

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE
PERDAS DE CARGAS EM DIMENSIONAMENTOS DE
PROJETOS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA**

GABRIEL VINICIUS MARTINS SILVA

TRINDADE, GO
2023

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS TRINDADE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE
PERDAS DE CARGAS EM DIMENSIONAMENTOS DE
PROJETOS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA**

GABRIEL VINICIUS MARTINS SILVA

Trabalho de curso apresentado ao
Instituto Federal Goiano – Campus Trindade,
como requisito parcial para obtenção do Grau
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Pedro Filipe de Luna Cunha

Trindade, GO
2023

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

S586e Silva, Gabriel Vinicius Martins
Estudo comparativo entre os métodos de perdas de cargas em dimensionamentos de projetos prediais de água fria / Gabriel Vinicius Martins Silva; orientador Pedro Filipe de Luna Cunha. -- Trindade, 2023.
45 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil)
-- Instituto Federal Goiano, Campus Trindade, 2023.

1. Pressões. 2. Planilha. 3. Fair-Whipple-Hsiao. 4. Universal. 5. Dimensionamento. I. Filipe de Luna Cunha, Pedro , orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Gabriel Vinicius Martins Silva

Matrícula:

2018108200840202

Título do trabalho:

Estudo comparativo entre os métodos de perdas de cargas em dimensionamentos de projetos prediais de água fria

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 10 /02 /2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Trindade

Local

25 /01 /2024

Data

Gabriel Vinicius Martins Silva

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Pedro Filipe de Luna Cunha

Assinatura do(a) orientador(a)



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 29 dias do mês de novembro de 2023, às 18 horas e 00 minuto, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Prof. **Pedro Filipe de Luna Cunha** e composta pelos avaliadores:

1. Prof. **Nicolas Hoannys Silva Oliveira** e
2. Prof. **Vinicius Otto de Aguiar Ritzmann**

o aluno **GABRIEL VINICIUS MARTINS SILVA** apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE PERDAS DE CARGAS EM DIMENSIONAMENTOS DE PROJETOS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA**, como requisito curricular indispensável para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pelo Instituto Federal Goiano Campus Trindade.

A Banca Examinadora deliberou e decidiu pela **APROVAÇÃO** (APROVAÇÃO/REPROVAÇÃO) do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.

Trindade-GO, 29 de 11 de 2023

Pedro Filipe de Luna Cunha
Presidente da Banca Examinadora

Nicolas Hoannys Silva Oliveira
Avaliador 01

Vinicius Otto de A. R. Marzall
Avaliador 02

Gabriel Vinicius Martins Silva
Aluno

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escoamento das partículas.	10
Figura 2. Tubo com parede lisa.	11
Figura 3. Tubo com parede rugosa.	12
Figura 4. Diagrama de Moody.....	13
Figura 5. Turbulência devido a conexão.....	13

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1	Equação da continuidade	8
2.2	Vazão máxima provável	9
2.3	Velocidade	10
2.4	Conduitos forçados	10
2.5	Perda de carga distribuída.....	11
2.6	Perda de carga localizada.....	14
2.7	Perda de carga total.....	15
2.8	Pressão dinâmica	15
2.9	Pressão estática	16
3	OBJETIVOS.....	16
3.1	Geral	16
3.2	Específicos.....	16
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
5	CAPÍTULO ÚNICO	18
	APÊNDICE.....	19

RESUMO

O projeto de água fria deve ser elaborado de acordo com literaturas e pela norma NBR 5626 (ABNT,2020). Este trabalho teve como objetivo dimensionar a instalação de água fria de um banheiro residencial considerando os métodos de perda de carga unitária de Fair-Whipple-Hsiao e a equação universal na obtenção das pressões dinâmicas nos pontos de consumo. Este projeto foi dimensionado em uma planilha do software Microsoft Excel® e pelo software AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021® com o propósito de comparação de dados. Constatou-se que os valores das pressões dinâmicas produzidos pelo software AltoQI Builder® foram ligeiramente superiores aos da planilha eletrônica ao se utilizar os métodos universal e Fair-Whipple-Hsiao. As discrepâncias estavam na primeira casa decimal para o método universal e na segunda para o Fair-Whipple-Hsiao. Provavelmente, a precisão nas formulações utilizadas para o cálculo do fator de atrito e adoção das conexões nos trechos analisados podem ter influenciado nos resultados. Desta forma, ambos os métodos de perda de carga não resultaram em mudanças significativas no dimensionamento da instalação hidráulica predial unifamiliar. Tal fato não traz prejuízos maiores quando aplicados em sistemas prediais. Assim, constata-se que a rotina de cálculo em uma planilha eletrônica pode ser considerada uma ferramenta de pesquisa útil em estudos didáticos.

Palavras-chave: Pressões, Planilha, Fair-Whipple-Hsiao, Universal, Dimensionamento.

ABSTRACT

The cold water system design should be based on relevant literature and adhere to the NBR 5626 (ABNT,2020). This study aimed to size the installation of cold water in a residential bathroom considering the Fair-Whipple-Hsiao unit head loss methods and the universal equation for obtaining dynamic pressures at consumption points. The design was calculated using a Microsoft Excel® spreadsheet and the AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021® software for data comparison purposes. It was observed that the dynamic pressure values generated by the AltoQI Builder® software were slightly higher than those in the spreadsheet when using the universal and Fair-Whipple-Hsiao methods. Discrepancies were in the first decimal place for the universal method and the second for the Fair-Whipple-Hsiao. The precision in the formulations for friction factor calculation and the adoption of connections in the analyzed sections may have influenced the results. Thus, both head loss methods did not result in significant changes in the sizing of the single-family hydraulic installation. Such minor differences have no significant impact on building systems, indicating that a calculation routine in an electronic spreadsheet can be deemed a valuable research tool for academic studies.

Keywords: Pressures, Spreadsheet, Fair-Whipple-Hsiao, Universal, Sizing.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de projeto hidráulico-sanitário é dividido em projeto de água fria, água quente, esgoto e projeto de águas pluviais. De acordo com Júnior (2020, p. 22) o projeto de água fria é constituído por ramal predial, cavalete, alimentador predial, reservatórios inferiores e superiores, conjuntos elevatórios, tubulações de sucção e recalque, barrilete, colunas e ramais de distribuição.

Além disso, para garantir o perfeito funcionamento do sistema, é necessária a elaboração de um projeto referenciado em literaturas e prescrições normativas. Além do mais, segundo Creder (2006, p. 3) o projeto de água fria deve ser elaborado e compatibilizado com os demais projetos da edificação no intuito de se obter a solução mais estética dentro da melhor técnica e economia.

Recentemente, foi atualizada a nova norma que regulamenta os requisitos básicos para o pleno funcionamento dos sistemas prediais de instalações hidráulicas: NBR 5626 (ABNT, 2020) Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Dessa forma, surgiram novas abordagens em relação ao dimensionamento e como elas devem ser adotadas em contrapartida a antiga norma NBR 5626 (ABNT, 1998). Como por exemplo, a unificação da pressão dinâmica mínima necessária de 1 mca (10 KPa) em qualquer ponto de utilização. Segundo Costa (2021, p. 2) as normas técnicas brasileiras no contexto da engenharia civil trazem uma grande colaboração no sentido de prevenir prejuízos, padronizar e garantir os requisitos mínimos na construção civil. Um produto certificado aumenta a qualidade de uma obra e a satisfação dos clientes.

Diante disso, para uma melhor compreensão dos resultados das pressões dinâmicas nos pontos de consumo, foi desenvolvido um dimensionamento de um projeto modelo de um banheiro de uma residência com intuito de obter resultados que possam a ser comparados. Desta forma, seguindo as orientações de literaturas e principalmente a nova norma brasileira NBR 5626 (ABNT, 2020), foi desenvolvido uma rotina de cálculo própria em uma planilha do software Microsoft Excel[®] para a análise e fornecimento dos resultados de pressões nos pontos de consumo. Como resultado, foi adotado dois critérios para o cálculo de perda de carga unitária nas tubulações, sendo eles o método de Fair-Whipple-Hsiao e a equação universal a qual é a recomendada pela norma. Vale ressaltar que este estudo de caso compreendeu o dimensionamento da rede de distribuição predial de água fria desde o reservatório, ou seja, não foi considerado os cálculos de dimensionamentos para a rede de alimentação.

O desenho técnico do projeto modelo assim como a definição do traçado dos tubos e pontos hidráulicos foi desenvolvido com o auxílio do software AutoCAD[®]. O programa

AutoCAD® permite ao usuário projetista o desenvolvimento e detalhamento de desenhos técnicos em duas ou três dimensões. Em seguida, foi realizada uma análise a cada trecho identificando todos os elementos constituintes como ponto de consumo, conexões, diferença de nível e comprimento do tubo. Por fim, os dados coletados foram inseridos em uma planilha eletrônica. A planilha eletrônica é um software computacional capaz de permitir ao usuário a inserção de dados, criação de fórmulas matemáticas e o desenvolvimento automático de rotinas de cálculos. O software apresenta uma área de trabalho caracterizado por células dispostas em linhas e colunas, permitindo a organização em forma de tabelas.

Ademais, há diversos métodos e ferramentas computacionais que auxiliam o engenheiro projetista a desenvolver projetos em curto prazo de tempo. O software AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021® é um programa computacional, voltado para o dimensionamento predial hidráulico onde é possível automatizar todo o processo de cálculo e até mesmo fornecer um relatório de quantitativo de materiais. Em virtude disso, foi desenvolvido também o mesmo modelo de projeto pelo software para a coleta e comparação de dados. Conseqüentemente, foi possível compreender como o software desenvolve suas rotinas de cálculo e como é obtido os resultados das pressões necessárias nos pontos de consumo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo dos anos, diversos pesquisadores desenvolveram conceitos e equações que foram fundamentais para compreensão dos fenômenos hidráulicos. Ao dimensionar um projeto predial de água fria, deve-se levar em consideração as diversas variáveis que compõe o sistema e como elas podem interferir nos resultados obtidos. Deve-se a estes estudos a possibilidade de dimensionar sistemas prediais de água fria que prezam principalmente pela economia.

2.1 Equação da continuidade

“A equação da continuidade é decorrente da lei de conservação de massa. Esta lei da física estabelece que a massa não pode ser criada ou destruída (massa que entra no tubo é igual a massa que sai do tubo)” (BAPTISTA E LARA, 2010, p. 47). Logo, tem-se a equação 1.

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2 \quad \text{Eq.1}$$

onde:

ρ_1 = Massa específica da água em Kg/m³;

A = Área da seção transversal do escoamento em m²;

V = Velocidade média do escoamento em m/s.

De acordo com Baptista e Lara (2010, p. 48), como a água é um fluido incompressível a massa específica pode ser considerada constante. Portanto, a eq.1 torna-se:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = Q \quad \text{Eq.2}$$

$$Q = A \cdot V \quad \text{Eq.3}$$

onde:

Q = Vazão em m³/s;

V = Velocidade em m/s;

A = Área da seção transversal do escoamento em m².

2.2 Vazão máxima provável

Segundo o item 6.14.2 da norma ABNT NBR 5626 (2020, p.28) “A vazão de cálculo em cada trecho deve ser estabelecida mediante adoção de um método reconhecido ou devidamente fundamentado, seja ele empírico ou probabilístico”.

No método empírico da vazão máxima provável, a vazão é obtida pelo uso normal dos aparelhos, ou seja, nem todos os aparelhos serão utilizados ao mesmo tempo. (NETTO et al.,1998). Por consequência, este método é mais utilizado em edifícios verticais como em residências, comércios, hotéis entre outros (JÚNIOR, 2020). Será aplicado neste trabalho a equação 4 apresentada por Netto et al. (1998, p. 568):

$$Q = C \times \sqrt{\sum \text{Pesos}} \quad \text{Eq.4}$$

onde:

Q = vazão (litros/s);

C = coeficiente de descarga igual à 0,30 (litros/s);

$\sum \text{Pesos}$ = soma dos pesos das peças de utilização alimentadas pela tubulação considerada.

A eq. 4 foi fornecida originalmente pela antiga norma ABNT NBR 5626:1998 para o cálculo da vazão assim como a tabela de pesos relativos. Em virtude de nova norma não apresentar os procedimentos para o dimensionamento e, ao mesmo tempo permitir ao projetista

adotar um método fundamentado, será considerado neste trabalho o método empírico dos pesos relativos.

2.3 Velocidade

A velocidade de um fluido no interior de um tubo é determinado pela a equação 5, a qual é originária da eq. 1. No entanto, a norma NBR 5626 (ABNT, 2020) não indica mais um valor máximo de velocidade permitida, ressaltando que as tubulações deverão ser dimensionadas de uma forma que a velocidade de escoamento não provoque golpe de aríete e a propagação de ruídos.

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Eq.5}$$

onde:

V = velocidade (m/s);

Q = vazão (m³/s);

A= área interna do tubo (m²).

2.4 Condutos forçados

Quando um líquido sem manter o contato com o ambiente externo, escoar e ocupar toda a área interna de um tubo, dizemos que ocorre escoamento forçado ou em pressão (PORTO, 2006). As redes de distribuição de água fria são consideradas condutos forçados.

Os escoamentos das partículas podem apresentar fluxo laminar ou turbulento assim como apresentado na figura 1 pelo experimento de Reynolds (BAPTISTA; LARA, 2010). O número de Reynolds pode ser considerado o parâmetro mais importante no escoamento pois, é a razão dos efeitos da inércia e a viscosidade (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

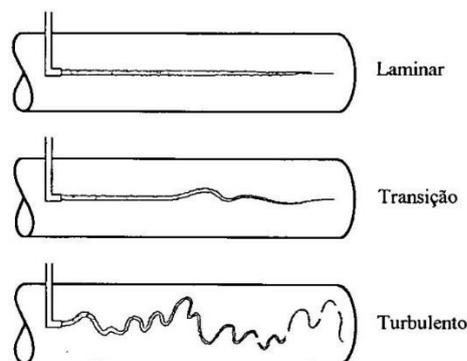


Figura 1. Escoamento das partículas.
Fonte: Munson et al, (2004).

O escoamento pode ser considerado laminar se o número de Reynolds for menor que 2100 e, se estiver compreendido entre 2100 e 4000 será de transição. Para o número de Reynolds acima de 4000 será considerado o escoamento turbulento (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

Logo, o número de Reynolds é definido pela a Equação 6 conforme Macintyre (2010, p. 17).

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad \text{Eq.6}$$

onde:

Re = número de Reynolds (adimensional);

V = velocidade (m/s);

D = diâmetro interno do tubo (m);

ν = viscosidade cinemática da água (m²/s).

A viscosidade é uma medida quantitativa de resistência de um fluido ao escoamento ao ser aplicada uma tensão de cisalhamento. (WHITE, 2011). Ademais, propriedades como massa específica e peso específico não são suficientes para caracterizar o comportamento dos fluidos em um escoamento. (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004). Segundo White (2011, p. 38), a viscosidade cinemática da água a uma temperatura de 20 °C pode ser considerada em 1,01 x 10⁻⁶ m²/s.

2.5 Perda de carga distribuída

A perda de carga distribuída é provocada pelo o movimento da água nos encanamentos (JÚNIOR, 2014). Baptista e Lara (2010, p. 68), dizem que o atrito interno gerado entre as partículas também pode gerar diferentes velocidades em função da viscosidade do líquido e rugosidade da tubulação.

