

DIMENSIONAMENTO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA FRIA: ESTUDO COMPARATIVO UTILIZANDO A DETERMINAÇÃO DE VAZÕES POR MEIO DO MÉTODO DA RAIZ QUADRADA E MÉTODO PROBABILÍSTICO BINOMIAL

Sizing cold water plumbing supply systems: comparative study using flow determination through the square root and binomial probabilistic methods

Armando Traini Ferreira ¹, Pedro Thomaz Gonzales Viviani ²,
Tatiane Sakamoto Santos ³, Ricardo Prado Abreu Reis ⁴



PALAVRAS CHAVE:

Dimensionamento;
Água fria;
Barrilete;
Vazão;
Modelo binomial;
Método da raiz quadrada;

KEYWORDS:

Plumbing sizing;
Cold water;
Water supply;
Flow rate;
Square root model;
Binomial model.

RESUMO: Para o dimensionamento das redes de distribuição em sistemas prediais de água fria podem ser utilizados diversos métodos de determinação de vazão. No Brasil a norma NBR 5626 (ABNT, 2020) é responsável por estabelecer critérios metodológicos e recomendações a respeito do dimensionamento desses componentes do sistema. A norma citada não mais recomenda um método empírico para o cálculo dos diâmetros das tubulações da rede de distribuição, como ocorria na sua versão anterior NBR 5626 (ABNT, 1998), abrindo, assim, a possibilidade para a utilização de diferentes métodos de dimensionamento desses sistemas. O modelo binomial é uma alternativa ao método da raiz quadrada, tradicionalmente utilizado pelos projetistas no Brasil. No barrilete tem-se as maiores concentrações de vazões conduzidas pela tubulação de distribuição em uma edificação e, também, as menores pressões de distribuição. Assim, essa parte da instalação é uma das mais solicitadas e devem ser dimensionadas para que todos os pontos de utilização de água da edificação possuam pressões e vazões adequadas aos seus usos finais. Portanto, nestes trechos encontram-se os maiores diâmetros, sendo reforçado pelo fato de que a tubulação de montante sempre deve possuir diâmetro maior ou igual à tubulação de jusante. Considerando esta situação, este trabalho apresenta um estudo comparativo entre os diâmetros do barrilete de uma rede de distribuição de água fria de uma residência unifamiliar quando dimensionada utilizando o procedimento tradicionalmente utilizado - método do somatório dos pesos (método da raiz quadrada) e um método probabilístico que se baseia no modelo binomial. Os resultados mostram diferenças entre as vazões de projeto determinadas pelos diferentes métodos que podem resultar em melhores ajustes nos dimensionamentos especificações dos componentes hidráulicos do sistema predial de água fria.

ABSTRACT: *To sizing cold water plumbing supply systems several methods of flow determination can be used. In Brazil, the standard NBR 5626 (ABNT, 2020) is responsible for establishing methodological criteria and recommendations regarding the design of these facilities components. The cited standard no longer recommends an empirical method for calculating the diameters of the water supply distribution pipes, as occurred in its previous version NBR 5626 (ABNT, 1998). In this way, the updated version of the standard makes it possible to use numerous different methods for sizing these systems. The binomial probabilistic model for determining the flow rates in water supply pipes is an alternative to the square root method, traditionally used by designers in Brazil. In water supply distribution pipes, positioned just below the reservoir, there are the highest concentrations of flows rates and, also, the lowest distribution pressures. Thus, this part of the water supply system is one of the most requested and must be sized so that all water use points have pressures and flows adequate to its final uses. Therefore, these pipeline section have the largest diameters, reinforced by the fact that the upstream pipe must always have a diameter greater or equal to the downstream pipe. Considering this situation, this paper presents a comparison between the flows rates and diameters of a water supply distribution pipelines of a single-family residence, when dimensioned using the procedure traditionally used in Brazil, called square root method, and a probabilistic method, which is based on the binomial model. The results show differences between the design flows rates determined by the different methods. This can result in better adjustments in the in the sizing and specifications of the plumbing components of the cold water supply distribution system.*

* Contato com os autores:

Publicado em 27 de dezembro de 2022

¹ e-mail: traini@ifsp.edu.br (A. T. Ferreira)

Eng. Civil, Dr. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)

² e-mail: pedro.t@aluno.ifsp.edu.br (P. T. G. Viviani)

Graduando em engenharia civil, Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)

³ e-mail: tatiane_ssantos@hotmail.com (T. S. Santos)

Graduanda em engenharia civil, Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)

⁴ e-mail: ricardo_reis@ufg.br (R. P. A. Reis)

Eng. Civil, Dr. Prof. do Prog. de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Const. Civil da Univ. Federal de Goiás (PPG-GECON/UFG)

1. INTRODUÇÃO

Um sistema de distribuição predial de água fria, segundo NBR 5626 (ABNT, 2020), tem como função “conduzir água fria da fonte de abastecimento ou reservação aos pontos de utilização”. O dimensionamento correto de todos os componentes do Sistema Predial de Água Fria (SPAF) é muito importante, visto que, a quantidade adequada de água, nos pontos de utilização, garante a qualidade do abastecimento e de operação destes pontos conforme a necessidade dos seus usos finais. Sendo assim, as vazões de projeto, consideradas para o dimensionamento da tubulação, têm influência direta no desempenho final do SPAF durante ocupação. O método da raiz quadrada, originalmente desenvolvido na Alemanha, é o método mais tradicionalmente utilizado no Brasil para a determinação das vazões de projeto nos trechos da rede de distribuição de água, pois era recomendado pela versão anterior da NBR 5626 (ABNT, 1998). Destaca-se que a versão atual da NBR 5626 (ABNT, 2020) não estipula uma metodologia específica para a determinação destas vazões, ficando a cargo do projetista definir o método mais adequado para a determinação das vazões de projeto.

Assim, o dimensionamento das tubulações de distribuição de água fria em uma edificação pode ser feito por meio de diferentes metodologias. O principal desafio para um dimensionamento eficiente é determinação de vazões de projeto que representem com maior fidelidade as vazões que ocorrem durante a utilização da rede no período pós-ocupação. Segundo as pesquisas desenvolvidas por Petrucci e Gonçalves (2002); Ilha, Oliveira e Gonçalves (2010), Ilha, Oliveira e Gonçalves (2008) e Amorim e Campos (2020), fica claro que um bom ajuste das vazões de projeto possibilita a definição de diâmetros mais adequados para as redes de distribuição de água e especificações de componentes do SPAF mais bem ajustados (bombas de recalque, medidores de consumo, válvulas redutoras de pressão, reservatórios de armazenamento de água, etc.).

A determinação da vazão de projeto pode ser feita, segundo Gonçalves e Graça (1987), através de dois principais métodos, os métodos empíricos e métodos probabilísticos. Métodos empíricos são métodos que utilizam modelos e medições tomadas empiricamente para determinar índices e parâmetros utilizados na determinação da vazão de projeto. Métodos probabilísticos são métodos que utilizam ferramentas probabilísticas para determinar a vazão de projeto. Além disso, atualmente, também são citados modelos de determinação de vazões de projeto por meio de simulações computacionais (FERREIRA, 2018).

O método da raiz quadrada, recomendado na versão anterior da NBR 5626 (ABNT, 1998), é considerado um método empírico e teve seu princípio de desenvolvimento na metade do século XX (FERREIRA, 2018). As simplificações adotadas pelo método do somatório das raízes se limitavam as pesquisas de perfil de consumo elaboradas na época e na limitação dos modelos computacionais para a realização de cálculos mais complexos e precisos. Sendo assim, a busca por alternativas para a determinação mais precisas das vazões de projeto, em tubulações do sistema predial, se tornaram necessárias na busca de metodologias mais criteriosas de dimensionamento, que representem cenários de concepção mais próximos das vazões reais de operação.

O modelo binomial foi proposto por Roy B. Hunter em 1940 como um modelo simples para determinação da probabilidade de uso simultâneo de diferentes conjuntos de aparelhos hidráulicos, partindo da probabilidade de uso individual de cada aparelho. O modelo binomial se trata de um modelo que trabalha com distribuições discretas. Sendo assim, sua aplicação para determinação das vazões de projeto, se torna simples.

Segundo Ferreira (2018), vários pesquisadores propuseram abordagens tendo como objetivo a evolução deste método: (1) Konen e Brady Jr (1974) realizaram revisões e concluíram que “a frequência de

uso é o parâmetro mais crítico na formulação”; (2) Gonçalves (1986) adotou as variáveis propostas por Hunter como aleatórias e utilizou a função Beta-binomial para determinação do número provável de aparelhos sanitários em uso simultâneo dentro de um intervalo de pico de utilização; (3) Mazumdar, Jaman e Das (2014) ajustaram os parâmetros das curvas desenvolvidas por Hunter para considerar aparelhos economizadores de água.

