



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LUÍS FELIPE BOUDOUX GUIMARÃES DE SÁ

METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES VERTICAIS PARA
ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES

JOÃO PESSOA

2024

LUÍS FELIPE BOUDOUX GUIMARÃES DE SÁ

METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES VERTICAIS PARA
ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à banca avaliadora do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba
(UFPB) – Campus I – João Pessoa, como requisito
para a aprovação na disciplina.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior.

JOÃO PESSOA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S111m Sa, Luis Felipe Boudoux Guimaraes de.
Metodologias de dimensionamento de condutores
verticais para águas pluviais em edificações / Luis
Felipe Boudoux Guimaraes de sa. - João Pessoa, 2024.
44 f. : il.

Orientação: Gilson Barbosa Athayde Júnior.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Drenagem pluvial por gravidade. 2. Sistemas de
drenagem em edificações. 3. Dimensionamento de sistemas
prediais de drenagem. I. Athayde Júnior, Gilson
Barbosa. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

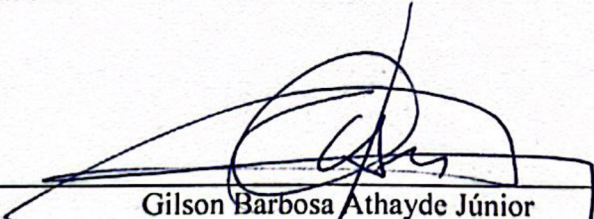
CDU 62(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUIS FELIPE BOUDOUX GUIMARÃES DE SÁ

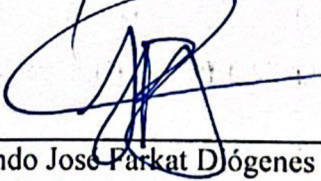
METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES VERTICAIS PARA ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 10/05/2024 perante a seguinte Comissão Julgadora:



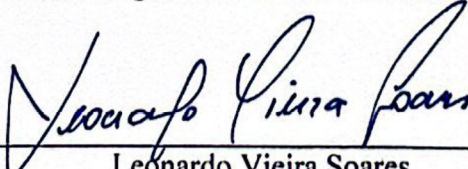
Gilson Barbosa Athayde Júnior
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO



Hidelbrando José Parkat Diógenes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO



Leonardo Vieira Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, André e Karla, que sempre me apoiaram e deram condições para que meus sonhos fossem alcançados. Agradeço também à minha irmã, Amanda, um grande exemplo de dedicação e obstinação.

Agradeço à minha companheira, Ivinyn, por todos os conselhos de perseverança e por estar comigo nos altos e baixos de minha trajetória acadêmica. Agradeço também aos meus amigos da vida e do curso pela amizade e pelos momentos compartilhados.

Agradeço ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental por ter me proporcionado toda estrutura que foi crucial na minha profissionalização, aos mestres, que em mim investiram tempo, compartilharam um conhecimento amplo e experiências inesquecíveis.

Agradeço ao meu orientador, em particular, por ter me apresentado à uma área da Engenharia Civil pela qual me apaixonei, e decido seguir amando. Obrigado por não apenas ter possibilitado meu crescimento acadêmico durante as disciplinas lecionadas, mas também por orientar meu aprofundamento nesse tema, o que engrandece mais ainda minha formação.

Por fim, e principalmente, agradeço a Deus, que guiou cada passo meu.

“Um problema não precisa bater na porta pra ser nossa responsabilidade. Se podemos
reduzir o dano que ele pode causar, devemos agir.”
(Orion Walker)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	15
2. METODOLOGIA	16
2.1 Considerações de Projeto	17
2.1.1 Dimensões do Galpão	17
2.1.2 Intensidade Pluviométrica	19
2.1.3 Material das Tubulações	19
3. RESULTADOS	20
3.1 Dimensionamento a partir da ABNT NBR 10844:1989	20
3.2 Dimensionamento a partir do ANSI UPC:2021	31
3.3 Dimensionamento a partir da BS 12056-3:2000, para $f = 0,2$	33
3.4 Dimensionamento a partir da BS 12056-3:2000, para $f = 0,33$	36
3.5 Discussão	38
4. CONCLUSÃO	40
5. RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Águas Pluviais Prediais.....	11
Figura 2 - Ábaco para determinação de conduto vertical abastecido por calha com funil de saída.	13
Figura 3 - Dimensões dos Galpões G1, G2 e G3.	18
Figura 4 - Altura das Cumeeiras dos Galpões G1, G2 e G3.	18
Figura 5 - Incidência do Vento na Determinação da Área de Contribuição.....	20
Figura 6 - Direção da Precipitação e Sentido de Escoamento da Calha que atenderá sua Vazão Proveniente.	21
Figura 7 - Roteiro de Utilização do Ábaco da NBR 10844:1989.....	25
Figura 8 - Ábaco do conduto do Galpão G1, com calhas 10x10, preenchido.	26
Figura 9 - Ábaco do conduto do Galpão G1, com calhas 15x15, preenchido.	27
Figura 10 - Ábaco do conduto do Galpão G2, com calhas 20x20, preenchido.	28
Figura 11 - Ábaco do conduto do Galpão G2, com calhas 25x25, preenchido.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Intensidades pluviométricas no município de João Pessoa - PB.	19
Tabela 2. Coeficientes de rugosidade de cada material.....	20
Tabela 3. Áreas de contribuição dos Galpões G1, G2 e G3.	22
Tabela 4. Vazões de projeto dos Galpões G1, G2 e G3.	23
Tabela 5. Determinação das alturas das lâminas d'água no Galpão G1.....	24
Tabela 6. Determinação das alturas das lâminas d'água no Galpão G2.....	24
Tabela 7. Determinação das alturas das lâminas d'água no Galpão G3.....	24
Tabela 8. Valores de diâmetro dos CVs do G1 extraídos do ábaco da NBR 10844:1989.	30
Tabela 9. Valores de diâmetro dos CVs do G2 extraídos do ábaco da NBR 10844:1989.	30
Tabela 10. Valores de diâmetro dos CVs do G3 extraídos do ábaco da NBR 10844:1989.	30
Tabela 11. Diâmetro de condutores circulares em função da área do telhado.....	31
Tabela 12. Adaptação da máxima área de contribuição do telhado em função da intensidade pluviométrica da cidade de João Pessoa.	32
Tabela 13. Valores de diâmetro extraídos do método do UPC:2021.	33
Tabela 14. Capacidade de Condutos Verticais por diâmetro para $f = 0,20$	33
Tabela 15. Vazões de projeto (em litros por segundo) dos Galpões G1, G2 e G3....	35
Tabela 16. Valores de diâmetro extraídos do método do BS 12056 $f = 0,20$	35
Tabela 17. Capacidade de Condutos Verticais por diâmetro para $f = 0,33$	36
Tabela 18. Valores de diâmetro extraídos do método do BS 12056 $f = 0,33$	37
Tabela 19. Compilação dos resultados calculados.	38
Tabela 20. Resultados adequados à diâmetros comerciais.	39

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso aborda metodologias alternativas de dimensionamento de condutos verticais de águas pluviais presentes em sistemas de drenagem por gravidade de edifícios. O objetivo é de realizar uma análise comparativa de diferentes metodologias, prescritas em normativas técnicas de outros países, para dimensionamento da tubulação vertical de descarga de águas precipitadas, elucidando seus variados parâmetros e comparando-os à metodologia usualmente aplicada no Brasil, descrita na NBR 10844:1989. Para atingir o objetivo fez uso de estudo de caso, no qual dimensionou-se, para cada técnica apanhada (estadunidense, europeia e brasileira), condutores verticais de descarga pluvial em três galpões hipotéticos de diferentes tamanhos, porém, sob as mesmas condições pluviométricas. Expostos os dimensionamentos através de uma compilação dos roteiros de cálculo das bibliografias técnicas, faz-se uma breve comparação acerca de suas flexibilidades de projeto, expondo sobretudo as limitações da norma brasileira no estudo, quanto à vazão de projeto, altura de lâmina d'água na calha e diâmetros calculáveis, e demonstra a habilidade das normativas levantadas em prover resultados satisfatórios de dimensionamento dos condutos verticais por seus respectivos critérios técnicos.

Palavras-chave: Drenagem pluvial por gravidade, sistemas de drenagem em edificações, dimensionamento de sistemas prediais de drenagem.