Desse modo, a água ao percorrer o interior de tubos com superfícies lisas encontrará menos atrito e, conseqüentemente menos perda de carga. (JÚNIOR, 2020). A figura 2 representa esse fenômeno.

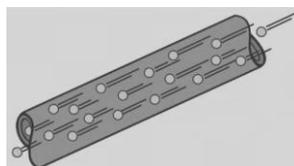


Figura 2. Tubo com parede lisa.
Fonte: Manual técnico Tigre (2016).

Em contrapartida, o fluido ao percorrer o interior de uma tubulação com superfícies rugosas encontrará grandes choques e atritos provocando grandes perdas de cargas, como pode ser observado na figura 3 (JÚNIOR, 2020).

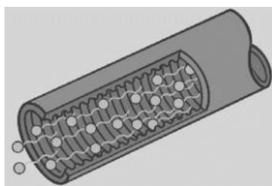


Figura 3. Tubo com parede rugosa.
Fonte: Manual técnico Tigre (2016).

A fórmula universal ou fórmula de Darcy-Weisbach foi desenvolvida para os cálculos de perda de carga unitária empregada em condutos de seção circular descrita por Baptista e Lara (2010, p. 68) é conforme a equação 7.

$$J = \frac{8 \times f}{\pi^2 \times g} \times \frac{Q^2}{D^5} \quad \text{Eq.7}$$

onde:

J = perda de carga unitária (m/m);

f = coeficiente de perda de carga (adimensional);

g = aceleração da gravidade (9,81m/s²);

D = diâmetro interno do tubo (m);

Q = vazão (m³/s).

Para se determinar o coeficiente de perda de carga utiliza-se da equação 8 implícita de interpolação de Colebrook e White (BAPTISTA; LARA, 2010).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad \text{Eq.8}$$

onde:

f = coeficiente de perda de carga (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional);

ε = rugosidade absoluta equivalente (mm);

D = diâmetro interno do tubo (mm).

A equação implícita é uma combinação das equações proposta por Nikuradse para se determinar o fator de perda de carga conhecido também como fator de atrito, para tubos lisos e rugosos (BAPTISTA; LARA, 2010). A eq. 8 foi plotada por Moody em um gráfico logarítmico conhecido como diagrama de Moody, conforme apresentado na figura 4 (WHITE, 2011).

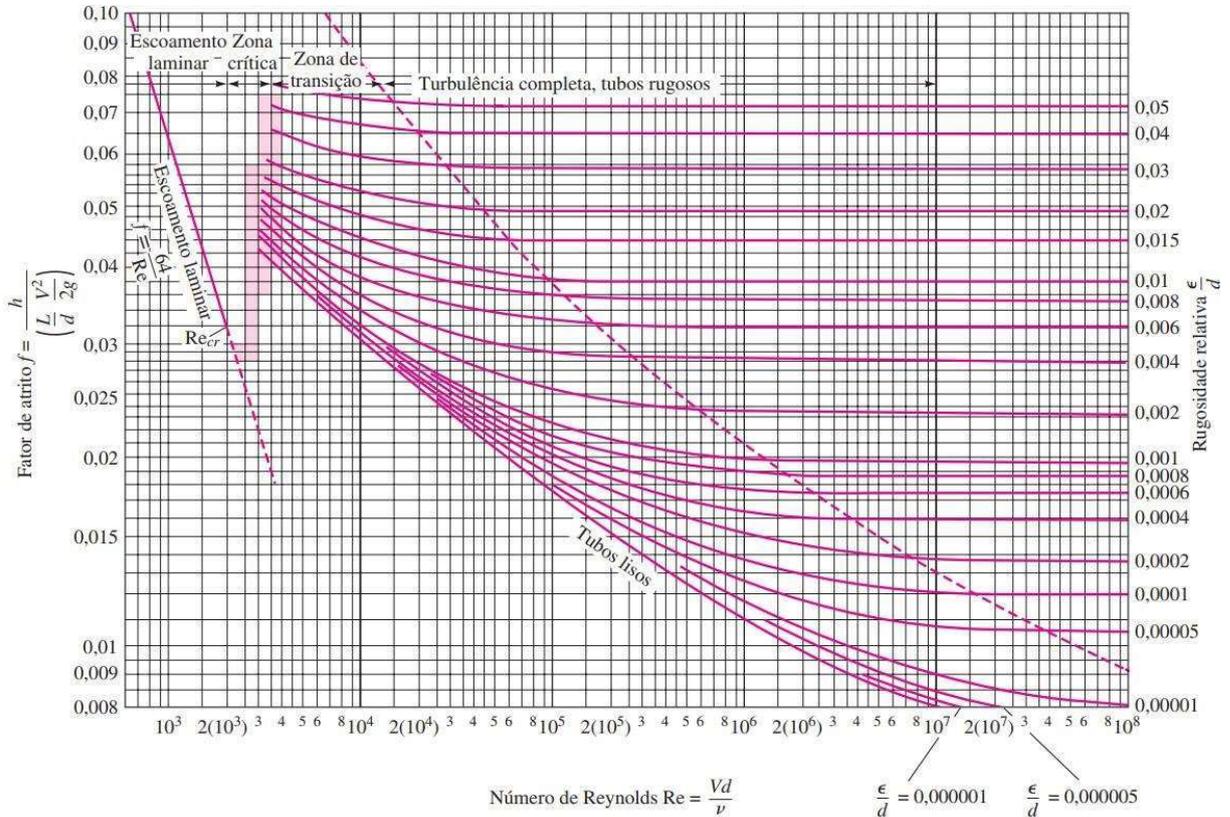


Figura 4. Diagrama de Moody.

Fonte: White (2011).

No entanto, Porto (2006, p. 46), demonstra a equação 9 explícita para a obtenção do fator de atrito desenvolvido por Swamee que pode ser aplicada nos regimes de escoamento laminar, turbulento liso, transição e turbulento rugoso.

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \times \left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3,7 \times D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125} \quad \text{Eq.9}$$

onde:

f = coeficiente de perda de carga (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional);

ϵ = rugosidade absoluta equivalente (mm);

D = diâmetro interno do tubo (mm).

Na falta de informações das rugosidades das paredes internas dos tubos comerciais em PVC rígido, Baptista e Lara (2016, p. 71) fornece o valor referencial de ϵ igual à 0,06 mm.

A eq. 9 foi escolhida para o desenvolvimento do trabalho porque a mesma consegue reproduzir um diagrama que mantém uma boa concordância com o diagrama de Moody. (PORTO, 2006). Além disso, é de fácil aplicação pois não necessita a aplicação de cálculos iterativos. Embora seja de fácil aplicação, a eq. 9 pode resultar em valores irrelevantes, menores que 2% em relação aos valores obtidos pela eq. 8. (PORTO, 2006).

Os autores Fair-Whipple-Hsiao desenvolveram a eq. 10 para o cálculo da perda de carga unitária em tubos lisos de plástico conduzindo água fria. A equação empírica é descrita por Azevedo Netto (2015, p. 503) como:

$$J = 0,000874 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad \text{Eq.10}$$

onde:

J = perda de carga unitária (m/m);

Q = vazão (m³/s);

D = diâmetro interno do tubo (m).

De acordo com a nota da norma ABNT NBR 5626 (2020, p.28) “A equação universal de perda de carga é a mais indicada. Em caso de utilização de equações empíricas, convém adotar a mais adequada para o material e o diâmetro do trecho de tubulação considerado”.

2.6 Perda de carga localizada

Ao longo das tubulações podem existir diversas conexões como joelhos, curvas, tês, registros, válvulas, medidores entre outros. Estas singularidades provocam dissipação de energia, ou seja, perturbações pontuais, conforme apresentado na figura 5 (BAPTISTA; LARA, 2010).

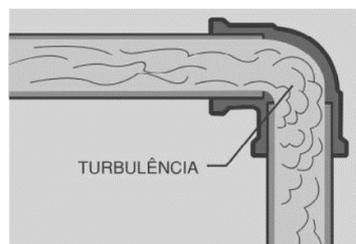


Figura 5. Turbulência devido a conexão.
Fonte: Manual técnico Tigre (2016).

Destaca-se o fato de se utilizar o método dos comprimentos virtuais para a determinação das perdas de carga localizadas. O método dos comprimentos virtuais consiste em substituir as

conexões por um tubo de mesmo diâmetro, comprimento e rugosidade capaz de acarretar as mesmas perdas de cargas das peças originais (BAPTISTA; LARA, 2010) e (MACINTYRE, 2010). Tal substituição é denominada de comprimentos equivalentes em metros de tubulação.

2.7 Perda de carga total

A perda de carga total em um trecho analisado segundo Júnior (2020, p. 85), por ser apresentado de acordo com a equação 11.

$$\Delta h = J \times L_{total} \quad \text{Eq.11}$$

onde:

Δh = perda de carga total (m.c.a);

J = perda de carga unitária (m/m);

L_{total} = comprimento total ($L_{real} + L_{eq}$) (m);

L_{real} = comprimento real do trecho (m);

L_{eq} = comprimento equivalente em tubulação do trecho (m).

2.8 Pressão dinâmica

Júnior (2020, p. 86), descreve a eq. 12 para se determinar a pressão dinâmica em um ponto qualquer do trecho analisado. Além disso, a norma ABNT NBR 5626:2020 (2020, p.22), afirma que a pressão dinâmica em qualquer ponto de utilização não poderá ser inferior a 1 m.c.a. Nos pontos da rede de distribuição não poderá ser inferior a 0,5 m.c.a mas, poderá ser permitido valores abaixo em trechos verticais de tomadas d'água nas saídas de reservatórios para os barriletes em sistemas indiretos NBR 5626 (ABNT, 2020).

$$P_{jusante} = P_{montante} \pm \text{ desnível} - \Delta h \quad \text{Eq.12}$$

onde:

$P_{jusante}$ = pressão dinâmica disponível a jusante do trecho considerado (m.c.a);

$P_{montante}$ = pressão dinâmica disponível a montante do trecho considerado (m.c.a);

desnível = diferença de cotas geométricas dos pontos que definem o trecho (m);

Δh = perda de carga total (m.c.a).

2.9 Pressão estática

A pressão estática pode ser entendida como a diferença de cota do nível mínimo de água do reservatório e ponto de consumo analisado (JÚNIOR, 2020). Além disso, a norma ABNT NBR 5626:2020 (2020, p.22) ressalta que a pressão estática nos pontos de consumo não poderá ser superior a 40 m.c.a.

Portanto, “A pressão estática só existe quando não há fluxo de água, e a pressão dinâmica resulta quando as peças estão em funcionamento” (CREDER, 2006, p. 14).

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Dimensionar um projeto de água fria de um banheiro de uma residência levando em consideração dois métodos para o cálculo da perda de carga unitária: Fair-Whipple-Hsiao e a equação universal.

3.2 Específicos

- Obter as pressões dinâmicas mínimas exigidas pela norma NBR 5626 (ABNT, 2020);
- Obter os resultados por duas formas distintas como método de comparação, sendo eles: com o auxílio do software Microsoft Excel[®] e pelo software AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021[®];
- Gerar uma lista de materiais detalhada pela planilha eletrônica;
- Verificar a utilidade da planilha a ser empregada como uma ferramenta auxiliar nos desenvolvimentos de projetos de água fria.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5626: Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente- Projeto, execução, operação e manutenção**. Rio de Janeiro, 2020.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 1998. 669p.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 2015. 632p.

BAPTISTA, M; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 473p.

COSTA, G. **Revisão da ABNT NBR 5626 – Um estudo sobre o novo texto de 2020. 2021**. 10f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Rural do Semiárido, Mossoró, 2021.

CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 423p.

JÚNIOR, R. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: Princípios básicos para elaboração de projetos**. 4.ed. São Paulo: Blucher, 2020. 257p.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas e prediais e industriais**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 596p.

MANUAL TÉCNICO TIGRE. **Orientações técnicas sobre instalações hidráulicas prediais**. Joinville: Tigre, 2016. 208p.

MUNSON, B; YOUNG, D; OKIISHI, T. **Fundamentos de Mecânica os Fluidos**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2004. 572p.

PORTO. R. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EEDC-USP, 2006. 519p.

WHITE, F. **Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2011. 880p.

5 CAPÍTULO ÚNICO

Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE PERDAS DE CARGAS EM DIMENSIONAMENTOS DE PROJETOS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA

Comparative Study Between Methods Of Head Losses In The Sizing Of Cold Water Building Projects

Gabriel Vinicius Martins Silva ¹, Pedro Filipe de Luna Cunha ²

Espaço restrito aos editores de layout da REEC.

PALAVRAS CHAVE:

Pressões;
Planilha;
Fair-Whipple-Hsiao;
Universal;
Dimensionamento.

KEYWORDS:

Pressures;
Spreadsheet;
Fair-Whipple-Hsiao;
Universal;
Sizing.

RESUMO: O projeto de água fria deve ser elaborado de acordo com literaturas e pela norma NBR 5626 (ABNT,2020). Este trabalho teve como objetivo dimensionar a instalação de água fria de um banheiro residencial considerando os métodos de perda de carga unitária de Fair-Whipple-Hsiao e a equação universal na obtenção das pressões dinâmicas nos pontos de consumo. Este projeto foi dimensionado em uma planilha do software Microsoft Excel® e pelo software AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021® com o propósito de comparação de dados. Constatou-se que os valores das pressões dinâmicas produzidos pelo software AltoQI Builder® foram ligeiramente superiores aos da planilha eletrônica ao se utilizar os métodos universal e Fair-Whipple-Hsiao. As discrepâncias estavam na primeira casa decimal para o método universal e na segunda para o Fair-Whipple-Hsiao. Provavelmente, a precisão nas formulações utilizadas para o cálculo do fator de atrito e adoção das conexões nos trechos analisados podem ter influenciado nos resultados. Desta forma, ambos os métodos de perda de carga não resultaram em mudanças significativas no dimensionamento da instalação hidráulica predial unifamiliar. Tal fato não traz prejuízos maiores quando aplicados em sistemas prediais. Assim, constata-se que a rotina de cálculo em uma planilha eletrônica pode ser considerada uma ferramenta de pesquisa útil em estudos didáticos.

ABSTRACT: The cold water system design should be based on relevant literature and adhere to the NBR 5626 (ABNT,2020). This study aimed to size the installation of cold water in a residential bathroom considering the Fair-Whipple-Hsiao unit head loss methods and the universal equation for obtaining dynamic pressures at consumption points. The design was calculated using a Microsoft Excel® spreadsheet and the AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021® software for data comparison purposes. It was observed that the dynamic pressure values generated by the AltoQI Builder® software were slightly higher than those in the spreadsheet when using the universal and Fair-Whipple-Hsiao methods. Discrepancies were in the first decimal place for the universal method and the second for the Fair-Whipple-Hsiao. The precision in the formulations for friction factor calculation and the adoption of connections in the analyzed sections may have influenced the results. Thus, both head loss methods did not result in significant changes in the sizing of the single-family hydraulic installation. Such minor differences have no significant impact on building systems, indicating that a calculation routine in an electronic spreadsheet can be deemed a valuable research tool for academic studies.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: gabrielviniusms@gmail.com (G. V. M. Silva)

Graduando em Engenharia Civil, Discente do Instituto federal Goiano Campus Trindade (IFGoiano).

