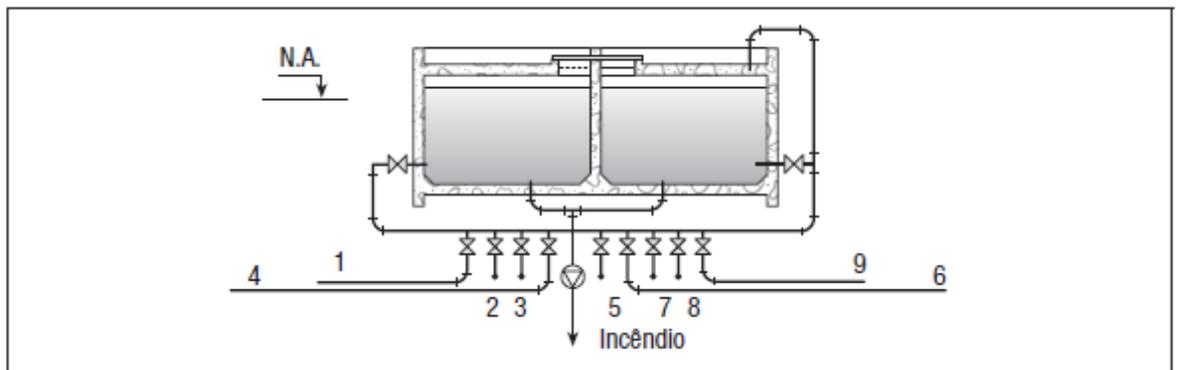


Fonte: Botelho e Ribeiro Júnior (2010).

O abastecimento pelo sistema indireto necessita de reservatório para garantir a regularidade, uma vez que ele deve ser localizado de modo a garantir a qualidade do sistema tendo em vista que é um potencial foco de problema de potabilidade da água. Assim o seu projeto deve garantir características como espaço, iluminação, ventilação, proteção sanitária, operação e manutenção (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010).

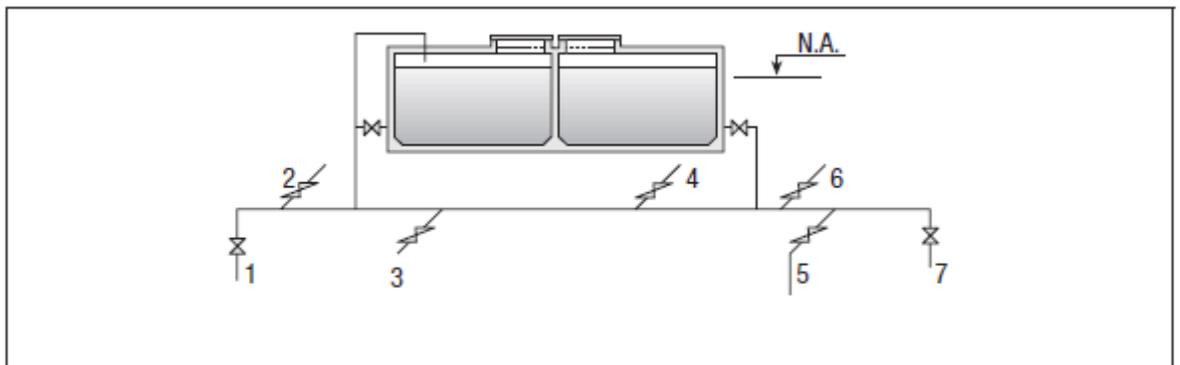
O barrilete é o conjunto de canalizações que se origina no reservatório e alimenta as colunas de distribuição, podendo ser caracterizado em dois tipos: concentrado, que abriga os registros em uma mesma área, tendo um maior controle e segurança; e ramificado, em que os registros são colocados próximos do início das colunas de distribuição, sendo mais econômico devido a quantidade menor de tubulações próximas ao reservatório (CARVALHO JÚNIOR, 2013). As Figuras 4 e 5 indicam respectivamente, um esquema representativo dos barriletes concentrado e ramificado.

Figura 4 – Exemplo de barrilete concentrado.



Fonte: Botelho e Ribeiro Júnior (2010).

Figura 5 - Exemplo de barrilete ramificado.

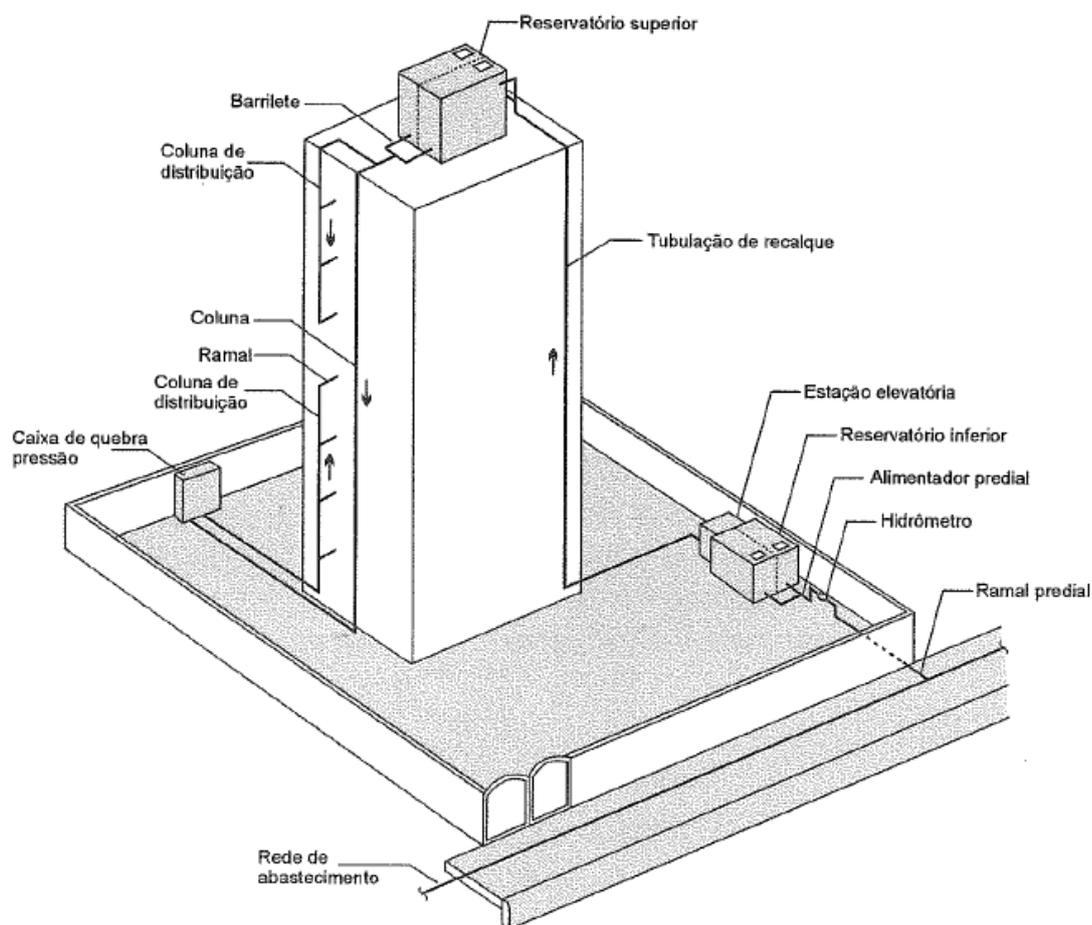


Fonte: Botelho e Ribeiro Júnior (2010).

Em seguida, o mesmo autor supracitado conclui que após o barrilete, as colunas de distribuição de água fria descem na posição vertical e alimentam os ramais nos pavimentos, que por fim, alimentam os sub-ramais das peças de utilização. Um registro de gaveta deve ser colocado em cada coluna a montante do primeiro ramal, como também um registro de fechamento posicionado a montante do primeiro sub-ramal.

As peças de utilização são os últimos componentes das instalações prediais de água fria, em que são ligados aos sub-ramais e destinados à utilização da água, devendo ser alocados para atender aspectos ergonômicos e de segurança, para trazer conforto ao usuário e um respectivo padrão a edificação (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010). A Figura 6 destaca os principais componentes da instalação predial abordados nesse item.

Figura 6 - Instalação predial de água fria alimentada indiretamente.



Fonte: Baptista e Coelho (2014).

3.3.2 Parâmetros de projeto e dimensionamento

3.3.2.1 Projeto de instalações hidráulicas

De acordo com Creder (2012), para a elaboração de um projeto é indispensável as plantas completas de arquitetura do prédio, bem como o entendimento do projeto estrutural, a fim de conseguir uma compatibilização do projeto de instalações prediais preservando a estética do edifício de forma técnica e econômica. De maneira geral, o autor ressalta que um projeto completo compreende:

- Planta, cortes, detalhes e vistas isométricas, com dimensionamento e traçado dos condutores;
- Memoriais descritivos, justificativas e de cálculo;
- Especificações do material e normas para a sua aplicação; e
- Orçamento, compreendendo o levantamento das quantidades e dos preços unitário e global da obra.

Em relação aos materiais, os mais utilizados nos tubos são o cloreto de polivinila (PVC rígido), aço galvanizado e cobre. Normalmente para transporte de água potável as tubulações são executadas com plástico PVC, pois tem a vantagem de ser imune à corrosão, apresentar leveza e facilidade de transporte, manuseio, durabilidade ilimitada, facilidade de instalação, baixo custo e menor perda de carga (CARVALHO JÚNIOR, 2013). A NBR 5626 (ABNT, 1998) ainda recomenda que a velocidade máxima nas tubulações não ultrapasse 3,0 m/s.

3.3.2.2 Pressões máximas e mínimas

De acordo com Carvalho Júnior (2013), nas instalações prediais consideram-se três tipos de pressão: a estática, pressão nos tubos referente a água parada; a dinâmica, pressão referente a utilização dos dispositivos (água em movimento); e a pressão de serviço, pressão máxima aplicada em tubos, conexões, válvulas, entre outros durante o uso normal das instalações.

A norma NBR 5626 (ABNT, 1998) designa que a pressão estática máxima em uma instalação predial de água fria não deve ultrapassar aproximadamente 40 m.c.a. (400 kPa). Creder (2012) completa que para edificações altas que ultrapassem o valor da pressão estática admissível há necessidade de provocar uma queda de pressão, através do aumento da perda de carga com a utilização de válvulas redutoras de pressão ou caixas intermediárias.

Em relação a pressão dinâmica, a NBR 5626 (ABNT, 1998) indica que a pressão da água não deve ser inferior a aproximadamente 0,5 m.c.a (5 kPa), valor que visa impedir pressões negativas no sistema, principalmente no ponto crítico situado no encontro do barrilete com as colunas (CREDER, 2012).

Já Carvalho Júnior (2013) defende que para as peças terem um funcionamento perfeito a pressão dinâmica da água nos pontos de utilização deve atender uma pressão de conforto que não deve ser inferior a 1 m.c.a., com exceção do ponto da caixa de descarga, onde a pressão pode ser a mínima (0,5 m.c.a).

Com relação a pressão de serviço, a norma NBR 5626 (ABNT, 1998) cita que o fechamento de qualquer dispositivo não deve provocar sobrepressão em qualquer ponto da instalação maior que 20 m.c.a. acima da pressão estática máxima (40 m.c.a) nesse ponto, significando que a pressão de serviço não deve ultrapassar 60 m.c.a.

A NBR 5648 (ABNT, 1999) fixa normas relacionadas às condições exigíveis para tubos e conexões a serem empregadas na execução de sistemas prediais de água fria e determina que a pressão de serviço para tubulações, a temperatura de 20°C, seja de 75 m.c.a. (750 kPa).

3.3.2.3 Dimensionamento

3.3.2.3.1 Consumo simultâneo provável (consumo máximo provável) e consumo simultâneo (consumo máximo possível)

A NBR 5626 (ABNT, 1998) preconiza o método de consumo simultâneo provável baseado no cálculo de probabilidades, bem como na análise prática de instalações com funcionamento satisfatório. Assim esse método é baseado em atribuir um peso para cada tipo de dispositivo hidráulico e relacionar a soma total dos pesos dos aparelhos as vazões máximas prováveis (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2018). Os pesos são obtidos por comparação dos efeitos que cada tipo de aparelho produz.

As vazões são dimensionadas pela Equação 9:

$$Q = 0,3\sqrt{\Sigma p} \quad (9)$$

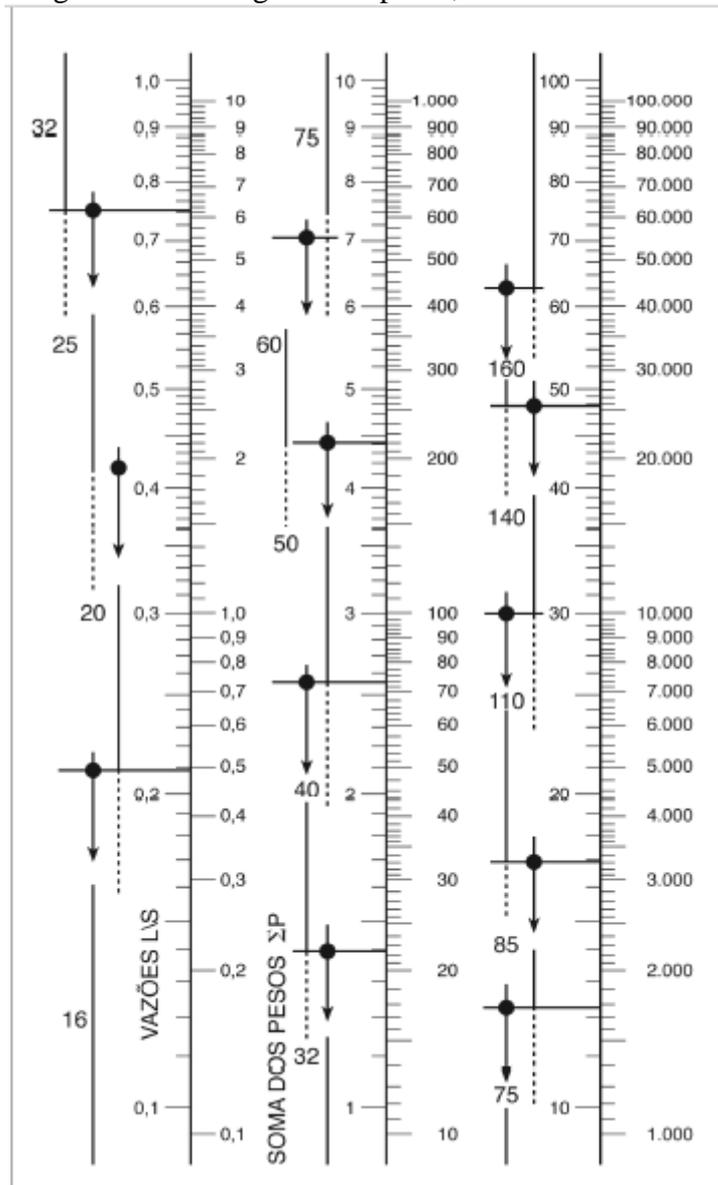
Em que:

Q = vazão (l/s); e

Σp = somatório dos pesos relativos no trecho avaliado (adimensional).

Em seguida, utiliza-se o normograma de pesos, vazões e diâmetros, o qual mostra a correlação entre os pesos das peças e as prováveis vazões e diâmetros correspondentes de modo gráfico, facilitando as determinações para o dimensionamento principalmente dos diâmetros das canalizações. O normograma é apresentado na Figura 7 e ele leva em conta a velocidade máxima admitida pela norma (3 m/s), o que conclui que o diâmetro da tubulação está de acordo com o critério de velocidade (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010). Utiliza-se também um ábaco simplificado para a determinação do diâmetro para somatórios de pesos de 0 até 100, que é indicado na Figura 8.

Figura 7 - Normograma de pesos, vazões e diâmetros.



Fonte: Carvalho Júnior (2013) – Adaptado NBR 5626/98.

Figura 8 - Ábaco simplificado (somatórios de 0 a 100).

Soma dos pesos	0	⇔	1,1	⇔	3,5	⇔	18	⇔	44	⇔	100
Ø Soldável (mm)			20 mm		25 mm		32 mm		40 mm		50 mm
Ø Roscável (pol.)			1/2"		3/4"		1"		1.1/4"		1.1/2"

Fonte: Carvalho Júnior (2013) – Adaptado NBR 5626/98.

Os sub-ramais de cada peça de utilização tem um diâmetro mínimo determinado em função de ensaios laboratoriais (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010), e são indicados em tabela. Assim, de forma conveniente, dimensiona-se a instalação de água fria trecho a

trecho, sendo o barrilete, as colunas, ramais e sub-ramais que alimentam as peças de utilização dimensionadas por trechos, através das tabelas apresentadas anteriormente (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2018).

Já o consumo simultâneo ocorre em locais onde em razão de horários específicos há momentos de maior utilização dos dispositivos hidráulicos, em que todos os pontos estão funcionando ao mesmo tempo, principalmente chuveiros, lavatórios e vasos sanitários. Os principais exemplos são: quartéis, escolas, indústrias, postos de gasolina, locais de parada de ônibus, estádios ou quadras poliesportivas (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010).