ABSTRACT

This undergraduate thesis addresses alternative methodologies for designing vertical rainwater pipes found in gravity drainage systems of buildings. Its objective is to demonstrate, through comparative analysis, different design techniques, prescribed in technical standards from other countries, for sizing vertical rainwater discharge pipes, presenting their various criteria and comparing them to the methodology commonly applied in Brazil, as described in NBR 10844:1989. In order to achieve this goal, a case study was performed, in which vertical rainwater discharge conduits were sized for each chosen plumbing code (American, European, and Brazilian) in three hypothetical warehouses, different in size, but under the same rainfall conditions. By presenting the sizing through a compilation of calculation procedures from technical literature, a brief comparison is made regarding their design flexibilities, demonstrating most of all the limitations of the Brazilian code of practice, as seen in its project flow, gutter's water height and downpipe diameters narrow applicability, and exhibits the collected codices' ability in providing satisfactory vertical downpipe design results, through their respective criteria.

Keywords: Gravity rainwater drainage, drainage systems in buildings, building's drainage system designs.

1. INTRODUÇÃO

No cenário brasileiro, a normativa ABNT NBR 10844:1989, baseada sobretudo na norma inglesa (*British Standards Code of Practice 308: Drainage of Roofs and Paved Areas, 1974*), fornece diretrizes para projeto e execução de instalações prediais de águas pluviais seguindo o sistema gravitacional, seguindo o modelo demonstrado na Figura 1 e, para tanto, disponibilizando parâmetros, tabelas e ábacos para dimensionamento das partes componentes do sistema de captação de águas incidentes.

Esta Norma fixa exigências e critérios necessários aos projetos das instalações de drenagem de águas pluviais, visando garantir níveis aceitáveis de funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia (ABNT NBR 10844:1989).

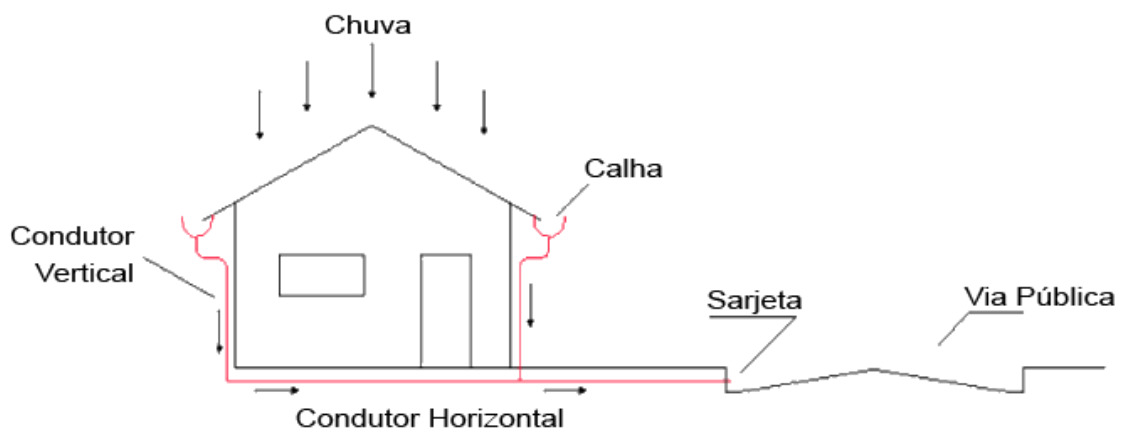


Figura 1 - Sistema de Águas Pluviais Prediais.

Fonte: Autoral (2024).

Constituem o sistema de águas pluviais prediais, segundo a NBR 10844:1989:

- Calhas: condutores de seção aberta que funcionam a alturas estabelecidas de preenchimento de seção, responsáveis pela captação da água incidente no telhado;
- Condutores Verticais: tubulações de seção fechada que funcionam na condução da queda das águas captadas pelas calhas até os condutores horizontais;

- Condutores Horizontais: tubulações horizontais que conduzem a água proveniente dos condutores verticais até o destino final de projeto, podendo ser drenada pela sarjeta ou galeria de águas pluviais.

Enquanto moderadamente satisfatória dentro do contexto da indústria brasileira ao longo das últimas décadas, especialmente por seu conservadorismo, denotado através de sua imutabilidade no decorrer do tempo, as próprias ferramentas fornecidas pelo documento mostram-se insuficientes em determinados casos, especialmente dentro do tópico que trata especificamente dos condutores verticais (CVs) do sistema.

Algumas das limitações da referida norma são, por exemplo:

- a) Altura da lâmina d'água na calha variando apenas entre 50 e 100 mm (informação necessária para entrada no ábaco que fornece o diâmetro do condutor vertical);
- b) O ábaco para determinação do diâmetro do condutor vertical limitado ao valor máximo de 150 mm.
- c) O ábaco para determinação do diâmetro do condutor vertical limitado ao valor máximo de vazão de 2800 L/min.

Um dos ábacos para determinação do diâmetro do condutor vertical encontra-se na Figura 2:

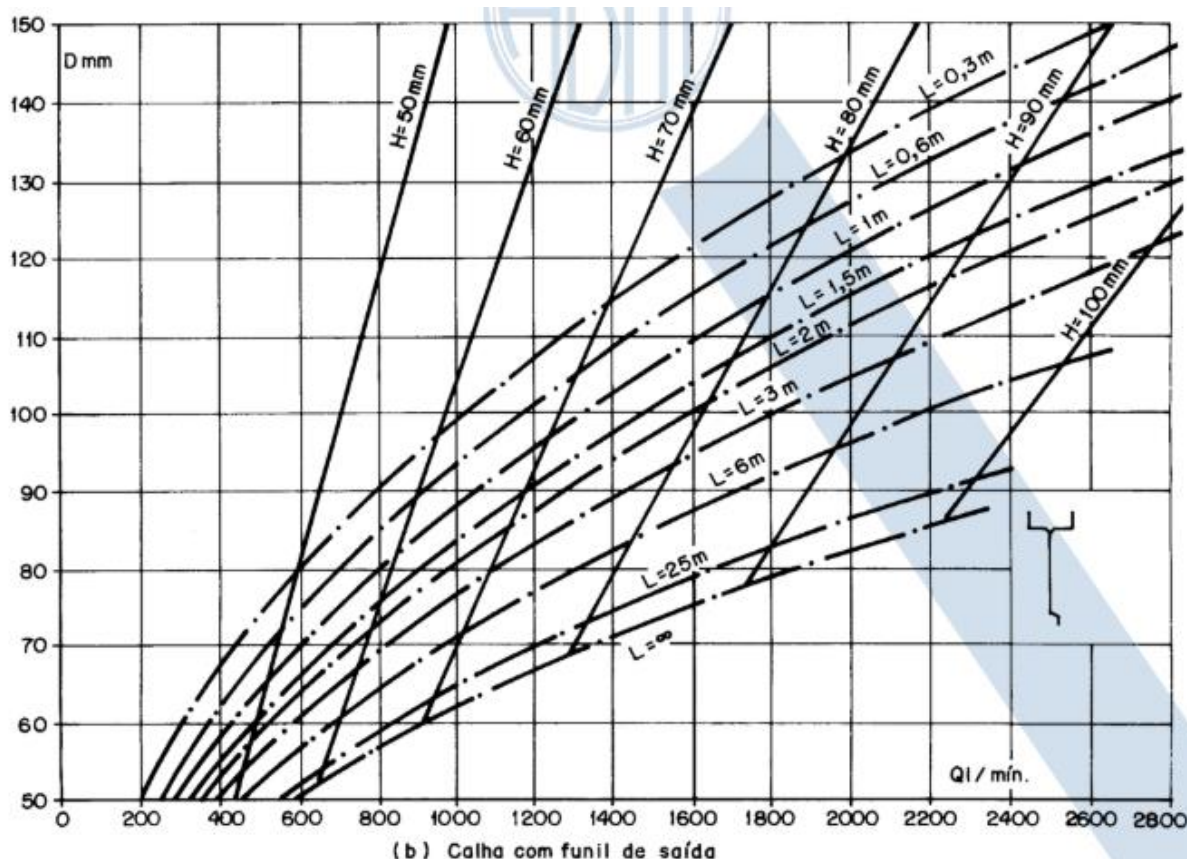


Figura 2 - Ábaco para determinação de conduto vertical abastecido por calha com funil de saída.

Fonte: ABNT NBR 10844 (1989).

Em determinadas situações, o projetista pode se deparar com alturas da lâmina d'água na calha fora da mencionada faixa ou ainda com combinação de valores de vazão, altura da lâmina d'água na calha e/ou extensão do condutor vertical que resulta em diâmetro do condutor vertical acima de 150 mm, devendo, nesse cenário, adotar uma solução criativa que, por vezes, pode não ser prática ou do interesse global do projeto.