Assim, o estudo de modelos de determinação de vazões de projeto baseados em formulações estatísticas que utilizam de dados atuais e reais de consumo de água, além do comportamento temporal de consumo dos usuários é relevante e de grande importância, e pode contribuir para auxiliar e incentivar a busca por metodologias mais precisas e adequadas aos perfis de usos finais de água em uma edificação.

2. OBJETIVO

Este trabalho apresenta um estudo comparativo da concepção de trechos de uma rede de distribuição dimensionadas com vazões de projeto determinadas empregando-se o método probabilístico, desenvolvido por Gonçalves (1986), e pelo método do somatório das raízes, recomendado pela versão anterior da NBR 5626 (ABNT, 1998).

3. METODOLOGIA

Este trabalho desenvolve um estudo comparativo entre dimensionamentos de trechos de ramais de distribuição de um sistema predial de água fria e, para isso, utiliza a metodologia do somatório das raízes quadradas, recomendado pela NBR 5626 (ABNT, 1998), e a metodologia baseada no modelo binomial para a determinação das vazões de projeto desenvolvida por Gonçalves (1986).

O desenvolvimento do estudo comparativo partiu da determinação das necessidades de uma residência unifamiliar modelo, definida para este estudo. Assim, traçou-se três configurações distintas de lançamento dos ramais de distribuição de água fria para os pontos de consumo. As diferentes configurações foram dimensionadas utilizando-se vazões determinadas pelos dois métodos abordados neste estudo (método da raiz quadrada e método binomial). Em seguida, os diâmetros dos trechos que compõem os barriletes de distribuição de água fria de cada configuração foram comparados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Para a avaliação comparativa da influência do uso dos diferentes métodos de determinação de vazões de projeto, na determinação dos diâmetros atribuídos para as tubulações dos ramais de um SPAF, foi definida uma residência unifamiliar como cenário modelo para o estudo (Figuras 1 e 2). Em complementação, o perfil de consumo de água considerado no estudo foi o monitorado de uma família real, composta por dois adultos e uma criança.

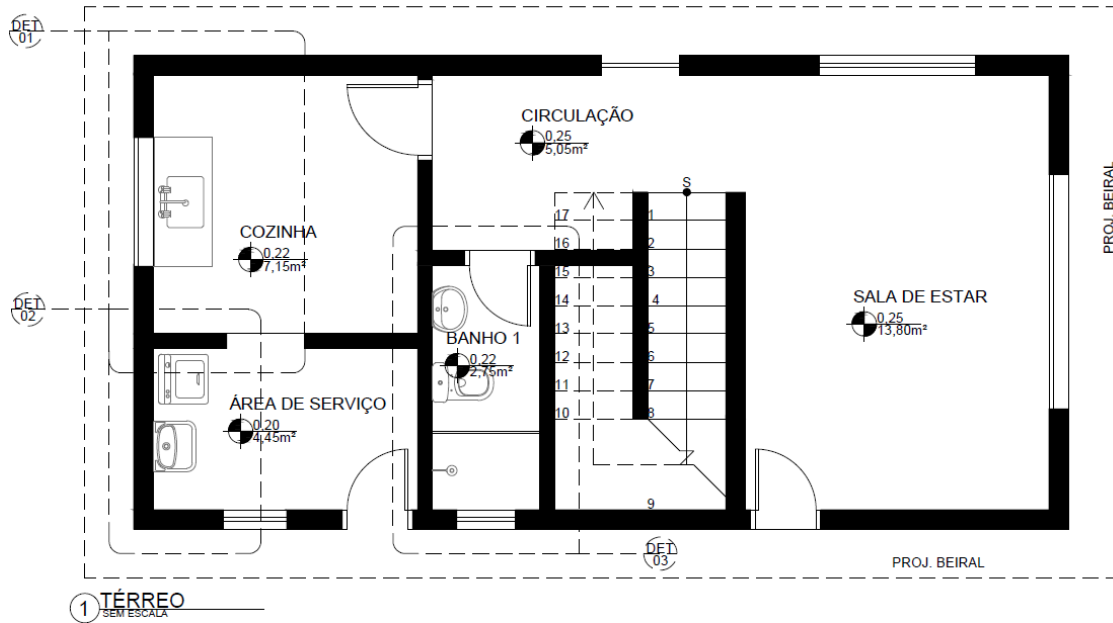


FIGURA 1: Planta pavimento térreo. **FONTE:** Autoria própria (2022).

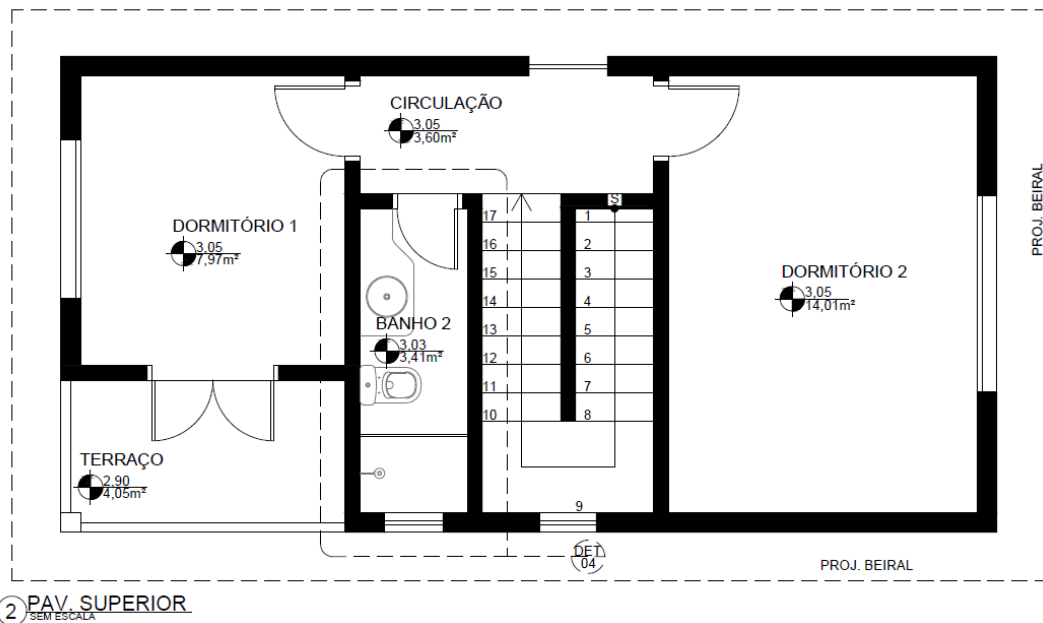


FIGURA 2: Planta pavimento superior. **FONTE:** Autoria própria (2022).

Para analisar o efeito das diferentes metodologias aplicadas na determinação das vazões de projeto, foram criadas três configurações distintas de caminhos para a tubulação de distribuição, onde foram alterados apenas os trechos próximos ao barrilete. Assim, é possível verificar a diferença dos diâmetros quando a tubulação alimenta diferentes conjuntos de aparelhos e ambientes sanitários. Os trajetos das tubulações analisadas estão ilustrados nas Figuras 3 a 5.

3.2 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO UTILIZANDO O MÉTODO DA RAÍZ QUADRADA

Segundo Oliveira (2010), na maioria das vezes, a determinação das vazões em projetos hidrossanitários é realizada utilizando-se o método da raiz quadrada, também conhecido como somatório dos pesos relativos. Este método tem como facilidade a utilização de tabelas pré-definidas contendo pesos e vazões unitárias dos aparelhos hidráulicos (torneiras, chuveiros, pias, etc.), porém, muitas vezes as informações não são compatíveis com os componentes hidráulicos utilizados (considerando aparelhos economizadores ou, também, componentes que demandam vazões mais elevadas que os convencionais) e, também, não leva em consideração os hábitos e perfis de consumo dos usuários. Os valores recomendados na NBR 5626 (ABNT, 1998) e utilizados neste estudo, são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Pesos relativos recomendados pela NBR 5626 (ABNT, 1998).

| Aparelho Hidráulico | Peso relativo | Vazão Unitária (L.s-1) |
|---|---------------|------------------------|
| Bacia Sanitária com caixa acoplada (BS) | 0,3 | 0,15 |
| Pia de cozinha (PIA) | 0,7 | 0,25 |
| Torneira de Lavatório (LV) | 0,3 | 0,15 |
| Torneira de Tanque (TQ) | 0,7 | 0,25 |
| Máquinas de Lavar (MQ) | 1,0 | 0,30 |
| Chuveiro elétrico (CH) | 0,1 | 0,10 |

FORNTE: NBR 5626 (ABNT, 1998).