De acordo com Baptista e Coelho (2014), quando o uso for simultâneo, a vazão do trecho é a própria soma das vazões dos pontos que estão sendo utilizados, representados pela vazão de projeto.

3.3.3 Verificação do funcionamento

Após o cálculo dos diâmetros desde o sub-ramal até o barrilete, resta verificar se a pressão existente na instalação está de acordo com as condições de funcionamento preconizadas pela NBR 5626/98, pois podem existir pontos em que a pressão é insuficiente, podendo ocasionar mau funcionamento e desconforto ao usuário ao utilizar os aparelhos hidráulicos; além disso, poderão ter trechos com pressão acima do permitido, deixando em risco as tubulações, conexões e dispositivos da instalação hidráulica (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010).

Para calcular a pressão dinâmica em qualquer ponto da instalação faz-se necessário calcular as perdas de carga distribuídas e localizadas do sistema (CARVALHO JÚNIOR, 2013). As perdas de carga distribuídas podem ser calculadas pelos métodos apresentados no item 3.2.1 – Perdas de carga distribuídas, porém de acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1998) recomenda-se utilizar a equação universal, obtendo os valores das rugosidades com os fabricantes; ou as expressões de Fair-Whipple-Hsiao, indicada na Equação 10 para tubos rugosos (aço carbono, galvanizados ou não) e Equação 11 para tubos lisos (plástico, cobre e liga de cobre).

$$h_f = 0,00202 \times \frac{Q^{1,88}}{D^{4,88}} \times L \quad (10)$$

$$h_f = 0,000869 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \times L \quad (11)$$

Mais além, Botelho e Ribeiro Júnior (2010) e Azevedo Netto e Fernandez (2015), defendem a utilização da fórmula de Flamant, visto que é mais apropriada para tubulações de PVC, sendo ela expressa pela Equação 12.

$$h_f = 0,000824 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \times L \quad (12)$$

Ainda segundo os autores, para o cálculo das perdas localizadas a NBR 5626/98 fornece a tabela de perda de carga localizada que mostra o comprimento equivalente de canalizações. O seu conceito é apresentado no item 3.2.2.2 - Método dos comprimentos virtuais.

Para registros, a NBR 5626 (ABNT, 1998) desconsidera a perda de carga em registro de fechamento, entretanto, para registros de utilização a perda de carga é elevada e deve ser cuidadosamente computada de forma separada através da Equação 13:

$$\Delta_h = 8 \times 10^5 \times K \times Q^2 \times \pi^{-2} d^{-4} \quad (13)$$

Em que:

Δ_h = perda de carga no registro (m.c.a.);

K = coeficiente de perda de carga do registro (ver NBR 15704/2011);

Q = vazão (l/s); e

d = diâmetro interno da tubulação (mm).

Carvalho Júnior (2013) indica que a pressão disponível inicial é usualmente considerada a partir da saída do reservatório (pressão estática) e a pressão disponível residual no ponto de utilização (pressão dinâmica) é obtida subtraindo-se da pressão inicial os valores da perda de carga total. Portanto, para determinar a pressão dinâmica em qualquer ponto da instalação utiliza-se a Equação 14:

$$P_d = P_e - \Delta_H \quad (14)$$

Em que:

P_d = pressão dinâmica (m.c.a.);

P_e = pressão estática (m.c.a.); e

Δ_H = perda de carga total (somatória das perdas distribuídas e localizadas) (m.c.a.).

Assim, para a melhor organização dos dados e de acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1998), os cálculos necessários devem ser apresentados em modelo de planilha. Por fim, deve-se analisar cada caso em busca da situação mais desfavorável, garantindo, desse modo, que as outras partes estão em acordo. No caso das residências térreas, sobrados e pequenos edifícios, deve-se verificar principalmente a pressão mínima nos pontos (0,5 m.c.a), em especial os pontos críticos em que ocorrem em andares elevados próximos ao reservatório e nas peças que necessitam de maior pressão (válvula de descarga), ou pontos desfavoráveis geometricamente (chuveiros); e no caso de edifícios com vários pavimentos, deve-se verificar se a pressão máxima é extrapolada, podendo-se instalar válvulas redutoras de pressão ou reservatórios intermediários para resolver a questão (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Projeto e traçado da rede de distribuição de água

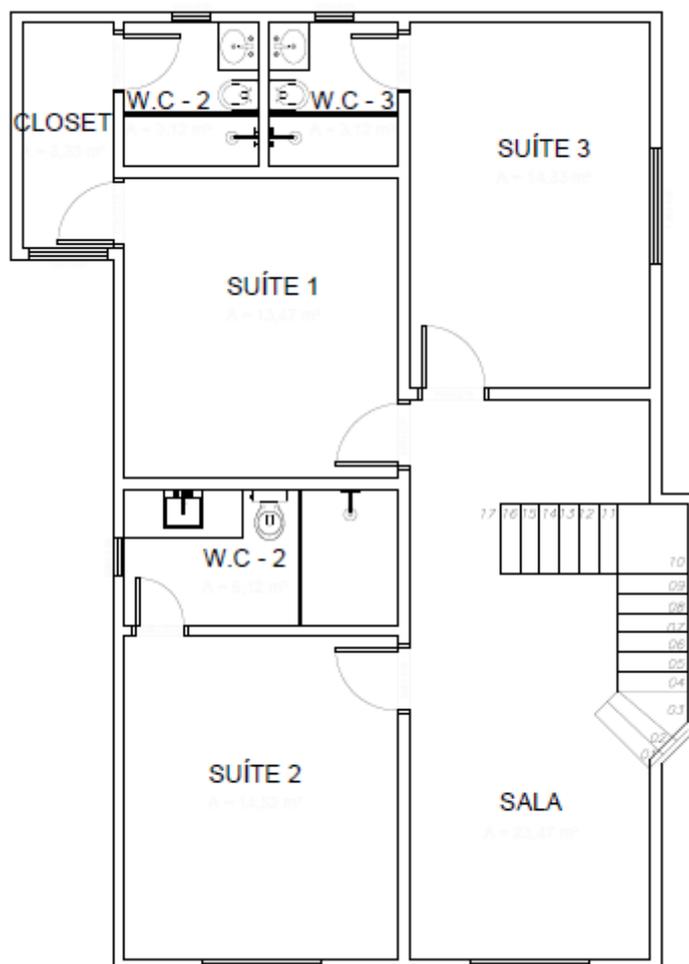
O presente estudo foi realizado sob o projeto de uma edificação residencial de 186,1 m². A residência é constituída por dois pavimentos, distribuída entre os seguintes ambientes: 4 banheiros (w.c), 1 sala/copa, 1 cozinha, 1 quarto, 1 sala, 3 suítes, 1 closet e 1 área de serviço. É empregado um único reservatório superior para água fria. A planta baixa do pavimento térreo e superior da edificação são mostradas nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Planta baixa do pavimento térreo.



Fonte: Do Autor.

Figura 10 - Planta baixa do pavimento superior.



Fonte: Do Autor.

Inicialmente para realização do traçado da rede de distribuição, foi definido o local do reservatório de água, que se encontra na cobertura ao nível dos banheiros das suítes, pois este local está situado próximo a maior parte dos dispositivos hidráulicos. Em seguida, determinou-se as saídas dos barriletes e a posição das colunas, em que para melhor disposição e eficiência foram definidas 3 colunas, sendo que a primeira alimenta 2 banheiros do pavimento superior e 1 banheiro do pavimento térreo, a segunda alimenta a cozinha e lavanderia, e a terceira alimenta 1 banheiro do pavimento superior.

Colocou-se um registro gaveta na saída dos barriletes e também no início das colunas dos banheiros, cozinha e lavanderia. Procurou-se realizar o traçado dos ramais e sub-ramais da maneira mais econômica, adotando o menor trajeto possível, diminuindo assim a perda de carga ao longo do percurso. Por fim, numerou-se os trechos que atendem os diferentes dispositivos hidráulicos para dimensionar seus respectivos diâmetros.

Com a definição das alturas das peças sanitárias estabelecidas pela norma NBR 5626 (ABNT, 1998), foi possível traçar os projetos isométricos dos banheiros, da cozinha e lavanderia, além da ligação das colunas até o reservatório superior.

4.2 Dimensionamento por meio do método de consumo máximo provável

Iniciou-se o dimensionamento através da determinação das vazões e diâmetros dos trechos numerados, atendendo aos dispositivos que estão ligados aos respectivos barriletes, colunas e ramais da instalação hidráulica. Para esse método, utilizou-se a tabela de pesos relativos dos equipamentos hidráulicos que estão presentes nesse estudo, indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Peso relativo dos pontos de utilização, identificados em função do aparelho sanitário e da peça de utilização.

Aparelho Sanitário	Peça de utilização	Vazão de projeto(L/s)	Peso relativo
Bacia Sanitária	Caixa de descarga	0,15	0,3
	Válvula de descarga	1,7	32
Ducha Higiênica	Misturador (água fria)	0,1	0,1
Chuveiro elétrico	Registro de pressão	0,1	0,1
Lavadora de pratos ou roupas	Registro de pressão	0,3	1
Lavatório	Torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Pia	Torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7
	Torneira elétrica	0,1	0,1
Tanque	Torneira	0,25	0,7
Torneira de jardim ou lavagem e geral	Torneira	0,2	0,4

Fonte: Adaptado de NBR 5626 (ABNT, 1998).

Definidos os pesos relativos das peças de utilização em cada trecho, somou-se os pesos dos equipamentos para obter o diâmetro da tubulação a partir do Normograma de pesos, vazões e diâmetros, representado pela Figura 7.

Em seguida, determinou-se as vazões dos trechos pela Equação 9, e optou-se por conferir se a velocidade está de acordo com as limitações normativas (velocidade máxima de 3 m/s), realizando assim o cálculo dessa variável pela Equação 1. Para os sub-ramais, as peças de utilização têm diâmetros predeterminados e foram dimensionados conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Diâmetro mínimo dos sub-ramais.

Peça de utilização	Diâmetro	
	DN (mm)	ref. (pol.)
Caixa de descarga	20	1/2
Chuveiro elétrico	20	1/2
Ducha Higiênica	20	1/2
Lavadora de pratos ou roupas	25	3/4
Lavatório	20	1/2
Pia	20	1/2
Tanque	25	3/4
Torneira de jardim ou lavagem e geral	25	3/4

Fonte: Adaptado de Botelho e Ribeiro Júnior (2010).

Após determinação dos diâmetros desde o sub-ramal até o barrilete, iniciou-se a verificação do funcionamento da pressão no sistema pelo cálculo da perda de carga com o método dos comprimentos virtuais.

Primeiramente, foi realizado a medição em planta do comprimento real de cada trecho, e em seguida organizaram-se todas as peças hidráulicas presentes nos respectivos trechos para contabilizar o comprimento equivalente do grupo de peças. O comprimento equivalente das principais peças de instalações hidráulicas prediais para tubos lisos (plástico, cobre ou ligas de

cobre) utilizados nesse trabalho são dispostos na Tabela 3. Por fim, determinou-se o comprimento virtual da canalização utilizando a Equação 8.

Tabela 3 - Comprimento equivalente (L_e) para tubo liso.

Diâmetro nominal (mm)	Joelho 90°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° saída bilateral	Entrada de Borda	Registro gaveta aberto
15	1,1	0,4	0,2	2,3	0,9	0,1
20	1,2	0,5	0,3	2,4	1	0,2
25	1,5	0,6	0,4	3,1	1,2	0,3
32	2	0,7	0,5	4,6	1,8	0,4
40	3,2	1,2	0,6	7,3	2,3	0,7
50	3,4	1,3	0,7	7,6	2,8	0,8
60	3,7	1,4	0,8	7,8	3,3	0,9
75	3,9	1,5	0,9	8	3,7	0,9
100	4,3	1,6	1	8,3	4,7	1
110	4,9	1,9	1,1	10	5	1,1
150	5,4	2,1	1,2	11,1	5,8	1,2

Fonte: Adaptado Baptista e Coelho (2014).

Após o cálculo do comprimento virtual, utilizou-se a expressão de Flamant para o cálculo da perda de carga, indicada pela Equação 12. Nos trechos onde havia registros de pressão a sua perda de carga foi contabilizada separadamente pela Equação 13, e somada a perda de carga total do sistema. Assim, analisou-se a pressão dinâmica disponível nos pontos mais desfavoráveis da instalação utilizando a Equação 14.

4.3 Dimensionamento por meio do método de consumo máximo possível

De acordo com o projeto estudado, foi definido a quantidade de três barriletes e colunas para alimentar a instalação hidráulica da residência. Assim, admite-se que todos os equipamentos conectados aos ramais de cada coluna estejam em pleno funcionamento.

Mais além, para tornar o método mais próximo da realidade, definiram-se algumas hipóteses para o funcionamento dos dispositivos em cada ramal das respectivas colunas, tais como: na primeira coluna, optou-se por dimensionar o uso simultâneo apenas dos três chuveiros; na segunda coluna, primeiramente optou-se pelo uso simultâneo da pia, torneira e

máquina de lavar roupas, e em seguida, pela utilização simultânea apenas do tanque e da máquina de lavar.

Assim, para o cálculo dos ramais, colunas e barriletes, foi utilizado o método das seções equivalentes, que relaciona todos os diâmetros expressos em função da vazão obtida com a canalização de 20 mm, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Número de seções equivalentes em tubos de 20 mm.

Diâmetro dos tubos (mm)	20	25	32	40	50	60	75	85	110
Número de tubos de 20 mm com a mesma capacidade	1	2,9	6,2	10,9	17,4	37,8	65,5	110,5	189

Fonte: Creder (2012).

Com isso, organizou-se os equipamentos que são alimentados por cada ramal e relacionou-se o diâmetro dos sub-ramais de cada dispositivo hidráulico com a quantidade de tubos de 20 mm com a mesma capacidade. Em seguida, fez-se o somatório da quantidade de tubos de 20 mm com a mesma capacidade e determinou-se o diâmetro da tubulação.

Para determinar a vazão, utilizou-se a tabela de pesos relativos dos equipamentos hidráulicos, indicada pela Tabela 1, sendo o valor da vazão caracterizada pela coluna de vazão de projeto (L/s).

Os demais cálculos de velocidade, perda de carga, e pressão foram realizados como indicado no método de consumo máximo provável. Um resumo da planilha utilizada para a realização dos cálculos é indicada no Quadro 1.

Quadro 1 - Dimensionamento da instalação hidráulica predial.

Dimensionamento Ramais de Distribuição											Perda de Carga					
Ambiente	Trecho	Dispositivos	ΣP	Q (L/s)	Q (m ³ /s)	Dn (mm)	Di (mm)	Di (m)	A (m ²)	V (m/s)	L real (m)	Peças especiais	L equivalente (m)	L virtual (m)	hf registro de pressão (m)	hf (m.c.a.)

Fonte: Do autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dimensionamento do reservatório de água fria

O dimensionamento do reservatório de água fria foi realizado com base na metodologia estabelecida na NBR 5626 (ABNT, 1998). O volume da caixa d'água foi projetado para suprir a demanda de dois dias. Como a residência possui 1 quarto e 3 suítes e utilizando a proporção 2 pessoas por dormitório, tem-se que o número de pessoas totalizou-se em 8 na residência. Para o cálculo do volume, considerando um consumo de 150 L/dia por pessoa (residência de médio valor) e dois consumos diários, tem-se que o volume para o reservatório foi 2400 L. Consultando catálogos comerciais, sugeriu-se a caixa d'água de Polietileno 2.500L.

Para um bom funcionamento da pressão nos dispositivos hidráulicos, estabeleceu-se a altura do reservatório a 1,5 metros acima do pavimento superior.

5.2 Comparação entre o método do Consumo Máximo Provável e Consumo Máximo Possível

Para a análise dos resultados foi realizado o dimensionamento da tubulação nos dois métodos distintos. A planta baixa da instalação predial de água fria se encontra no Apêndice A, e os quadros com o dimensionamento pelo método do Consumo Máximo Provável e Consumo Máximo Possível, encontram-se no Apêndice B e Apêndice C respectivamente. A Tabela 5 apresenta os resultados de vazão, diâmetro, perda de carga e pressão nos barriletes e colunas da instalação predial nos dois métodos dimensionados.

Tabela 5 - Dimensionamento da instalação predial das Colunas e Barriletes.

Coluna/Barrilete	Trecho	Consumo Máximo Provável				Consumo Máximo Possível			
		Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)	Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)
Barrilete	D - B	0,729	40	0,1	2,4	2,75	60	0,17	2,33
Barrilete - Coluna A	B - A'	0,465	40	0,22	2,28	1,5	60	0,32	2,18
Coluna A	A' - A''	0,268	32	0,31	5,09	0,5	32	0,57	4,83
Barrilete - Coluna C	B - C'	0,561	32	0,66	1,84	1,25	50	0,51	1,99
Barrilete - Coluna F	E - F'	0,270	32	0,13	2,37	0,50	32	0,39	2,11

Fonte: Do autor.