Além disso, a normativa CP 308:1974, que serve de inspiração para o desenvolvimento da Norma Brasileira, tange à década de LXXX, bem como a pesquisa realizada pelo *Centre Scientifique et Technique de la Construction* – CSTC que, a partir do estudo das condições de escoamento dos condutos verticais, definiu o método de dimensionamento utilizando os mesmos ábacos utilizados pela prescrição técnica brasileira. Esses estudos já sofreram alterações com o passar dos anos, se atualizando às ofertas e demandas da construção civil local, assim como à

própria evolução da tecnologia no que tange à captação de águas pluviais, o que por si só indica uma suposta obsolescência da bibliografia brasileira nesse sentido.

1.1 OBJETIVOS

Analisar a aplicabilidade da NBR 10844 comparativamente à normativas internacionais no tocante ao dimensionamento de condutores verticais para águas pluviais em edificações.

2. METODOLOGIA

Em virtude da demanda por atualização e extensão das prescrições da NBR 10844:1989, e entendendo a necessidade de também atribuir-se normativas acerca das diferentes soluções tecnológicas em linha com as melhores práticas internacionais, buscou-se artigos sobre os avanços da engenharia dentro do escopo da drenagem de águas pluviais em edificações, buscando-se analisar as atualizações graduais nas normativas de diferentes países dentro desse tema.

Dessa maneira, em aliança com a ferramenta *Google Scholar* e, em seguida, com a plataforma *Mendeley (Elsevier)*, foi realizada a pesquisa de artigos científicos, sobretudo em inglês, que citassem os termos “*Gravity Drainage*”, “*Rainwater Drainage*”, “*Drainage Systems Inside Buildings*”, dentre outros, que se traduzem como “Drenagem por Gravidade”, “Drenagem de Águas Pluviais”, “Sistemas de Drenagem em Edificações”. Sempre atentando-se ao guia normativo utilizado pelos autores.

Os artigos científicos considerados foram filtrados baseando-se em seu ano de publicação. A necessidade de encontrar um estudo moderno se fez tendo em mente a importância de que esse refletisse, em seu desenvolvimento, a aplicação das normativas internacionais contemporâneas, dessa maneira, verificando-se a fidelidade desses documentos às bibliografias atuais locais.

Sendo assim, foram selecionadas as normativas inglesa BS 12056 (*British Standards Institution*, 2000), também utilizada em países como Bélgica, República Tcheca, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Países Baixos, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia e Suíça, sob o nome comum *European Standard EN 12056-3:2000*, e a estadunidense UPC (*Universal Plumbing Code*, 2021) para dimensionamentos quanto aos condutos livres.

Ao total, foram utilizadas oito normas técnicas, dentre as quais as próprias normas abordando metodologias de dimensionamento e suas versões antigas, para melhor entendimento de sua evolução, em conjunto das normas que caracterizam os materiais utilizados, especialmente tubulações de PVC. Também foram estudados dois relatórios técnicos e nove artigos publicados em revistas de hidrologia, tecnologia e desenvolvimento das cidades, que exploram a importância ambiental e

sanitária de executar obras responsáveis de drenagem em edifícios, bem como simplificam roteiros de cálculo consolidados.

A fim de comparar efetivamente as diferentes metodologias de dimensionamento de condutores verticais, será considerado um estudo de caso: consistirá numa comparação entre três galpões, de pequenas, médias e grandes dimensões, numa mesma configuração de drenagem, isto é, telhados de duas águas e dois condutores verticais instalados nas extremidades das calhas de cada água nos três cenários.

Além disso, devem estar dentro das mesmas condições pluviométricas, para isso, foram adotadas as próprias indicações de projeto da NBR 10844:1989: período de retorno da incidência pluvial, duração da precipitação, ação dos ventos, inclinação e materiais do sistema, a serem descritos nas considerações de projeto.

2.1 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

2.1.1 Dimensões do Galpão

Os projetos a serem calculados pelas diferentes normativas na compilação dos resultados serão de galpões, de cobertura do tipo duas águas, com dimensões (em metros) 12x28, 30x55 e 60x100, e altura das cumeeiras conforme figura 4, calhas retangulares com saída em aresta viva com 10, 15, 20 e 25 centímetros de largura e altura, adotadas em cada galpão em cenários diferentes, declinadas em 0,5%, pé direito de 6m, e dois condutores verticais para cada água, a serem dimensionados.

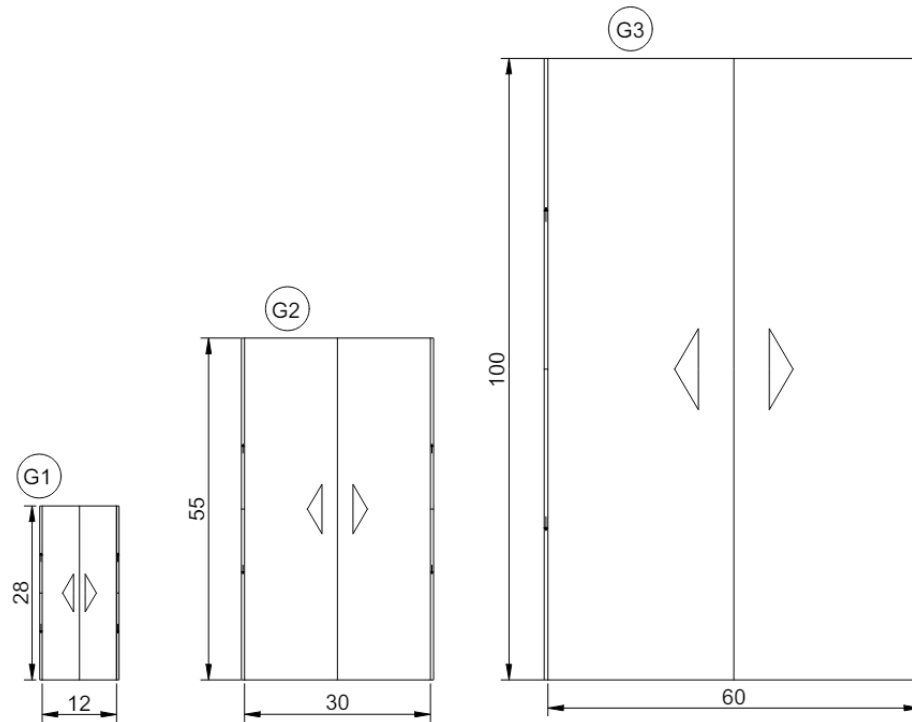


Figura 3 - Dimensões dos Galpões G1, G2 e G3.

Fonte: Autoral (2024).

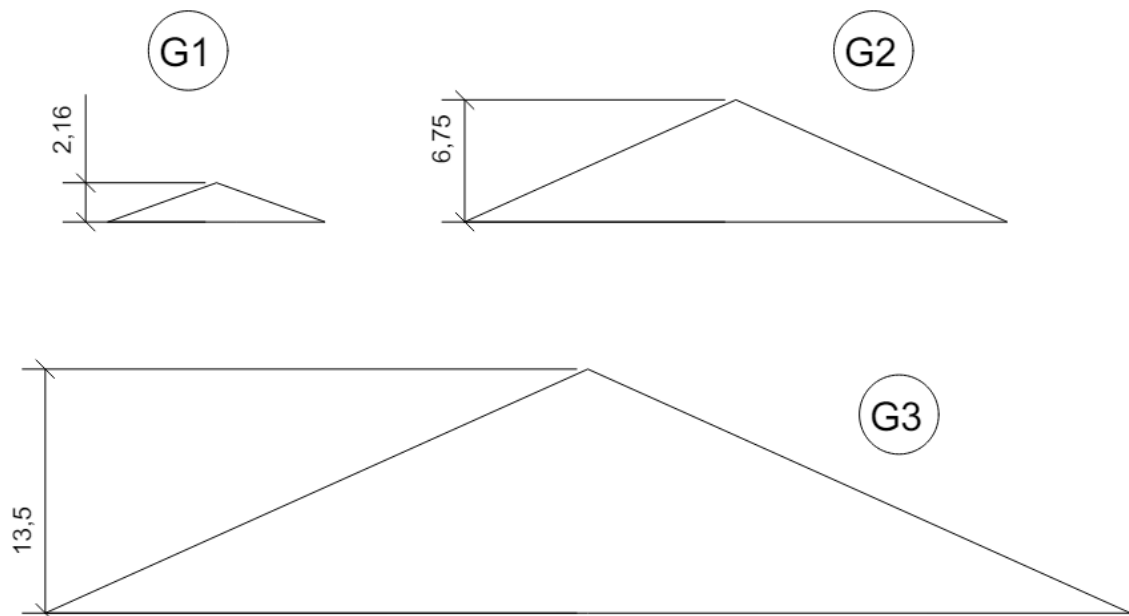


Figura 4 - Altura das Cumeeiras dos Galpões G1, G2 e G3.