Neste cenário de estudo, o dimensionamento da tubulação foi feito somando-se os pesos atribuídos a cada ponto de utilização dos ambientes sanitários que influenciam na contribuição de vazão de cada trecho dimensionado. Assim, por meio da equação da continuidade, Equação 1, (Azevedo, 1998), se obtém os diâmetros de cada trecho, conforme Equação 1, ajustando os diâmetros de forma que não resultem em grandes perdas de carga nas tubulações e acabem afetando o desempenho de utilização nos pontos de consumo. Os ajustes de diâmetros estabelecidos no projeto, foram realizados de tal forma que as pressões nos pontos críticos de consumo fossem iguais ou superiores a 1,0 m.c.a., conforme estabelece a NBR 5626 (ABNT, 2020).

$$Q = v \cdot A \rightarrow D = \sqrt{\left(\frac{Q}{v} \cdot 4\pi\right)} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

Q = Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$);

A = Área da seção do tubo onde passa a vazão Q (m^2);

v = Velocidade do fluido ($m \cdot s^{-1}$);

D = diâmetro interno da seção (m).

As perdas de carga unitárias (J) foram calculadas, trecho a trecho, utilizando-se a equação de Fair-Whipple-Hsiao (Equação 2). Utilizou-se como critério para a determinação dos diâmetros internos um limite máximo de 10% (0,01 m.c.a./m) de perda de carga unitária.

$$J = 8,69 \cdot 10^{-4} \cdot Q^{1,75} \cdot D_{\text{int}}^{-4,75} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

J = perda de carga unitária ($m.c.a. \cdot m^{-1}$)

Q = Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$)

D_{int} = diâmetro interno da seção (m)

A perda de carga total (ΔH) foi definida conforme Equação 3, considerando-se a perda de carga unitária (J) multiplicada pelo comprimento virtual (L_v), composto pelo comprimento real dos trechos (L_r) somado aos comprimentos equivalentes nas singularidades (L_{eq}).

$$\Delta H = J \cdot L_v \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

ΔH = perda de carga total (m.c.a.)

J = perda de carga unitária (m.c.a. m^{-1})

L_v = Comprimento virtual (m)

Tirando a determinação das vazões, este procedimento foi adotado para o dimensionamento de todos os trechos dos cenários de estudo.

Quanto a pressão, foi adotada pressão inicial equivalente a 1,0 m.c.a., considerando 1,0 m de desnível inicial. Esse valor foi adotado para eliminar valores de pressão negativos no primeiro trecho da tubulação.

O item seguinte mostra o procedimento metodológico adotado para a determinação das vazões de projeto utilizando-se o modelo binomial.

3.3 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO UTILIZANDO O MODELO BINOMIAL.

O dimensionamento utilizando o modelo binomial parte das probabilidades de uso individual de cada equipamento. Essa probabilidade pode ser obtida por meio da razão do tempo de funcionamento do equipamento hidráulico (t) e do intervalo entre os seus usos (T), conforme Equação 4, GONÇALVES e GRAÇA (1987).

$$p_i = \frac{t_i}{T_i} \quad \text{Eq. [4]}$$

Em que:

p = probabilidade de uso do equipamento i ;

t = tempo de funcionamento (s);

T = Intervalo entre os usos (s).

O intervalo entre os usos T pode ser obtido seguindo a formulação proposta por Gonçalves e Graça (1987), conforme Equação 5.

$$T_i = \frac{n \cdot t_p}{u \cdot P} \quad \text{Eq. [5]}$$

Em que:

T_i = Intervalo entre os usos (s/uso);

n = número de aparelhos considerados;

t_p = período de pico (s);

u = número de usos per capita de cada equipamento no período de pico (uso/hab);

P = população atendida no período de pico (hab).

Para a obtenção dos parâmetros de entrada, o perfil de consumo de água de uma família foi medido em uma residência real. Assim, o tempo de funcionamento de cada equipamento hidráulico (t) foi medido empiricamente durante dez dias. As medições foram realizadas por meio do acionamento de cronômetros durante cada uso dos aparelhos hidráulicos. O valor utilizado no dimensionamento foi determinado por meio da média dos valores registrados. Os valores médios medidos são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2: Medias dos tempos de funcionamento registrados (s).

| Medida | BS | PI | LV | TQ | MQ | CH |
|------------|-------|------|--------|------|------|------|
| 09/09/2019 | 42,47 | 900 | 14,32 | 900 | 3600 | 900 |
| 10/09/2019 | 40,96 | 840 | 10,4 | 870 | 0 | 600 |
| 11/09/2019 | 41,89 | 960 | 14,01 | 600 | 0 | 1500 |
| 12/09/2019 | 41,73 | 1080 | 10,67 | 480 | 6900 | 1800 |
| 13/09/2019 | 40,85 | 840 | 9,87 | 300 | 0 | 600 |
| 14/09/2019 | 40,77 | 240 | 10,01 | 120 | 0 | 900 |
| 15/09/2019 | 42,56 | 960 | 9,53 | 1260 | 0 | 900 |
| 16/09/2019 | 40,65 | 960 | 8,98 | 720 | 1500 | 600 |
| 17/09/2019 | 40,95 | 1020 | 10,91 | 300 | 0 | 480 |
| 18/09/2019 | 42,67 | 1200 | 10,35 | 450 | 0 | 720 |
| Média (t) | 41,55 | 900 | 10,905 | 600 | 1200 | 900 |

Legenda: BS = bacia sanitária, PI = pia de cozinha, LV = lavatório, TQ = tanque, MQ = máquina de lavar e CH = chuveiro.

FONTE: Autoria própria (2022).

A partir dos dados registrados de uso dos equipamentos hidráulicos, foi possível determinar por meio da Equação 5 os intervalos entre os usos de cada equipamento (T). A Tabela 3 apresenta todos os dados utilizados para determinar os intervalos utilizados para determinar a probabilidade de uso individual de cada equipamento.

TABELA 3: Dados para determinação intervalo entre os usos (s).

| Var. | BS | PI | LV | TQ | MQ | CH |
|------|------|------|------|------|------|------|
| tp | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 |
| u | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| P | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| n | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| T | 1200 | 1800 | 600 | 3600 | 3600 | 1200 |

Legenda:

BS = bacia sanitária, PI = pia de cozinha, LV = lavatório, TQ = tanque, MQ = máquina de lavar e CH = chuveiro

tp = intervalo de pico (s), u = número de usos per capita de cada equipamento no período de pico (usos/hab.),

P = população atendida no período de pico (hab), n = número de aparelhos considerados; T = Intervalo entre os usos (s/uso).

FONTE: Autoria própria (2022).

Por meio dos parâmetros de tempo de funcionamento do equipamento hidráulico (t) e do intervalo entre os seus usos (T), calculou-se as probabilidades de uso individual de cada equipamento (p). As vazões dos equipamentos hidráulicos foram consideradas conforme vazões unitárias estabelecidas pela NBR 5626 (ABNT, 1998). Os parâmetros para o dimensionamento dos sistemas com o modelo binomial estão apresentados e resumidos na Tabela 4.

TABELA 4: Resumo dos parâmetros utilizados nas determinações das vazões de projeto utilizando-se o modelo probabilístico binomial.

| Var. | BS | PI | LV | TQ | MQ | CH |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| t | 41,55 | 900 | 10,905 | 600 | 1200 | 900 |
| T | 1200 | 1800 | 600 | 3600 | 3600 | 1200 |
| p | 0,0346 | 0,5000 | 0,0182 | 0,1667 | 0,3333 | 0,7500 |
| Q | 0,15 | 0,25 | 0,15 | 0,25 | 0,30 | 0,10 |

Legenda:

BS = bacia sanitária, PI = pia de cozinha, LV = lavatório, TQ = tanque, MQ = máquina de lavar e CH = chuveiro

t = tempo de funcionamento (s); T = intervalo entre os usos (s/uso); p = probabilidade de uso do equipamento i;

Q = vazão unitária (L/s)

FONTE: Autoria própria (2022).

Para o dimensionamento de redes de distribuição predial de água fria deve-se considerar o uso simultâneo de diferentes conjuntos de equipamentos sanitários. Sendo assim, a partir das probabilidades de uso individual de cada equipamento hidráulico é possível determinar a probabilidade de uso de um conjunto de aparelhos sanitários com a aplicação da formulação do modelo binomial, Magalhães, (2011). Conforme Equação 6, com o modelo binomial é possível determinar a probabilidade de uso de equipamentos em um conjunto total de equipamentos iguais, com probabilidade de uso individual.

$$P(X = k_i) = \binom{n_i}{k_i} \cdot p_i^{k_i} \cdot (1-p_i)^{n_i-k_i} \quad \text{Eq. [6]}$$

Em que:

$P(X = K_i)$ = Probabilidade de uso simultâneo de k equipamentos em um conjunto de n equipamentos;

p = probabilidade individual do equipamento;

k = número de aparelhos em uso simultâneo;

n = conjunto de aparelhos;

i = representa o tipo de aparelho sanitário.