O primeiro ponto a ser observado são os parâmetros de vazão e diâmetro das tubulações. Percebe-se que nas canalizações referentes ao Barrilete, Barrilete – Coluna A e Barrilete – Coluna C, o método do Consumo Máximo Provável apresentou valores de vazão e diâmetro bem menores que o método do Consumo Máximo Possível. Essa diferença está relacionada por serem tubulações principais com grande quantidade de dispositivos, exigindo uma maior vazão do sistema. Já para a coluna A – A'' e Barrilete – Coluna F, percebe-se que os valores da vazão apresentaram diferenças, mas não foi um valor tão discrepante como nas outras colunas e barriletes.

Em relação aos diâmetros da tubulação destas últimas, para os dois métodos foi apresentado o mesmo valor (32 mm), devido ao fato de serem colunas individuais que ligam apenas os equipamentos do banheiro, em que o respectivo diâmetro é suficiente para a demanda de vazão. Entretanto, ressalta-se que no dimensionamento pelo método do Consumo Máximo Provável, fixou-se o valor do diâmetro em 32 mm por opção do projetista, devido ao fato de preferir pressões maiores nos dispositivos alimentados pelas colunas, podendo os diâmetros das mesmas serem diminuídas atendendo os critérios normativos. Já para o método do Consumo Máximo Possível, é necessário ser adotado o diâmetro de 32 mm para atender a pressão mínima nos equipamentos.

Em relação às perdas de carga acumuladas, sendo as características do material das tubulações as mesmas em ambos os métodos, conclui-se pela Equação 12, que os principais fatores para os resultados obtidos estão vinculados à vazão e o diâmetro da tubulação. Percebe-se que um maior diâmetro de canalização promove uma menor perda de carga no

sistema, possibilitando uma maior pressão nas peças de utilização. Em contrapartida, uma maior vazão gera uma maior perda de carga, ocasionando em uma menor pressão final.

Nessa vertente, nos trechos dos barriletes e colunas, as perdas de carga, em geral, foram menores e as pressões maiores no método do Consumo Máximo Provável, excetuando-se o trecho Barrilete – Coluna C, em que a perda de carga foi superior no outro método, mesmo com a vazão esperada pelo Consumo Máximo Provável sendo menor.

Em ambos os métodos as pressões encontram-se em conformidade com os valores estabelecidos pela NBR 5626, destacando-se o trecho Barrilete – Coluna A para o método do Consumo Máximo Possível, que foi necessário adotar um diâmetro maior que o calculado (60 mm) justamente para atender a condicionante da pressão mínima no chuveiro do banheiro.

A Tabela 6 compara os dois métodos supracitados nos banheiros abastecidos pela coluna A. Os banheiros da suíte 1 e 3 estão localizados no primeiro andar e o banheiro 1 está localizado no térreo, conforme a planta baixa no Apêndice A.

Tabela 6 - Dimensionamento da instalação predial dos banheiros da suíte 1 e 3 e banheiro 1.

Ramais de Distribuição	Trecho	Consumo Máximo Provável				Consumo Máximo Possível			
		Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)	Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)
Banheiro Suíte 1 e 3	A' -G	0,38	32	0,52	4,28	1,00	50	0,62	4,18
	G-H	0,34	32	0,57	4,23	0,85	40	0,74	4,06
	H-I	0,30	32	0,67	4,23	0,70	40	0,96	3,94
	I-J	0,28	32	0,76	4,14	0,60	40	1,13	3,77
	J-K	0,27	32	0,84	4,36	0,50	32	1,37	3,83
	K-L	0,21	25	0,97	4,23	0,35	32	1,49	3,71
	L-M	0,13	25	1,32	1,88	0,20	32	1,78	1,42
	M-N	0,09	25	1,48	1,72	0,10	25	1,95	1,25
Banheiro 1	A"- Lv	0,16	25	0,41	7,29	0,15	25	0,66	7,04
	A"-X	0,21	25	1,36	4,74	0,35	25	3,15	2,95
	X-Y	0,19	20	1,63	6,17	0,25	20	3,59	4,21
	Y-Z	0,16	20	1,74	6,36	0,15	20	3,69	4,41

Fonte: Do autor.

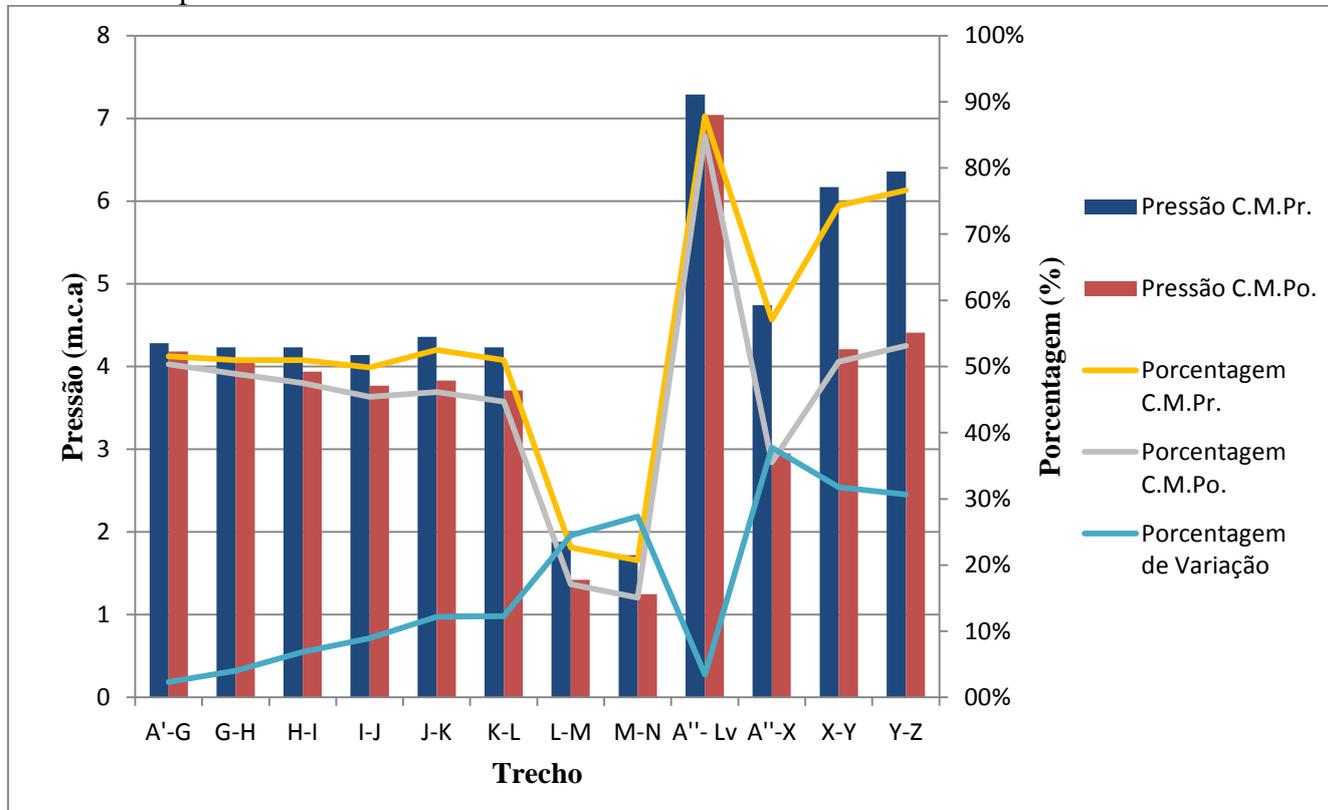
Os chuveiros dos banheiros da suíte 1 e 3 são as situações críticas do projeto pelo fato da diferença de cota da caixa d'água e do chuveiro ser pequena, promovendo uma menor pressão estática no sistema. Por esse motivo, em ambos os métodos foi necessário aumentar o diâmetro obtido a partir do pré-dimensionamento das tubulações para atender a pressão

mínima exigida pela ABNT (1998). Já para o banheiro 1, esse problema não foi relevante pois o mesmo localiza-se no pavimento térreo.

Para os banheiros da suíte 1 e 3, os valores de vazão, diâmetro e perda de carga foram maiores e as pressões menores no método do Consumo Máximo Possível. Para o banheiro 1, devido a maior pressão estática na tubulação, foi possível reduzir os diâmetros no método do Consumo Máximo Possível, adotando os mesmos valores em ambos os métodos, sem prejudicar o funcionamento da instalação. Entretanto, com a redução, contribui-se ainda mais para maiores valores de perda de carga e menores valores de pressão comparando com o método do Consumo Máximo Provável.

O Gráfico 1 relaciona as pressões nos trechos em cada método com suas respectivas influências em porcentagem na instalação dos banheiros abastecidos pela coluna A. As colunas do gráfico indicam os valores de pressão nos dois métodos analisados. Já as linhas referem-se às porcentagens de pressão disponível em cada trecho (linha laranja e cinza) e a porcentagem de variação entre os dois métodos analisados (linha azul).

Gráfico 1 - Influência da pressão em porcentagem na instalação dos banheiros abastecidos pela coluna A.



Fonte: Do autor.

Definiu-se a porcentagem em 100% para a carga estática máxima do dimensionamento sendo 8,3 m.c.a. Percebe-se que no trecho A''-Lv, ocorre a elevação da pressão estática referente a diferença de cota para o andar térreo, ocasionando o aumento da porcentagem analisada. Iniciou-se assim o dimensionamento no trecho A'-G com 51,6% da pressão máxima encontrada no abastecimento no método do Consumo Máximo Provável (C.M.Pr.) e 50,36% no método do Consumo Máximo Possível (C.M.Po.). Já no chuveiro do pavimento superior (trecho M-N), a porcentagem atingiu 20,7% (C.M.Pr.) e 15,06% (C.M.Po.). A porcentagem no vaso sanitário do pavimento térreo (trecho Y-Z) foi de 76,6% para o C.M.Pr. e 53,13% para o C.M.Po.

Em relação a variação de pressão entre os dois métodos, observa-se que no início do dimensionamento entre os trechos A'-G até I''-J a variação é menor, com valores abaixo de 10%, ocorrendo um aumento a partir do ponto K-L, atingindo uma diferença máxima no trecho A''-X, com 37,76%. Como citado anteriormente, essas diferenças foram devido a diminuição dos diâmetros do banheiro 1 no método do Consumo Máximo Possível, resultando em uma maior discrepância de valores entre métodos.

A Tabela 7 compara os valores encontrados na coluna C referente à cozinha e área de serviço.

Tabela 7 – Dimensionamento da instalação predial da cozinha e área de serviço.

Ramais de Distribuição	Trecho	Consumo Máximo Provável				Consumo Máximo Possível			
		Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)	Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)
Cozinha e Área de Serviço	C'-S	0,56	25	2,11	5,59	1,25	40	1,61	6,09
	S-T	0,53	25	2,83	4,57	1,05	32	2,61	4,79
	T-U	0,43	25	3,3	3,9	0,75	32	3,12	4,08
	U-V	0,35	25	3,46	3,69	0,5	25	3,41	3,74
	V-W	0,25	25	3,67	3,48	0,25	25	3,63	3,52

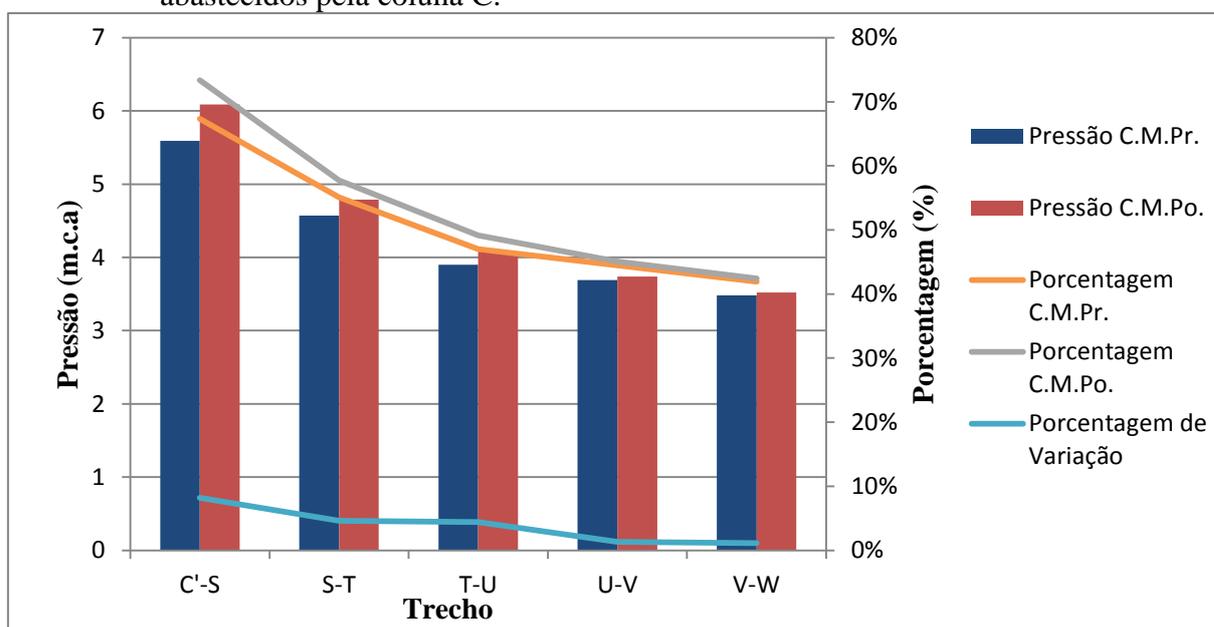
Fonte: Do autor.

Para a cozinha e área de serviço, da mesma forma como ocorrido no banheiro 1 indicado na Tabela 6, foi possível reduzir o diâmetro das tubulações no método do Consumo Máximo Possível, porém nesse caso, os valores apresentados de perda de carga acumulada foram menores, e a pressão maior quando comparada ao outro método. Esse fato se explica devido à utilização de diâmetros maiores para os tubos iniciais (trecho C'-S até T-U), o que proporcionou valores mais elevados de pressões. O dimensionamento do diâmetro no método

do Consumo Máximo Provável permaneceu constante (25mm) em toda a distribuição, coincidindo com alguns trechos do método do Consumo Máximo Possível (trecho U-V e V-W), e as vazões continuaram menores como esperado.

O Gráfico 2 relaciona as pressões nos trechos de cada método com suas respectivas influências em porcentagem na instalação da cozinha e área de serviço abastecidos pela coluna C.

Gráfico 2 - Influência da pressão em porcentagem na instalação da cozinha e área de serviço abastecidos pela coluna C.



Fonte: Do autor.

Nesse gráfico, a pressão foi mais elevada no método do Consumo Máximo Possível, assim para o trecho C'-S a porcentagem foi de 73,4% no método C.M.Po., e 67,3% para o mesmo trecho do método C.M.Pr. No trecho final V-W referente ao tanque, a porcentagem atingiu 42,4% no método C.M.Po., e 41,9% para o método C.M.Pr. Em relação a porcentagem de variação de pressão entre métodos, observa-se pelo gráfico que a diferença foi pequena, sendo no trecho C'-S a maior com 8,21 %, e nos trechos seguintes abaixo de 5 %. Nos trechos U-V e V-W, devido as vazões e diâmetros próximos em ambos os métodos, a diferença foi sucinta com variações de 1,34% e 1,14%, respectivamente.

Por fim, a Tabela 8 mostra os valores obtidos para o banheiro da suíte 2, abastecido exclusivamente pela coluna F.

Tabela 8 - Dimensionamento da instalação predial do banheiro da suíte 2.