² e-mail: pedro.cunha@ifgoiano.edu.br (P. F. L. Cunha)

Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Docente do Instituto federal Goiano Campus Trindade (IFGoiano).

ISSN: 2179-0612

© 2023 REEC - Todos os direitos reservados.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de projeto hidráulico-sanitário é dividido em projeto de água fria, água quente, esgoto e projeto de águas pluviais. De acordo com Júnior (2020, p. 22) o projeto de água fria é constituído por ramal predial, cavalete, alimentador predial, reservatórios inferiores e superiores, conjuntos elevatórios, tubulações de sucção e recalque, barrilete, colunas e ramais de distribuição.

Além disso, para garantir o perfeito funcionamento do sistema, é necessária a elaboração de um projeto referenciado em literaturas e prescrições normativas. Além do mais, segundo Creder (2006, p. 3) o projeto de água fria deve ser elaborado e compatibilizado com os demais projetos da edificação no intuito de se obter a solução mais estética dentro da melhor técnica e economia.

Recentemente, foi atualizada a nova norma que regulamenta os requisitos básicos para o pleno funcionamento dos sistemas prediais de instalações hidráulicas: NBR 5626 (ABNT, 2020) Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Dessa forma, surgiram novas abordagens em relação ao dimensionamento e como elas devem ser adotadas em contrapartida a antiga norma NBR 5626 (ABNT, 1998). Como por exemplo, a unificação da pressão dinâmica mínima necessária de 1 mca (10 KPa) em qualquer ponto de utilização. Segundo Costa (2021, p. 2) as normas técnicas brasileiras no contexto da engenharia civil trazem uma grande colaboração no sentido de prevenir prejuízos, padronizar e garantir os requisitos mínimos na construção civil. Um produto certificado aumenta a qualidade de uma obra e a satisfação dos clientes.

Diante disso, para uma melhor compreensão dos resultados das pressões dinâmicas nos pontos de consumo, foi desenvolvido um dimensionamento de um projeto modelo de um banheiro de uma residência com intuito de obter resultados que possam a ser comparados. Desta forma, seguindo as orientações de literaturas e principalmente a nova norma brasileira NBR 5626 (ABNT, 2020), foi desenvolvido uma rotina de cálculo própria em uma planilha do software Microsoft Excel® para a análise e fornecimento dos resultados de pressões nos pontos de consumo. Como resultado, foi adotado dois critérios para o cálculo de perda de carga unitária nas tubulações, sendo eles o método de Fair-Whipple-Hsiao e a equação universal a qual é a recomendada pela norma. Vale ressaltar que este estudo de caso compreendeu o dimensionamento da rede de distribuição predial de água fria desde o reservatório, ou seja, não foi considerado os cálculos de dimensionamentos para a rede de alimentação.

O desenho técnico do projeto modelo assim como a definição do traçado dos tubos e pontos hidráulicos foi desenvolvido com o auxílio do software AutoCAD®. O programa AutoCAD® permite ao usuário projetista o desenvolvimento e detalhamento de desenhos técnicos em duas ou três dimensões. Em seguida, foi realizada uma análise a cada trecho identificando todos os elementos constituintes como ponto de consumo, conexões, diferença de nível e comprimento do tubo. Por fim, os dados coletados foram inseridos em uma planilha eletrônica. A planilha eletrônica é um software computacional capaz de permitir ao usuário a inserção de dados, criação de fórmulas matemáticas e o desenvolvimento automático de rotinas de cálculos. O software apresenta uma área de trabalho caracterizado por células dispostas em linhas e colunas, permitido a organização em forma de tabelas.

Ademais, há diversos métodos e ferramentas computacionais que auxiliam o engenheiro projetista a desenvolver projetos em curto prazo de tempo. O software AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021® é um programa computacional, voltado para o dimensionamento predial hidráulico onde é possível automatizar todo o processo de cálculo e até mesmo fornecer um relatório de quantitativo de materiais. Em virtude disso, foi desenvolvido também o mesmo modelo de projeto pelo software para a coleta e comparação de dados. Conseqüentemente, foi possível compreender como o software desenvolve suas rotinas de cálculo e como é obtido os resultados das pressões necessárias nos pontos de consumo.

2. OBJETIVO

2.1 GERAL

Dimensionar um projeto de água fria de um banheiro de uma residência levando em consideração dois métodos para o cálculo da perda de carga unitária: Fair-Whipple-Hsiao e a equação universal.

2.2 ESPECÍFICOS

- Obter as pressões dinâmicas mínimas exigidas pela norma NBR 5626 (ABNT, 2020);
- Obter os resultados por duas formas distintas como método de comparação, sendo eles: com o auxílio do software Microsoft Excel® e pelo software AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021®;
- Gerar uma lista de materiais detalhada pela planilha eletrônica;
- Verificar a utilidade da planilha a ser empregada como uma ferramenta auxiliar nos desenvolvimentos de projetos de água fria.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao longo dos anos, diversos pesquisadores desenvolveram conceitos e equações que foram fundamentais para compreensão dos fenômenos hidráulicos. Ao dimensionar um projeto predial de água fria, deve-se levar em consideração as diversas variáveis que compõe o sistema e como elas podem interferir nos resultados obtidos. Deve-se a estes estudos a possibilidade de dimensionar sistemas prediais de água fria que prezam principalmente pela economia.

3.1 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

“A equação da continuidade é decorrente da lei de conservação de massa. Esta lei da física estabelece que a massa não pode ser criada ou destruída (massa que entra no tubo é igual a massa que sai do tubo)” (BAPTISTA E LARA, 2010, p. 47). Logo, tem-se a eq.1.

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot V_2 \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

ρ_1 = massa específica da água em Kg/m³;

A = área da seção transversal do escoamento em m²;

V = velocidade média do escoamento em m/s.

De acordo com Baptista e Lara (2010, p. 48), como a água é um fluido incompressível a massa específica pode ser considerada constante. Portanto, a eq.1 torna-se:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = Q \quad \text{Eq. [2]}$$

$$Q = A \cdot V \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

Q = vazão em m³/s;

V = velocidade média do escoamento em m/s;

A = área da seção transversal do escoamento em m².

3.2 VAZÃO MÁXIMA PROVÁVEL

Segundo o item 6.14.2 da norma ABNT NBR 5626 (2020, p.28) “A vazão de cálculo em cada trecho deve ser estabelecida mediante adoção de um método reconhecido ou devidamente fundamentado, seja ele empírico ou probabilístico”.

No método empírico da vazão máxima provável, a vazão é obtida pelo uso normal dos aparelhos, ou seja, nem todos os aparelhos serão utilizados ao mesmo tempo. (NETTO et al.,1998). Por consequência, este método é mais utilizado em edifícios verticais como em residências, comércios, hotéis entre outros (JÚNIOR, 2020). Será aplicado neste trabalho a Equação 4 apresentada por Netto et al. (1998, p. 568).

$$Q = C \times \sqrt{\sum \text{Pesos}} \quad \text{Eq. [4]}$$

Em que:

Q = vazão (litros/s);

C = coeficiente de descarga igual à 0,30 (litros/s);

∑Pesos = soma dos pesos das peças de utilização alimentadas pela tubulação considerada.

A eq. 4 foi fornecida originalmente pela antiga norma ABNT NBR 5626:1998 para o cálculo da vazão assim como a tabela de pesos relativos. Em virtude de nova norma não apresentar os procedimentos para o dimensionamento e, ao mesmo tempo permitir ao projetista adotar um método fundamentado, será considerado neste trabalho o método empírico dos pesos relativos.

3.3 VELOCIDADE

A velocidade de um fluido no interior de um tubo é determinado pela a Equação 5. No entanto, a norma NBR 5626 (ABNT, 2020) não indica mais um valor máximo de velocidade permitida, ressaltando que as tubulações deverão ser dimensionadas de uma forma que a velocidade de escoamento não provoque golpe de aríete e a propagação de ruídos.

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Eq. [5]}$$

Em que:

V = velocidade (m/s);

Q = vazão (m³/s);

A = área interna do tubo (m²).

3.4 CONDUTOS FORÇADOS

Quando um líquido sem manter o contato com o ambiente externo, escoar e ocupar toda a área interna de um tubo, dizemos que ocorre escoamento forçado ou em pressão (PORTO, 2006). As redes de distribuição de água fria são consideradas condutos forçados.

Os escoamentos das partículas podem apresentar fluxo laminar ou turbulento, conforme apresentado na Figura 1 pelo experimento de Reynolds (BAPTISTA; LARA, 2010). O número de Reynolds pode ser considerado o parâmetro mais importante no escoamento pois, é a razão dos efeitos da inércia e a viscosidade (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

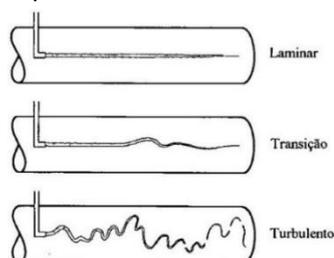


FIGURA 1: Escoamento das partículas.

FONTE: Munson (2004).

O escoamento pode ser considerado laminar se o número de Reynolds for menor que 2100 e, se estiver compreendido entre 2100 e 4000 será de transição. Para o número de Reynolds acima de 4000 será considerado o escoamento turbulento (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

Logo, o número de Reynolds é definido pela a Equação 6 conforme Macintyre (2010, p. 17).

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad \text{Eq. [6]}$$

Em que:

- Re** = número de Reynolds (adimensional);
- V** = velocidade (m/s);
- D** = diâmetro interno do tubo (m);
- ν** = viscosidade cinemática da água (m²/s).

A viscosidade é uma medida quantitativa de resistência de um fluido ao escoamento ao ser aplicada uma tensão de cisalhamento. (WHITE, 2011). Ademais, propriedades como massa específica e peso específico não são suficientes para caracterizar o comportamento dos fluidos em um escoamento. (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004). Segundo White (2011, p. 38), a viscosidade cinemática da água a uma temperatura de 20 °C pode ser considerada em $1,01 \times 10^{-6}$ m²/s.

3.5 PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

A perda de carga distribuída é provocada pelo o movimento da água nos encanamentos (JÚNIOR, 2014). Baptista e Lara (2010, p. 68), dizem que o atrito interno gerado entre as partículas também pode gerar diferentes velocidades em função da viscosidade do líquido e rugosidade da tubulação.

Desse modo, a água ao percorrer o interior de tubos com superfícies lisas encontrará menos atrito e, conseqüentemente menos perda de carga, conforme apresentado na Figura 2 (JÚNIOR, 2020).

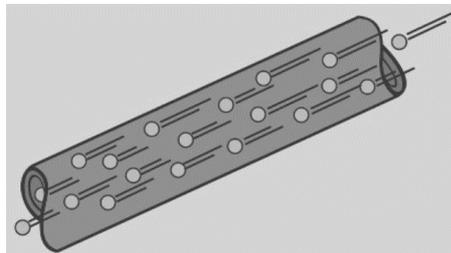


FIGURA 2: Tubo com parede lisa.
FONTE: Manual técnico Tigre (2016).

Em contrapartida, o fluido ao percorrer o interior de uma tubulação com superfícies rugosas encontrará grandes choques e atritos provocando grandes perdas de cargas, conforme apresentado na Figura 3 (JÚNIOR, 2020).

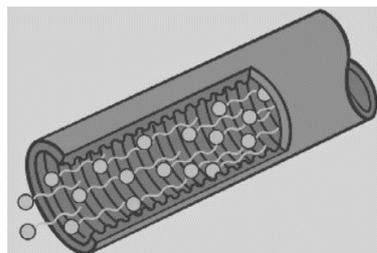


FIGURA 3: Tubo com parede rugosa.
FONTE: Manual técnico Tigre (2016).

A fórmula universal ou fórmula de Darcy-Weisbach foi desenvolvida para os cálculos de perda de carga unitária empregada em condutos de seção circular descrita por Baptista e Lara (2010, p. 68) é conforme a Equação 7.

$$J = \frac{8 \times f}{\pi^2 \times g} \times \frac{Q^2}{D^5} \quad \text{Eq. [7]}$$

Em que:

- J** = perda de carga unitária (m/m);
- f** = coeficiente de perda de carga (adimensional);
- g** = aceleração da gravidade (9,81m/s²);
- D** = diâmetro interno do tubo (m);
- Q** = vazão (m³/s).

Para se determinar o coeficiente de perda de carga utiliza-se da eq. 8 implícita de interpolação de Colebrook e White (BAPTISTA; LARA, 2010).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad \text{Eq. [8]}$$

Em que:

- f** = coeficiente de perda de carga (adimensional);
- Re** = número de Reynolds (adimensional);
- ε** = rugosidade absoluta equivalente (mm);
- D** = diâmetro interno do tubo (m).

A equação implícita é uma combinação das equações proposta por Nikuradse para se determinar o fator de perda de carga conhecida também como fator de atrito, para tubos lisos e rugosos (BAPTISTA; LARA, 2010). A eq. 8 foi plotada por Moody em um gráfico logarítmico conhecido como diagrama de Moody, conforme apresentado na Figura 4 (WHITE, 2011).

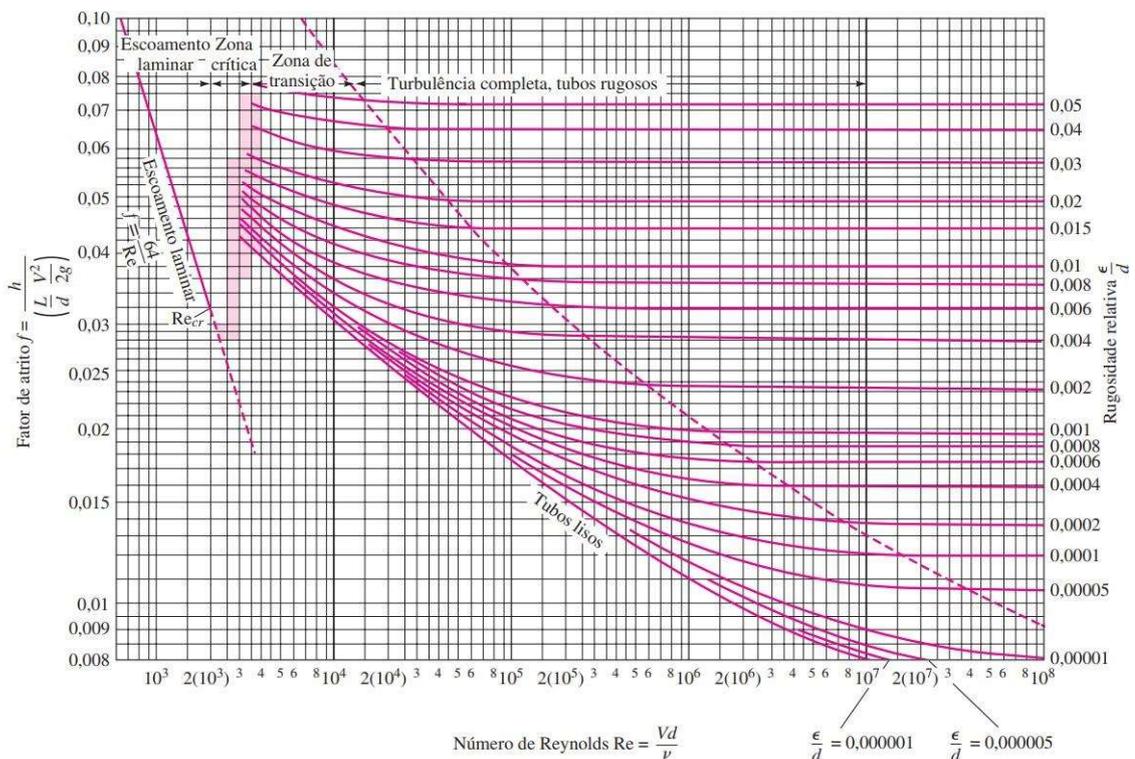


FIGURA 4: Diagrama de Moody.