Aplicando as formulações apresentadas foi possível determinar a probabilidade de uso simultâneo de diferentes conjuntos aparelhos sanitários. A partir dessa probabilidade pode-se determinar um parâmetro (S) para selecionar as combinações entre os aparelhos conforme a probabilidade de ocorrência e definir os horários de pico de consumo. Com as combinações selecionadas, obtém-se os parâmetros necessários para a determinação das vazões de projeto sendo possível dimensionar os diâmetros das tubulações de forma a atender o conjunto de aparelhos que em uso simultâneo. Essa vazão consiste no principal parâmetro de projeto que define a comparação entre o dimensionamento realizado por meio do método da raiz quadrada. Sendo o procedimento de determinação de diâmetros, perdas de carga e pressões similares aos apresentados nos itens anteriores.

O parâmetro (S) definido para selecionar os conjuntos de aparelhos sanitários neste trabalho foi 1%. Desta forma, o trecho de tubulação foi dimensionado para atender a situação de uso simultâneo de equipamentos sanitários que apresentem a maior vazão com probabilidade de uso simultâneo superior a 0,01, ou seja, fator de falha inferior a 1%.

3.4 SOFTWARE PARA GERAR AS COMBINAÇÕES ENTRE OS EQUIPAMENTOS.

Observando a Equação 6 é possível perceber que quanto maior o número “ i ” de equipamentos sanitários, maior o número de combinações possíveis para verificar a probabilidade de ocorrência. Sendo assim, para esse trabalho foi desenvolvido um programa de computador para gerar todas as combinações entre os aparelhos sanitários dados como entrada. Dentro das combinações geradas o programa verifica a probabilidade de ocorrência de cada uma, seleciona as combinações com probabilidade de ocorrência maior que o parâmetro (S) fornecido e dentro dessa seleção, retorna a situação com maior vazão, fornecendo a vazão de projeto para dimensionamento do tubo, conforme Equação 1. O funcionamento do programa está esquematizado na Figura 6.

O programa foi desenvolvido na linguagem Python e foi utilizada apenas a biblioteca padrão da linguagem. Para a escrita do código, foi utilizado a versão gratuita do aplicativo PyCharm 2019.1.13.

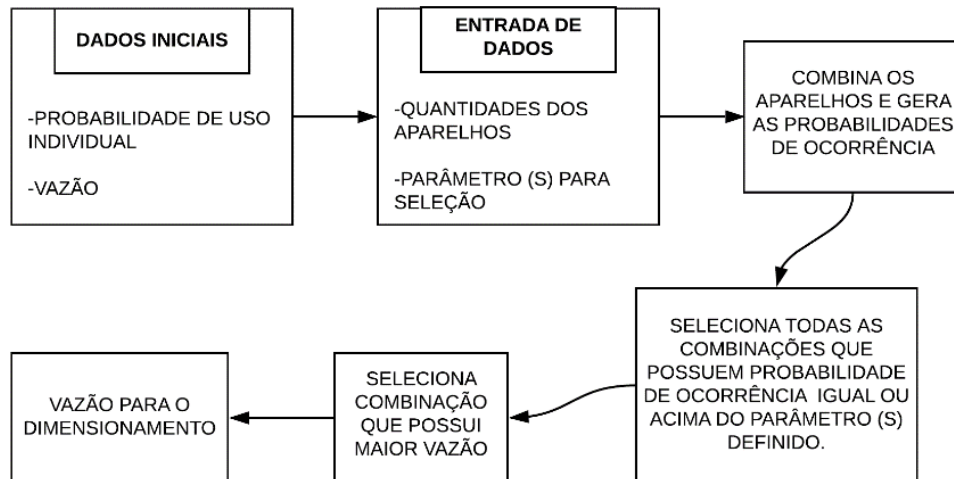


FIGURA 6: Esquema de funcionamento do programa desenvolvido.

FONTE: Autoria própria (2022).

Conforme esquematizado na Figura 6, o programa desenvolvido em Python seguiu 6 etapas para determinar a vazão de projeto pelo método binomial. A primeira etapa consiste na elaboração de um banco de dados, portanto são armazenadas as vazões medidas *in loco* e a probabilidade de uso individual de cada equipamento, aplicando a Equação 4 e a Equação 5 com utilização do tempo de funcionamento de cada equipamento, também coletado *in loco*. A segunda etapa é caracterizada pelo *input* de dados, é necessário informar a quantidades de aparelhos da residência e o parâmetro (S), que previamente foi apresentado como 1%. Na terceira etapa o programa aplica a Equação 6 gerando as probabilidades de ocorrência para cada equipamento. Logo, as etapas seguintes consistem na seleção das combinações mais coerentes, ou seja, na quarta etapa é aplicada uma função condicional, para qual somente as combinações com probabilidade igual ou maior a 1% são escolhidas e as demais são descartadas. Na sequência, quinta etapa, é aplicada uma função de máximo valor, que seleciona o maior valor dentro da lista criada na etapa anterior. Por fim, a última etapa apresenta ao usuário, por meio de uma função *print*, a vazão selecionada na etapa anterior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados apresentados no item de metodologia foi feito o dimensionamento dos três cenários de distribuição predial considerando-se as duas metodologias de determinação de vazão de projeto.

A Tabela 5 apresenta o dimensionamento da tubulação apresentada no Cenário 1 (Figura 3) utilizando o método da raiz quadrada. A Tabela 6 apresenta os pesos considerados em cada trecho. A Tabela 7 apresenta o dimensionamento do mesmo Cenário 1 empregando a metodologia que se apoia no modelo binomial.

TABELA 5: Dimensionamento do Cenário 1 utilizando-se o método da raiz quadrada para a determinação das vazões de projeto.

| DIMENSIONAMENTO NBR ISSO 01 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|-----|--------|------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------|-------------------|-----------------|--------------------|-----------|---------|-----------------------|----------------------|
| TRECHO | | USO | Vazão | Velocidade | D _{MONTANTE} | D _{ADOT.} | D _{INTADOT} | Comprim. Horiz. | DIF.COTA | L _{REAL} | L _{EQ} | L _{TOTAL} | J | ΔH | P _{MONTANTE} | P _{JUSANTE} |
| MONTANTE | JUSANTE | | Q[L/s] | [m/s] | [mm] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m.c.a/m] | [m.c.a] | [m.c.a.] | [m.c.a.] |
| A | B | NS | 0,42 | 2,00 | | 32 | 27,8 | 1,50 | 1,60 | 3,10 | 6,3 | 9,4 | 0,03 | 0,24 | 0 | 1,36 |
| B | C | NS | 0,30 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 0,00 | 2,90 | 2,90 | 3,3 | 6,2 | 0,05 | 0,30 | 1,36 | 3,96 |
| C | CH1 | NS | 0,19 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,40 | -1,90 | 2,30 | 17,3 | 19,6 | 0,02 | 0,43 | 3,96 | 1,63 |
| C | D | NS | 0,23 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,60 | 0,00 | 0,60 | 2,4 | 3 | 0,10 | 0,29 | 3,96 | 3,67 |
| D | VS1 | NS | 0,16 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,19 | 3,67 | 3,38 |
| D | LV1 | NS | 0,16 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 1,00 | -0,50 | 1,50 | 4,8 | 6,3 | 0,05 | 0,32 | 3,67 | 2,85 |
| B | E | NS | 0,30 | 2,00 | 32,00 | 32 | 27,8 | 0,70 | 5,90 | 6,60 | 4,3 | 10,9 | 0,02 | 0,16 | 1,36 | 7,10 |
| E | CH2 | NS | 0,19 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 0,10 | -1,90 | 2,00 | 15,8 | 17,8 | 0,02 | 0,39 | 3,67 | 1,38 |
| E | F | NS | 0,23 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,90 | 0,00 | 0,90 | 2,4 | 3,3 | 0,10 | 0,31 | 3,67 | 3,36 |
| F | VS2 | NS | 0,16 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,19 | 3,67 | 3,38 |
| F | LV2 | NS | 0,16 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,85 | -0,50 | 1,35 | 4,8 | 6,15 | 0,05 | 0,31 | 3,67 | 2,86 |
| G | H | NS | 0,46 | 2,00 | 32,00 | 32 | 27,8 | 1,45 | 5,90 | 7,35 | 4,3 | 11,65 | 0,03 | 0,36 | 3,67 | 9,21 |
| H | PI | NS | 0,25 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 1,68 | 1,10 | 2,78 | 9,3 | 12,08 | 0,04 | 0,42 | 3,67 | 4,35 |
| H | I | NS | 0,39 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,14 | 1,60 | 1,74 | 6,3 | 8,04 | 0,08 | 0,62 | 3,36 | 4,34 |
| I | MQ | NS | 0,30 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,00 | -0,50 | 0,50 | 4,6 | 5,1 | 0,05 | 0,24 | 3,36 | 2,62 |
| I | TQ | NS | 0,25 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,69 | -0,90 | 1,59 | 6,1 | 7,69 | 0,04 | 0,27 | 4,34 | 3,17 |

FONTE: Autoria própria (2022).