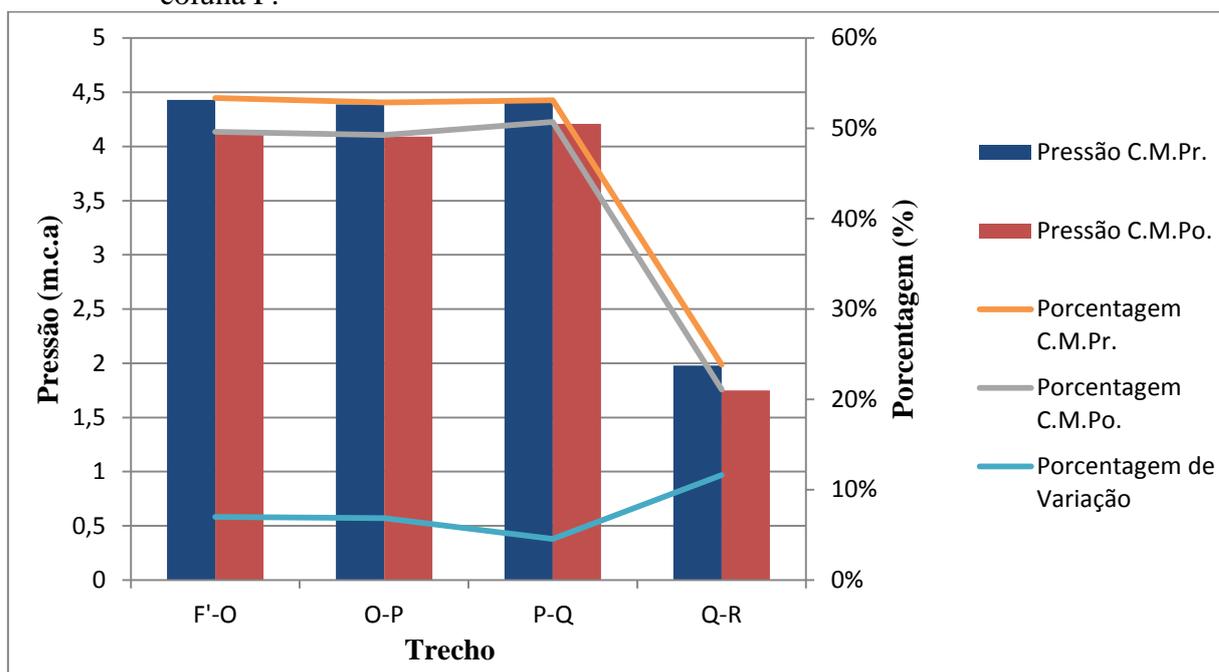
Ramais de Distribuição	Trecho	Consumo Máximo Provável				Consumo Máximo Possível			
		Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)	Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)
Banheiro Suíte 2	F'-O	0,27	25	0,37	4,43	0,5	32	0,68	4,12
	O-P	0,21	25	0,51	4,39	0,35	32	0,81	4,09
	P-Q	0,19	20	0,79	4,41	0,25	25	0,99	4,21
	Q-R	0,09	20	1,22	1,98	0,1	20	1,45	1,75

Fonte: Do autor.

Nesse banheiro, optou-se por aumentar os diâmetros iniciais (trecho F'-O e O - P) para 25 mm no método do Consumo Máximo Provável, para atingir uma pressão mais confortável para o chuveiro (1,98 m.c.a.). Mesmo assim, os diâmetros foram menores ou iguais (trecho Q - R) ao outro método, as vazões e perdas de carga também foram inferiores, e a pressão superior ao método do Consumo Máximo Possível.

O Gráfico 3 relaciona as pressões nos trechos com suas respectivas influências em porcentagem no banheiro abastecido pela coluna F. No início do dimensionamento do banheiro (trecho F'-O), a porcentagem atingiu 53,4 % para o método do Consumo Máximo Provável e 49,6% para o mesmo trecho no método do Consumo Máximo Possível. Até o trecho P-Q as porcentagens permaneceram acima de 50%, mas no trecho referente ao chuveiro (trecho Q-R) houve um decaimento na carga estática proporcionado pela diferença de cota no ponto de utilização do equipamento, que atingiu 23,9 % da pressão inicial disponível para o abastecimento no método C.M.Pr. e 21,1 % no método C.M.Po. Para a porcentagem de variação de pressão nos métodos, percebeu-se que o gráfico permaneceu com variações bem similares entre os trechos, com a menor diferença no ramal inicial (P-Q) com 4,54% e a maior no ramal Q-R com 11,62%.

Gráfico 3 - Influência da pressão em porcentagem na instalação do banheiro abastecido pela coluna F.



Fonte: Do autor.

5.3 Comparação do dimensionamento das hipóteses definidas

Para o dimensionamento dos barriletes, colunas e ramais nas hipóteses definidas, calculou-se a vazão somando às vazões de projeto dos dispositivos em uso simultâneo com a vazão obtida pelo somatório dos pesos no restante dos equipamentos hidráulicos presentes no trecho. Assim, na hipótese 1, por exemplo, decidiu-se que no dimensionamento da tubulação os chuveiros abastecidos pela coluna A estariam sempre em funcionamento, e o restante dos equipamentos foi dimensionado conforme o método do Consumo Máximo Provável. Para o dimensionamento do diâmetro foi utilizado o normograma de pesos, vazões e diâmetros apresentado na Figura 7.

A Tabela 9 indica o dimensionamento da Hipótese 1 referente aos três chuveiros em uso simultâneo (dois chuveiros no banheiro da suíte 1-3 no pavimento superior e um chuveiro no banheiro 1 do pavimento térreo) abastecidos pela coluna A.

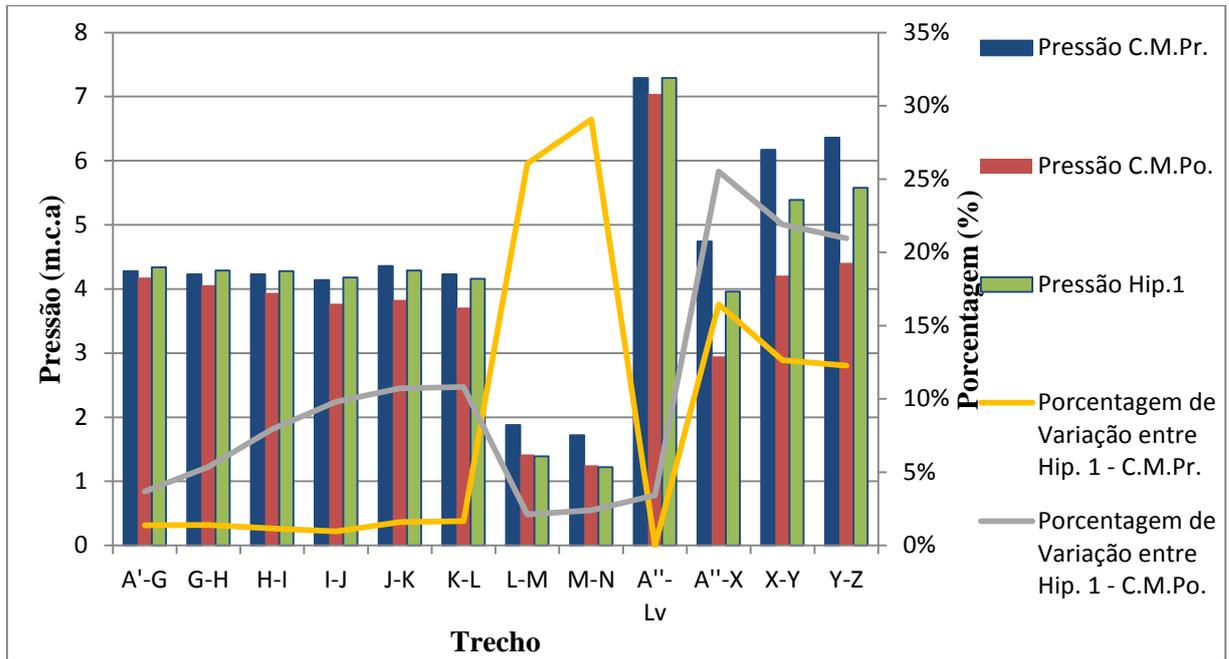
Tabela 9 - Dimensionamento da Hipótese 1 (funcionamento simultâneo dos três chuveiros) abastecido pela coluna A.

Ramais de Distribuição	Trecho	Hipótese 1			
		Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)
Barrilete	D - B	1,01	50	0,07	2,43
Barrilete - Coluna A	B - A'	0,73	50	0,17	2,33
Coluna A	A' - A''	0,35	32	0,31	5,09
	A' -G	0,55	40	0,46	4,34
	G-H	0,51	40	0,51	4,29
	H-I	0,47	40	0,62	4,28
Banheiro Suíte 1 e 3	I-J	0,45	40	0,72	4,18
	J-K	0,43	32	0,91	4,29
	K-L	0,36	32	1,04	4,16
	L-M	0,2	25	1,81	1,39
	M-N	0,1	25	1,98	1,22
	A'' - Lv	0,16	25	0,41	7,29
Banheiro 1	A''-X	0,29	25	2,14	3,96
	X-Y	0,19	20	2,41	5,39
	Y-Z	0,16	20	2,52	5,58

Fonte: Do autor.

No caso da hipótese 1, observa-se pela Tabela 6 que como não são todos os dispositivos hidráulicos em uso simultâneo, as vazões resultaram em um contraste de valores menor, aproximando-se mais dos resultados obtidos no método do Consumo Máximo Provável. Já em relação aos diâmetros dos trechos, há mais semelhança com os diâmetros do método do Consumo Máximo Possível. O Gráfico 4 apresenta as pressões nos trechos e as variações em porcentagem entre a hipótese 1 e os métodos analisados.

Gráfico 4 - Pressões nos trechos e as variações em porcentagem entre a hipótese 1 e os métodos analisados.



Fonte: Do autor.

Pelo gráfico percebe-se que um fator relevante em comparação ao método do Consumo Máximo Provável é que no início do dimensionamento (entre os trechos A'-G à I-J), os valores da perda de carga são menores e a pressão maior na hipótese 1, sendo que a partir do trecho J-K, essa situação se inverte, sendo esses parâmetros mais favoráveis ao método do Consumo Máximo Provável. Isso ocorre porque nos trechos A'-G à I-J, o diâmetro da tubulação na hipótese 1 é maior, causando uma menor perda de carga contínua para os trechos, como pode ser visto na Tabela 6.

Quando os diâmetros se igualam em ambos os métodos (trecho J-K), a perda de carga na hipótese 1 passa a ser a maior, visto que as vazões nos trechos permanecem elevadas, resultando em menores pressões. Assim, pela curva de variação pode-se ver que as maiores diferenças ocorreram depois do trecho L-M, chegando a máxima de 29,07% (trecho M-N), e variação nula no trecho A''-Lv devido a pressão igual em ambos os casos.

Em comparação com o Consumo Máximo Possível, a maioria das pressões na hipótese 1 foram maiores devido a menor perda de carga proporcionada pelas vazões dos equipamentos em utilização, excluindo-se os trechos L-M e M-N. As variações atingiram máxima de 25,51% no trecho A''-X e mínima de 2,11% no trecho L-M.

A Tabela 10 indica o dimensionamento da Hipótese 2, referente a pia, torneira e máquina de lavar em uso simultâneo, e a da Hipótese 3, referente ao tanque e máquina de lavar em uso simultâneo, abastecidos pela coluna F.

Tabela 10 - Comparação do dimensionamento da Hipótese 2 (funcionamento simultâneo da pia, torneira e máquina de lavar) e da Hipótese 3 (funcionamento simultâneo do tanque e máquina de lavar) abastecidos pela coluna F.

Ramais de Distribuição	Trecho	Hipótese 2				Hipótese 3			
		Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)	Q (L/s)	DN (mm)	hf acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)
Barrilete - Coluna C	B - C'	1,105	32	2,12	0,38	0,95	32	1,64	0,86
	C'-S	1,1	32	3,89	3,81	0,95	32	3,00	4,7
Cozinha e Área de Serviço	S-T	0,9	32	4,64	2,76	0,90	32	3,76	3,64
	T-U	0,6	25	5,52	1,68	0,60	25	4,63	2,57
	U-V	0,35	25	5,67	1,48	0,50	25	4,91	2,24
	V-W	0,25	25	5,88	1,27	0,25	25	5,12	2,03

Fonte: Do autor.

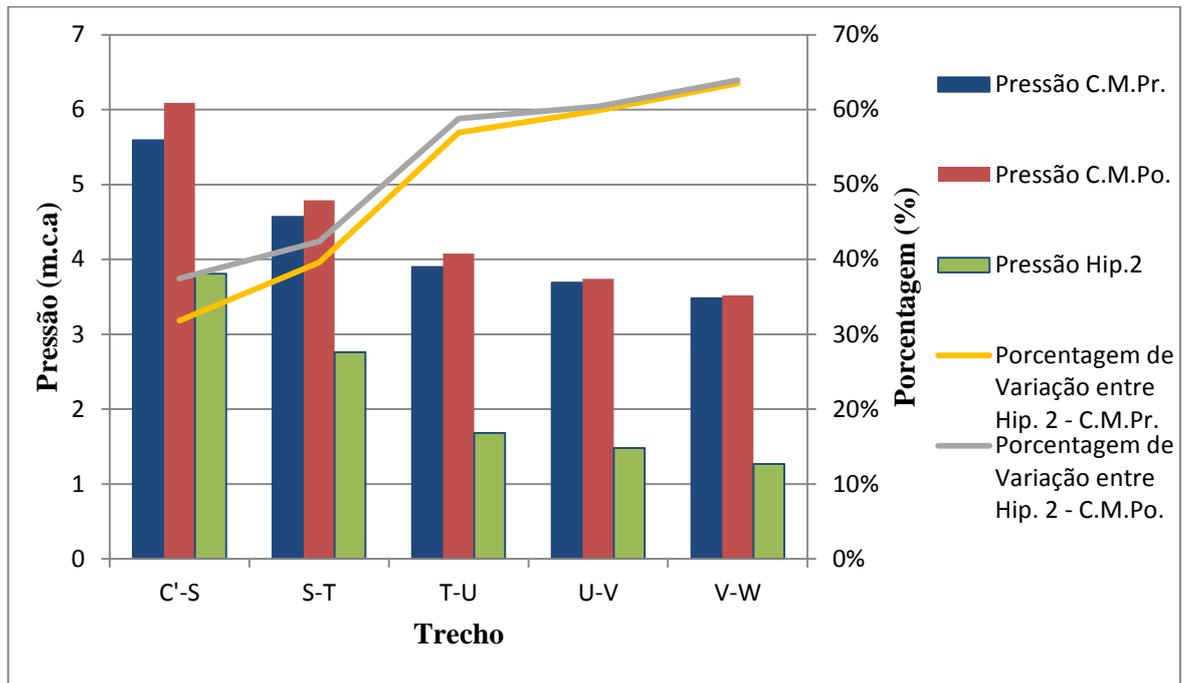
Comparando as duas hipóteses, percebe-se que os valores de vazão foram próximos, e os diâmetros iguais, visto que a diferença de pesos e vazões do grupo de equipamentos hidráulicos não foi tão relevante. Repara-se também, pela Tabela 7, que as vazões das duas hipóteses aproximaram mais do método do Consumo Máximo Possível, entretanto a perda de carga e pressão não foram parecidas.

Esse fato se deve ao diâmetro dos trechos adotados, em especial o trecho Barrilete - Coluna C, em que nas hipóteses 2 e 3 foi adotado 32 mm, ocasionando em uma perda de carga maior no trecho, influenciando todo o dimensionamento. No consumo Máximo Provável o diâmetro adotado foi 25 mm, entretanto as vazões foram bem menores, o que proporcionou uma pressão mais eficiente.

Já no método do Consumo Máximo Possível, o diâmetro de 40 mm não causou uma perda de carga tão elevada e possibilitou uma maior pressão ao sistema. Ressalta-se que em ambos os métodos a pressão foi suficiente para abastecer o ambiente e encontra-se dentro dos valores normativos.

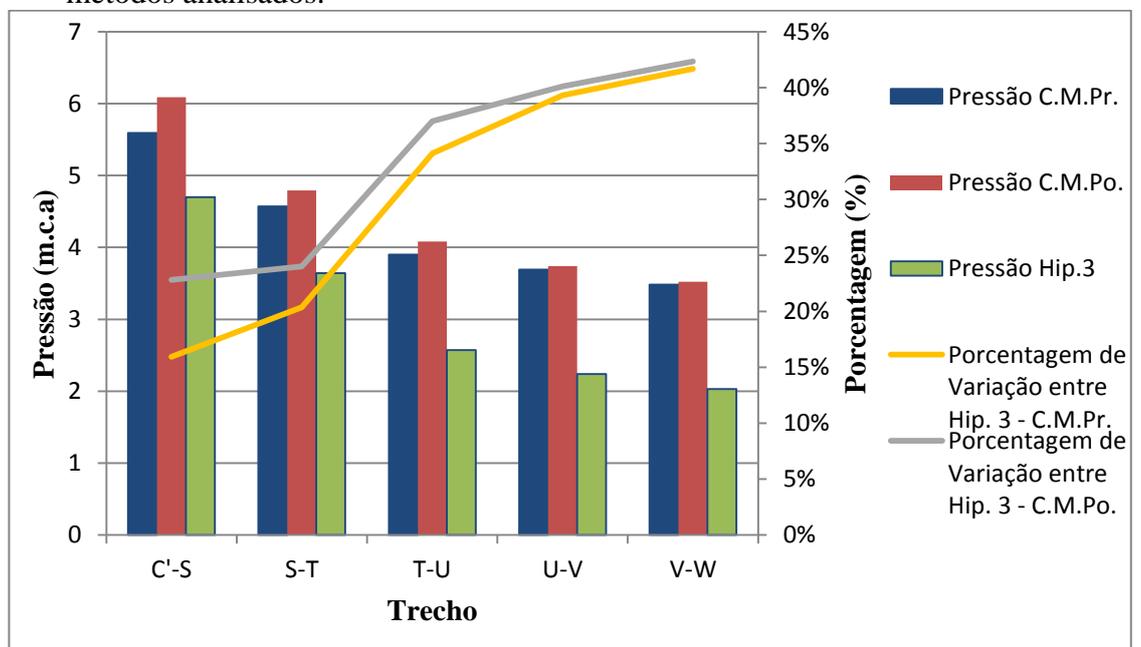
O Gráfico 5 e Gráfico 6 relacionam as pressões nos trechos e as variações em porcentagem entre a hipótese 2 e 3 e os métodos analisados.