Fonte: Autoral (2024).

A partir das configurações de projeto propostas, faz-se necessário adotar mais alguns parâmetros, descritos no tópico 2.1.2, a seguir.

2.1.2 Intensidade Pluviométrica

A Intensidade Pluviométrica é uma característica local fornecida por dados pluviométricos de cada posto e está intrinsecamente conectada com o período de retorno da maior incidência de chuva, com duração de 5 minutos, em anos.

A natureza da instalação pluvial a ser feita também deve ser levada em conta, devendo-se adotar o período de retorno de 5 anos para coberturas e/ou terraços.

Esses dados estão dispostos na própria norma (citando Pfafstetter, 1957), para a cidade de João Pessoa - Paraíba, município escolhido na locação do galpão.

Tabela 1. Intensidades pluviométricas no município de João Pessoa - PB.

Local	Intensidade Pluviométrica (mm/h)		
	Período de Retorno (anos)		
	1	5	25
João Pessoa - PB	115	140	163(23)

Fonte: ABNT NBR 10844 (1989).

2.1.3 Material das Tubulações

A definição do material das tubulações deve ser feita a fim de determinar-se o coeficiente de rugosidade, parâmetro indispensável para compreender-se a relação entre a vazão de projeto e altura da lâmina d'água na calha, através da fórmula de Manning-Strickler.

$$Q = 60000 * \frac{Am}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

Q = Vazão de Projeto (L/min);

Am = Área Molhada (m^2);

n = Coeficiente de Rugosidade (*adimensional*);

Rh = Raio Hidráulico (m);

i = Declividade da Calha (%).

Para este caso, o material escolhido para o sistema pluvial foi o plástico PVC, que possui coeficiente de rugosidade “n” igual a 0,011 (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de rugosidade de cada material.

Material	n
Plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
Ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
Cerâmica, concreto não-alisado	0,013
Alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

Fonte: NBR 10844 (1989).

3. RESULTADOS

3.1 Dimensionamento a partir da ABNT NBR 10844:1989

Em primeiro lugar, é necessário compreender e quantificar a área de contribuição do projeto de telhado do galpão proposto. Para tanto, faz-se uma consideração de que a incidência do vento durante um fenômeno pluviométrico cria um ângulo de queda do mesmo na superfície do edifício, conforme a Figura 5 ilustra:

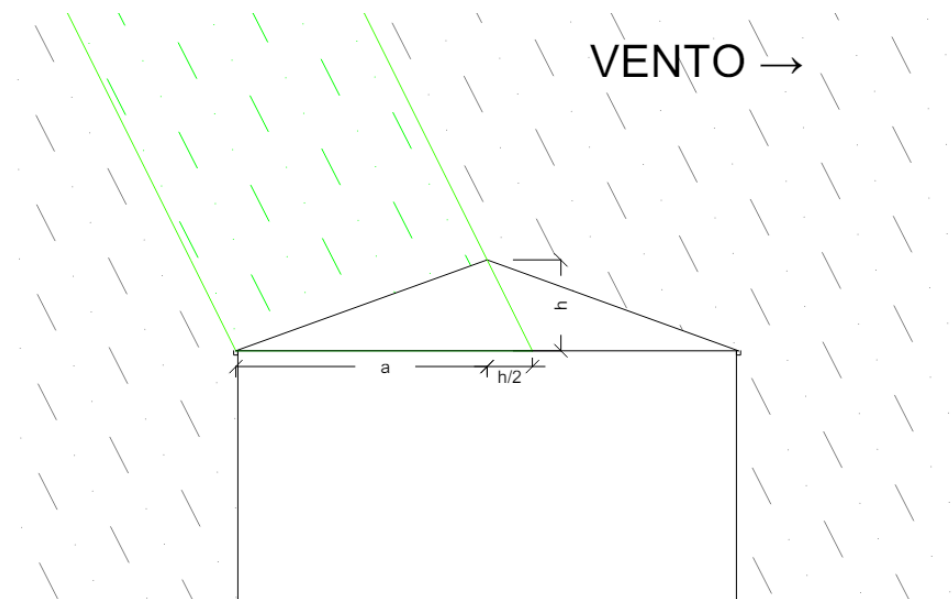


Figura 5 - Incidência do Vento na Determinação da Área de Contribuição.

Fonte: Autoral (2024).

Além da obliquidade vertical, deve-se angular a incidência pluviométrica também perpendicular ao plano do telhado, isto é, a fim de preparar a drenagem para a hipótese mais desfavorável, é necessário que a direção azimuthal da chuva cause a maior projeção de telhado possível.

Neste caso, principalmente em função da simetria do telhado do galpão, a direção de incidência da chuva que causará maior área da projeção horizontal será aquela perpendicular à face de escoamento do telhado, conforme a figura 6:

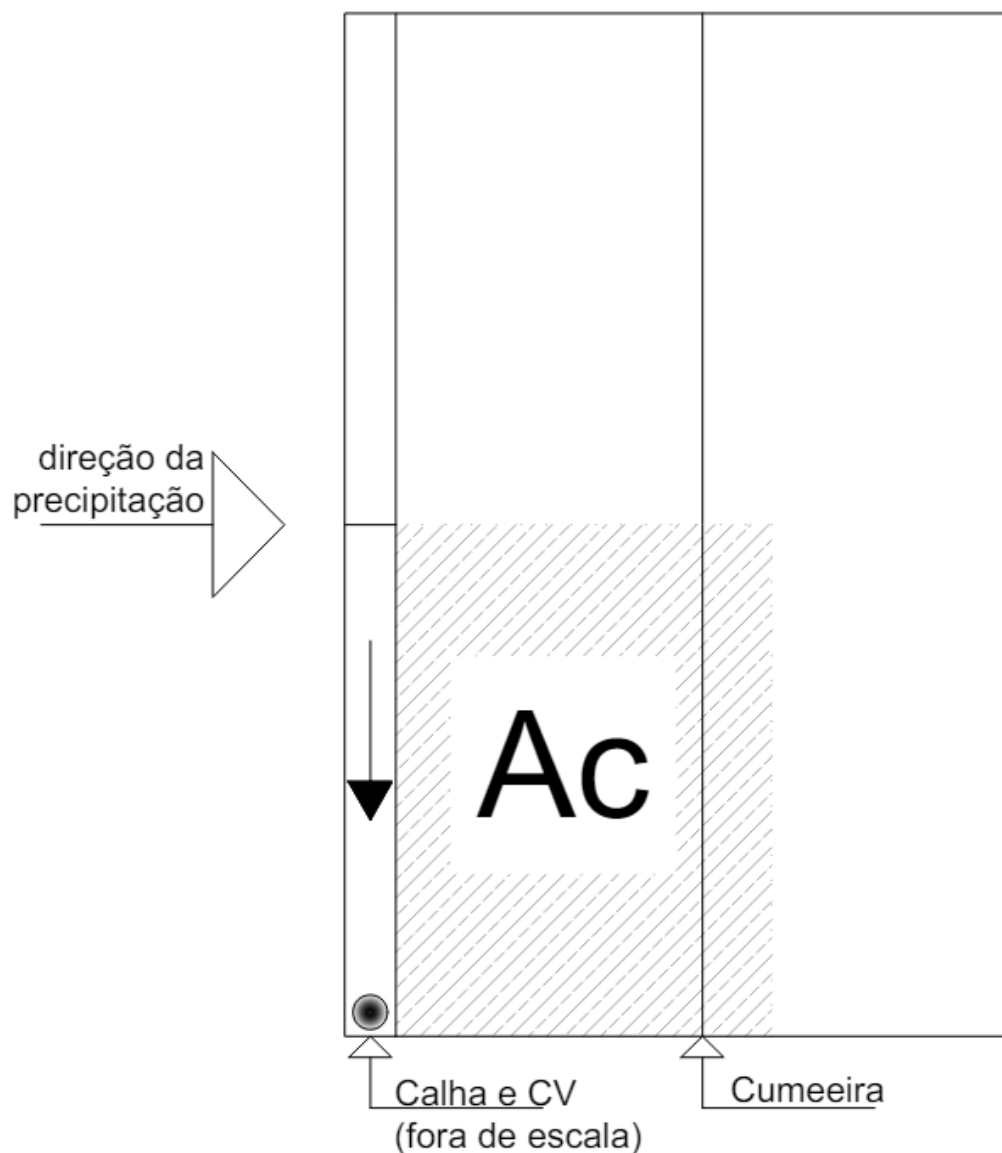


Figura 6 - Direção da Precipitação e Sentido de Escoamento da Calha que atenderá sua Vazão Proveniente.