TABELA 6: Somatório de pesos considerados em cada trecho do Cenário 1 para a determinação das vazões de projeto, conforme NBR 5626 (ABNT, 1998).

| PESOS DIMENSIONAMENTO NBR ISSO 01 | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|-------------|------|-----|----------|----|----|--------|---|
| TRECHO | | QUANTIDADES | | | | | | | LEGENDA |
| MONTANTE | JUSANTE | BSCD | BSVD | CHD | MLL/ MLR | LV | TE | Pia/TQ | |
| A | B | 2 | | 2 | | 2 | | | BSCD: Bacia sanitária com caixa de descarga |
| B | C | 1 | | 1 | | 1 | | | BSVD: Bacia sanitária com válvula de descarga |
| C | CH1 | | | 1 | | | | | CHD: Chuveiro ou ducha |
| C | D | 1 | | | | 1 | | | MLL/ MLR: Máquina de lavar louça ou roupa |
| D | VS1 | 1 | | | | | | | LV: Lavatório |
| D | LV1 | | | | | 1 | | | TE: Torneira elétrica |
| B | E | 1 | | 1 | | 1 | | | Pia: Pia (cozinha) |
| E | CH2 | | | 1 | | | | | TQ: Tanque |
| E | F | 1 | | | | 1 | | | |
| F | VS2 | 1 | | | | | | | |
| F | LV2 | | | | | 1 | | | |
| G | H | | | | 1 | | | 2 | |
| H | PI | | | | | | | 1 | |
| H | I | | | | 1 | | | 1 | |
| I | MQ | | | | 1 | | | | |
| I | TQ | | | | | | | 1 | |

FONTE: Autoria própria (2022).

TABELA 7: Dimensionamento do Cenário 1 utilizando-se o método probabilístico binomial para a determinação das vazões de projeto.

| DIMENSIONAMENTO BIONOMIAL ISO 01 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------|-----|--------|------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------|-------------------|-----------------|--------------------|------|-----------|-----------------------|----------------------|
| TRECHO | | USO | Vazão | Velocidade | D _{MONTANTE} | D _{ADOT.} | D _{INTADOT} | Comprim. Horiz. | DIF.COTA | L _{REAL} | L _{EQ} | L _{TOTAL} | J | ΔH | P _{MONTANTE} | P _{JUSANTE} |
| MONTANTE | JUSANTE | | Q[L/s] | [m/s] | [mm] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m.c.a/m] | [m.c.a] | [m.c.a.] |
| A | B | NS | 0,35 | 2,00 | | 25 | 21,6 | 1,50 | 1,60 | 3,10 | 4,7 | 7,8 | 0,06 | 0,49 | 0 | 1,11 |
| B | C | NS | 0,25 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,00 | 2,90 | 2,90 | 3,3 | 6,2 | 0,04 | 0,22 | 1,11 | 3,79 |
| C | CH1 | NS | 0,10 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,40 | -1,90 | 2,30 | 17,3 | 19,6 | 0,01 | 0,14 | 3,79 | 1,75 |
| C | D | NS | 0,15 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,60 | 0,00 | 0,60 | 2,4 | 3 | 0,05 | 0,14 | 3,79 | 3,65 |
| D | VS1 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,17 | 3,65 | 3,38 |
| D | LV1 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 1,00 | -0,50 | 1,50 | 4,8 | 6,3 | 0,05 | 0,28 | 3,65 | 2,87 |
| B | E | NS | 0,25 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,70 | 5,90 | 6,60 | 3,2 | 9,8 | 0,04 | 0,34 | 1,11 | 6,67 |
| E | CH2 | NS | 0,10 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17 | 0,10 | -1,90 | 2,00 | 14,7 | 16,7 | 0,02 | 0,37 | 3,65 | 1,38 |
| E | F | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,90 | 0,00 | 0,90 | 2,4 | 3,3 | 0,05 | 0,15 | 3,65 | 3,50 |
| F | VS2 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,17 | 3,65 | 3,38 |
| F | LV2 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,85 | -0,50 | 1,35 | 4,8 | 6,15 | 0,05 | 0,28 | 3,65 | 2,87 |
| G | H | NS | 0,55 | 2,00 | 32,00 | 32 | 27,8 | 1,45 | 5,90 | 7,35 | 4,3 | 11,65 | 0,04 | 0,49 | 3,65 | 9,06 |
| H | PI | NS | 0,25 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 1,68 | 1,10 | 2,78 | 9,3 | 12,08 | 0,04 | 0,42 | 3,65 | 4,33 |
| H | I | NS | 0,30 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,14 | 1,60 | 1,74 | 6,3 | 8,04 | 0,05 | 0,39 | 3,5 | 4,71 |
| I | MQ | NS | 0,30 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,00 | -0,50 | 0,50 | 4,6 | 5,1 | 0,05 | 0,24 | 3,5 | 2,76 |
| I | TQ | NS | 0,25 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,69 | -0,90 | 1,59 | 6,1 | 7,69 | 0,04 | 0,27 | 4,71 | 3,54 |

FONTE: Autoria própria (2022).

Observa-se uma redução dos diâmetros no barrilete quando utilizado o método binomial, pois houve uma redução na vazão de projeto se comparado com o método da raiz quadra.

Por outro lado, a maior pressão, em ambas as simulações, ficou praticamente constante (4,35 m.c.a para o método da raiz quadra e 4,33 m.c.a. para o método binomial). Por meio da comparação dos cálculos, também notou-se que no ramal que contém o chuveiro, no dimensionamento realizado considerando as vazões determinadas pelo método binomial, apresentou uma maior pressão (1,75 m.c.a.) quando comparado com o método da raiz quadrada (1,63 m.c.a.).

A Tabela 8 apresenta o dimensionamento da tubulação, apresentada no Cenário 2 (Figura 4) utilizando o método da raiz quadrada. A Tabela 9 apresenta os pesos considerados em cada trecho. A Tabela 10 apresenta o dimensionamento do mesmo Cenário 2 utilizando a metodologia que se apoia no modelo binomial.

TABELA 8: Dimensionamento do Cenário 2 utilizando-se o método da raiz quadra para a determinação das vazões de projeto.

| DIMENSIONAMENTO NBR ISSO 02 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|-----|--------|------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|----------|-------------------|-----------------|--------------------|-----------|---------|-----------------------|----------------------|
| TRECHO | | USO | Vazão | Velocidade | D _{MONTANTE} | D _{ADOT.} | D _{INTADOT.} | Comprim. Horiz. | DIF.COTA | L _{REAL} | L _{EQ} | L _{TOTAL} | J | ΔH | P _{MONTANTE} | P _{JUSANTE} |
| MONTANTE | JUSANTE | | Q[L/s] | [m/s] | [mm] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m.c.a/m] | [m.c.a] | [m.c.a.] | [m.c.a.] |
| A | B | NS | 0,63 | 2,00 | | 32 | 27,8 | 0,35 | 1,00 | 1,35 | 2,3 | 3,65 | 0,05 | 0,20 | 0 | 0,80 |
| B | C | NS | 0,42 | 2,00 | 32,00 | 32 | 27,8 | 1,16 | 0,00 | 1,16 | 6,6 | 7,76 | 0,03 | 0,20 | 0,80 | 0,60 |
| C | D | NS | 0,30 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 0,00 | 3,50 | 3,50 | 3,3 | 6,8 | 0,05 | 0,33 | 0,60 | 3,77 |
| D | E | NS | 0,23 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,60 | 0,00 | 0,60 | 2,4 | 3 | 0,10 | 0,29 | 3,77 | 3,48 |
| E | LV1 | NS | 0,16 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 1,00 | -0,50 | 1,50 | 4,8 | 6,3 | 0,05 | 0,32 | 3,48 | 2,66 |
| E | VS1 | NS | 0,16 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,19 | 3,48 | 3,19 |
| D | CH1 | NS | 0,19 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,60 | 0,40 | -1,90 | 2,30 | 17,3 | 19,6 | 0,02 | 0,43 | 3,77 | 1,44 |
| C | F | NS | 0,30 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 0,70 | 6,50 | 7,20 | 6,3 | 13,5 | 0,05 | 0,65 | 0,60 | 6,45 |
| F | G | NS | 0,23 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,90 | 0,00 | 0,90 | 2,4 | 3,3 | 0,10 | 0,31 | 3,48 | 3,17 |
| G | LV2 | NS | 0,16 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,85 | -0,50 | 1,35 | 4,8 | 6,15 | 0,05 | 0,31 | 3,48 | 2,67 |
| G | VS2 | NS | 0,16 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,19 | 3,48 | 3,19 |
| F | CH2 | NS | 0,19 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,10 | -1,90 | 2,00 | 15,8 | 17,8 | 0,02 | 0,39 | 3,48 | 1,19 |
| B | H | NS | 0,46 | 2,00 | 32,00 | 32 | 27,8 | 2,74 | 4,90 | 7,64 | 8,6 | 16,24 | 0,03 | 0,50 | 0,80 | 5,20 |
| H | I | NS | 0,39 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,34 | 1,60 | 1,94 | 6,3 | 8,24 | 0,08 | 0,63 | 3,17 | 4,14 |
| I | TQ | NS | 0,25 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,79 | -0,90 | 1,69 | 6,1 | 7,79 | 0,04 | 0,27 | 3,17 | 2,00 |
| I | MQ | NS | 0,30 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,10 | -0,50 | 0,60 | 4,6 | 5,2 | 0,05 | 0,25 | 4,14 | 3,39 |
| H | PI | NS | 0,25 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 2,32 | 1,10 | 3,42 | 9,3 | 12,72 | 0,04 | 0,45 | 5,2 | 5,85 |

FONTE: Autoria própria (2022).