Gráfico 5 - Pressões nos trechos e as variações em porcentagem entre a hipótese 2 e os métodos analisados.



Fonte: Do autor.

Gráfico 6- Pressões nos trechos e as variações em porcentagem entre a hipótese 3 e os métodos analisados.



Fonte: Do autor.

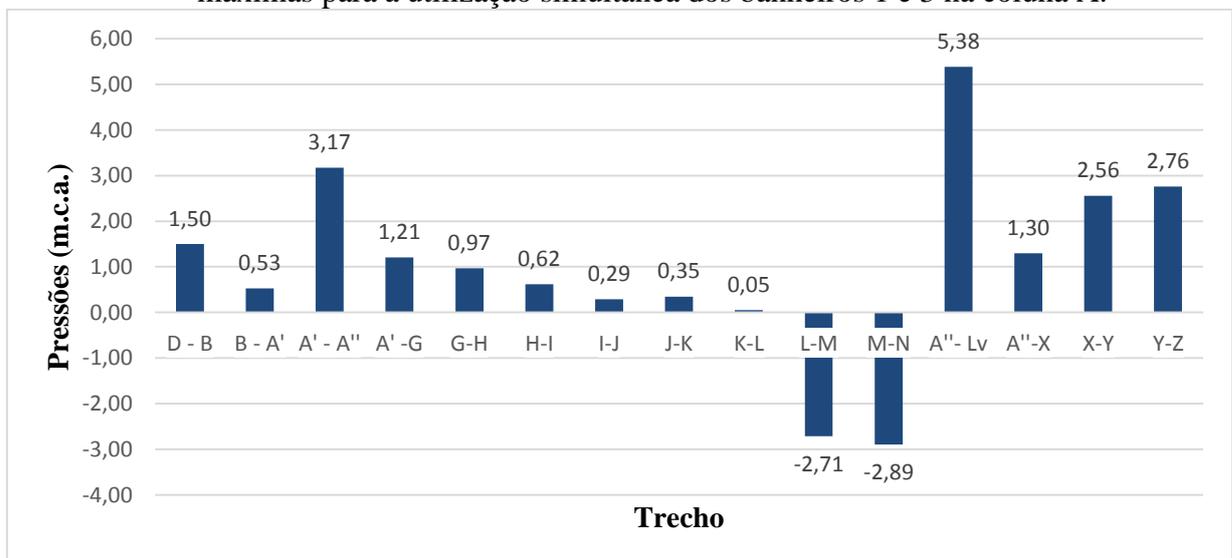
Para as hipóteses 2 e 3 as maiores variações ocorreram em relação ao Consumo Máximo Possível, entretanto essa diferença entre o Consumo Máximo Provável foi pequena,

conforme se observa nos gráficos. A hipótese 2 apresentou as maiores porcentagens atingindo a variação de 63,92% no trecho V-W para o C.M.Po. e 63,51% para o C.M.Pr. Para a hipótese 3, a variação foi de 42,33% para o C.M.Po. e 41,67% para o C.M.Pr no mesmo trecho citado anteriormente.

5.4 Análise do dimensionamento do método do Consumo Máximo Provável com todos os dispositivos hidráulicos em funcionamento

Após realizar o dimensionamento em ambos os métodos, iniciou-se as verificações de funcionamento para o método do Consumo Máximo Provável caso ocorresse o funcionamento simultâneo de todos os aparelhos sanitários. Para isso, utilizou-se as mesmas vazões de projeto utilizadas no método do Consumo Máximo Possível, e foi feita a análise da situação em cada ambiente. As tabelas contidas no Apêndice D indicam os principais parâmetros para o dimensionamento desta análise. As pressões referentes ao dimensionamento do Consumo Máximo Provável com as vazões máximas para os banheiros abastecidos pela Coluna A são mostradas no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Pressões no dimensionamento do Consumo Máximo Provável com as vazões máximas para a utilização simultânea dos banheiros 1 e 3 na coluna A.



Fonte: Do autor.

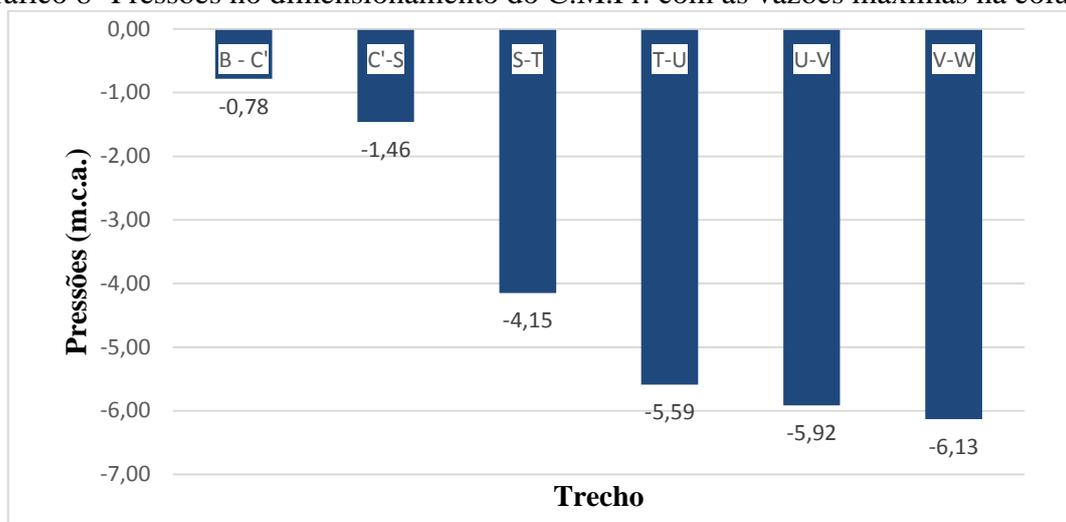
Por meio da análise do gráfico, percebe-se que as pressões encontradas foram insuficientes para atender a utilização dos banheiros da suíte 1 e 3 no pavimento superior. A

partir do trecho G - H as pressões não atendem as especificações da ABNT (1998), sendo abaixo de 1,00 m.c.a. Nos trechos L-M e M-N referentes aos chuveiros, a pressão encontra-se negativa devido ao fato da perda de carga acumulada ser maior que a pressão estática disponível para a instalação. Já no banheiro 1 do andar térreo, percebe-se que as pressões são suficientes para atender as necessidades de utilização de todos os equipamentos, estando em conformidade com a norma.

Portanto, para a coluna A, os trechos referentes aos banheiros da suíte 1 e 3 estão comprometidos, sendo apenas o ramal A'-G com pressão suficiente para atender a necessidade do uso do lavatório. Os outros trechos provavelmente estão com mal funcionamento ou não funcionam devido à falta de pressão.

Como apresentado no Gráfico 8, pode-se analisar as pressões referentes ao dimensionamento do Consumo Máximo Provável com as vazões máximas para a cozinha e área de serviço abastecidos pela Coluna C.

Gráfico 8- Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões máximas na coluna C.

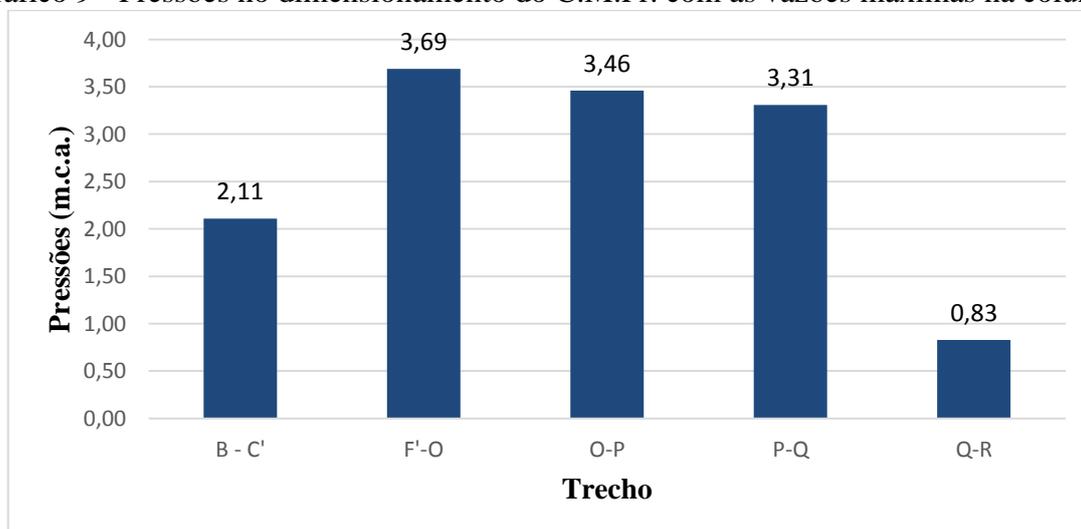


Fonte: Do autor.

Nesse trecho, as vazões encontradas são as maiores de todo o dimensionamento devido à demanda dos aparelhos presentes no ambiente, por isso percebe-se pelo gráfico que a partir do barrilete B-C a perda de carga já é maior que a pressão estática disponível do reservatório até os trechos analisados, encontrando-se negativas e insuficientes para atender todos os dispositivos.

Por fim, o Gráfico 9 apresenta as pressões referentes ao dimensionamento do Consumo Máximo Provável com as vazões máximas para o banheiro da suíte 2 abastecido pela coluna F.

Gráfico 9 - Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões máximas na coluna F.



Fonte: Do autor.

O banheiro da suíte 2 apresenta barrilete e coluna exclusiva, assim, mesmo com todos os equipamentos em uso simultâneo, as vazões foram menores visto que são poucos equipamentos em utilização. Percebe-se que a maioria das pressões atendem a ABNT (1998), menos o ramal referente ao chuveiro (trecho Q-R), apresentando uma pressão de 0,83 m.c.a. Portanto, os dispositivos do banheiro apontam um uso eficaz, com excessão do chuveiro que se encontra com uma pressão abaixo do usual.

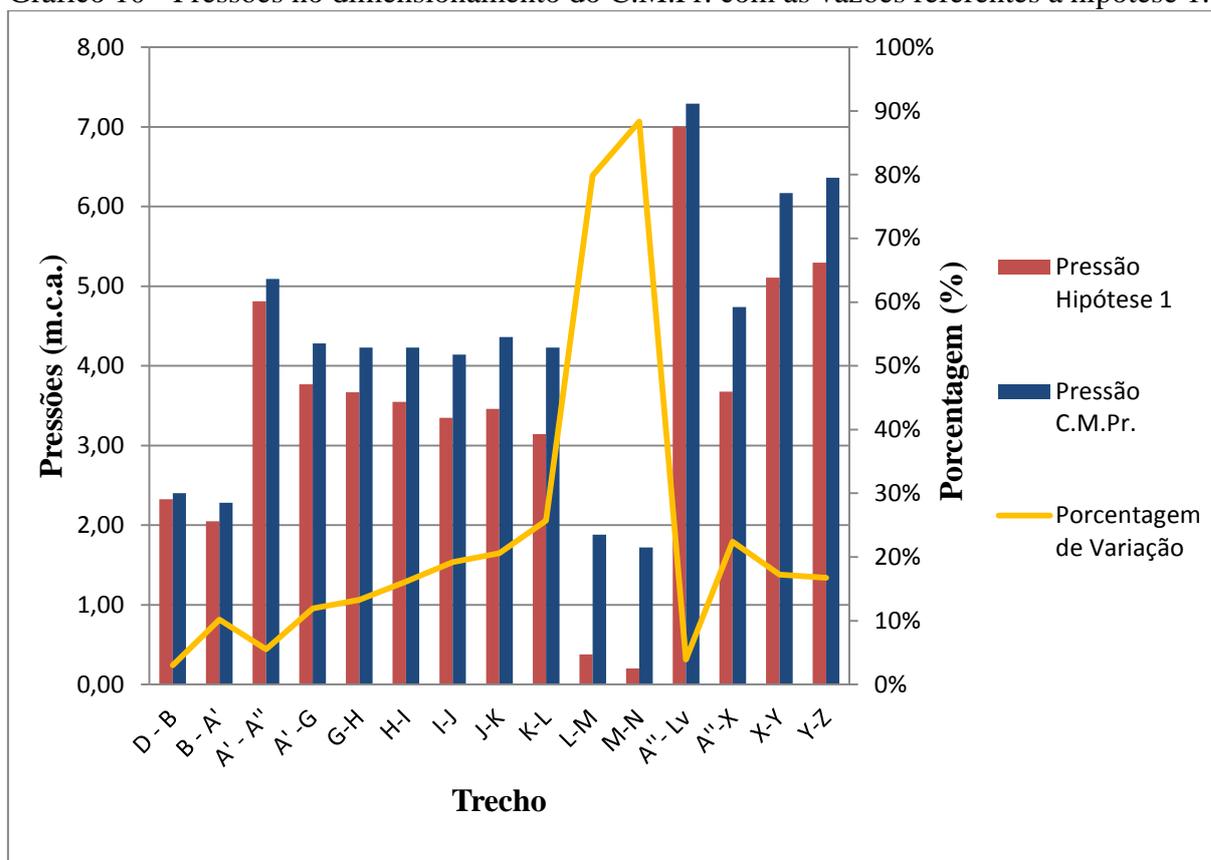
Em geral, em todos os ambientes os valores de pressão foram inferiores visto que as vazões aumentaram consideravelmente, e os diâmetros permaneceram os mesmos. Junto a isso, a perda de carga passou a ser elevada, muitas vezes atingindo valores maiores que a pressão estática disponível.

O banheiro 1 foi o único ambiente em que as pressões nos aparelhos hidráulicos foram suficientes graças a elevação de carga estática para o pavimento superior. Em relação ao critério de velocidade, conforme o APÊNDICE D, apenas o trecho C'-S referente a cozinha e área de serviço, apresentou velocidade maior que permitido na NBR 5626, com 3,41 m/s no ramal da tubulação.

5.5 Análise do dimensionamento do método do Consumo Máximo Provável com as vazões das hipóteses definidas

Após realizar o dimensionamento das hipóteses estabelecidas, utilizou-se os valores das vazões encontradas em cada situação para analisar o funcionamento no método do Consumo Máximo Provável. Os Gráficos 10, 11 e 12 são referentes às pressões encontradas no dimensionamento com as vazões das hipóteses 1, 2 e 3 respectivamente. As tabelas contidas no Apêndice E indicam os principais parâmetros para o dimensionamento desta análise.

Gráfico 10 - Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões referentes a hipótese 1.



Fonte: Do autor.

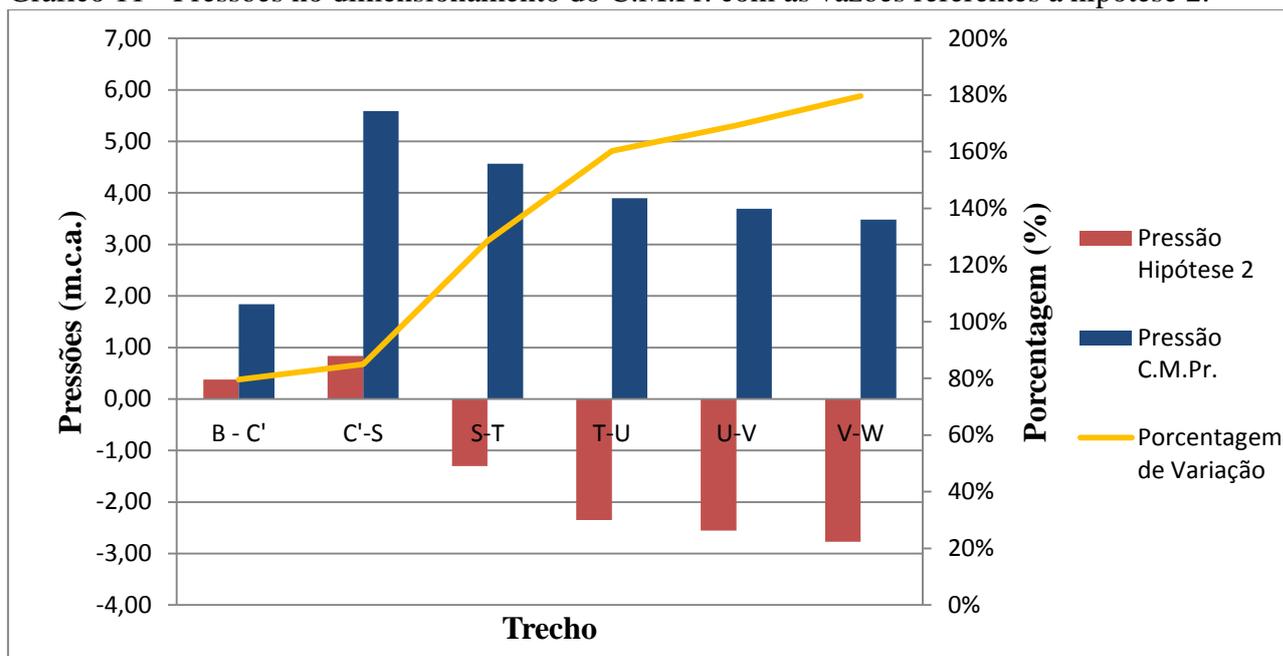
Para a hipótese 1, foi considerado os três chuveiros em funcionamento e as vazões do restante dos dispositivos de acordo com os pesos relativos. Desse modo, a vazão calculada para o ramal inicial (trecho A'-G) dos banheiros da suíte 1 e 3 foi de 0,55 L/s, conforme a Tabela 9.