Fonte: Autoral (2024).

Sendo assim, as áreas de contribuição (A_c) respectivas aos galpões G1, G2 e G3 são definidas pela seguinte equação:

$$A_c = \left(a + \frac{h}{2}\right) * b \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

A_c = Área de Contribuição (m^2);

a = Largura da água do telhado (m);

h = Altura da cumeeira (m);

b = Comprimento do Galpão (m).

Dessa forma, determina-se o valor das áreas conforme a tabela a seguir:

Tabela 3. Áreas de contribuição dos Galpões G1, G2 e G3.

ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (m^2)	
G1	99,12
G2	505,31
G3	1873,50

Fonte: Autoral (2024).

Em seguida, com auxílio dos dados de intensidade pluviométrica, calcula-se a vazão de projeto através da equação:

$$Q = \frac{A_c * I}{60} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

Q = Vazão de Projeto (L/min);

A_c = Área de Contribuição (m^2);

I = Intensidade Pluviométrica (mm/h).

Determinando-se o valor da vazão de projeto de cada galpão conforme a tabela:

Tabela 4. Vazões de projeto dos Galpões G1, G2 e G3.

VAZÃO DE PROJETO (L/min)	
G1	231,28
G2	1179,06
G3	4287,50

Fonte: Autoral (2024).

Extraí-se, a partir da equação (4), adaptada da equação (1), a altura da lâmina d'água, pré-fixadas as dimensões de calha em 10, 15, 20 e 25 centímetros nos galpões G1, G2 e G3, conforme expresso na metodologia, e aplicando os dados adquiridos, determina-se a altura da lâmina d'água através do suplemento *Solver* do Excel:

$$Q - \left(\frac{1}{n} * (b * h) * \left(\frac{h * b}{(2h + b)} \right)^{2/3} * \sqrt{i} \right) = 0 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

Q = Vazão de Projeto (m^3/s);

n = Coeficiente de Manning (*adimensional*);

b = Largura da Seção da Calha (m);

h = Altura da Lâmina d'Água na Seção da Calha (m);

i = Declividade da Calha (%).

Obtendo-se assim, as tabelas 5, 6 e 7, com os valores de altura de lâmina d'água nos galpões G1, G2 e G3, para cada calha:

Tabela 5. Determinação das alturas das lâminas d'água no Galpão G1.

DADOS	Galpão G1			
Lado da Calha Quadrada (mm)	100	150	200	250
Altura da Lâmina d'água (mm)	65	44	35	29

Fonte: Autoral (2024).

Tabela 6. Determinação das alturas das lâminas d'água no Galpão G2.

DADOS	Galpão G2			
Lado da Calha Quadrada (mm)	100	150	200	250
Altura da Lâmina d'água (mm)	-	-	110	88

Fonte: Autoral (2024).

Tabela 7. Determinação das alturas das lâminas d'água no Galpão G3.

DADOS	Galpão G3			
Lado da Calha Quadrada (mm)	100	150	200	250
Altura da Lâmina d'água (mm)	-	-	-	237

Fonte: Autoral (2024).

Em posse desses dados, e sabendo que as calhas terão saída em aresta viva, faz-se um cruzamento de informações no ábaco para extrair o dimensionamento dos condutores verticais. O procedimento para determinação do diâmetro dos condutos no ábaco está descrito na figura a seguir:

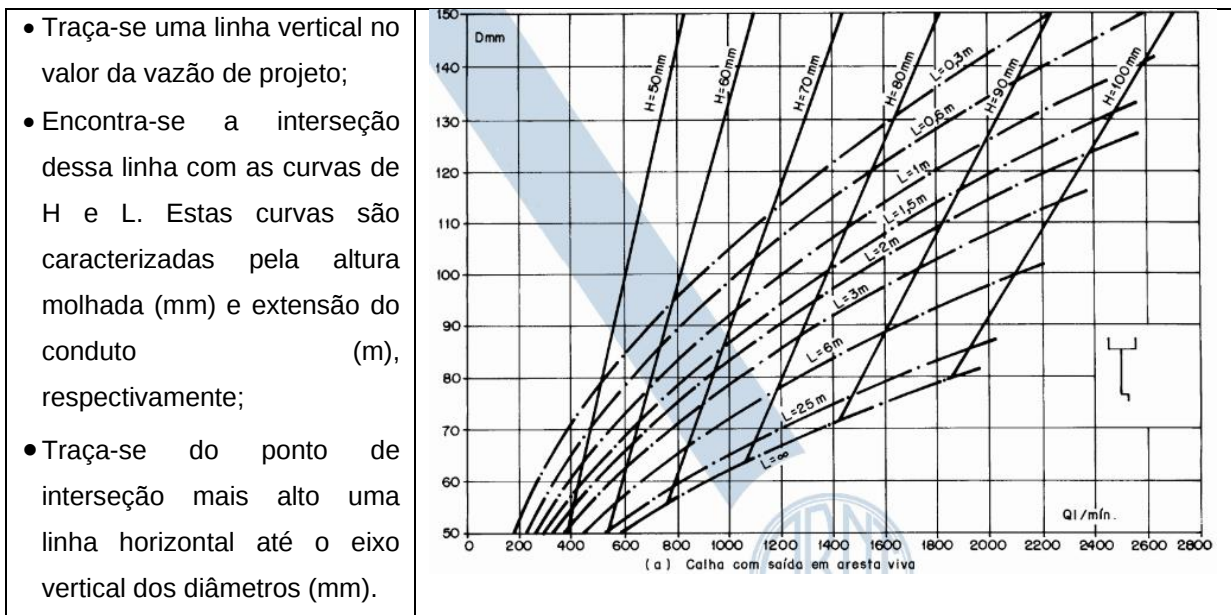


Figura 7 - Roteiro de Utilização do Ábaco da NBR 10844:1989.

Fonte: Adaptado de NBR 10844 (1989).