TABELA 9: Somatório de pesos considerados em cada trecho do Cenário 2 para a determinação das vazões de projeto, conforme NBR 5626 (ABNT, 1998).

| PESOS DIMENSIONAMENTO NBR ISSO 02 | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|-------------|------|-----|----------|----|----|--------|---|
| TRECHO | | QUANTIDADES | | | | | | | LEGENDA |
| MONTANTE | JUSANTE | BSCD | BSVD | CHD | MLL/ MLR | LV | TE | Pia/TQ | |
| A | B | 2 | | 2 | 1 | 2 | | 2 | BSCD: Bacia sanitária com caixa de descarga |
| B | C | 2 | | 2 | | 2 | | | BSVD: Bacia sanitária com válvula de descarga |
| C | D | 1 | | 1 | | 1 | | | CHD: Chuveiro ou ducha |
| D | E | 1 | | | | 1 | | | MLL/ MLR: Máquina de lavar louça ou roupa |
| E | LV1 | | | | | 1 | | | LV: Lavatório |
| E | VS1 | 1 | | | | | | | TE: Torneira elétrica |
| D | CH1 | | | 1 | | | | | Pia: Pia (cozinha) |
| C | F | 1 | | 1 | | 1 | | | TQ: Tanque |
| F | G | 1 | | | | 1 | | | |
| G | LV2 | | | | | 1 | | | |
| G | VS2 | | | | | 1 | | | |
| F | CH2 | | | 1 | | | | | |
| B | H | | | | 1 | | | 2 | |
| H | I | | | | 1 | | | 1 | |
| I | TQ | | | | | | | 1 | |
| I | MQ | | | | 1 | | | | |
| H | PI | | | | | | | 1 | |

FONTE: Autoria própria (2022).

TABELA 10: Dimensionamento do Cenário 2 utilizando-se o método probabilístico binomial para a determinação das vazões de projeto.

| DIMENSIONAMENTO BINOMIAL ISO 02 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|-----|--------|------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------|-------------------|-----------------|--------------------|------|-----------|-----------------------|----------------------|
| TRECHO | | USO | Vazão | Velocidade | D _{MONTANTE} | D _{ADOT.} | D _{INTADOT} | Comprim. Horiz. | DIF.COTA | L _{REAL} | L _{EQ} | L _{TOTAL} | J | ΔH | P _{MONTANTE} | P _{JUSANTE} |
| MONTANTE | JUSANTE | | Q[L/s] | [m/s] | [mm] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m.c.a/m] | [m.c.a] | [m.c.a.] |
| A | B | NS | 0,70 | 2,00 | | 32 | 27,8 | 0,35 | 1,00 | 1,35 | 2,3 | 3,65 | 0,06 | 0,23 | 0 | 0,77 |
| B | C | NS | 0,35 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 1,16 | 0,00 | 1,16 | 4,6 | 5,76 | 0,06 | 0,36 | 0,77 | 0,41 |
| C | D | NS | 0,25 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,00 | 3,50 | 3,50 | 3,3 | 6,8 | 0,04 | 0,24 | 0,41 | 3,67 |
| D | E | NS | 0,15 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,60 | 0,00 | 0,60 | 2,4 | 3 | 0,05 | 0,14 | 3,67 | 3,53 |
| E | LV1 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 1,00 | -0,50 | 1,50 | 4,8 | 6,3 | 0,05 | 0,28 | 3,53 | 2,75 |
| E | VS1 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,17 | 3,53 | 3,26 |
| D | CH1 | NS | 0,10 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17 | 0,40 | -1,90 | 2,30 | 15,9 | 18,2 | 0,02 | 0,40 | 3,67 | 1,37 |
| C | F | NS | 0,25 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 0,70 | 6,50 | 7,20 | 6,3 | 13,5 | 0,04 | 0,47 | 0,41 | 6,44 |
| F | G | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,90 | 0,00 | 0,90 | 2,4 | 3,3 | 0,05 | 0,15 | 3,53 | 3,38 |
| G | LV2 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,85 | -0,50 | 1,35 | 4,8 | 6,15 | 0,05 | 0,28 | 3,53 | 2,75 |
| G | VS2 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,17 | 3,53 | 3,26 |
| F | CH2 | NS | 0,10 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -1,90 | 2,00 | 14,7 | 16,7 | 0,02 | 0,37 | 3,53 | 1,26 |
| B | H | NS | 0,55 | 2,00 | 32,00 | 32 | 27,8 | 2,74 | 4,90 | 7,64 | 8,6 | 16,24 | 0,04 | 0,68 | 0,77 | 4,99 |
| H | I | NS | 0,30 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,34 | 1,60 | 1,94 | 6,3 | 8,24 | 0,05 | 0,40 | 3,38 | 4,58 |
| I | TQ | NS | 0,25 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,79 | -0,90 | 1,69 | 6,1 | 7,79 | 0,04 | 0,27 | 3,38 | 2,21 |
| I | MQ | NS | 0,30 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,10 | -0,50 | 0,60 | 4,6 | 5,2 | 0,05 | 0,25 | 4,58 | 3,83 |
| H | PI | NS | 0,25 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 2,32 | 1,10 | 3,42 | 9,3 | 12,72 | 0,04 | 0,45 | 4,99 | 5,64 |

FONTE: Autoria própria (2022).

No Cenário 2, observa-se que os diâmetros no barrilete (trecho A-B) se manteve em 32mm, quando utilizado ambos os métodos com velocidade de 2,0 m/s e perda de carga unitário menor que 0,1 m.c.a./m ($J \leq 10\%$).

Por outro lado, a maior pressão, verificou-se no dimensionamento considerando-se o método da raiz quadrada (5,85 m.c.a) em comparação com o método binomial (5,64 m.c.a.). Notou-se que no trecho que contém o chuveiro, o Método Binomial apresentou uma menor pressão (1,37 m.c.a.) quando comparado com o Método NBR (1,44 m.c.a.).

A Tabela 11 apresenta o dimensionamento do Cenário 3 (Figura 5) utilizando-se a metodologia da raiz quadrada, a Tabela 12 apresenta os pesos considerados em cada trecho e a Tabela 13 apresenta o dimensionamento do mesmo cenário de estudo utilizando-se a metodologia que se apoia no modelo binomial.

TABELA 11: Dimensionamento do Cenário 3 utilizando-se o método da raiz quadra para a determinação das vazões de projeto.