FONTE: White (2011).

No entanto, Porto (2006, p. 46), demonstra a Equação 9 explícita para a obtenção do fator de atrito desenvolvido por Swamee que pode ser aplicada nos regimes de escoamento laminar, turbulento liso, transição e turbulento rugoso.

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{Re} \right)^8 + 9,5 \times \left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3,7 \times D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{Re} \right)^6 \right]^{-1,6} \right\}^{0,125} \quad \text{Eq. [9]}$$

Em que:

f = coeficiente de perda de carga (adimensional);

Re = número de Reynolds (adimensional);

ε = rugosidade absoluta equivalente (mm);

D = diâmetro interno do tubo (mm).

Na falta de informações das rugosidades das paredes internas dos tubos comerciais em PVC rígido, Baptista e Lara (2016, p. 71) fornece o valor referencial de ϵ igual à 0,06 mm.

A eq. 9 foi escolhida para o desenvolvimento do trabalho porque a mesma consegue reproduzir um diagrama que mantém uma boa concordância com o diagrama de Moody. (PORTO, 2006). Além disso, é de fácil aplicação pois não necessita a aplicação de cálculos iterativos. Embora seja de fácil aplicação, a eq. 9 pode resultar em valores irrelevantes, menores que 2% em relação aos valores obtidos pela eq. 8. (PORTO, 2006).

Os autores Fair-Whipple-Hsiao desenvolveram a eq. 10 para o cálculo da perda de carga unitária em tubos lisos de plástico conduzindo água fria. A equação empírica é descrita por Azevedo Netto (2015, p. 503) como:

$$J = 0,000874 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad \text{Eq. [10]}$$

Em que:

J = perda de carga unitária (m/m);

Q = vazão (m³/s);

D = diâmetro interno do tubo (m).

De acordo com a nota da norma ABNT NBR 5626 (2020, p.28) “A equação universal de perda de carga é a mais indicada. Em caso de utilização de equações empíricas, convém adotar a mais adequada para o material e o diâmetro do trecho de tubulação considerado”.

3.6 PERDA DE CARGA LOCALIZADA

Ao longo das tubulações podem existir diversas conexões como joelhos, curvas, tês, registros, válvulas, medidores entre outros. Estas singularidades provocam dissipação de energia, ou seja, perturbações pontuais, conforme apresentado na Figura 5 (BAPTISTA; LARA, 2010).

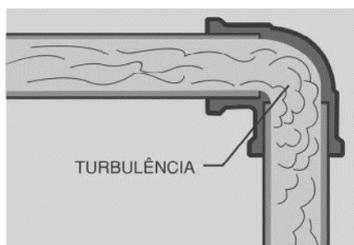


FIGURA 5: Turbulência devido a conexão.

FONTE: Manual técnico Tigre (2016).

Destaca-se o fato de utilizar o método dos comprimentos virtuais para a determinação das perdas de carga localizada. O método dos comprimentos virtuais consiste em substituir as conexões por um tubo de mesmo diâmetro, comprimento e rugosidade capaz de acarretar as mesmas perdas de cargas das peças originais (BAPTISTA; LARA, 2010) e (MACINTYRE, 2010). Tal substituição é denominada de comprimentos equivalentes em metros de tubulação.

3.7 PERDA DE CARGA TOTAL

A perda de carga total em um trecho analisado segundo Júnior (2020, p. 85), por ser apresentado de acordo com a Equação 11.

$$\Delta h = J \times L_{\text{total}} \quad \text{Eq. [11]}$$

Em que:

Δh = perda de carga total (m.c.a).

J = perda de carga unitária (m/m);

L_{total} = comprimento total ($L_{\text{real}} + L_{\text{eq}}$) (m);

L_{real} = comprimento real do trecho (m);

L_{eq} = comprimento equivalente em tubulação do trecho (m).

3.8 PRESSÃO DINÂMICA

Júnior (2020, p. 86), descreve a Equação 12 para se determinar a pressão dinâmica em um ponto qualquer do trecho analisado. Além disso, a norma ABNT NBR 5626:2020 (2020, p.22), afirma que a pressão dinâmica em qualquer ponto de utilização não poderá ser inferior a 1 m.c.a. Nos pontos da rede de distribuição não poderá ser inferior a 0,5 m.c.a mas, poderá ser permitido valores abaixo em trechos verticais de tomadas d'água nas saídas de reservatórios para os barriletes em sistemas indiretos NBR 5626 (ABNT, 2020).

$$P_{\text{jusante}} = P_{\text{montante}} \pm \text{desnível} - \Delta h \quad \text{Eq. [12]}$$

Em que:

P_{jusante} = pressão dinâmica disponível a jusante do trecho considerado (m.c.a);

P_{montante} = pressão dinâmica disponível a montante do trecho considerado (m.c.a);

desnível = diferença de cotas geométricas dos pontos que definem o trecho (m);

Δh = perda de carga total (m.c.a).

3.9 PRESSÃO ESTÁTICA

A pressão estática pode ser entendida como a diferença de cota do nível mínimo de água do reservatório e ponto de consumo analisado (JÚNIOR, 2020). Além disso, a norma ABNT NBR 5626:2020 (2020, p.22) ressalta que a pressão estática nos pontos de consumo não poderá ser superior a 40 m.c.a.

Portanto, "A pressão estática só existe quando não há fluxo de água, e a pressão dinâmica resulta quando as peças estão em funcionamento" (CREDER, 2006, p. 14).

4. METODOLOGIA

Inicialmente, este estudo de caso baseou-se em uma metodologia fundamentada na revisão de literaturas, normas e catálogos técnicos. Sem dúvida, a biblioteca do Instituto Federal Goiano Campus Trindade foi essencial para a pesquisa bibliográfica ao longo do estudo.

Como resultado das pesquisas, foi possível levantar hipóteses a respeito das influências das equações de perdas de cargas no resultado das pressões dinâmicas nos pontos de consumo. Assim, optou-

se por escolher um modelo de um banheiro de uma residência unifamiliar composto por um chuveiro elétrico, torneira de lavatório e um vaso sanitário com válvula por apresentar as piores situações de perdas de pressão dinâmica. O chuveiro elétrico apresenta um desnível geométrico desfavorável a força gravitacional, influenciando diretamente na pressão dinâmica. Por outro, a válvula de descarga da bacia sanitária exige de acordo com a figura 9 o maior peso relativo de consumo, e conseqüentemente necessita de uma maior vazão.

Além disso, com a finalidade de obter dados que fosse possível a comparação, foi necessário utilizar de programas computacionais que aceleraram o processo de cálculos, obtenção de tabelas e gráficos.

4.1 OBTENÇÃO DE DADOS PELO SOFTWARE AUTOCAD®

O software AutoCAD® 2022, foi utilizado para desenhar o modelo do banheiro, conforme apresentado pelas Figuras 6 e 7.

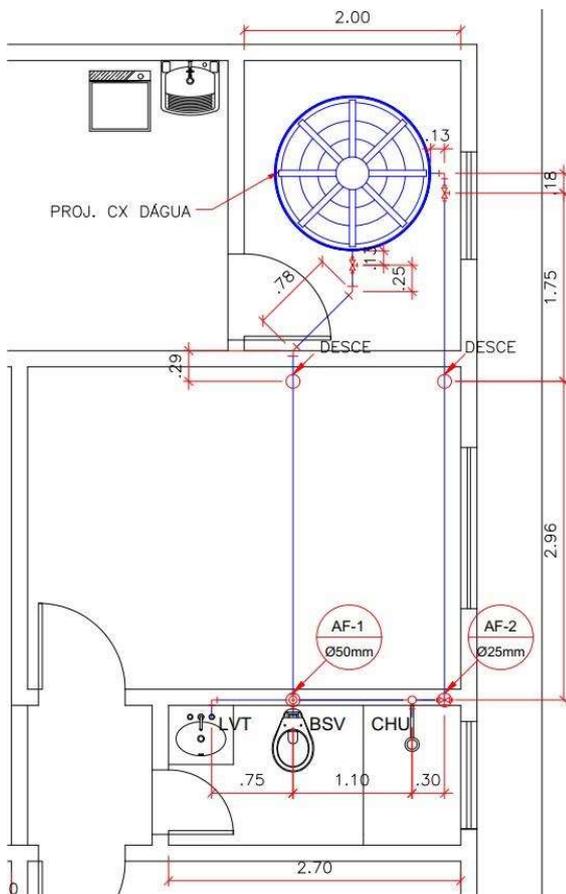


FIGURA 6: Planta baixa com pontos definidos.
FONTE: Autoria própria (2023).

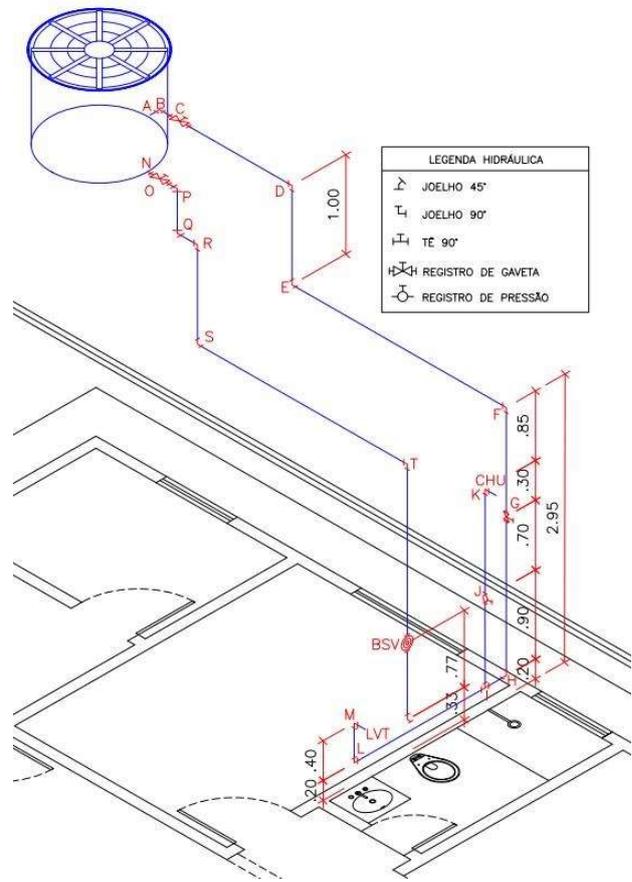


FIGURA 7: Planta isométrico
FONTE: Autoria própria (2023).

Como pode ser visto nas figuras 6 e 7, o ponto de válvula de descarga apresenta uma coluna independente dos demais pontos de consumo. Por isso, nota-se que foi necessário a colocação de duas conexões (joelhos 45°) logo após a saída do reservatório para permitir o alinhamento com a válvula. Nas descidas de todos os tubos verticais e na mudança de direção de todos os tubos na horizontal, foram consideradas conexões de curvas de 90° por apresentar de acordo com a figura 10 uma menor perda equivalente em relação a joelhos de 90°.

No ponto identificado com a letra "i" onde há uma mudança no sentido de fluxo d'água, foi adotado a conexão tê. Nos pontos nomeados de "k" e "m" foram adotadas as conexões de joelho 90° com bucha de latão.

4.2.1 Aba pesos

A aba de base de dados para obtenção dos pesos foi configurada conforme apresentado na Figura 9.

Aparelho sanitário	Peça	Sigla	Altura do ponto de saída d'água (cm)	Peso Relativo	Diâmetro externo comercial - DE mínimo de funcionamento (mm)
		-			
Bacia sanitária	Válvula	BSV	33	32	50
Bacia sanitária	Caixa acoplada	BSC	20	0,3	20
Chuveiro elétrico	Registro de pressão	CHU	210	0,1	20
Ducha	Misturador	DUC	210	0,4	20
Ducha higiênica	Misturador	DHI	50	0,1	20
Lavatório	Torneira ou misturador	LVT	60	0,3	20
Banheira	Misturador	BNH	30	1	20
Pia de cozinha	Torneira ou misturador	PIA	110	0,7	20
Tanque de lavar roupas	Torneira ou misturador	TQE	115	0,7	25
Máquina de lavar roupas	Torneira	MLR	90	0,7	25
Torneira de jardim ou lavagem em geral	Torneira	TJL	60	0,4	20

FIGURA 9: Aba pesos – imagem ampliada da planilha.

FONTE: Netto et al. (2015).

A Figura 9 é uma adaptação da tabela fornecida por Netto et al. (2015, p. 501). Nesta tabela, foram acrescentados os valores recomendados das alturas do ponto de saída de água conforme proposto por Júnior (2020, p. 65). Além disso, os valores dos diâmetros mínimos dos sub-ramais para o funcionamento dos aparelhos foram adicionados de acordo com o Manual técnico Tigre: Orientações técnicas sobre instalações hidráulicas prediais (2016, p. 199).

4.2.2 Aba perda de carga

Esta é uma aba que contém o armazenamento de dados relativos aos comprimentos equivalentes dos aparelhos conforme apresentado na Figura 10.

Conexões		-	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° passagem direta	Tê 90° saída de lado	Tê 90° saída bilateral	Entrada normal	Entrada de borda	Saída de canalização	Válvula de pé e crivo	Válvula de retenção tipo leve	Válvula de retenção tipo pesado	Registro de globo aberto	Registro de gaveta aberto	Registro de ângulo aberto
Dimetro externo comercial - DE (mm)	D.ref (polegadas)	-																
20,00	1/2"	-	1,10	0,40	0,40	0,20	0,70	2,30	2,30	0,30	0,90	0,80	8,10	2,50	3,60	11,10	0,10	5,90
25,00	3/4"	-	1,20	0,50	0,50	0,30	0,80	2,40	2,40	0,40	1,00	0,90	9,50	2,70	4,10	11,40	0,20	6,10
32,00	1"	-	1,50	0,70	0,60	0,40	0,90	3,10	3,10	0,50	1,20	1,30	13,30	3,80	5,80	15,00	0,30	8,40
40,00	1 1/4"	-	2,00	1,00	0,70	0,50	1,50	4,60	4,60	0,60	1,80	1,40	15,50	4,90	7,40	22,00	0,40	10,50
50,00	1 1/2"	-	3,20	1,00	1,20	0,60	2,20	7,30	7,30	1,00	2,30	3,20	18,30	6,80	9,10	35,80	0,70	17,00
60,00	2"	-	3,40	1,30	1,30	0,70	2,30	7,60	7,60	1,50	2,80	3,30	23,70	7,10	10,80	37,90	0,80	18,50
75,00	2 1/2"	-	3,70	1,70	1,40	0,80	2,40	7,80	7,80	1,60	3,30	3,50	25,00	8,20	12,50	38,00	0,90	19,00
85,00	3"	-	3,90	1,80	1,50	0,90	2,50	8,00	8,00	2,00	3,70	3,70	26,80	9,30	14,20	40,00	0,90	20,00
110,00	4"	-	4,30	1,90	1,60	1,00	2,60	8,30	8,30	2,20	4,00	3,90	28,60	10,40	16,00	42,30	1,00	22,10

FIGURA 10: Aba perda de carga – imagem ampliada da planilha.