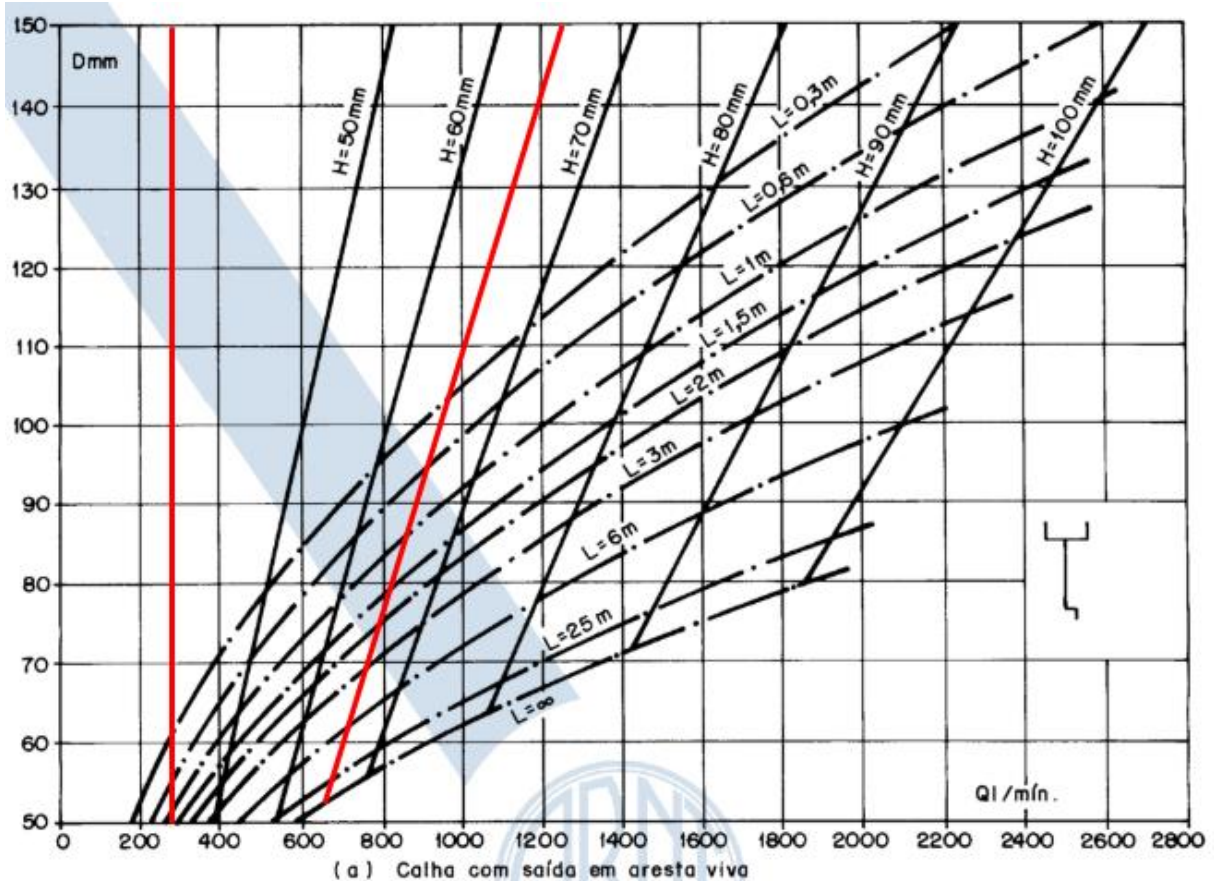


Figura 8 - Ábaco do conduto do Galpão G1, com calhas 10x10, preenchido.

Fonte: Autoral (2024).

O ábaco não fornece um cruzamento possível da curva L e da reta Q, muito menos um cruzamento visível das duas retas congruentes H e Q. Contudo, é de se imaginar que seu ponto de encontro seja inferior ao diâmetro de 50. Diante desse fato, a NBR10844 prescreve um diâmetro mínimo de 70mm, bem como prescreveria para qualquer valor entre o intervalo de 50 a 70mm.

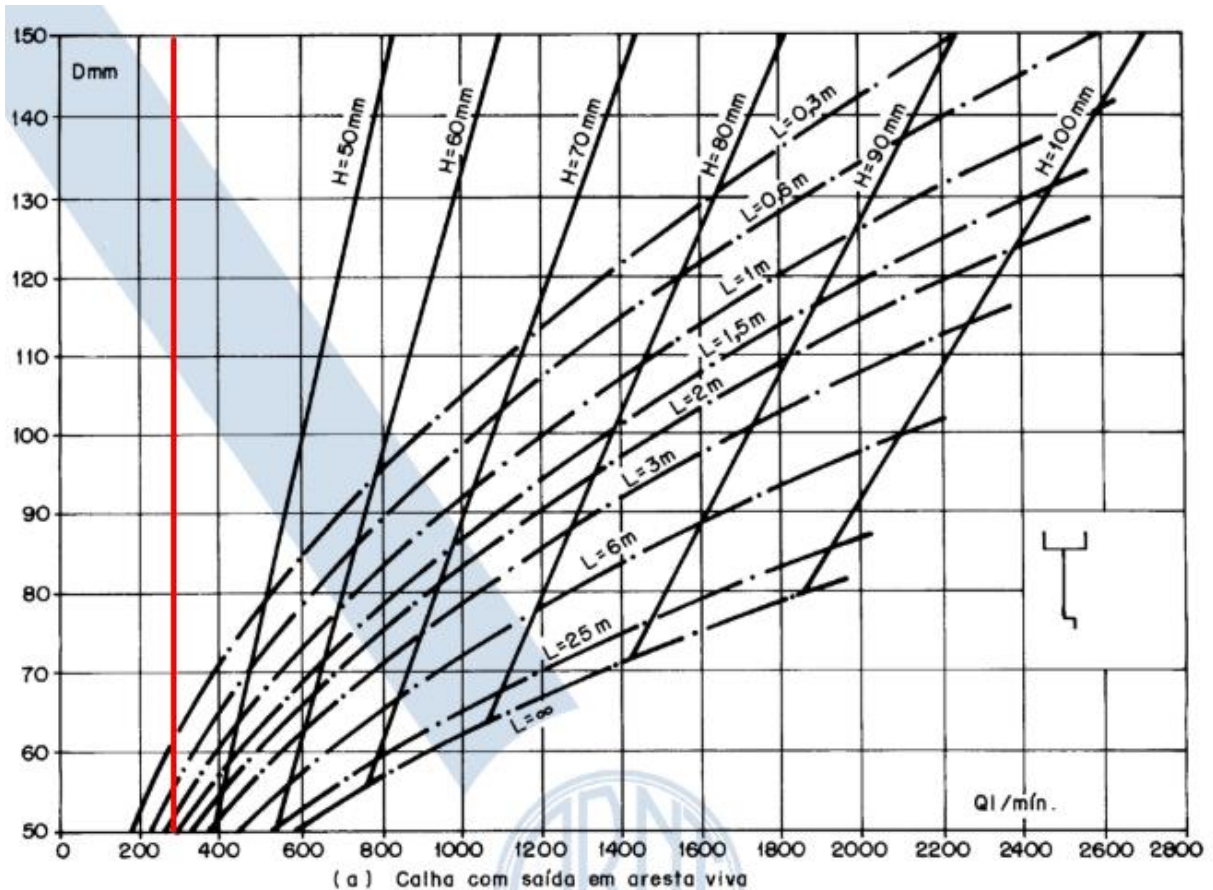


Figura 9 - Ábaco do conduto do Galpão G1, com calhas 15x15, preenchido.

Fonte: Autoral (2024).

Neste caso, a lâmina d'água na calha 15x15, de 44mm, não é contemplada pelo ábaco, tampouco há encontro entre a vazão Q e o comprimento do conduto L .

O mesmo acontece para as demais calhas no galpão G1, pois verifica-se a tendência na diminuição da altura da lâmina d'água à medida em que as dimensões da calha crescem. Ora, pois se a capacidade de fluxo dessas peças aumenta, diminui-se a altura de acúmulo do fluido que escoar.

Sendo assim, torna-se impossível o dimensionamento de condutos nesse galpão para as calhas pré-dimensionadas de 15x15, 20x20 e 25x25.

Na incapacidade de dimensionar condutores verticais para as demais calhas no galpão G1, segue-se para verificação do dimensionamento nos demais galpões, entretanto, não foi possível determinar alturas de lâmina d'água nas calhas de 10 e 15 no galpão G2, pois não possuem capacidade suficiente de vazão nem à plena

seção. Seguindo o mesmo procedimento para as calhas 20 e 25, temos as figuras a seguir:

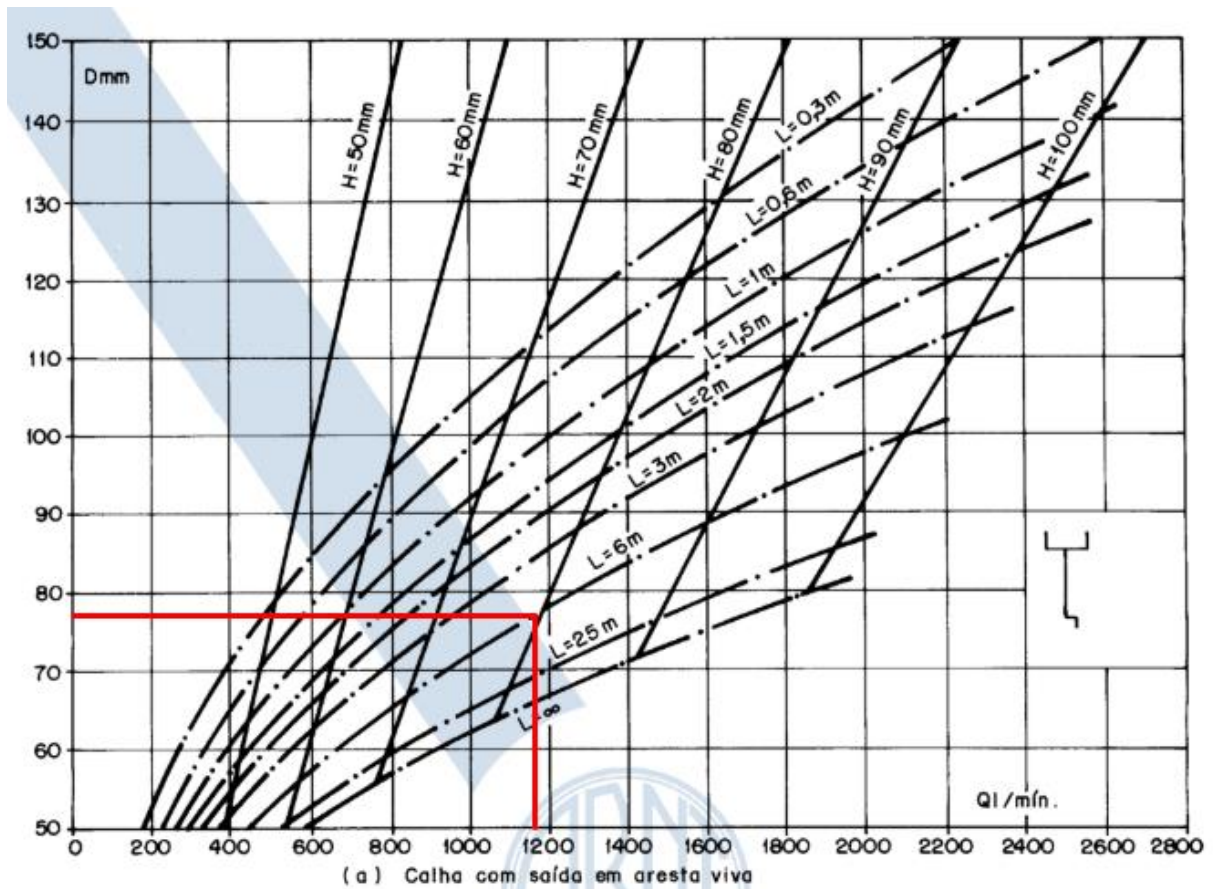


Figura 10 - Ábaco do conduto do Galpão G2, com calhas 20x20, preenchido.

Fonte: Autoral (2024).

Embora a altura de lâmina d'água não seja contemplada pelo ábaco, pois está acima da altura limite de 100mm dele, é possível definir, através do cruzamento da vazão com o comprimento do conduto, um diâmetro de 77mm para a tubulação que atenderá o galpão G2, com calhas 20x20.

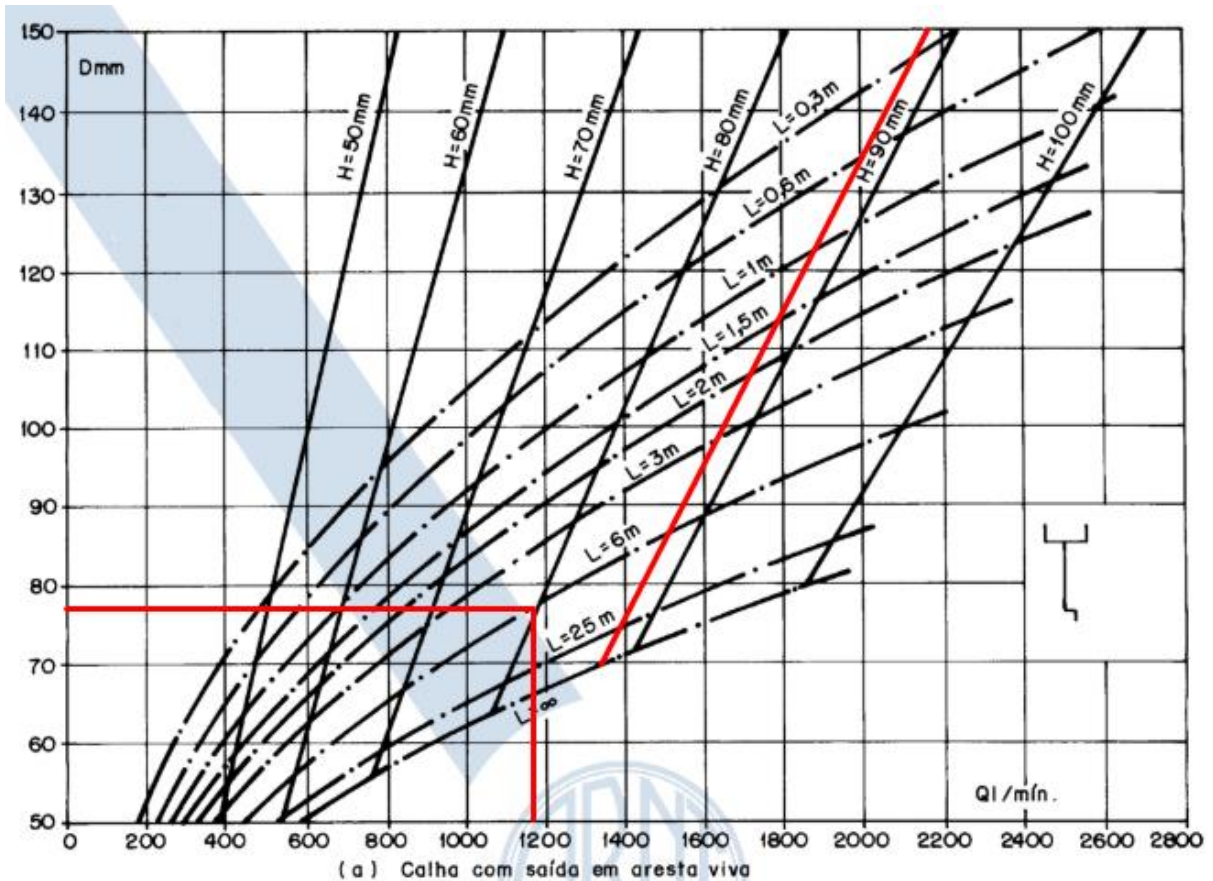


Figura 11 - Ábaco do conduto do Galpão G2, com calhas 25x25, preenchido.

Fonte: Autoral (2024).

Analogamente, para o galpão G2 com calhas de 25, define-se diâmetros de conduto vertical de 77mm. Neste caso, embora a altura de lâmina d'água apareça no ábaco, por não cruzar com a reta de vazão, o critério adotado acaba sendo o comprimento do conduto de 6m.

Por fim, verifica-se que os condutos do galpão G3 não podem ser dimensionados dentro de quaisquer dimensões de calha, pois sua vazão de 4287,5L/min excede em muito a vazão limite do ábaco para dimensionamento de condutos verticais, de 2800L/min.

Compilando os dados encontrados, temos os diâmetros calculados para cada galpão e calhas apresentados nas tabelas 8, 9 e 10:

Tabela 8. Valores de diâmetro dos CVs do G1 extraídos do ábaco da NBR 10844:1989.

DADOS	Galpão G1			
	C10x10	C15x15	C20x20	C25x25
Diâmetro pelo Ábaco (Dcalc)	70	Incapaz de Dimensionar	Incapaz de Dimensionar	Incapaz de Dimensionar

Fonte: Autoral (2024).

Tabela 9. Valores de diâmetro dos CVs do G2 extraídos do ábaco da NBR 10844:1989.

DADOS	Galpão G2			
	C10x10	C15x15	C20x20	C25x25
Diâmetro pelo Ábaco (Dcalc)	Incapaz de Dimensionar	Incapaz de Dimensionar	77	77

Fonte: Autoral (2024).

Tabela 10. Valores de diâmetro dos CVs do G3 extraídos do ábaco da NBR 10844:1989.

DADOS	Galpão G3			
	C10x10	C15x15	C20x20	C25x25
Diâmetro pelo Ábaco (Dcalc)	Incapaz de Dimensionar	Incapaz de Dimensionar	Incapaz de Dimensionar	Incapaz de Dimensionar

Fonte: Autoral (2024).

3.2 Dimensionamento a partir do ANSI UPC:2021

Em nossa hipótese, os galpões estão localizados na cidade de João Pessoa, sendo assim, é possível utilizar a vazão e a intensidade pluviométrica calculadas anteriormente.

Segundo essa metodologia, o diâmetro dos condutos verticais pode ser dimensionado em paralelo ao das próprias calhas, sendo assim, é fornecida uma tabela de dimensionamento em função da capacidade máxima drenante por área de telhado. Estes valores seguem o sistema de unidades imperial, devendo haver uma conversão para o SI para seguirmos com o roteiro de cálculo.

Tabela 11. Diâmetro de condutores circulares em função da área do telhado.