| DIMENSIONAMENTO NBR ISSO 03 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|-----|--------|------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------|-------------------|-----------------|--------------------|------|-----------|-----------------------|----------------------|
| TRECHO | | USO | Vazão | Velocidade | D _{MONTANTE} | D _{ADOT.} | D _{INTADOT} | Comprim. Horiz. | DIF.COTA | L _{REAL} | L _{EQ} | L _{TOTAL} | J | ΔH | P _{MONTANTE} | P _{JUSANTE} |
| MONTANTE | JUSANTE | | Q[L/s] | [m/s] | [mm] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m.c.a/m] | [m.c.a] | [m.c.a.] |
| A | B | NS | 0,63 | 2,00 | | 40 | 35,2 | 0,99 | 1,00 | 1,99 | 6,8 | 8,79 | 0,02 | 0,15 | 0 | 0,85 |
| B | C | NS | 0,30 | 2,00 | 40,00 | 25 | 21,6 | 1,01 | 3,50 | 4,51 | 4,8 | 9,31 | 0,05 | 0,45 | 0,85 | 3,90 |
| C | D | NS | 0,23 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,60 | 0,00 | 0,60 | 3,1 | 3,7 | 0,03 | 0,11 | 3,9 | 3,79 |
| D | LV1 | NS | 0,16 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 1,00 | -0,50 | 1,50 | 4,8 | 6,3 | 0,05 | 0,32 | 3,79 | 2,97 |
| D | VS1 | NS | 0,16 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,19 | 3,79 | 3,50 |
| C | CH1 | NS | 0,19 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,40 | -1,90 | 2,30 | 17,3 | 19,6 | 0,02 | 0,43 | 3,9 | 1,57 |
| B | E | NS | 0,55 | 2,00 | 40,00 | 32 | 27,8 | 0,50 | 0,00 | 0,50 | 4,6 | 5,1 | 0,04 | 0,21 | 0,85 | 0,64 |
| E | F | NS | 0,30 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 1,21 | 6,50 | 7,71 | 6,3 | 14,01 | 0,05 | 0,67 | 3,79 | 9,62 |
| F | G | NS | 0,23 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,90 | 0,00 | 0,90 | 2,4 | 3,3 | 0,10 | 0,31 | 3,79 | 3,48 |
| G | LV2 | NS | 0,16 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,85 | -0,50 | 1,35 | 4,8 | 6,15 | 0,05 | 0,31 | 3,79 | 2,98 |
| F | VS2 | NS | 0,16 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,19 | 3,79 | 3,50 |
| G | CH2 | NS | 0,19 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -1,90 | 2,00 | 14,7 | 16,7 | 0,07 | 1,14 | 9,62 | 6,58 |
| E | H | NS | 0,46 | 2,00 | 32,00 | 32 | 27,8 | 2,39 | 4,90 | 7,29 | 8,6 | 15,89 | 0,03 | 0,49 | 0,64 | 5,05 |
| H | I | NS | 0,39 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,34 | 1,60 | 1,94 | 6,3 | 8,24 | 0,08 | 0,63 | 3,48 | 4,45 |
| I | TQ | NS | 0,25 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,79 | -0,90 | 1,69 | 6,1 | 7,79 | 0,04 | 0,27 | 3,48 | 2,31 |
| I | MQ | NS | 0,30 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,10 | -0,50 | 0,60 | 4,6 | 5,2 | 0,05 | 0,25 | 4,45 | 3,70 |
| H | PI | NS | 0,25 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 2,32 | 1,10 | 3,42 | 9,3 | 12,72 | 0,04 | 0,45 | 5,05 | 5,70 |

FONTE: Autoria própria (2022).

TABELA 12: Somatório de pesos considerados em cada trecho do Cenário 3 para a determinação das vazões de projeto, conforme NBR 5626 (ABNT, 1998).

| PESOS DIMENSIONAMENTO NBR ISSO 03 | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|-------------|------|-----|----------|----|----|--------|---|
| TRECHO | | QUANTIDADES | | | | | | | LEGENDA |
| MONTANTE | JUSANTE | BSCD | BSVD | CHD | MLL/ MLR | LV | TE | Pia/TQ | |
| A | B | 2 | | 2 | 1 | 2 | | 2 | BSCD: Bacia sanitária com caixa de descarga |
| B | C | 1 | | 1 | | 1 | | | BSVD: Bacia sanitária com válvula de descarga |
| C | D | 1 | | | | 1 | | | CHD: Chuveiro ou ducha |
| D | LV1 | | | | | 1 | | | MLL/ MLR: Máquina de lavar louça ou roupa |
| D | VS1 | 1 | | | | | | | LV: Lavatório |
| C | CH1 | | | 1 | | | | | TE: Torneira elétrica |
| B | E | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 2 | Pia: Pia (cozinha) |
| E | F | 1 | | 1 | | 1 | | | TQ: Tanque |
| F | G | 1 | | | | 1 | | | |
| G | LV2 | | | | | 1 | | | |
| G | VS2 | 1 | | | | | | | |
| F | CH2 | | | 1 | | | | | |
| E | H | | | | 1 | | | 2 | |
| H | I | | | | 1 | | | 1 | |
| I | TQ | | | | | | | 1 | |
| I | MQ | | | | 1 | | | | |
| H | PI | | | | | | | 1 | |

FONTE: Autoria própria (2022).

TABELA 13: Dimensionamento do Cenário 3 utilizando-se o método probabilístico binomial para a determinação das vazões de projeto.

| DIMENSIONAMENTO BINOMIAL ISO 03 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|-----|--------|------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------|-------------------|-----------------|--------------------|------|-----------|-----------------------|----------------------|
| TRECHO | | USO | Vazão | Velocidade | D _{MONTANTE} | D _{ADOT.} | D _{INTADOT} | Comprim. Horiz. | DIF.COTA | L _{REAL} | L _{EQ} | L _{TOTAL} | J | ΔH | P _{MONTANTE} | P _{JUSANTE} |
| MONTANTE | JUSANTE | | Q[L/s] | [m/s] | [mm] | [mm] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m.c.a/m] | [m.c.a] | [m.c.a.] |
| A | B | NS | 0,70 | 2,00 | | 40 | 35,2 | 0,99 | 1,00 | 1,99 | 6,8 | 8,79 | 0,02 | 0,18 | 0 | 0,82 |
| B | C | NS | 0,25 | 2,00 | 40,00 | 25 | 21,6 | 1,01 | 3,50 | 4,51 | 4,8 | 9,31 | 0,04 | 0,33 | 0,82 | 3,99 |
| C | D | NS | 0,15 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,60 | 0,00 | 0,60 | 2,4 | 3 | 0,05 | 0,14 | 3,99 | 3,85 |
| D | LV1 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 1,00 | -0,50 | 1,50 | 4,8 | 6,3 | 0,05 | 0,28 | 3,85 | 3,07 |
| D | VS1 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,17 | 3,85 | 3,58 |
| C | CH1 | NS | 0,10 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,40 | -1,90 | 2,30 | 15,9 | 18,2 | 0,02 | 0,40 | 3,99 | 1,69 |
| B | E | NS | 0,60 | 2,00 | 40,00 | 32 | 27,8 | 0,50 | 0,00 | 0,50 | 4,6 | 5,1 | 0,05 | 0,25 | 0,82 | 0,57 |
| E | F | NS | 0,25 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 1,21 | 6,50 | 7,71 | 6,3 | 14,01 | 0,04 | 0,49 | 3,85 | 9,86 |
| F | G | NS | 0,15 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,90 | 0,00 | 0,90 | 2,4 | 3,3 | 0,05 | 0,15 | 3,85 | 3,70 |
| G | LV2 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,85 | -0,50 | 1,35 | 4,8 | 6,15 | 0,05 | 0,28 | 3,85 | 3,07 |
| G | VS2 | NS | 0,15 | 2,00 | 20,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -0,10 | 0,20 | 3,6 | 3,8 | 0,05 | 0,17 | 3,85 | 3,58 |
| F | CH2 | NS | 0,10 | 2,00 | 25,00 | 20 | 17,0 | 0,10 | -1,90 | 2,00 | 14,7 | 16,7 | 0,02 | 0,37 | 9,86 | 7,59 |
| E | H | NS | 0,55 | 2,00 | 32,00 | 32 | 27,8 | 2,39 | 4,90 | 7,29 | 8,6 | 15,89 | 0,04 | 0,67 | 0,57 | 4,80 |
| H | I | NS | 0,30 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,34 | 1,60 | 1,94 | 6,3 | 8,24 | 0,05 | 0,40 | 3,7 | 4,90 |
| I | TQ | NS | 0,25 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,79 | -0,90 | 1,69 | 6,1 | 7,79 | 0,04 | 0,27 | 3,7 | 2,53 |
| I | MQ | NS | 0,30 | 2,00 | 25,00 | 25 | 21,6 | 0,10 | -0,50 | 0,60 | 4,6 | 5,2 | 0,05 | 0,25 | 4,9 | 4,15 |
| H | PI | NS | 0,25 | 2,00 | 32,00 | 25 | 21,6 | 2,32 | 1,10 | 3,42 | 9,3 | 12,72 | 0,04 | 0,45 | 4,8 | 5,45 |

FONTE: Autoria própria (2022).

No Cenário 3, observa-se que os diâmetros no barrilete (trecho A-B) se manteve em 40 mm, quando utilizado ambos os métodos com velocidade de 2,0 m/s e perda de carga unitário menor que 0,1 m.c.a./m ($J \leq 10\%$).

Por outro lado, a maior pressão, verificou-se no dimensionamento considerando-se o método binomial (7,59 m.c.a) em comparação com o método da raiz quadrada (6,58 m.c.a.). Notou-se que no trecho que contém o chuveiro, o Método Binomial apresentou uma maior pressão (1,69 m.c.a.) quando comparado com o Método NBR (1,57 m.c.a.).

Com os dimensionamentos foi possível comparar os diâmetros e as vazões de projeto de cada trecho, conforme as configurações de lançamento das tubulações apresentadas em cada cenário de estudo. As Tabelas 14 a 16 apresentam a comparação desses dados.