FONTE: Júnior (2020).

A Figura 10 é uma adaptação da tabela de comprimentos equivalentes proposto por Júnior (2020, p. 85).

As conexões que apresentam reduções foram programadas na planilha, mas não constam os seus respectivos valores de comprimentos equivalentes, conforme apresentado na Figura 11. Não foi possível ao decorrer do desenvolvimento deste trabalho, obter informações fundamentadas em literaturas, prescrições normativas ou catálogos técnicos. Só foi possível obter os valores comerciais de redução dos diâmetros tendo como referência básica o catálogo predial Tigre. Vale ressaltar que, no desenvolvimento deste trabalho não houve a possibilidade de uso de conexões com reduções. Assim, não houve interferências nos resultados obtidos.

Conexões		Tê 90° com redução passagem direta											Tê 90° com redução saída de lado ou bilateral											Lava de redução soldável				
		25x20	32x25	40x25	40x32	50x20	50x25	50x32	60x25	60x50	75x50	25x20	32x25	40x25	40x32	50x20	50x25	50x32	60x25	60x50	75x50	25x20	32x25	40x32	50x25	60x50	75x60	
Dímetro externo comercial - DE (mm)	D.ref (polegadas)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20,00	1/2"	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
25,00	3/4"	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
32,00	1"	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
40,00	1 1/4"	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
50,00	1 1/2"	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
60,00	2"	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
75,00	2 1/2"	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
85,00	3"	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
110,00	4"	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

FIGURA 11: Aba perda de carga das conexões com reduções – imagem ampliada da planilha.

FONTE: Catálogo predial Tigre (2023).

4.2.3 Aba diâmetros

Aba que contém o armazenamento de dados relativos as dimensões dos tubos em PVC soldável rígido conforme apresentado na Figura 12.

D ref. (pol)	DN (mm)	DE (mm)	e (mm)	DI (mm)	Área DI (mm²)
1/2"	15,00	20,00	1,50	17,00	226,98
3/4"	20,00	25,00	1,70	21,60	366,44
1"	25,00	32,00	2,10	27,80	606,99
1 1/4"	32,00	40,00	2,40	35,20	973,14
1 1/2"	40,00	50,00	3,00	44,00	1520,53
2"	50,00	60,00	3,30	53,40	2239,61
2 1/2"	60,00	75,00	4,20	66,60	3483,68
3"	75,00	85,00	4,70	75,60	4488,83
4"	100,00	110,00	6,10	97,80	7512,21

FIGURA 12: Aba diâmetros – imagem ampliada da planilha.

FONTE: Júnior (2020).

A Figura 12 é uma adaptação do quadro referente ao diâmetro nominal e comercial proposto por Júnior (2020, p. 108). Além disso, a Figura 13 e Tabela 1 representa as dimensões e os respectivos valores das espessuras e diâmetros externos de um tubo de pvc proposto pelo catálogo técnico do fabricante Tigre: Orientações para instalações de água fria (2016, p. 8).

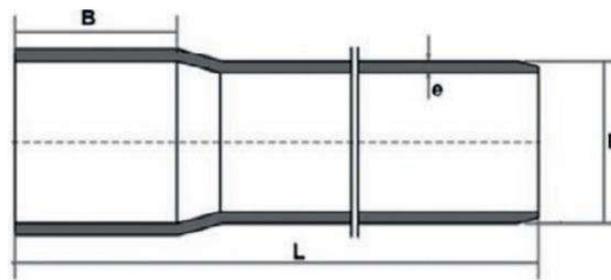


FIGURA 13: Dimensões PVC rígido soldável.

FONTE: Orientações para instalações de água fria (2016).

TABELA 1: Dimensões PCV rígido soldável.

Cotas (mm)	20	25	32	40	50	60	77	85	110
D	20	25	32	40	50	60	75	85	110
e	1,5	1,7	2,1	2,4	3,0	3,3	4,2	4,7	6,1

FONTE: Orientações para instalações de água fria (2016).

4.2.4 Aba lista de materiais

Esta aba fornece automaticamente todo o quantitativo de conexões e tubos presentes no dimensionamento de acordo com o diâmetro apresentado conforme Figura 14. Um dos destaques desta lista de materiais, deve-se a programação feita para resultar nas diversas peças que compõem determinado equipamento hidráulico.

LISTA DE MATERIAIS										
Conexões PVC Rígido Soldável	Diâmetros das Conexões									
	20,00	25,00	32,00	40,00	50,00	60,00	75,00	85,00	110,00	D.Externo (mm)
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	D.ref (polegadas)
Quantidade										
Joelho 90°										Unidades
Joelho 90° com bucha de latão										Unidades
Joelho 45°										Unidades
Curva 90°										Unidades
Curva 45°										Unidades
Tê 90° simples										Unidades
Tê 90° com redução 25x20										Unidades
Tê 90° com redução 32x25										Unidades
Tê 90° com redução 40x25										Unidades
Tê 90° com redução 40x32										Unidades
Tê 90° com redução 50x20										Unidades
Tê 90° com redução 50x25										Unidades
Tê 90° com redução 50x32										Unidades
Tê 90° com redução 50x40										Unidades
Tê 90° com redução 60x25										Unidades
Tê 90° com redução 60x50										Unidades
Tê 90° com redução 75x50										Unidades
Luva de redução soldável 25x20										Unidades
Luva de redução soldável 32x25										Unidades
Luva de redução soldável 40x32										Unidades
Luva de redução soldável 50x25										Unidades
Luva de redução soldável 60x50										Unidades
Luva de redução soldável 75x60										Unidades
Adaptador com anel para caixa d'água										Unidades
Registro de pressão										Unidades
Registro de gaveta aberto										Unidades
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro										Unidades
Luva soldável com bolsa e bucha de latão										Unidades
Engate flexível pvc 1/2" 30cm										Unidades
Válvula de descarga 1.1/2"										Unidades
Tubo de descarga 38x80cm 1.1/4"										Unidades
Tubo PVC rígido soldável										Metros

FIGURA 14: Aba lista de materiais – imagem ampliada da planilha.

FONTE: Autoria própria (2023).

Dessa maneira, foi inserida na planilha eletrônica todas as informações levantadas pelo software AutoCAD® como a definição de trechos identificados por letras, pesos dos aparelhos, conexões presentes, comprimentos dos tubos, desníveis geométricos e alturas. Ao final da inserção dos dados, o programa calculou automaticamente todas as pressões dinâmicas nos pontos de consumo, informando inclusive a verificação do atendimento mínimo a norma NBR 5626 (ABNT, 2020). Para mais informações acerca do funcionamento da planilha verificar item apêndice.

4.3 INSERÇÃO DE DADOS NO SOFTWARE ALTOQI BUILDER HIDROSSANITÁRIO BASIC 2021®

O software AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021® possui uma área de trabalho no qual foi possível inserir o modelo da planta baixa e obter automaticamente os esquemas isométricos facilitando a inserção dos pontos hidráulicos conforme apresentado na Figura 15.

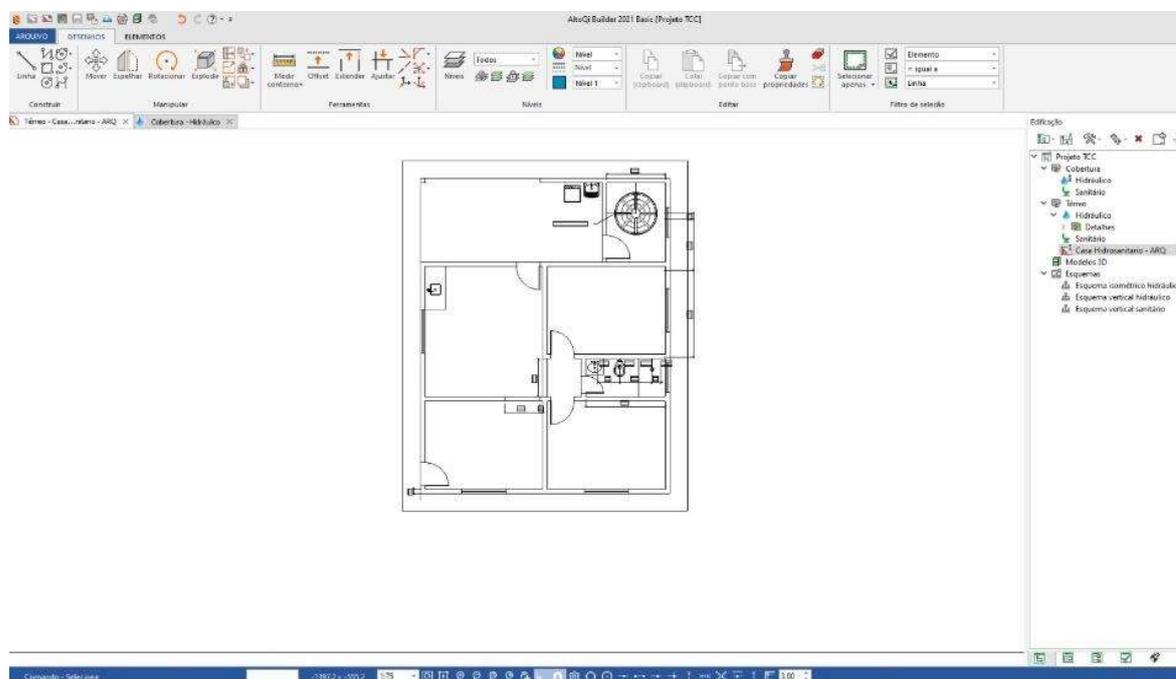


FIGURA 15: Área de trabalho do software
FONTES: AltoQI Builder hidrossanitário basic 2021® (2023).

O modelo arquitetônico foi lançado no software mantendo as mesmas considerações feitas no item 4.1. No sistema de configurações do programa foi possível definir os modelos de cálculos utilizados para a determinação das perdas de cargas. Já no sistema de cadastro de peças constatou-se que o software utiliza o fator de rugosidade ϵ igual à 0,06 mm, conforme apresentado na Figura 16.

▼ Grupo de peças	
Nome	Tubos - diâmetro interno comercial
Código	3057
▼ Seção	
Tipo	Circular
Representação	Linha simples
▼ Propriedades hidráulicas	
Rugosidade (Hazen-Williams)	135
Rugosidade equivalente (Fórmula universal) ($\div 1000$)	0.06

FIGURA 16: Rugosidade utilizado pelo software.
FONTES: AltoQI Builder hidrossanitário basic 2021® (2023).

Verificou-se que o software enumera os trechos e considera a última conexão do trecho analisado como a peça inicial pertencente ao próximo trecho. Ao analisar as equações utilizadas pelo programa para efetuar os cálculos, verificou-se que se utiliza das mesmas equações aqui apresentadas na revisão bibliográfica. Contudo, difere-se no método para a obtenção do fator de atrito. Nota-se que o software se baseia nas equações explícitas 13, 14, 15, 16, 17 e 18 diferenciando-se pelo os regimes de escoamentos.

$$R \leq 2500 \text{ regime laminar } f = \frac{64}{R} \quad \text{Eq. [13]}$$

$$2500 < R \leq 4000 \text{ região crítica não se calcula} \quad \text{Eq. [14]}$$

$$R \geq 4000 \text{ regime turbulento, calcular } \frac{R^{0,9}}{\frac{D}{K}} \quad \text{Eq. [15]}$$

$$\frac{R^{0,9}}{\frac{D}{K}} \leq 31 \text{ regime turbulento liso, } f = \left[-2 \log \left(\frac{5,62}{R^{0,9}} \right) \right]^{-2} \quad \text{Eq. [16]}$$

$$31 < \frac{R^{0,9}}{\frac{D}{K}} < 448 \text{ regime turbulento misto, } f = \left[-2 \log \left(\frac{K}{3,71 \cdot D} + \frac{5,62}{R^{0,9}} \right) \right]^{-2} \quad \text{Eq. [17]}$$

$$\frac{R^{0,9}}{\frac{D}{K}} \geq 448 \text{ regime turbulento rugoso, } f = \left[-2 \log \left(\frac{K}{3,71 \cdot D} \right) \right]^{-2} \quad \text{Eq. [18]}$$

Em que:

- R** = número de Reynolds (adimensional);
- Q** = vazão (m³/s);
- D** = diâmetro interno do conduto (m);
- ν** = viscosidade cinemática da água (m²/s);
- f** = coeficiente universal de perda de carga ou atrito;
- K** = rugosidade equivalente (m).

O software não apresenta uma referência bibliográfica de suas equações. Desse modo, foi constatado ao consultar as literaturas e artigos que a eq.13 trata-se segundo White (2011, p. 363) da equação de Poiseuille. Já a eq.16 se refere a equação de Konakov segundo Souza (1977, p. 52). A eq. 18 é a equação proposta por Nikuradse de acordo com White (2011, p. 375). Assim, ao combinar os argumentos dos logaritmos das eqs. 16 e 18 obtém-se como informa Souza (1977, p. 52) a eq. 17. Nota-se que, o valor de 2500 referente ao intervalo máximo de regime de escoamento laminar, difere-se do valor de 2100 proposto por Munson et.al (2004).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a inserção de dados relacionados aos pesos e conexões, a planilha apresentou a seguinte configuração conforme apresentado nas Figuras 17 e 18.

Trechos			Aparelhos											Peso Total
Inicial	Final	Função	BSV	BSC	CHU	DUC	DHI	LVT	BNH	PIA	TQE	MLR	TJL	
A	B	Início			1			1						0,40
B	C	Barrilete			1			1						0,40
C	D	Barrilete			1			1						0,40
D	E	Barrilete			1			1						0,40
E	F	Barrilete			1			1						0,40
F	G	Coluna			1			1						0,40
G	H	Coluna			1			1						0,40
H	I	Coluna			1			1						0,40
I	J	Ramal			1									0,10
J	CHU	Utilização			1									0,10
-	-	-												-
I	L	Sub-Ramal						1						0,30
L	LVT	Utilização						1						0,30
-	-	-												-
N	O	Início	1											32,00
O	P	Barrilete	1											32,00
P	Q	Barrilete	1											32,00
Q	R	Barrilete	1											32,00
R	S	Barrilete	1											32,00
S	T	Barrilete	1											32,00
T	BSV	Utilização	1											32,00

FIGURA 17: Aba dimensionamento – imagem ampliada do trecho resultados dos pesos.

FONTE: Autoria própria (2023).

Trechos			Conexões																	
Inicial	Final	Função	Peso Total	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° passagem direta	Tê 90° saída de lado	Tê 90° saída bilateral	Entrada normal	Entrada de borda	Saída de canalização	Válvula de pé e crivo	Válvula de retenção tipo leve	Válvula de retenção tipo pesado	Registro de globo aberto	Registro de gaveta aberto	Registro de ângulo aberto	
A	B	Início	0,40			1							1							
B	C	Barrilete	0,40																1	
C	D	Barrilete	0,40			1														
D	E	Barrilete	0,40			1														
E	F	Barrilete	0,40			1														
F	G	Coluna	0,40																1	
G	H	Coluna	0,40			1														
H	I	Coluna	0,40																	
I	J	Ramal	0,10												1					
J	CHU	Utilização	0,10	1														1		
-	-	-	-																	
I	L	Sub-Ramal	0,30			1														
L	LVT	Utilização	0,30	1																
-	-	-	-																	
N	O	Início	32,00										1							
O	P	Barrilete	32,00		1															
P	Q	Barrilete	32,00		1															
Q	R	Barrilete	32,00			1														
R	S	Barrilete	32,00			1														
S	T	Barrilete	32,00			1														
T	BSV	Utilização	32,00																	

FIGURA 18: Aba dimensionamento – imagem ampliada do trecho resultados das conexões.
 FONTE: Autoria própria (2023).