Analisando os dados obtidos pela hipótese 1, percebe-se que com as vazões menores, os valores de pressão foram mais favoráveis em relação aos resultados que foram encontrados no dimensionamento com todos os equipamentos em uso simultâneo. Mesmo assim, percebe-se pelo gráfico que as pressões apresentaram variações consideráveis para o método do

Consumo Máximo Provável. Nos ramais L-M e M-N as vazões não atenderam às especificações normativas, entretanto no restante dos trechos essa consideração foi atendida.

Pode ser visto pelo Apêndice E (Tabela A4) que a perda de carga acumulada dos ramais anteriores foi o motivo para gerar a discrepância de pressões em ambos os métodos, atingindo a variação de 79,87% e 88,36% nos ramais supracitados.

Gráfico 11 - Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões referentes a hipótese 2.

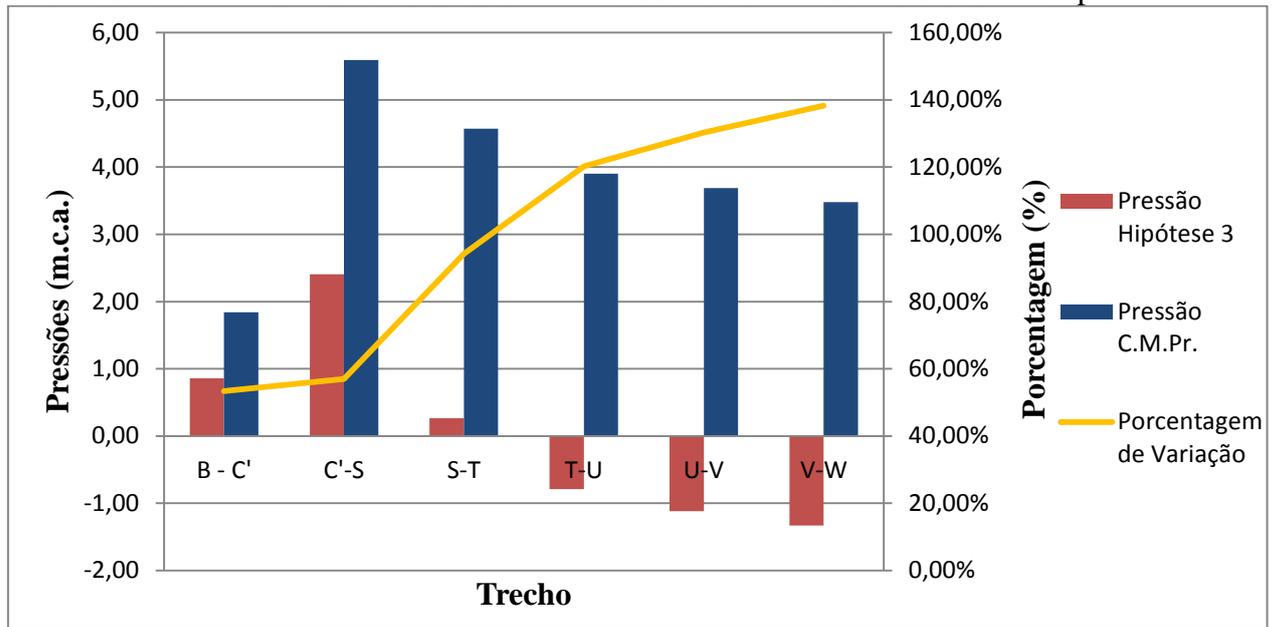


Fonte: Do autor.

Para a hipótese 2, as pressões encontradas não foram satisfatórias quanto na hipótese 1 visto que em todos os trechos as pressões ficaram abaixo de 1,00 m.c.a. As vazões da pia, torneira de jardim e máquina de lavar, somadas com as vazões obtidos pelos pesos dos equipamentos da cozinha e área de serviço, proporcionaram valores de vazão altos, próximos aos valores do método do Consumo Máximo Possível, gerando altas perdas de carga que interferem na pressão do sistema.

A partir do trecho S – T, percebe-se que as pressões são negativas, porque observando o Apêndice E (Tabela A5), repara-se que nesse trecho a perda de carga acumulada foi de 8,70 m.c.a., e no trecho final (V-W) atingiu 9,92 m.c.a., o que proporcionou as variações de porcentagem acima de 100% conforme o gráfico.

Gráfico 12 - Pressões no dimensionamento do C.M.Pr. com as vazões referentes a hipótese 3.



Fonte: Do autor.

Para a hipótese 3, a mesma situação descrita anteriormente ocorre, com ressalva que apenas o tanque e a máquina de lavar estão dimensionados para o uso simultâneo, proporcionando vazões menores que acarretam uma menor perda de carga acumulada para a instalação. Comparando com a hipótese 2, observa-se pelos Gráficos 11 e 12 que a porcentagem de variação foi relativamente menor. Desse modo, o trecho C' - S atingiu pressão suficiente, mas o restante dos equipamentos apresentaram o uso comprometido.

Por fim, percebe-se que os valores de vazão calculados nas hipóteses testadas se tornam um parâmetro de funcionamento, em que, a partir daquele ponto referente à vazão calculada, sabe-se que as pressões nos equipamentos estarão comprometidas.

Por exemplo, na hipótese 2, considerando apenas as vazões de projeto da torneira de jardim, pia e máquina de lavar em funcionamento e supondo que todos os outros dispositivos não estivessem ligados, as pressões atenderiam aos equipamentos, visto que a vazão possui valor próximo à de dimensionamento. Entretanto, caso mais algum dispositivo entrasse em operação, a vazão se aproximaria da obtida na hipótese 2, tendo uma maior chance de algum trecho não atingir a pressão suficiente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante os dados apresentados e levando em conta a edificação considerada, referente a comparação do dimensionamento entre os métodos, percebe-se que na maioria dos casos as vazões e diâmetros foram menores no método do Consumo Máximo Provável. Também pode-se concluir que as pressões atingiram melhores resultados no mesmo método, sendo que apenas nos trechos da cozinha e área de serviço, os valores foram maiores no método do Consumo Máximo Possível. A maior porcentagem de variação de pressão ocorreu no trecho A''-X referente ao banheiro 2, com 37,76 % de diferença.

Já na comparação entre as hipóteses definidas e os dois métodos, percebe-se que na hipótese 1, os valores de pressão na maioria dos trechos encontraram-se abaixo do obtido para o método do C.M.Pr. e acima do método C.M.Po, sendo a porcentagem de variação de pressão máxima (trecho A''-X) igual a 25,51%, referente ao método C.M.Po. Para as hipóteses 2 e 3, os valores de pressão foram os menores, apresentando valores máximos de variação no trecho V-W, com 63,92% para hipótese 2 e 42,33% para a hipótese 3, ambos ao comparar também com o método C.M.Po.

Analisando o dimensionamento pelo Consumo Máximo Provável, ele não terá total eficiência com todos os dispositivos em funcionamento. Os diâmetros adotados não foram projetados para atender a vazão de todos os equipamentos em uso simultâneo, causando uma elevação na perda de carga que leva à insuficiência de carga de pressão no sistema.

Caso a diferença de cota entre o reservatório e os dispositivos analisados apresentasse um valor mais elevado, há uma maior possibilidade do atendimento das pressões nos equipamentos hidráulicos devido ao ganho de pressão estática para o sistema, como foi observado no banheiro 2. Nos outros ambientes, algumas peças hidráulicas atingiram a pressão recomendada por norma, sendo a maioria com menor altura dos pontos de entrada de água e localizados nos trechos iniciais, correspondendo a uma menor perda de carga acumulada, como foi o caso dos banheiros abastecidos pela coluna A e o banheiro da suíte 2, abastecido pela coluna F.

Para o método do Consumo Máximo Provável com as vazões dos cenários hipotéticos, no caso 1, apenas os chuveiros dos banheiros da suíte 1 e 3 não atingiram pressões apropriadas. A altura necessária para atingir o chuveiro juntamente com a perda de carga acumulada, proporcionou a redução da pressão, inviabilizando o funcionamento total dos banheiros com as vazões propostas pela hipótese 1. Para as hipóteses 2 e 3, a vazão demandada pelos equipamentos ocasionou em uma perda de carga muito alta, gerando várias

pressões negativas que comprometeram todos os trechos da hipótese 2. Já na hipótese 3, o único equipamento que apresentou condições de utilização foi a torneira de jardim.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Instalação Predial de Água Fria**. NBR 5626, 1998.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Sistemas prediais de água fria – Tubos e conexões de PVC 6,3, PN 750 kPa, com junta soldável – Requisitos**. NBR 5648, 1999.
- ALLEN, R. G. **Relating the Hazen-Williams and Darcy-Weisbach Friction loss equations for pressurized irrigation**. Applied Engineering in Agriculture, v.12, n.6, p.685-693, 1996.
- AZEVEDO NETTO, J.M.d.; FERNÁNDEZ, M.F.Y. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2018.
- BAPTISTA, M.B.; COELHO, M.M.L.P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3. ed. rev. e ampl. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- BORGES, R. S.; BORGES, W. L. **Manual de Instalações Prediais Hidráulico-sanitárias e de Gás**. 4 ed. São Paulo: PINI, 1992.
- BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JUNIOR, G. d. A. **Instalações Hidráulicas Prediais: Usando Tubos de PVC e PPR**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- CARVALHO, D. F. d.; SILVA, L. D. B. d. **Fundamentos de Hidráulica**. Apostila do curso de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.
- CARVALHO, D. F. **Instalações elevatórias: bombas**. 6 ed. Belo Horizonte: IPUC, 1999.
- CARVALHO JÚNIOR, R. d. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. 7. ed. – São Paulo: Blucher, 2013.
- CAVALCANTI, R. A.; CRUZ, O. C.; BARRETO, A. C. **Determinação da perda de carga em tubo de PVC e comparação nas equações empíricas**. Seminário Iniciação Científica – IFTM, Uberaba, v. 2, 2009.
- CORDERO, A. **Hidráulica Aplicada**. Apostila do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional de Blumenau, 2013.
- CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6 ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. 3. Ed. Porto Alegre: Amgh Editora, 2015.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J.; **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- HOUGHTALEN, R. J.; HWANG, N. H. C.; AKAN, A. O. **Engenharia Hidráulica**. 4 ed. São Paulo: Pearson Education do brasil, 2012.

KAMAND, F. Z. **Hydraulic friction factors for pipe flow.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering - ASCE, New York, v.114, n.2, p.311-323, 1988.

MACINTYRE, A. J. **Instalações Hidráulicas: prediais e industriais.** 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

MACINTYRE, A. J. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias.** 1 ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1990.

MELLO, C. R. d.; FERREIRA, D. F.; CARVALHO, J. d. A. **Equações Explícitas para o Fator de Atrito da Equação de Darcy-Weisbach.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.23, n.2, p.365-371, abr./jun., 1999.

PORTO, R.d.M. **Hidráulica Básica.** 4. ed. rev. São Carlos: EESC-USP, 2006.

ROMA, W. N. L. **Fenômenos de Transporte para Engenharia.** 2 ed. rev. São Carlos: RiMa, 2006.

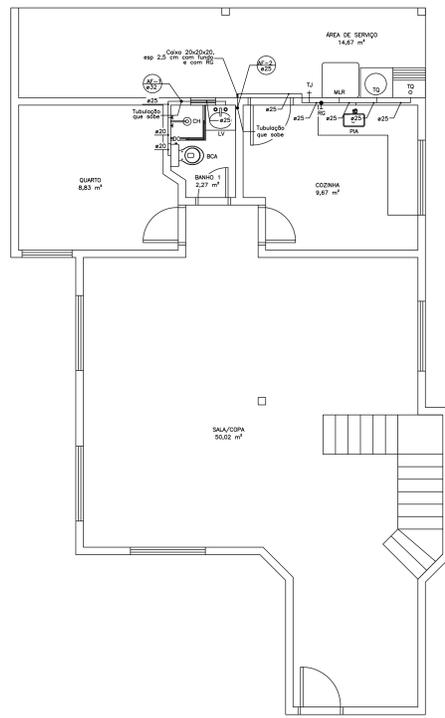
SILVA, R.C.V.d.; MASCARENHAS, F.C.B.; MIGUEZ, M.G. **Hidráulica Flúvial.** 2. ed. rev. e atual. – Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ, 2007.

SOARES, A. K.; **Calibração de Modelos de Redes de Distribuição de Água para Abastecimento Considerando Vazamentos e Demandas Dirigidas pela Pressão.** Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

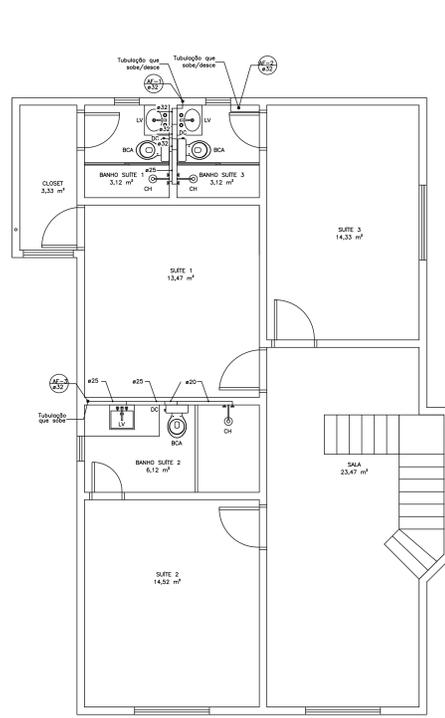
TIGRE S. A. **Manual técnico Tigre: orientações técnicas sobre instalações hidráulicas prediais.** 5 ed. Joinville: Tigre, 2013.

APÊNDICE A – Projeto de dimensionamento das instalações hidrossanitárias

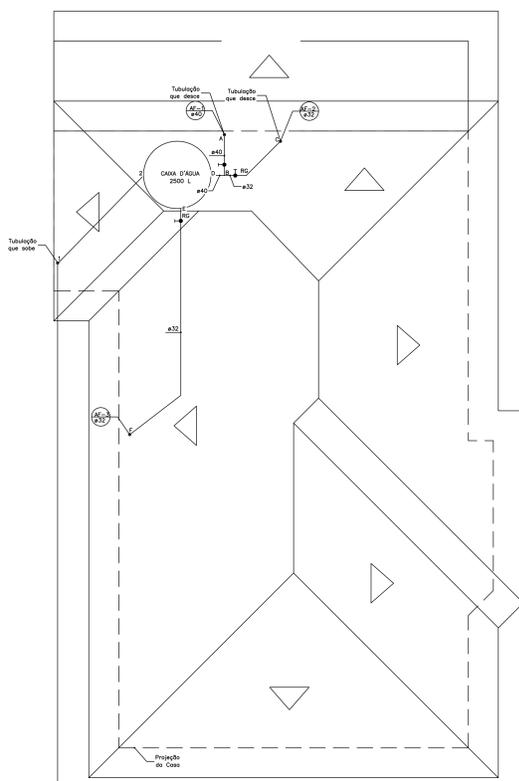
O Projeto de dimensionamento das instalações hidrossanitárias pelo método do Consumo Máximo Provável, contendo a planta baixa das instalações de água fria, detalhes isométricos e legenda encontra-se em Folha A0.