TABELA 14: Comparação dos diâmetros e vazões de cada trecho do Cenário 1, considerando-se o dimensionamento realizado pelo método da raiz quadrada e método binomial.

| CENÁRIO 01 - RESUMO DIÂMETROS (mm) e VAZÕES (l/s) | | | | | |
|---|----------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| TRECHO | | Ø Met. Raiz Quadrada | Ø Met. Binomial | Q Met. Raiz Quadrada | Q Met. Binomial |
| M - Mont. | J - Jus. | [mm] | [mm] | [l/s] | [l/s] |
| A | B | 32 | 25 | 0,42 | 0,35 |
| B | C | 25 | 25 | 0,30 | 0,25 |
| C | CH1 | 25 | 25 | 0,19 | 0,10 |
| C | D | 20 | 20 | 0,23 | 0,15 |
| D | VS1 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| D | LV1 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| B | E | 32 | 25 | 0,30 | 0,25 |
| E | CH2 | 25 | 20 | 0,19 | 0,10 |
| E | F | 20 | 20 | 0,23 | 0,15 |
| F | VS2 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| F | LV2 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| G | H | 32 | 32 | 0,46 | 0,55 |
| H | PI | 25 | 25 | 0,25 | 0,25 |
| H | I | 25 | 25 | 0,39 | 0,30 |
| I | MQ | 25 | 25 | 0,30 | 0,30 |
| I | TQ | 25 | 25 | 0,25 | 0,25 |

FONTE: Autoria própria (2022).

TABELA 15: Comparação dos diâmetros e vazões de cada trecho do Cenário 2, considerando-se o dimensionamento realizado pelo método da raiz quadrada e método binomial.

| CENÁRIO 02 - RESUMO DIÂMETROS (mm) e VAZÕES (l/s) | | | | | |
|---|----------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| TRECHO | | Ø Met. Raiz Quadrada | Ø Met. Binomial | Q Met. Raiz Quadrada | Q Met. Binomial |
| M - Mont. | J - Jus. | [mm] | [mm] | [l/s] | [l/s] |
| A | B | 32 | 32 | 0,63 | 0,70 |
| B | C | 32 | 25 | 0,42 | 0,35 |
| C | D | 25 | 25 | 0,30 | 0,25 |
| D | E | 20 | 20 | 0,23 | 0,15 |
| E | LV1 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| E | VS1 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| D | CH1 | 25 | 20 | 0,19 | 0,10 |
| C | F | 25 | 25 | 0,30 | 0,25 |
| F | G | 20 | 20 | 0,23 | 0,15 |
| G | LV2 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| G | VS2 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| F | CH2 | 25 | 20 | 0,19 | 0,10 |
| B | H | 32 | 32 | 0,46 | 0,55 |
| H | I | 25 | 25 | 0,39 | 0,30 |
| I | TQ | 25 | 25 | 0,25 | 0,25 |
| I | MQ | 25 | 25 | 0,30 | 0,30 |
| H | PI | 25 | 25 | 0,25 | 0,25 |

FONTE: Autoria própria (2022).

TABELA 16: Comparação dos diâmetros e vazões de cada trecho do Cenário 3, considerando-se o dimensionamento realizado pelo método da raiz quadrada e método binomial.

| CENÁRIO 03 - RESUMO DIÂMETROS (mm) e VAZÕES (l/s) | | | | | |
|---|----------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| TRECHO | | Ø Met. Raiz Quadrada | Ø Met. Binomial | Q Met. Raiz Quadrada | Q Met. Binomial |
| M - Mont. | J - Jus. | [mm] | [mm] | [l/s] | [l/s] |
| A | B | 40 | 40 | 0,63 | 0,70 |
| B | C | 25 | 25 | 0,30 | 0,25 |
| C | D | 25 | 20 | 0,23 | 0,15 |
| D | LV1 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| D | VS1 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| C | CH1 | 25 | 20 | 0,19 | 0,10 |
| B | E | 32 | 32 | 0,55 | 0,60 |
| E | F | 25 | 25 | 0,30 | 0,25 |
| F | G | 20 | 20 | 0,23 | 0,15 |
| G | LV2 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| G | VS2 | 20 | 20 | 0,16 | 0,15 |
| F | CH2 | 20 | 20 | 0,19 | 0,10 |
| E | H | 32 | 32 | 0,46 | 0,55 |
| H | I | 25 | 25 | 0,39 | 0,30 |
| I | TQ | 25 | 25 | 0,25 | 0,25 |
| I | MQ | 25 | 25 | 0,30 | 0,30 |
| H | PI | 25 | 25 | 0,25 | 0,25 |

FONTE: Autoria própria (2022).

5. CONCLUSÕES

Com base nos valores apresentados é possível perceber que no Cenário 1 houve diminuição do diâmetro do barrilete quando o sistema é dimensionado utilizando a metodologia com o modelo binomial, enquanto nos demais cenários mantiveram-se os mesmos diâmetros para as duas metodologias. Porém, as vazões nos barriletes não necessariamente foram menores que as vazões obtidas utilizando a metodologia da raiz quadrada.

Apesar dos cálculos realizados apontarem diâmetros similares nos sub-ramais que alimentam os pontos de utilização, a metodologia binomial apresentou vazões majoritariamente menores do que a metodologia da raiz quadrada. Sendo assim, a utilização de metodologias baseadas em modelos estatísticos para dimensionamento de redes de distribuição predial de água fria, podem representar vantagens em relação a metodologias empíricas, baseadas em recortes momentâneos de consumo. O efeito desta redução de vazão para edificações verticais, com maior número de ambientes sanitários e agentes consumidores, podem representar em especificações mais precisas de diâmetros de redes e especificação de equipamentos, tais como medidores individuais, válvulas redutoras de pressão, bombas hidráulicas, equipamentos de pressurização, entre outros.

O modelo binomial é um modelo simples, de fácil utilização para determinar a probabilidade de uso simultâneo de cada conjunto de equipamentos partindo das probabilidades de uso individuais de cada um. Assim, sua utilização para dimensionamentos de redes de distribuição predial de água é interessante, pois seus parâmetros podem ser ajustados para cada situação de acordo com cada consumo. Esses dados, conforme apresentados neste artigo, podem ser obtidos por medições e observações, sendo interessante buscar a identificação de grupos de edificações e regiões climáticas similares para criar um banco de dados mais vasto. Portanto, considerando a análise de consumo prevista pelo modelo binomial, é possível que o modelo proporcione um ajuste na vazão de projeto de forma que ela possa ser mais precisa em relação a vazão de consumo real.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, M. M. L.; CAMPOS, M. A. S. Determinação da vazão de projeto para a escolha dos hidrômetros de edificações residenciais com medição individualizada. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 403-420, jan./mar. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100511>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente - Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- AZEVEDO, José M. N. et.al. **Manual de hidráulica**. 8ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1998.
- FERREIRA, Tiago de Vasconcelos Gonçalves. **Modelo de simulação estocástica da demanda de água em edifícios residenciais**. 2018. 171 fl. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1986.
- GONÇALVES, Orestes. **Formulação de modelo para o estabelecimento de vazões de projeto em sistemas prediais de distribuição de água fria**. 1986. 113 fl. Tese de doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.
- GONÇALVES, Orestes M.; GRAÇA, Moacyr E. **A. Sistemas prediais de distribuição de água fria – determinação das vazões de projeto**. 1987. 113 fl. Boletim técnico – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1987.
- GONÇALVES, Orestes M.; ILHA, Marina S. de O. **Sistemas prediais de água fria**. 1994. 113 fl. Texto técnico – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1994.
- HUNTER, R. B. **Methods of estimating loads in plumbing systems**. [S.l.]: US Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1940. 78–85 p
- KONEN, T. P.; Brady Jr., P. M. **A review of the parameters in the Hunter model for estimating the demand for water supply and drainage**. In: W062 - Proceedings of the 3th International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings. Hørsholm, Dinamarca: CIB W062 - Water Supply and Drainage, 1974.
- MAGALHÃES, Marcos N.; LIMA, Antonio C. P. **Noções de Probabilidade e Estatística**. 7ª ed. São Paulo: Editora da Universidade São Paulo, 2011.
- MAZUMDAR, A.; JAMAN, H.; DAS, S. Modification of Hunter’s Curve in the Perspective of Water Conservation. **Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice**, v. 5, n. 1, 2014.
- PETRUCCI, A. L.; GONÇALVES, O. M. Dimensionamento de redes prediais de água sob vazões reais. **Revista Ambiente Construído**. Edição Especial Sistemas Prediais. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Porto Alegre (ANTAC). ISSN 1415-8876. Vol. 2, n. 4, p.27-37. 2002. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3432/1849>. Acessado em 10 de fevereiro de 2022.
- ILHA, M. S. O.; OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES, O. M. **Design flow rate simulation of cold water supply in residential buildings by means of open probabilistic model**. In: CIB W62 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, Hong Kong, 2008.
- ILHA, M. S. O.; OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES, O. M. Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros? **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 15 n. 2, p. 177-186, abr./jun. 2010.
- OLIVEIRA, L. H. **Modelo para a simulação de vazões de projeto em sistemas prediais de água com medição individualizada empregando a lógica nebulosa e o método de Monte Carlo**. 2010. 111 fl. Tese de Livre Docência – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2010.