Neste modelo de estudo, foi considerado que a última conexão localizada ao final do trecho é computada como pertencente aquele trecho. Essa consideração foi adotada ao verificar os modelos de estudos de literaturas referenciadas nesse trabalho.

Verifica-se que, ao adotar o método de cálculo por Fair-Whipple-Hsiao a planilha resultou nos seguintes resultados como apresentado na Figuras 19 e 20.

Perda de Carga								
Método de Cálculo:		Fair-Whipple-Hsiao			-			
Vazão Q	Diâmetro DE	Diâmetro DI	Velocidade V	Comprimento			Perda de Carga Unitária J	Perda de Carga Total Ah
				L _{real}	L _{eq.}	L _{total}		
(m³/s)	(mm)	(mm)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m.c.a)
0,00019	25,00	21,60	0,52	0,13	1,50	1,63	0,0219	0,04
0,00019	25,00	21,60	0,52	0,18	0,20	0,38	0,0219	0,01
0,00019	25,00	21,60	0,52	1,75	0,50	2,25	0,0219	0,05
0,00019	25,00	21,60	0,52	1,00	0,50	1,50	0,0219	0,03
0,00019	25,00	21,60	0,52	2,96	0,50	3,46	0,0219	0,08
0,00019	25,00	21,60	0,52	1,15	0,20	1,35	0,0219	0,03
0,00019	25,00	21,60	0,52	1,60	0,50	2,10	0,0219	0,05
0,00019	25,00	21,60	0,52	0,30	2,40	2,70	0,0219	0,06
0,00009	25,00	21,60	0,26	0,90	11,40	12,30	0,0065	0,08
0,00009	25,00	21,60	0,26	1,00	1,20	2,20	0,0065	0,01
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,00016	25,00	21,60	0,45	1,85	0,50	2,35	0,0170	0,04
0,00016	25,00	21,60	0,45	0,40	1,20	1,60	0,0170	0,03
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,00170	50,00	44,00	1,12	0,13	3,00	3,13	0,0344	0,11
0,00170	50,00	44,00	1,12	0,25	1,00	1,25	0,0344	0,04
0,00170	50,00	44,00	1,12	0,78	1,00	1,78	0,0344	0,06
0,00170	50,00	44,00	1,12	0,29	1,20	1,49	0,0344	0,05
0,00170	50,00	44,00	1,12	1,00	1,20	2,20	0,0344	0,08
0,00170	50,00	44,00	1,12	2,96	1,20	4,16	0,0344	0,14
0,00170	50,00	44,00	1,12	1,85	0,00	1,85	0,0344	0,06

FIGURA 19: Aba dimensionamento – imagem ampliada do trecho resultados método de Fair-Whipple-Hsiao.
 FONTE: Autoria própria (2023).

Pressão Dinâmica				Pressão Estática				
Tomada d'água (m.c.a):				0,30	Altura do Reservatório (m):			3,95
Desnível	Pressão Inicial	Pressão Final	Pressão Mínima	Verificação	Altura do Trecho	Pressão Estática	Pressão Máxima	Verificação
(m)	(m.c.a)	(m.c.a)	(m.c.a)		(m)	(m.c.a)	(m.c.a)	
0,00	0,30	0,26	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,26	0,26	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,26	0,21	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
1,00	0,21	1,17	0,50	Ok	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	1,17	1,10	0,50	Ok	2,95	1,30	40,00	Ok
1,15	1,10	2,22	0,50	Ok	2,95	1,30	40,00	Ok
1,60	2,22	3,77	0,50	Ok	1,80	2,45	40,00	Ok
0,00	3,77	3,71	0,50	Ok	0,20	4,05	40,00	Ok
-0,90	3,71	2,73	0,50	Ok	0,20	4,05	40,00	Ok
-1,00	2,73	1,72	1,00	Ok	1,10	3,15	40,00	Ok
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,00	3,71	3,67	1,00	Ok	0,20	4,05	40,00	Ok
-0,40	3,67	3,25	1,00	Ok	0,20	4,05	40,00	Ok
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,00	0,30	0,19	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,19	0,15	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,15	0,09	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,09	0,04	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
1,00	0,04	0,96	0,50	Ok	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,96	0,82	0,50	Ok	2,95	1,30	40,00	Ok
1,85	0,82	2,60	1,00	Ok	1,10	3,15	40,00	Ok

FIGURA 20: Aba dimensionamento – imagem ampliada do trecho resultados método de Fair-Whipple-Hsiao.

FONTE: Autoria própria (2023).

E, pelo método da fórmula universal como mostrado nas Figuras 21 e 22.

Perda de Carga								
Método de Cálculo:		Universal		Rugosidade Absoluta ϵ (mm):			0,06	
Vazão Q	Diâmetro DE	Diâmetro DI	Velocidade V	Comprimento			Perda de Carga	Perda de Carga
(m³/s)	(mm)	(mm)	(m/s)	L _{real}	L _{eq.}	L _{total}	Unitária J	Total Δh
	(mm)	(mm)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m.c.a)
0,00019	25,00	21,60	0,52	0,13	1,50	1,63	0,0219	0,04
0,00019	25,00	21,60	0,52	0,18	0,20	0,38	0,0219	0,01
0,00019	25,00	21,60	0,52	1,75	0,50	2,25	0,0219	0,05
0,00019	25,00	21,60	0,52	1,00	0,50	1,50	0,0219	0,03
0,00019	25,00	21,60	0,52	2,96	0,50	3,46	0,0219	0,08
0,00019	25,00	21,60	0,52	1,15	0,20	1,35	0,0219	0,03
0,00019	25,00	21,60	0,52	1,60	0,50	2,10	0,0219	0,05
0,00019	25,00	21,60	0,52	0,30	2,40	2,70	0,0219	0,06
0,00009	25,00	21,60	0,26	0,90	11,40	12,30	0,0063	0,08
0,00009	25,00	21,60	0,26	1,00	1,20	2,20	0,0063	0,01
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,00016	25,00	21,60	0,45	1,85	0,50	2,35	0,0169	0,04
0,00016	25,00	21,60	0,45	0,40	1,20	1,60	0,0169	0,03
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,00170	50,00	44,00	1,12	0,13	3,00	3,13	0,0365	0,11
0,00170	50,00	44,00	1,12	0,25	1,00	1,25	0,0365	0,05
0,00170	50,00	44,00	1,12	0,78	1,00	1,78	0,0365	0,06
0,00170	50,00	44,00	1,12	0,29	1,20	1,49	0,0365	0,05
0,00170	50,00	44,00	1,12	1,00	1,20	2,20	0,0365	0,08
0,00170	50,00	44,00	1,12	2,96	1,20	4,16	0,0365	0,15
0,00170	50,00	44,00	1,12	1,85	0,00	1,85	0,0365	0,07

FIGURA 21: Aba dimensionamento – imagem ampliada do trecho resultados método universal.

FONTE: Autoria própria (2023).

Pressão Dinâmica				Pressão Estática				
Tomada d'água (m.c.a):				0,30	Altura do Reservatório (m):			3,95
Desnível	Pressão Inicial	Pressão Final	Pressão Mínima	Verificação	Altura do Trecho	Pressão Estática	Pressão Máxima	Verificação
(m)	(m.c.a)	(m.c.a)	(m.c.a)		(m)	(m.c.a)	(m.c.a)	
0,00	0,30	0,26	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,26	0,26	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,26	0,21	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
1,00	0,21	1,17	0,50	Ok	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	1,17	1,10	0,50	Ok	2,95	1,30	40,00	Ok
1,15	1,10	2,22	0,50	Ok	2,95	1,30	40,00	Ok
1,60	2,22	3,77	0,50	Ok	1,80	2,45	40,00	Ok
0,00	3,77	3,71	0,50	Ok	0,20	4,05	40,00	Ok
-0,90	3,71	2,73	0,50	Ok	0,20	4,05	40,00	Ok
-1,00	2,73	1,72	1,00	Ok	1,10	3,15	40,00	Ok
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,00	3,71	3,67	1,00	Ok	0,20	4,05	40,00	Ok
-0,40	3,67	3,25	1,00	Ok	0,20	4,05	40,00	Ok
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,00	0,30	0,19	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,19	0,14	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,14	0,08	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,08	0,02	0,50	Aceitável	3,95	0,30	40,00	Ok
1,00	0,02	0,94	0,50	Ok	3,95	0,30	40,00	Ok
0,00	0,94	0,79	0,50	Ok	2,95	1,30	40,00	Ok
1,85	0,79	2,57	1,00	Ok	1,10	3,15	40,00	Ok

FIGURA 22: Aba dimensionamento – imagem ampliada do trecho resultados método universal.

FONTE: Autoria própria (2023).

Em virtude de se utilizar o método universal, foi preciso acrescentar na planilha o valor da rugosidade absoluta em 0,06 mm como proposto por Baptista e Lara (2016, p. 71). Foi considerado 30 cm de lâmina d'água no fundo do reservatório como pressão inicial do sistema.

Ao observar as células de verificação para ambos os métodos, verificou-se que alguns dos trechos de saída de reservatório (início, barrilete) não atingiram os valores mínimos por norma de 0,5 m.c.a. No entanto, a norma permite que excepcionalmente nestes trechos com essas funções possam ainda ter valores abaixo deste valor mínimo desde que não seja valores com pressões negativas. Nos demais trechos foram atingidos os valores mínimos de 1 m.c.a. As diferenças dos valores de pressões dinâmicas entre os dois métodos, podem ser comparadas conforme mostrado na Figura 23.

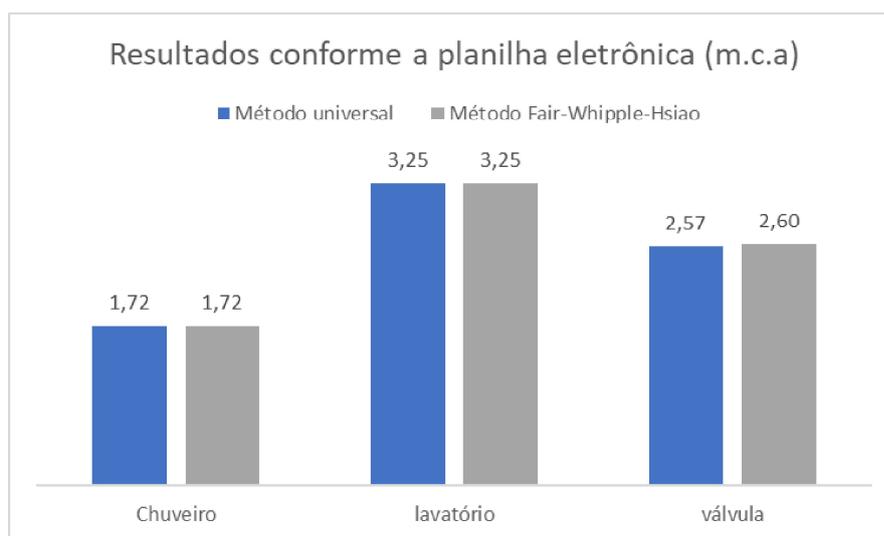


FIGURA 23: Comparação de resultados gerados pela planilha eletrônica.

FONTE: Autoria própria (2023).

Ao se comparar os dois métodos de perda de carga, foi constatado que houve um aumento percentual de 1,17 % no valor da pressão dinâmica no ponto da válvula de descarga do vaso sanitário ao considerar o método de Fair-Whipple-Hsiao. No entanto, não houve variação percentual para os demais pontos analisados.

Ademais, nota-se que os valores das pressões estáticas ficaram dentro dos limites permitidos por norma, haja vista que estes valores só seriam extrapolados se a edificação fosse bem alta, como em um edifício de inúmeros pavimentos. Ao final, foi obtido a lista de materiais conforme mostrado nas Figura 24.

LISTA DE MATERIAIS										
Conexões PVC Rígido Soldável	Diâmetros das Conexões									D.Externo (mm) D.ref (polegadas)
	20,00	25,00	32,00	40,00	50,00	60,00	75,00	85,00	110,00	
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	
Quantidade										
Joelho 90°										Unidades
Joelho 90° com bucha de latão		2,00								Unidades
Joelho 45°					2,00					Unidades
Curva 90°		6,00			3,00					Unidades
Curva 45°										Unidades
Tê 90° simples		1,00								Unidades
Tê 90° com redução 25x20										Unidades
Tê 90° com redução 32x25										Unidades
Tê 90° com redução 40x25										Unidades
Tê 90° com redução 40x32										Unidades
Tê 90° com redução 50x20										Unidades
Tê 90° com redução 50x25										Unidades
Tê 90° com redução 50x32										Unidades
Tê 90° com redução 50x40										Unidades
Tê 90° com redução 60x25										Unidades
Tê 90° com redução 60x50										Unidades
Tê 90° com redução 75x50										Unidades
Luva de redução soldável 25x20										Unidades
Luva de redução soldável 32x25										Unidades
Luva de redução soldável 40x32										Unidades
Luva de redução soldável 50x25										Unidades
Luva de redução soldável 60x50										Unidades
Luva de redução soldável 75x60										Unidades
Adaptador com anel para caixa d'água		1,00			1,00					Unidades
Registro de pressão		1,00								Unidades
Registro de gaveta aberto		2,00			1,00					Unidades
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca para registro		5,00			2,00					Unidades
Luva soldável com bolsa e bucha de latão		1,00								Unidades
Engate flexível pvc 1/2" 30cm	1,00									Unidades
Válvula de descarga 1.1/2"					1,00					Unidades
Tubo de descarga 38x80cm 1.1/4"					1,00					Unidades
Tubo PVC rígido soldável		13,22			7,26					Metros

FIGURA 24: Resultados lista de materiais.

FONTE: Autoria própria (2023).

Já o software AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021® forneceu considerando o método de cálculo por Fair-Whipple-Hsiao os dados conforme mostrados nas Figuras 25, 26 e 27.