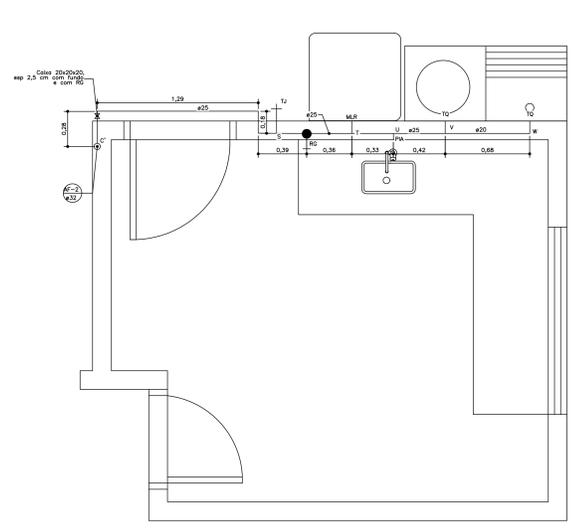
PLANTA BAIXA
ESC. 1:50 PAV. TÉRREO
0 0,5 1 1,5 2 2,5m
ESCALA GRAFICA



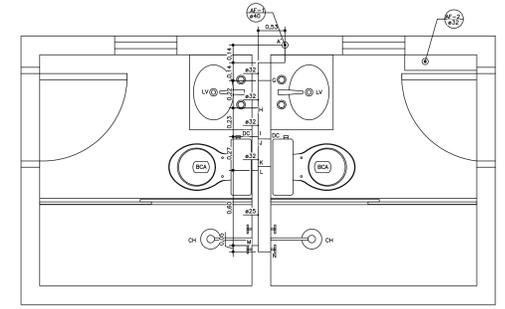
PLANTA BAIXA
ESC. 1:50 PAVIMENTO 1
0 0,5 1 1,5 2 2,5m
ESCALA GRAFICA



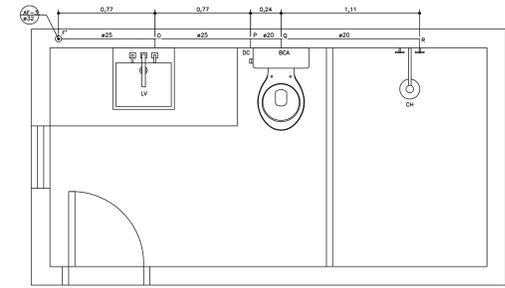
PLANTA BAIXA
ESC. 1:50 CAIXA D'ÁGUA E BARRILETE
0 0,5 1 1,5 2 2,5m
ESCALA GRAFICA



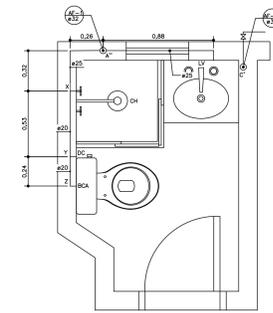
PLANTA BAIXA
ESC. 1:20 COZINHA E ÁREA DE SERVIÇO
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0m
ESCALA GRAFICA



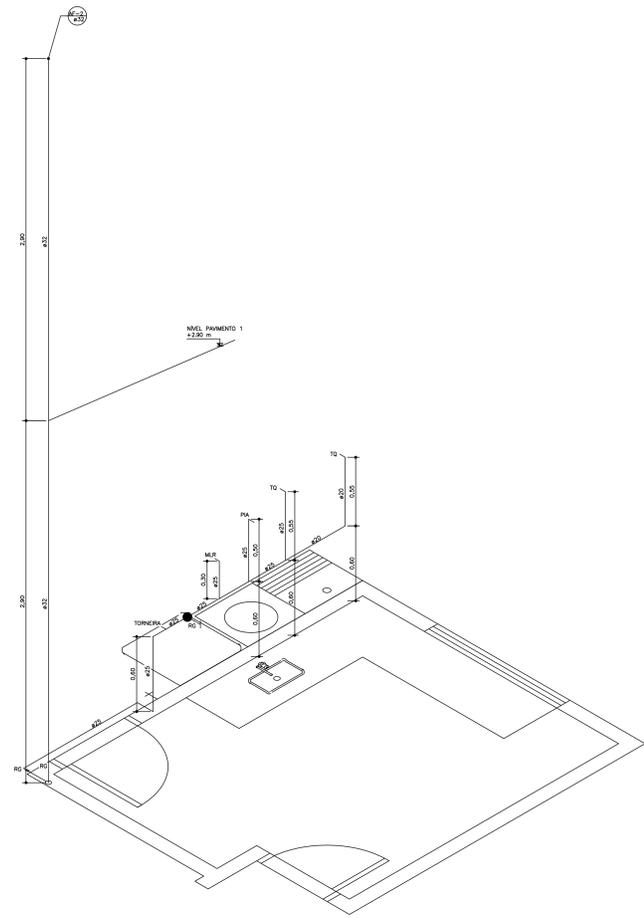
PLANTA BAIXA
ESC. 1:20 BANHO SUITE 1 E 3
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0m
ESCALA GRAFICA



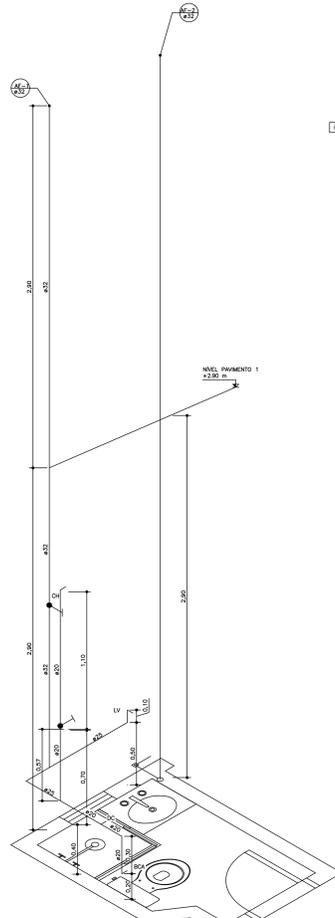
PLANTA BAIXA
ESC. 1:20 BANHO SUITE 2
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0m
ESCALA GRAFICA



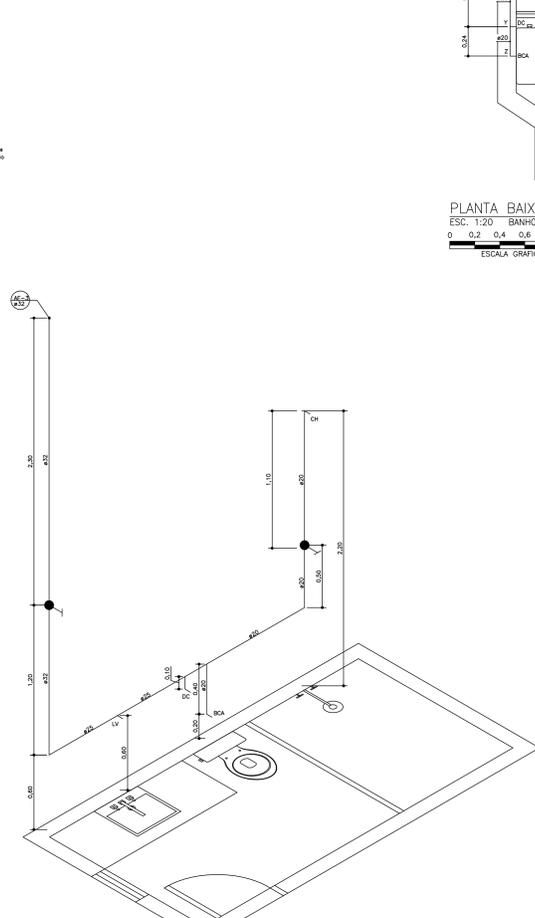
PLANTA BAIXA
ESC. 1:20 BANHO 1
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0m
ESCALA GRAFICA



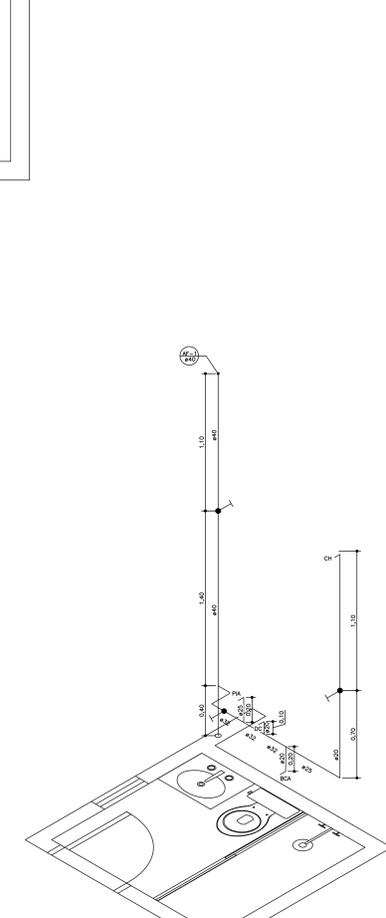
DETALHE ISOMÉTRICO
ESC. 1:20 COZINHA E ÁREA DE SERVIÇO
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0m
ESCALA GRAFICA



DETALHE ISOMÉTRICO
ESC. 1:20 BANHO 1
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0m
ESCALA GRAFICA



DETALHE ISOMÉTRICO
ESC. 1:20 BANHO SUITE 1 E 3
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0m
ESCALA GRAFICA



DETALHE ISOMÉTRICO
ESC. 1:20 BANHO SUITE 2
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0m
ESCALA GRAFICA

LEGENDA	
—	TUBULAÇÃO ÁGUA FRIA
ØXX	DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO
DC	DUCHA HIGIENICA
CH	CHUVEIRO
LV	LAVATÓRIO
BCA	BACIA SANITÁRIA
MLR	MAQUINA DE LAVAR ROUPA
PIA	PIA
RC	REGISTRO
T.J	TORNEIRA DE JARDIM
TO	TANQUE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS		
AUTOR DO PROJETO	ENZO ACRA HATISUKA MARANI	MATRICULA 201420847
ORIENTADOR	MICHAEL SILVEIRA THEBALDI	
DISCIPLINA	PRO 331 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC	
TÍTULO	PROJETO DE ENGENHAMENTO DAS INSTALAÇÕES HIDROSANITÁRIAS	
DATA	01 DE NOVEMBRO DE 2019	
CONTEÚDO	PLANTAS BAIXA DAS INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA, DETALHES ISOMÉTRICOS E LEGENDA	FOLHA 01/01

APÊNDICE B – Dimensionamento pelo método do Consumo Máximo Provável

Quadro A1 – Dimensionamento dos Barriletes, colunas e ramais do Banheiro da suíte 1 e 3 pelo método C.M.Pr.

Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga							
	Trecho	Dispositivos	ΣP	Q (L/s)	Q (m³/s)	Dn (mm)	Di (mm)	Di (m)	A (m²)	V(m/s)	L real (m)	Peças especiais	L equivalente (m)	L virtual (m)	hf registro de pressão (m)	hf (m.c.a.)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão (m.c.a.)
Barrilete	D - B	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC, TJ, MLR, Pia, 2 Tq	5,9	0,7287	0,0007287	40	35,2	0,0352	0,000973	0,75	1,07	Entrada de borda, curva 90°	3,50	4,57	0,00	0,10	0,10	2,40
Barrilete - Coluna A	B - A'	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC	2,4	0,4648	0,0004648	40	35,2	0,0352	0,000973	0,48	3,69	Tê de saída bi-lateral, curva 90°, registro de gaveta	9,20	12,89	0,00	0,13	0,22	2,28
Dimensionamento Ramais de Distribuição											Perda de Carga							
Banho suíte 1 e 3	A' -G	2 Lv, 2 BCA, 2 Ch, 2 DC	1,6	0,38	0,000379	32	27,8	0,0278	0,000607	0,63	1,07	Registro de gaveta, 2 curvas de 90°, 2 Tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	13,17	14,24	0,00	0,30	0,52	4,28
	G-H	Lv, 2 BCA, 2 Ch, 2 DC	1,3	0,34	0,000342	32	27,8	0,0278	0,000607	0,56	0,82	Joelho 90°	2,00	2,82	0,00	0,05	0,57	4,23
	H-I	2 BCA, 2 Ch, 2 DC	1	0,30	0,000300	32	27,8	0,0278	0,000607	0,49	0,73	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	6,60	7,33	0,00	0,10	0,67	4,23
	I-J	2 BCA, 2 Ch, DC	0,9	0,28	0,000285	32	27,8	0,0278	0,000607	0,47	0,52	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	6,60	7,12	0,00	0,09	0,76	4,14
	J-K	2 BCA, 2 Ch	0,8	0,27	0,000268	32	27,8	0,0278	0,000607	0,44	0,42	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	6,60	7,02	0,00	0,08	0,84	4,36
	K-L	BCA, 2 Ch	0,5	0,21	0,000212	25	21,6	0,0216	0,000366	0,58	0,23	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	4,73	4,96	0,00	0,12	0,97	4,23
	L-M	2 Ch	0,2	0,13	0,000134	25	21,6	0,0216	0,000366	0,37	2,80	Tê de saída bi-lateral, Registro de pressão, joelho 90°	4,60	7,40	0,27	0,35	1,32	1,88
	M-N	Ch	0,1	0,09	0,000095	25	21,6	0,0216	0,000366	0,26	2,25	Curva 90°, registro de pressão, joelho 90°	2,10	4,35	0,13	0,16	1,48	1,72

Quadro A2 – Dimensionamento dos Barriletes, colunas e ramais do Banheiro 1 pelo método C.M.Pr.

Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga							
Trecho	Dispositivos	ΣP	Q (L/s)	Q (m ³ /s)	Dn (mm)	Di (mm)	Di (m)	A (m ²)	V(m/s)	L real (m)	Peças especiais	L equivalente (m)	L virtual (m)	hf registro de pressão (m)	hf (m.c.a.)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão	
Barrilete	D - B	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC, TJ, MLR, Pia, 2 Tq	5,9	0,7287	0,0007287	40	35,2	0,0352	0,000973	0,75	1,07	Entrada de borda, curva 90°	3,50	4,57	0,00	0,10	0,10	2,40
Barrilete - Coluna A	B - A'	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC	2,4	0,4648	0,0004648	40	35,2	0,0352	0,000973	0,48	3,69	Tê de saída bi-lateral, curva 90°, registro de gaveta	9,20	12,89	0,00	0,13	0,22	2,28
Coluna A	A' - A''	Lv, BCA, Ch, DC	0,8	0,2683	0,0002683	32	27,8	0,0278	0,000607	0,44	2,4	Tê de saída bi-lateral, Registro de gaveta, redução	5,17	7,5668	0,00	0,09	0,31	5,09
Dimensionamento Ramais de Distribuição											Perda de Carga							
Banho 1	A''- Lv	Lv	0,3	0,16	0,000164	25	21,6	0,0216	0,000366	0,45	0,98	Registro de gaveta, Tê de saída bi-leteral, curva 90°, joelho 90°, redução	5,63	6,61	0,00	0,11	0,41	7,29
	A''-X	Ch, DC, BCA	0,5	0,21	0,000212	25	21,6	0,0216	0,000366	0,58	2,28	Registro de gaveta, Registro de pressão, 2 Tê de saída bi-lateral, curva 90°, joelho 90°, redução	8,73	11,01	0,67	0,95	1,36	4,74
	X-Y	DC, BCA	0,4	0,19	0,000190	20	17	0,017	0,000227	0,84	0,53	Tê saída bi-lateral, joelho 90°, redução	3,70	4,23	0,00	0,27	1,63	6,17
	Y-Z	BCA	0,3	0,16	0,000164	20	17	0,017	0,000227	0,72	0,54	Curva 90°, joelho 90°	1,70	2,24	0,00	0,11	1,74	6,36

Quadro A3 – Dimensionamento dos Barriletes, colunas e ramais da cozinha e área de serviço pelo método C.M.Pr.

Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga							
Trecho	Dispositivos	ΣP	Q (L/s)	Q (m ³ /s)	Dn (mm)	Di (mm)	Di (m)	A (m ²)	V(m/s)	L real (m)	Peças especiais	L equivalente (m)	L virtual (m)	hf registro de pressão (m)	hf (m.c.a.)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão	
Barrilete	D - B	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC, TJ, MLR, Pia, 2 Tq	5,9	0,7287	0,0007287	40	35,2	0,0352	0,000973	0,75	1,07	Entrada de borda, curva 90°	3,50	4,57	0,00	0,10	0,10	2,40
Barrilete - Coluna C	B - C'	TJ, MLR, Pia, 2 Tq	3,5	0,5612	0,0005612	32	27,8	0,0278	0,000607	0,92	7,21	Tê de saída bi-lateral, curva 45°, curva 90°, registro de gaveta, redução	6,37	13,5768	0,00	0,56	0,66	1,84
Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga							
Cozinha e Área de Serviço	C'-S	TJ, MLR, Pia, 2 Tq	3,5	0,56	0,000561	25	21,6	0,0216	0,000366	1,53	2,5	Registro de gaveta, 5 curva 90°, tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	8,03	10,53	0,00	1,45	2,11	5,59
	S-T	MLR, Pia, 2 Tq	3,1	0,53	0,000528	25	21,6	0,0216	0,000366	1,44	0,9	Registro de gaveta, tê de saída bi-lateral, joelho 90°	4,90	5,80	0,00	0,72	2,83	4,57
	T-U	Pia, 2 Tq	2,1	0,43	0,000435	25	21,6	0,0216	0,000366	1,19	0,83	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	4,60	5,43	0,00	0,48	3,30	3,90
	U-V	2 Tq	1,4	0,35	0,000355	25	21,6	0,0216	0,000366	0,97	0,97	joelho 90°	1,50	2,47	0,00	0,15	3,46	3,69
	V-W	Tq	0,7	0,25	0,000251	25	21,6	0,0216	0,000366	0,68	1,23	Tê de saída bi-lateral, curva 90°, joelho 90°	5,20	6,43	0,00	0,22	3,67	3,48

Quadro A4 – Dimensionamento dos Barriletes, colunas e ramais do Banheiro da suíte 2 pelo método C.M.Pr.

Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga							
	Trecho	Dispositivos	ΣP	Q (L/s)	Q (m ³ /s)	Dn (mm)	Di (mm)	Di (m)	A (m ²)	V(m/s)	L real (m)	Peças especiais	L equivalente (m)	L virtual (m)	hf registro de pressão (m)	hf (m.c.a.)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão
Barrilete - Coluna F	E - F'	Lv, BCA, Ch, DC	0,8	0,27	0,000268	32	27,8	0,0278	0,000607	0,44	8,14	Entrada de borda, curva 45°, curva 90°, registro de gaveta	3,40	11,54	0,00	0,13	0,13	2,37
Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga							
Banho suíte 2	F-O	Lv, DC, BCA, Ch	0,8	0,27	0,000268	25	21,6	0,0216	0,000366	0,73	0,77	Registro de gaveta, curva de 90°, tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	5,63	6,40	0,00	0,24	0,37	4,43
	O-P	DC, BCA, Ch	0,5	0,21	0,000212	25	21,6	0,0216	0,000366	0,58	0,87	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	4,60	5,47	0,00	0,14	0,51	4,39
	P-Q	BCA, Ch	0,4	0,19	0,000190	20	17	0,017	0,000227	0,84	0,64	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	3,70	4,34	0,00	0,28	0,79	4,41
	Q-R	Ch	0,1	0,09	0,000095	20	17	0,017	0,000227	0,42	2,71	Curva de 90°, Registro de pressão, joelho 90°	1,70	4,41	0,35	0,43	1,22	1,98

APÊNDICE C – Dimensionamento pelo método do Consumo Máximo Possível

Quadro A5 – Dimensionamento dos Barriletes, colunas e ramais do Banheiro da suíte 1 e 3 pelo método C.M.Po.

Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga								
Trecho	Dispositivos	Q (L/s)	Q (m³/s)	Nº de tubos de 20 com a mesma capacidade	Dn estimado (mm)	Dn adotado (mm)	Di (mm)	Di (m)	A (m²)	V(m/s)	L real (m)	Peças especiais	L equivalente (m)	L virtual (m)	hf registro de pressão (m)	hf (m.c.a.)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão	
Barrilete	D - B	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC, TJ, MLR, Pia, 2 Tq	2,75	0,00275	24,6	60	60	53,4	0,0534	0,00223961	1,23	1,07	Entrada de borda, curva 90°	4,70	5,77	0,00	0,17	0,17	2,33
Barrilete - Coluna A	B - A'	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC	1,50	0,0015	12	50	60	53,4	0,0534	0,002240	0,67	3,69	Tê de saída bi-lateral, curva 90°, registro de gaveta	10,10	13,79	0,00	0,14	0,32	2,18
Dimensionamento Ramais de Distribuição											Perda de Carga								
Banho suíte 1 e 3	A' -G	2 Lv, 2 BCA, 2 Ch, 2 DC	1,00	0,00100	8,00	40	50	44	0,044	0,001521	0,66	1,07	Registro de gaveta, 2 curvas de 90°, 2 Tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	22,26	23,33	0,00	0,30	0,62	4,18
	G-H	Lv, 2 BCA, 2 Ch, 2 DC	0,85	0,00085	7,00	40	40	35,2	0,0352	0,000973	0,87	0,82	Joelho 90°, redução	3,41	4,23	0,00	0,12	0,74	4,06
	H-I	2 BCA, 2 Ch, 2 DC	0,70	0,00070	6,00	32	40	35,2	0,0352	0,000973	0,72	0,73	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	10,50	11,23	0,00	0,22	0,96	3,94
	I-J	2 BCA, 2 Ch, DC	0,60	0,00060	5,00	32	40	35,2	0,0352	0,000973	0,62	0,52	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	10,50	11,02	0,00	0,17	1,13	3,77
	J-K	2 BCA, 2 Ch	0,50	0,00050	4,00	32	32	27,8	0,0278	0,000607	0,82	0,42	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	6,77	7,19	0,00	0,24	1,37	3,83
	K-L	BCA, 2 Ch	0,35	0,00035	3,00	32	32	27,8	0,0278	0,000607	0,58	0,23	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	6,60	6,83	0,00	0,12	1,49	3,71
	L-M	2 Ch	0,20	0,00020	2,00	25	32	27,8	0,0278	0,000607	0,33	2,8	Tê de saída bi-lateral, Registro de pressão, joelho 90°	6,60	9,40	0,22	0,28	1,78	1,42
	M-N	Ch	0,10	0,00010	1,00	20	25	21,6	0,0216	0,000366	0,27	2,25	Curva 90°, registro de pressão, joelho 90°, redução	2,23	4,48	0,15	0,18	1,95	1,25

Quadro A6 – Dimensionamento dos Barriletes, colunas e ramais do Banheiro 1 pelo método C.M.Po.

Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga								
Trecho	Dispositivos	Q (L/s)	Q (m³/s)	Nº de tubos de 20 com a mesma capacidade	Dn estimado (mm)	Dn adotado (mm)	Di (mm)	Di (m)	A (m²)	V(m/s)	L real (m)	Peças especiais	L equivalente (m)	L virtual (m)	hf registro de pressão (m)	hf (m.c.a.)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão	
Barrilete	D - B	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC, TJ, MLR, Pia, 2 Tq	2,75	0,00275	24,6	60	60	53,4	0,053	0,0022396	1,23	1,07	Entrada de borda, curva 90°	4,70	5,77	0,00	0,17	0,17	2,33
Barrilete - Coluna A	B - A'	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC	1,50	0,0015	12	50	60	53,4	0,053	0,002240	0,67	3,69	Tê de saída bi-lateral, curva 90°, registro de gaveta	10,10	13,79	0,00	0,14	0,32	2,18
Coluna A	A' - A''	Lv, BCA, Ch, DC	0,50	0,0005	4	32	32	27,8	0,028	0,000607	0,82	2,4	Tê de saída bi-lateral, Registro de gaveta, redução	5,17	7,5668	0,00	0,26	0,57	4,83
Dimensionamento Ramais de Distribuição											Perda de Carga								
Banho 1	A''- Lv	Lv	0,15	0,000150	1	20	25	21,6	0,022	0,000366	0,41	0,98	Registro de gaveta, Tê de saída bi-lateral, curva 90°, joelho 90°, redução	5,63	6,61	0,00	0,09	0,66	7,04
	A''-X	Ch, DC, BCA	0,35	0,000350	3	32	25	21,6	0,022	0,000366	0,96	2,28	Registro de gaveta, Registro de pressão, 2 Tê de saída bi-lateral, curva 90°, joelho 90°. redução	8,73	11,01	1,82	2,49	3,15	2,95
	X-Y	DC, BCA	0,25	0,000250	2	25	20	17	0,017	0,000227	1,10	0,53	Tê saída bi-lateral, joelho 90°, redução	3,70	4,23	0,00	0,44	3,59	4,21
	Y-Z	BCA	0,15	0,000150	1	20	20	17	0,017	0,000227	0,66	0,54	Curva 90°, joelho 90°	1,70	2,24	0,00	0,10	3,69	4,41

Quadro A7 – Dimensionamento dos Barriletes, colunas e ramais da cozinha e área de serviço pelo método C.M.Po.

Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga								
Trecho	Dispositivos	Q (L/s)	Q (m³/s)	Nº de tubos de 20 com a mesma capacidade	Dn estimado (mm)	Dn adotado (mm)	Di (mm)	Di (m)	A (m²)	V(m/s)	L real (m)	Peças especiais	L equivalente (m)	L virtual (m)	hf registro de pressão (m)	hf (m.c.a.)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão	
Barrilete	D - B	3 Lv, 3 BCA, 3 Ch, 3DC, TJ, MLR, Pia, 2 Tq	2,75	0,002750	24,6	60	60	53,4	0,053	0,0022396	1,23	1,07	Entrada de borda, curva 90°	4,70	5,77	0,00	0,17	0,17	2,33
Barrilete - Coluna C	B - C'	TJ, MLR, Pia, 2 Tq	1,25	0,001250	12,6	50	50	44	0,044	0,001521	0,82	7,21	Tê de saída bi-lateral, curva 45°, curva 90°, registro de gaveta, redução	10,66	17,874	0,00	0,34	0,51	1,99
Dimensionamento Ramais de Distribuição											Perda de Carga								
Cozinha e Área de Serviço	C'-S	TJ, MLR, Pia, 2 Tq	1,25	0,001250	12,6	50	40	35,2	0,035	0,000973	1,28	2,5	Registro de gaveta, 5 curva 90°, tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	17,41	19,91	0,00	1,09	1,61	6,09
	S-T	MLR, Pia, 2 Tq	1,05	0,001050	9,7	40	32	27,8	0,028	0,000607	1,73	0,9	Registro de gaveta, tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	7,17	8,07	0,00	1,00	2,61	4,79
	T-U	Pia, 2 Tq	0,75	0,000750	6,8	40	32	27,8	0,028	0,000607	1,24	0,83	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	6,60	7,43	0,00	0,51	3,12	4,08
	U-V	2 Tq	0,50	0,000500	5,8	32	25	21,6	0,022	0,000366	1,36	0,97	joelho 90°, redução	1,63	2,60	0,00	0,29	3,41	3,74
	V-W	Tq	0,25	0,000250	2,9	25	25	21,6	0,022	0,000366	0,68	1,23	Tê de saída bi-lateral, curva 90°, joelho 90°, redução	5,33	6,56	0,00	0,22	3,63	3,52

Quadro A8 – Dimensionamento dos Barriletes, colunas e ramais do Banheiro da suíte 2 pelo método C.M.Po.

Dimensionamento Barrilete e Colunas											Perda de Carga								
Trecho	Dispositivos	Q (L/s)	Q (m³/s)	Nº de tubos de 20 com a mesma capacidade	Dn estimado (mm)	Dn adotado (mm)	Di (mm)	Di (m)	A (m²)	V(m/s)	L real (m)	Peças especiais	L equivalente (m)	L virtual (m)	hf registro de pressão (m)	hf (m.c.a.)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão	
Barrilete - Coluna F	E - F'	Lv, BCA, Ch, DC	0,50	0,000500	4	32	32	27,8	0,028	0,000607	0,82	8,14	Entrada de borda, curva 45°, curva 90°, registro de gaveta	3,40	11,54	0,00	0,39	0,39	2,11
Dimensionamento Ramais de Distribuição											Perda de Carga								
Banho suíte 2	F'-O	Lv, DC, BCA, Ch	0,50	0,000500	4	32	32	27,8	0,028	0,000607	0,82	0,77	Registro de gaveta, curva de 90°, tê de saída bi-lateral, joelho 90°	7,70	8,47	0,00	0,29	0,68	4,12
	O-P	DC, BCA, Ch	0,35	0,000350	3	32	32	27,8	0,028	0,000607	0,58	0,87	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°	6,60	7,47	0,00	0,14	0,81	4,09
	P-Q	BCA, Ch	0,25	0,000250	2	25	25	21,6	0,022	0,000366	0,68	0,64	Tê de saída bi-lateral, joelho 90°, redução	4,73	5,37	0,00	0,18	0,99	4,21
	Q-R	Ch	0,10	0,000100	1	20	20	17	0,017	0,000227	0,44	2,71	Curva de 90°, Registro de pressão, joelho 90°, redução	0,52	3,23	0,39	0,46	1,45	1,75

APÊNDICE D – Método C.M.Pr. com vazões máximas

Tabela A1 – Principais parâmetros de dimensionamento do método C.M.Pr. com as vazões máximas para os banheiros abastecidos pela coluna A.

	Trecho	Q (L/s)	hf Acumulado (m.c.a.)	V(m/s)	Pressão (m.c.a.)
Barrilete	D - B	2,75	1,00	2,83	1,50
Barrilete - Coluna A	B - A'	1,50	1,97	1,54	0,53
Coluna A	A' - A''	0,50	2,23	0,82	3,17
Banheiro Suíte 1 e 3	A' -G	1,00	3,59	1,65	1,21
	G-H	0,85	3,83	1,40	0,97
	H-I	0,70	4,28	1,15	0,62
	I-J	0,60	4,61	0,99	0,29
	J-K	0,50	4,85	0,82	0,35
	K-L	0,35	5,15	0,96	0,05
	L-M	0,20	5,91	0,55	-2,71
	M-N	0,10	6,09	0,27	-2,89
Banheiro 1	A''- Lv	0,15	2,32	0,41	5,38
	A''-X	0,35	4,80	0,96	1,30
	X-Y	0,25	5,24	1,10	2,56
	Y-Z	0,15	5,34	0,66	2,76

Tabela A2 – Principais parâmetros de dimensionamento do método C.M.Pr. com as vazões máximas para a cozinha e área de serviço.

Ramais de Distribuição	Trecho	Q (L/s)	hf Acumulado (m.c.a.)	V(m/s)	Pressão (m.c.a.)
Barrilete - Coluna C	B - C'	1,25	3,28	2,06	-0,78
	C'-S	1,25	9,16	3,41	-1,46
Cozinha e Área de Serviço	S-T	1,05	11,55	2,87	-4,15
	T-U	0,75	12,79	2,05	-5,59
	U-V	0,5	13,07	1,36	-5,92
	V-W	0,25	13,28	0,68	-6,13

Tabela A3 – Principais parâmetros de dimensionamento do método C.M.Pr. com as vazões máximas para o banheiro da suíte 2.

Ramais de Distribuição	Trecho	Q (L/s)	hf Acumulado (m.c.a.)	V(m/s)	Pressão (m.c.a.)
Barrilete - Coluna F	B - C'	0,5	0,39	0,82	2,11
	F'-O	0,5	1,11	1,36	3,69
Banheiro Suíte 2	O-P	0,35	1,44	0,96	3,46
	P-Q	0,25	1,89	1,10	3,31
	Q-R	0,1	2,37	0,44	0,83

APÊNDICE E – Método C.M.Pr. com vazões das hipóteses definidas

Tabela A4 – Comparação entre os principais parâmetros de dimensionamento do método C.M.Pr. com as vazões da hipótese 1.

Ramais de Distribuição	Trecho	Hipótese 1			Consumo Máximo Provável			Porcentagem de Variação
		Q (L/s)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão Hipótese 1	Q (L/s)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão C.M.Pr.	
Barrilete	D - B	1,01	0,17	2,33	0,729	0,1	2,4	3,03%
Barrilete - Coluna A	B - A'	0,73	0,45	2,05	0,465	0,22	2,28	10,17%
Coluna A	A' - A''	0,35	0,59	4,81	0,268	0,31	5,09	5,50%
Banheiro Suíte 1 e 3	A' -G	0,55	1,03	3,77	0,38	0,52	4,28	11,93%
	G-H	0,51	1,13	3,67	0,34	0,57	4,23	13,27%
	H-I	0,47	1,35	3,55	0,3	0,67	4,23	16,14%
	I-J	0,45	1,55	3,35	0,28	0,76	4,14	19,18%
	J-K	0,43	1,74	3,46	0,27	0,84	4,36	20,61%
	K-L	0,36	2,06	3,14	0,21	0,97	4,23	25,73%
	L-M	0,20	2,82	0,38	0,13	1,32	1,88	79,87%
	M-N	0,10	3,00	0,20	0,09	1,48	1,72	88,36%
Banheiro 1	A'' - Lv	0,16	0,70	7,00	0,16	0,41	7,29	3,92%
	A''-X	0,29	2,42	3,68	0,21	1,36	4,74	22,41%
	X-Y	0,19	2,69	5,11	0,19	1,63	6,17	17,25%
	Y-Z	0,16	2,81	5,29	0,16	1,74	6,36	16,76%

Tabela A5 – Comparação entre os principais parâmetros de dimensionamento do método C.M.Pr. com as vazões da hipótese 2.

Ramais de Distribuição	Trecho	Hipótese 2			Consumo Máximo Provável			Porcentagem de Variação
		Q (L/s)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão Hipótese 2	Q (L/s)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão C.M.Pr.	
Barrilete - Coluna C	B - C'	1,10	2,12	0,38	0,561	0,660	1,840	79,55%
Cozinha e Área de Serviço	C'-S	1,10	6,86	0,84	0,56	2,11	5,59	84,99%
	S-T	0,90	8,70	-1,30	0,53	2,83	4,57	128,47%
	T-U	0,60	9,55	-2,35	0,43	3,3	3,9	160,32%
	U-V	0,35	9,70	-2,55	0,35	3,46	3,69	169,23%
	V-W	0,25	9,92	-2,77	0,25	3,67	3,48	179,63%

Tabela A6 – Comparação entre os principais parâmetros de dimensionamento do método C.M.Pr. com as vazões da hipótese 3.

Ramais de Distribuição	Trecho	Hipótese 3			Consumo Máximo Provável			Porcentagem de Variação
		Q (L/s)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão Hipótese 3	Q (L/s)	hf Acumulado (m.c.a.)	Pressão C.M.Pr.	
Barrilete - Coluna C	B - C'	0,952	1,64	0,86	0,561	0,660	1,840	53,39%
	C'-S	0,952	5,30	2,40	0,56	2,11	5,59	56,99%
Cozinha e Área de Serviço	S-T	0,905	7,14	0,26	0,53	2,83	4,57	94,22%
	T-U	0,605	7,99	-0,79	0,43	3,3	3,9	120,18%
	U-V	0,501	8,27	-1,12	0,35	3,46	3,69	130,23%
	V-W	0,250	8,48	-1,33	0,25	3,67	3,48	138,22%