Trecho	Vazão (l/s)	Ø (mm)	Veloc. (m/s)	Comprimento (m)			J (m/m)	Perda (m.c.a.)	Altura (m)	Desnível (m)	Pressões (m.c.a.)	
				Conduto	Equiv.	Total					Disp.	Jusante
1-2	0.19	22	0.52	0.13	1.00	1.13	0.0219	0.02	3.95	0.00	0.30	0.28
2-3	0.19	22	0.52	0.18	0.50	0.68	0.0219	0.01	3.95	0.00	0.28	0.26
3-4	0.19	22	0.52	1.75	0.20	1.95	0.0219	0.04	3.95	0.00	0.26	0.22
4-5	0.19	22	0.52	1.00	0.50	1.50	0.0219	0.03	3.95	1.00	1.22	1.18
5-6	0.19	22	0.52	2.96	0.50	3.46	0.0219	0.08	2.95	0.00	1.18	1.11
6-7	0.19	22	0.52	0.05	0.50	0.55	0.0219	0.01	2.95	0.05	1.16	1.15
7-8	0.19	22	0.52	1.10	0.01	1.11	0.0219	0.02	2.90	1.10	2.25	2.22
8-9	0.19	22	0.52	1.60	0.20	1.80	0.0219	0.04	1.80	1.60	3.82	3.78
9-10	0.19	22	0.52	0.30	0.50	0.80	0.0219	0.02	0.20	0.00	3.78	3.77
10-11	0.10	22	0.27	0.90	2.40	3.30	0.0071	0.02	0.20	-0.90	2.87	2.84
11-12	0.10	22	0.27	1.00	11.40	12.40	0.0071	0.09	1.10	-1.00	1.84	1.75
12-13	0.10	22	0.27	0.00	1.20	1.20	0.0071	0.01	2.10	0.00	1.75	1.75

FIGURA 25: Resultados para o ponto chuveiro elétrico.

FONTE: AltoQI Builder hidrossanitário basic 2021® (2023).

Trecho	Vazão (l/s)	Ø (mm)	Veloc. (m/s)	Comprimento (m)			J (m/m)	Perda (m.c.a.)	Altura (m)	Desnível (m)	Pressões (m.c.a.)	
				Conduto	Equiv.	Total					Disp.	Jusante
1-2	0.19	22	0.52	0.13	1.00	1.13	0.0219	0.02	3.95	0.00	0.30	0.28
2-3	0.19	22	0.52	0.18	0.50	0.68	0.0219	0.01	3.95	0.00	0.28	0.26
3-4	0.19	22	0.52	1.75	0.20	1.95	0.0219	0.04	3.95	0.00	0.26	0.22
4-5	0.19	22	0.52	1.00	0.50	1.50	0.0219	0.03	3.95	1.00	1.22	1.18
5-6	0.19	22	0.52	2.96	0.50	3.46	0.0219	0.08	2.95	0.00	1.18	1.11
6-7	0.19	22	0.52	0.05	0.50	0.55	0.0219	0.01	2.95	0.05	1.16	1.15
7-8	0.19	22	0.52	1.10	0.01	1.11	0.0219	0.02	2.90	1.10	2.25	2.22
8-9	0.19	22	0.52	1.60	0.20	1.80	0.0219	0.04	1.80	1.60	3.82	3.78
9-10	0.19	22	0.52	0.30	0.50	0.80	0.0219	0.02	0.20	0.00	3.78	3.77
10-11	0.16	22	0.45	1.85	0.80	2.65	0.0170	0.05	0.20	0.00	3.77	3.72
11-12	0.16	22	0.45	0.40	0.50	0.90	0.0170	0.02	0.20	-0.40	3.32	3.31
12-13	0.16	22	0.45	0.00	1.20	1.20	0.0170	0.02	0.60	0.00	3.31	3.29

FIGURA 26: Resultados para o ponto lavatório.

FONTE: AltoQI Builder hidrossanitário basic 2021® (2023).

Trecho	Vazão (l/s)	Ø (mm)	Veloc. (m/s)	Comprimento (m)			J (m/m)	Perda (m.c.a.)	Altura (m)	Desnível (m)	Pressões (m.c.a.)	
				Conduto	Equiv.	Total					Disp.	Jusante
1-2	1.70	44	1.12	0.13	2.30	2.43	0.0345	0.08	3.95	0.00	0.30	0.22
2-3	1.70	44	1.12	0.25	0.70	0.95	0.0345	0.03	3.95	0.00	0.22	0.18
3-4	1.70	44	1.12	0.78	1.00	1.78	0.0345	0.06	3.95	0.00	0.18	0.12
4-5	1.70	44	1.12	0.29	1.00	1.29	0.0345	0.04	3.95	0.00	0.12	0.08
5-6	1.70	44	1.12	1.00	1.20	2.20	0.0345	0.08	3.95	1.00	1.08	1.00
6-7	1.70	44	1.12	2.96	1.20	4.16	0.0345	0.14	2.95	0.00	1.00	0.86
7-8	1.70	44	1.12	0.05	1.20	1.25	0.0345	0.04	2.95	0.05	0.91	0.86
8-9	1.70	44	1.12	1.80	0.01	1.81	0.0345	0.06	2.90	1.80	2.66	2.60
9-10	1.70	44	1.12	0.77	0.10	0.87	0.0345	0.03	1.10	0.77	3.37	3.34
10-11	1.70	44	1.12	0.00	0.00	0.00	0.0345	0.00	0.33	0.00	3.34	3.34

FIGURA 27: Resultados para o ponto válvula de descarga vaso sanitário.

FONTE: AltoQI Builder hidrossanitário basic 2021® (2023).

Já pelo o método de cálculo universal, os dados foram conforme mostrados nas Figuras 28, 29 e 30.

Trecho	Vazão (l/s)	Ø (mm)	Veloc. (m/s)	Comprimento (m)			J (m/m)	Perda (m.c.a.)	Altura (m)	Desnível (m)	Pressões (m.c.a.)	
				Conduto	Equiv.	Total					Disp.	Jusante
1-2	0.19	22	0.52	0.13	1.00	1.13	0.0189	0.02	3.95	0.00	0.30	0.28
2-3	0.19	22	0.52	0.18	0.50	0.68	0.0189	0.01	3.95	0.00	0.28	0.27
3-4	0.19	22	0.52	1.75	0.20	1.95	0.0189	0.04	3.95	0.00	0.27	0.23
4-5	0.19	22	0.52	1.00	0.50	1.50	0.0189	0.03	3.95	1.00	1.23	1.20
5-6	0.19	22	0.52	2.96	0.50	3.46	0.0189	0.07	2.95	0.00	1.20	1.14
6-7	0.19	22	0.52	0.05	0.50	0.55	0.0189	0.01	2.95	0.05	1.19	1.17
7-8	0.19	22	0.52	1.10	0.01	1.11	0.0189	0.02	2.90	1.10	2.27	2.25
8-9	0.19	22	0.52	1.60	0.20	1.80	0.0189	0.03	1.80	1.60	3.85	3.82
9-10	0.19	22	0.52	0.30	0.50	0.80	0.0189	0.02	0.20	0.00	3.82	3.80
10-11	0.10	22	0.27	0.90	2.40	3.30	0.0063	0.02	0.20	-0.90	2.90	2.88
11-12	0.10	22	0.27	1.00	11.40	12.40	0.0063	0.08	1.10	-1.00	1.88	1.81
12-13	0.10	22	0.27	0.00	1.20	1.20	0.0063	0.01	2.10	0.00	1.81	1.80

FIGURA 28: Resultados para o ponto chuveiro elétrico.

FONTE: AltoQI Builder hidrossanitário basic 2021® (2023).

Trecho	Vazão (l/s)	Ø (mm)	Veloc. (m/s)	Comprimento (m)			J (m/m)	Perda (m.c.a.)	Altura (m)	Desnível (m)	Pressões (m.c.a.)	
				Conduto	Equiv.	Total					Disp.	Jusante
1-2	0.19	22	0.52	0.13	1.00	1.13	0.0189	0.02	3.95	0.00	0.30	0.28
2-3	0.19	22	0.52	0.18	0.50	0.68	0.0189	0.01	3.95	0.00	0.28	0.27
3-4	0.19	22	0.52	1.75	0.20	1.95	0.0189	0.04	3.95	0.00	0.27	0.23
4-5	0.19	22	0.52	1.00	0.50	1.50	0.0189	0.03	3.95	1.00	1.23	1.20
5-6	0.19	22	0.52	2.96	0.50	3.46	0.0189	0.07	2.95	0.00	1.20	1.14
6-7	0.19	22	0.52	0.05	0.50	0.55	0.0189	0.01	2.95	0.05	1.19	1.17
7-8	0.19	22	0.52	1.10	0.01	1.11	0.0189	0.02	2.90	1.10	2.27	2.25
8-9	0.19	22	0.52	1.60	0.20	1.80	0.0189	0.03	1.80	1.60	3.85	3.82
9-10	0.19	22	0.52	0.30	0.50	0.80	0.0189	0.02	0.20	0.00	3.82	3.80
10-11	0.16	22	0.45	1.85	0.80	2.65	0.0147	0.04	0.20	0.00	3.80	3.77
11-12	0.16	22	0.45	0.40	0.50	0.90	0.0147	0.01	0.20	-0.40	3.37	3.35
12-13	0.16	22	0.45	0.00	1.20	1.20	0.0147	0.02	0.60	0.00	3.35	3.33

FIGURA 29: Resultados para o ponto lavatório.

FONTE: AltoQI Builder hidrossanitário basic 2021® (2023).

Trecho	Vazão (l/s)	Ø (mm)	Veloc. (m/s)	Comprimento (m)			J (m/m)	Perda (m.c.a.)	Altura (m)	Desnível (m)	Pressões (m.c.a.)	
				Conduto	Equiv.	Total					Disp.	Jusante
1-2	1.70	44	1.12	0.13	2.30	2.43	0.0300	0.07	3.95	0.00	0.30	0.23
2-3	1.70	44	1.12	0.25	0.70	0.95	0.0300	0.03	3.95	0.00	0.23	0.20
3-4	1.70	44	1.12	0.78	1.00	1.78	0.0300	0.05	3.95	0.00	0.20	0.15
4-5	1.70	44	1.12	0.29	1.00	1.29	0.0300	0.04	3.95	0.00	0.15	0.11
5-6	1.70	44	1.12	1.00	1.20	2.20	0.0300	0.07	3.95	1.00	1.11	1.04
6-7	1.70	44	1.12	2.96	1.20	4.16	0.0300	0.12	2.95	0.00	1.04	0.92
7-8	1.70	44	1.12	0.05	1.20	1.25	0.0300	0.04	2.95	0.05	0.97	0.93
8-9	1.70	44	1.12	1.80	0.01	1.81	0.0300	0.05	2.90	1.80	2.73	2.67
9-10	1.70	44	1.12	0.77	0.10	0.87	0.0300	0.03	1.10	0.77	3.44	3.42
10-11	1.70	44	1.12	0.00	0.00	0.00	0.0300	0.00	0.33	0.00	3.42	3.42

FIGURA 30: Resultados para o ponto válvula de descarga vaso sanitário.

FONTE: AltoQI Builder hidrossanitário basic 2021® (2023).

Vale ressaltar que, o software calcula as pressões em todos os pontos de saída de água. Desta maneira, o programa verifica a pressão não só apenas na válvula de descarga, mas também no ponto do vaso

sanitário localizado há trinta e três centímetros do piso. Assim, este estudo terá como foco a válvula de descarga (trecho 8-9), haja vista que a mesma se encontra em um desnível desfavorável em relação ao ponto do vaso sanitário. As diferenças dos valores das pressões dinâmicas entre os dois métodos, podem ser comparadas conforme mostrado na Figura 31.

Verifica-se que ao se considerar o método de cálculo de Fair-Whipple-Hsiao, houve um decréscimo percentual em relação ao método universal. As diferenças foram de 2,78 % para a pressão dinâmica calculada no ponto do chuveiro, 1,20 % para o lavatório e 2,62 % no ponto da válvula de descarga.

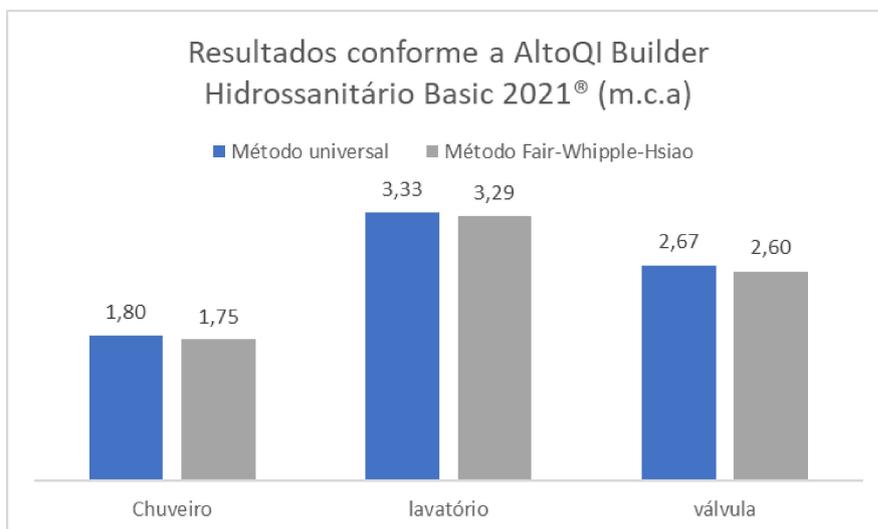


FIGURA 31: Comparação de resultados gerados pelo AltoQi Builder hidrossanitário basic 2021®.
FONTE: Autoria própria (2023).

No entanto, ao se comparar os resultados das pressões dinâmicas entre a planilha eletrônica e o software AltoQi Builder hidrossanitário basic 2021®, foi possível observar as diferenças conforme mostrados nas Figuras 32 e 33.

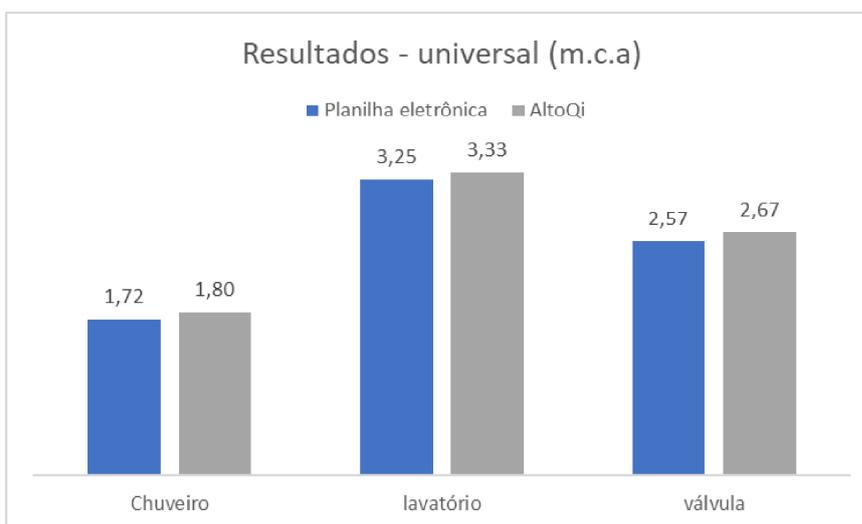


FIGURA 32: Comparação de resultados gerados pela planilha e AltoQi Builder® – Método universal.
FONTE: Autoria própria (2023).

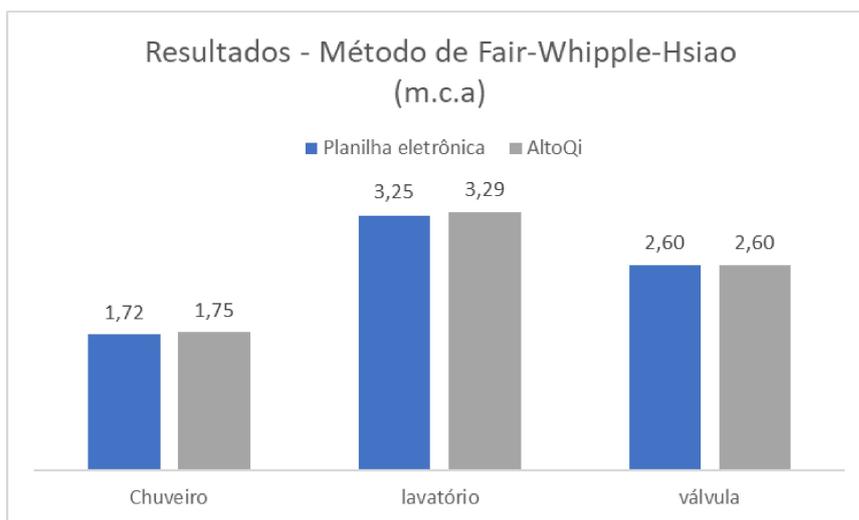


FIGURA 33: Comparação de resultados gerados pela planilha e AltoQi Builder® – Método Fair-Whipple-Hsiao.
FONTE: Autoria própria (2023).

Por consequência, foram obtidas as variações percentuais conforme os Quadros 1 e 2.

QUADRO 1: Variação percentual entre os softwares – método universal			
	AltoQi Builder (m.c.a)	Excel (m.c.a)	Variação (%)
Chuveiro	1,80	1,72	4,44
Lavatório	3,33	3,25	2,40
Válvula descarga	2,67	2,57	3,75

FONTE: Autoria própria (2023).

QUADRO 2: Variação percentual entre os softwares – método Fair-Whipple-Hsiao			
	AltoQi Builder (m.c.a)	Excel (m.c.a)	Variação (%)
Chuveiro	1,75	1,72	1,71
Lavatório	3,29	3,25	1,22
Válvula descarga	2,60	2,60	0,00

FONTE: Autoria própria (2023).

A partir da análise dos quadros 1 e 2 e figuras 32 e 33, constatou-se que as pressões dinâmicas calculadas pelo método universal e por Fair-Whipple-Hsiao obtidas pelo software AltoQi Builder® foram maiores do que os valores obtidos pela planilha. Não houve diferença percentual para a pressão dinâmica calculada na válvula de descarga pela planilha eletrônica ao adotar o método de Fair-Whipple-Hsiao.

Possivelmente, um dos fatores que podem ter influenciado na diferença percentual das pressões dinâmicas ao considerar o método universal, deve-se ao emprego das equações utilizadas para o cálculo do fator de atrito e pelas considerações de adoção das conexões no trecho analisado. Aliás, as formulações utilizadas para o cálculo do fator de atrito na planilha e pelo software AltoQi Builder® são equações desenvolvidas explicitamente que podem resultar variações nos resultados. Já pelo método de Fair-Whipple-Hsiao as diferenças foram bem menores ao se comparar com o método universal e, devem provavelmente as considerações de adoção das conexões no trecho analisado.

6. CONCLUSÃO

Após a realização deste estudo, pode-se entender a influência dos métodos de cálculo de perda de carga nos resultados das pressões dinâmicas em pontos de aparelhos hidráulicos em projetos prediais de água fria. A criação de uma rotina de cálculo em uma planilha eletrônica mostrou-se fundamental para organizar os dados e obter os resultados. Utilizando diversas funcionalidades da planilha, a mesma se destacou na elaboração de uma lista de materiais.

O programa AltoQI Builder Hidrossanitário Basic 2021[®], foi essencial para a obtenção e comparação dos resultados junto a planilha eletrônica. Aliás, foi possível entender por este estudo como este software desenvolve suas metodologias de cálculos e como são aplicadas.

Contudo, os valores produzidos pelo software AltoQI Builder[®] foram ligeiramente superiores aos da planilha eletrônica ao se utilizar os métodos universal e Fair-Whipple-Hsiao. A única exceção foi o resultado obtido pelo o ponto da válvula de descarga ao adotar o método de Fair-Whipple-Hsiao tanto pela planilha quanto pelo software AltoQI Builder[®], o qual não houve diferença percentual. As discrepâncias estavam na primeira casa decimal para o método universal e na segunda para o Fair-Whipple-Hsiao. Provavelmente, a precisão nas formulações utilizadas para o cálculo do fator de atrito e adoção das conexões nos trechos analisados podem ter influenciado nos resultados.

Assim, pode-se concluir diante dos resultados obtidos que ambos os métodos de perda de carga não resultaram em mudanças significativas no dimensionamento da instalação hidráulica predial unifamiliar. Isto é, não foi necessária a mudança de diâmetros ou alteração do traçado dos tubos para se obter as pressões mínimas exigidas pela norma NBR 5626 (ABNT, 2020). Desta forma, o método empírico de Fair-Whipple-Hsiao ainda pode ser uma alternativa eficaz ao método universal, dada sua rapidez, resultados comparáveis e sem prejuízos maiores quando aplicados em sistemas prediais. A escolha do método recai sobre o projetista.

Para a obtenção de resultados mais precisos, seria conveniente em estudos futuros utilizar a equação implícita de Colebrook e White para determinar o fator de atrito, já que esta está alinhada ao diagrama de Moody. Além disso, sugere-se que sejam feitas mais pesquisas principalmente na obtenção de valores mais precisos de rugosidades dos tubos. Haja vista que, obter tais informações em literaturas, normas e catálogos técnicos ainda é um desafio.

Com o intuito de refinar o banco de dados e a rotina de cálculos da planilha eletrônica, recomenda-se para trabalhos posteriores, aplicar soluções para cálculos iterativos usando VBA (Visual Basic for Applications) e obter valores relativos aos comprimentos equivalentes de conexões que possuam reduções.

Enfim, desenvolver uma planilha para automatizar cálculos hidráulicos em projetos prediais de água fria pode ser considerada uma valiosa ferramenta didática.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁGUA FRIA PREDIAL. **Orientações para instalações de água fria**. Joinville: Tigre, 2016. 76p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5626: **Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5626: **Sistemas prediais de água fria e água quente- Projeto, execução, operação e manutenção**. Rio de Janeiro, 2020.
- AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 1998. 669p.
- AZEVEDO NETTO, J. M. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 2015. 632p
- BAPTISTA, M; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 473p.
- BAPTISTA, M; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016. 477p.
- CATÁLOGO PREDIAL TIGRE. **Tubos e conexões**. Joinville: Tigre, 2023. 77p.
- COSTA, G. **Revisão da ABNT NBR 5626 – Um estudo sobre o novo texto de 2020**. 2021. 10f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Rural do Semiárido, Mossoró, 2021.
- CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 423p.
- JÚNIOR, R. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: Princípios básicos para elaboração de projetos**. 4.ed. São Paulo: Blucher, 2020. 257p.
- MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas e prediais e industriais**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 596p.
- MANUAL TÉCNICO TIGRE. **Orientações técnicas sobre instalações hidráulicas prediais**. Joinville: Tigre, 2016. 208p.
- MUNSON, B; YOUNG, D; OKIISHI, T. **Fundamentos de Mecânica os Fluidos**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2004. 572p.
- PORTO. R. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EEDC-USP, 2006. 519p.
- SOUZA, P. A. **Equações explícitas do fator “f” da fórmula universal para escoamentos turbulentos**. Revista DAE, n. 113, 1977, 51-52 p. Disponível em: < http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_113_n_256.pdf >. Acesso em: 03 de outubro de 2023.
- WHITE, F. **Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2011. 880p.

APÊNDICE

Manual de uso da planilha eletrônica

As colunas de legendas, pesos e conexões são agrupadas como mostrado na figura 34. As células são destacadas por cores que identificam suas funções, conforme apresentado na Figura 35.

Trechos			Peso Total	Método de Cálculo:		
Inicial	Final	Função		Vazão Q (m³/s)	Diâmetro DE (mm)	Diâmetro DI (mm)
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

Figura 34. Aba dimensionamento – trecho ampliado das colunas relativas aos pesos.
Fonte: Autoria própria (2023).

Planilha desenvolvida para o projeto de conclusão de curso.

Curso: Bacharelado em Engenharia Civil

IFGoiano - Campus Trindade, Goiás.

Orientador: Pedro

Autor: Gabriel Vinicius Martins Silva

Aluno formado em téc.eletrotécnica,edificações,cadista construção civil.

Esta planilha foi desenvolvida para fins didáticos.

LEGENDA	
	Entrada de dados
	Saída de dados
	Saída de dados
	Saída de dados
	Saída de dados
	Não inserir dados
	Faixa de títulos
SENHA DE DESBLOQUEIO	
civil2023	

Figura 35. Aba dimensionamento – trecho ampliado.
Fonte: Autoria própria (2023).

Inicialmente, é necessário informar o método de cálculo para a perda de carga. Se adotado o método Universal, deve-se informar também o valor relativo à rugosidade absoluta equivalente.

Os trechos devem ser renomeados em ordem alfabética sendo que o trecho final deve possuir a sigla correspondente a peça de utilização. Em seguida, deve ser registrada a função corresponde para o trecho analisado. A sequência lógica deve ser a seguinte: início, barrilete, coluna, ramal, sub-ramal e utilização. Se adotado início, significa que o trecho inicia no reservatório. No entanto, a sequência deve ser analisada caso a caso a depender do trecho. É importante ressaltar que a verificação final das pressões só é perfeitamente calculada se os

trechos forem corretamente nomeados. O valor mínimo da pressão necessária em cada trecho é diretamente dependente da função que o trecho exerce.

Ao clicar no segundo botão agrupar identificado na planilha por um botão símbolo de “+”, é aberto as colunas relativas à entrada de dados relativos aos pesos, conforme mostrado na figura 36. Assim, basta apenas inserir os quantitativos. A coluna nomeada de peso total realiza todo o somatório dos pesos do trecho. Já a coluna nomeada de vazão realiza o cálculo de acordo com a Equação 3.

Trechos			Aparelhos											
Inicial	Final	Função	BSV	BSC	CHU	DUC	DHI	LVT	BNH	PIA	TQE	MLR	TJL	Peso Total
-	-	-												-
-	-	-												-

Figura 36. Aba dimensionamento – trecho ampliado das colunas relativas aos pesos.
Fonte: Autoria própria (2023).

Clicando no terceiro botão agrupar, é aberto as colunas que compõem as diversas conexões, bastando apenas informar o número de peças que há no trecho estudado como mostrado nas figuras 37, 38 e 39. Neste modelo de estudo, foi considerado que a última conexão localizada ao final do trecho é computada como pertencente aquele trecho.

Conexões															
Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° passagem direta	Tê 90° saída de lado	Tê 90° saída bilateral	Entrada normal	Entrada de borda	Saída de canalização	Válvula de pé e crivo	Válvula de retenção tipo leve	Válvula de retenção tipo pesado	Registro de globo aberto	Registro de gaveta aberto	Registro de ângulo aberto

Figura 37. Aba dimensionamento – trecho ampliado das colunas relativas as conexões.
Fonte: Autoria própria (2023).

Tê 90° com redução passagem direta										
25x20	32x25	40x25	40x32	50x20	50x25	50x32	50x40	60x25	60x50	75x50

Figura 38. Aba dimensionamento – trecho ampliado das colunas relativas as conexões.
Fonte: Autoria própria (2023).

Tê 90° com redução saída de lado ou bilateral										Luva de redução soldável						
25x20	32x25	40x25	40x32	50x20	50x25	50x32	50x40	60x25	60x50	75x50	25x20	32x25	40x32	50x25	60x50	75x60

Figura 39. Aba dimensionamento – trecho ampliado das colunas relativas as conexões.
Fonte: Autoria própria (2023).

Vale ressaltar que, as figuras 38 e 39 são relativas as conexões comerciais que possuem reduções. Devida a não obtenção de valores relacionados aos comprimentos equivalentes em literaturas, normas e catálogos técnicos durante o desenvolvimento deste trabalho, a base de

dados relativos a essas conexões estão preenchidos com o valor de zero. No entanto, a planilha foi configurada para a espera futura destes dados conforme explicado no item 4.2.2 deste trabalho.

Em seguida, deve ser escolhido um valor inicial para o diâmetro externo do tubo. Na coluna, diâmetro interno é mostrado o valor referente ao tubo escolhido o qual, será o valor efetivamente utilizado nos cálculos. Na sequência, a coluna designada de velocidade, fornece o resultado referente ao trecho utilizando-se da Equação 5.

Os valores correspondentes dos comprimentos equivalentes são dependentes do diâmetro do tubo e, seu somatório é registrado na coluna comprimento equivalente. Em seguida, deve ser inserido a dimensão real do trecho medido em planta. Desse modo, a coluna comprimento total será a soma dos resultados das duas colunas.

Na coluna denominada de perda de carga unitária, será calculado o valor de acordo com a opção escolhida pelo método de cálculo. Se escolhido Fair-Whipple-Hsiao será calculado conforme a Equação 10. Se escolhido a fórmula universal será calculado conforme a Equação 7. A coluna perda de carga total realizará o cálculo conforme a Equação 11.

Deve ser digitado nas células da coluna desnível o desnível geométrico do trecho analisado. Se, o sentido do fluxo da água for para baixo, considerar positivo. Se o sentido for para cima, considerar negativo. Se o sentido for plano, considerar igual a zero. Em seguida informar o valor da altura da lâmina d'água a considerar dentro do reservatório na célula tomada d'água.

A coluna pressão inicial é informado o valor corresponde a pressão dinâmica. A pressão inicial de um trecho será a mesma pressão final do trecho anterior. Contudo, dependendo da forma como foi definido as nomeações das funções dos trechos, nem sempre a pressão final do trecho anterior será a pressão inicial para o trecho analisado. No entanto, a pressão dinâmica inicial a ser considerada no primeiro trecho que sai do reservatório deverá ser a pressão da tomada d'água somada ao desnível. Conseqüentemente, a pressão final dinâmica a ser calculada pela planilha eletrônica seguirá conforme a Equação 12.

Após os resultados obtidos das pressões dinâmicas, deve ser verificadas as pressões estáticas. Portanto, deve ser informado a altura do reservatório na célula específica. Ademais, deve ser inserida as alturas para cada trecho. A altura é definida com relação ao nível zero. A pressão estática será calculada como a diferença de cota do nível mínimo de água do reservatório e ponto de consumo analisado. A figura 40 representa essas etapas.

Pressão Dinâmica				Pressão Estática				
Tomada d'água (m.c.a):					Altura do Reservatório (m):			
Desnível	Pressão Inicial	Pressão Final	Pressão Mínima	Verificação	Altura do Trecho	Pressão Estática	Pressão Máxima	Verificação
(m)	(m.c.a)	(m.c.a)	(m.c.a)		(m)	(m.c.a)	(m.c.a)	
	-	-	-	-		-	-	-

Figura 40. Aba dimensionamento – trecho ampliado das colunas relativas as pressões.
 Fonte: Autoria própria (2023).

Ao final da inserção de dados é possível confirmar os resultados a partir das células referentes a coluna “verificação” seja das pressões dinâmicas ou estáticas. As células de verificação destacadas na cor verde, significa que o resultado foi atendido conforme a norma. Por outro, as células em amarelo significam que os valores podem ser considerados aceitáveis pela norma. No entanto as células que ficarem na cor vermelho, significa que o resultado não foi atendido conforme a norma.

Verifica-se que, se não forem atendidas as pressões mínimas devem ser tomadas algumas medidas como: aumentar o diâmetro externo, aumentar o desnível do trecho com funções de início, barrilete ou coluna e/ou reduzir os comprimentos do trecho.