DIÂMETRO DO CONDUTOR VERTICAL	VAZÃO	MÁXIMA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DO TELHADO EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (m²)												
		(mm)	L/s	25,4mm/h	50,8mm/h	76,2mm/h	101,6mm/h	127mm/h	152,4mm/h	177,8mm/h	203,2mm/h	228,6mm/h	254mm/h	279,4mm/h
50	1,8	268	134	89	67	53	45	38	33	30	27	24	22	
75	5,52	818	409	272	204	164	137	117	102	91	82	74	68	
100	11,52	1709	855	569	427	342	285	244	214	190	171	156	142	
125	21,6	3214	1607	1071	804	643	535	459	402	357	321	292	268	
150	33,78	5017	2508	1672	1254	1003	836	717	627	557	502	456	418	
200	72,48	10776	5388	3592	2694	2155	1794	1556	1347	1197	1078	980	892	

Fonte: Adaptado de Uniform Plumbing Code (2021).

Segundo o código de cálculo, é possível determinar a área máxima de contribuição, em função do diâmetro do conduto, para valores além dos tabelados, sendo necessário utilizar das equações (5), (6), (7), (8), (9), (10), a seguir:

$$\text{DN 50:} \quad A_c = \frac{2880}{I} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$\text{DN 75:} \quad A_c = \frac{8800}{I} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$\text{DN 100:} \quad A_c = \frac{18400}{I} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$\text{DN 125:} \quad A_c = \frac{34600}{I} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$\text{DN 150:} \quad A_c = \frac{54000}{I} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$\text{DN 200:} \quad A_c = \frac{116000}{I} \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde:

A_c = Área de Contribuição (ft^2);

I = Intensidade Pluviométrica (in/h);

Desta forma, obtém-se a tabela 12, com áreas máximas em função da intensidade pluviométrica de 140mm/h:

Tabela 12. Adaptação da máxima área de contribuição do telhado em função da intensidade pluviométrica da cidade de João Pessoa.

DIÂMETRO DO CONDUTOR VERTICAL	VAZÃO	MÁXIMA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DO TELHADO EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (m^2)
(mm)	L/s	140mm/h
50	1,8	49
75	5,52	148
100	11,52	310
125	21,6	583
150	33,78	910
200	72,48	1955

Fonte: Autoral (2024).

Neste dimensionamento, apenas consulta-se a tabela para determinar o diâmetro dos condutos verticais, observando qual conduto atende uma área de cobertura projetada imediatamente superior à do edifício em questão.

Para o galpão G1, com área projetada de 99,12m², adota-se um diâmetro de conduto vertical de 75mm. Na cidade de João Pessoa, esse diâmetro, segundo o UPC, é capaz de drenar uma vazão advinda de áreas de contribuição de até 148m², enquanto o diâmetro inferior, 50mm, tem aplicabilidade limitada em 49m².

Analogamente, para dimensionar o conduto do galpão 2, com 505,31m² de área projetada, consulta-se a tabela 12, de onde extrai-se o diâmetro de 125mm.

Também é possível, segundo a metodologia, dimensionar condutos que atendam ao galpão G3. Neste caso, o edifício com 1837,50m² de área de projetada é atendido pelo último diâmetro fornecido pela tabela americana, de 200mm.

Por fim, constrói-se a tabela 13, compilando os resultados:

Tabela 13. Valores de diâmetro extraídos do método do UPC:2021.

DADOS	Galpão		
	G1	G2	G3
Diâmetro pelo UPC (Dcalc)	75	125	200

Fonte: Autoral (2024).

3.3 Dimensionamento a partir da BS 12056-3:2000, para $f = 0,2$

O dimensionamento dos condutos verticais, segundo a norma inglesa, se dá pelo cruzamento das informações de vazão com as considerações de escoamento livre da regulação.

A BS 12056:2000 limita o preenchimento da seção dos condutos verticais de águas pluviais, o fator f , numa margem de 20 a 33%, e adotando inicialmente o cenário de 20% de preenchimento, tem-se a tabela 14:

Tabela 14. Capacidade de Condutos Verticais por diâmetro para $f = 0,20$.

DIÂMETRO INTERNO DO CONDUTO VERTICAL (mm)	CAPACIDADE (L/s)
	$f = 0,20$
50	0,7
55	0,9
60	1,2
65	1,5
70	1,8
75	2,2
80	2,6
85	3,0
90	3,5
95	4,0
100	4,6
110	6,0
120	7,6
130	9,4
140	11,4
150	13,7
160	16,3

170	19,1
180	22,3
190	25,7
200	29,5
220	38,1
240	48,0
260	59,4
280	72,4
300	87,1
>300	Usar a Equação de Wyly-Eaton

Fonte: BS EN 12056 (2000).

A equação de Wyly-Eaton (Eq. 11), utilizada para determinar capacidades de diâmetros além do 300, é apresentada a seguir:

$$Q = 2,5 * 10^{-4} * kb^{-0,167} * di^{2,667} * f^{1,667} \quad \text{Eq. (11)}$$

Onde:

Q = Vazão do Conduto (L/s);

kb = Rugosidade de Colebrook-White, assumidamente 0,25 (mm);

di = Diâmetro Interno da Tubulação (mm);

f = Fator de Preenchimento da Seção da Tubulação (%).

No dimensionamento a partir da tabela, segundo a British Standards Institution, 2000, basta adequar o valor da vazão de projeto ao diâmetro tabelado, de forma que este atenderá o fluxo proveniente das calhas.

Dessa forma, têm-se os valores de vazão dos 3 galpões, adequando-se os valores de vazão de projeto à unidade utilizada pela norma, de litros por segundo:

Tabela 15. Vazões de projeto (em litros por segundo) dos Galpões G1, G2 e G3.

VAZÃO DE PROJETO (L/s)	
Q1	3,85
Q2	19,65
Q3	71,46

Fonte: Autoral (2024).

De acordo com a tabela 15, o diâmetro a ser adotado nos condutores verticais do galpão G1, obedecendo as condições de preenchimento da seção, é de 95mm.

Da mesma forma, determina-se o diâmetro de 180mm para atender à vazão dos condutos do galpão G2.

Para o galpão G3, é prescrito adotar o diâmetro de 280mm para seus condutos verticais.

Obtém-se, a partir desses dados, a tabela 16, agregando os resultados dos diâmetros calculados para as tubulações dos galpões G1, G2 e G3:

Tabela 16. Valores de diâmetro extraídos do método do BS 12056 $f = 0,20$.

DADOS	Galpão		
	G1	G2	G3
Diâmetro pela BS 12056 (Dcalc)	95	180	280

Fonte: Autoral (2024).

3.4 Dimensionamento a partir da BS 12056-3:2000, para $f = 0,33$

Já para a margem superior de preenchimento, com o fator $f = 0,33$, ou 33% da seção do conduto, também prescrita pela norma, apresenta-se a seguinte tabela, com valores substancialmente maiores de vazão:

Tabela 17. Capacidade de Condutos Verticais por diâmetro para $f = 0,33$

DIÂMETRO INTERNO DO CONDUTO VERTICAL (mm)	CAPACIDADE (L/s)
	$f = 0,33$
50	1,7
55	2,2
60	2,7
65	3,4
70	4,1
75	5,0
80	5,9
85	6,9
90	8,1
95	9,3
100	10,7
110	13,8
120	17,4
130	21,6
140	26,3
150	31,6
160	37,5
170	44,1
180	51,4
190	59,3
200	68,0
220	87,7
240	110,6
260	137,0
280	166,9
300	200,6
>300	Usar a Equação de Wylie-Eaton

Fonte: BS EN 12056 (2000).

Sendo assim, segue-se o mesmo roteiro para determinar o diâmetro dos condutos verticais de águas pluviais, atentando-se à tabela 17 e associando as vazões de projeto às capacidades tabeladas.

Para o galpão G1, verifica-se que é possível empregar um diâmetro útil de 70mm.

Já para o galpão G2, prescreve-se a adoção do diâmetro de 130mm em seus condutores.

Por fim, nas tubulações de drenagem do galpão G3, os diâmetros de 220mm satisfazem a vazão proveniente da precipitação.

Os resultados são agrupados na tabela 18:

Tabela 18. Valores de diâmetro extraídos do método do BS 12056 $f = 0,33$.

DADOS	Galpão		
	G1	G2	G3
Diâmetro pela BS 12056 (Dcalc)	70	130	220

Fonte: Autoral (2024).

3.5 Discussão

Diante da revisão dos códigos de dimensionamento apresentados nesta revisão bibliográfica, foi possível a construção de uma tabela compilando os diâmetros calculados.

Em face da disponibilidade do mercado brasileiro, esses devem adequar-se às ofertas comumente presentes no país. Dessa forma, a tabela contará com um reflexo do que seria possível praticar hoje com relação à aquisição e montagem do sistema de águas pluviais em edifícios.

Para tanto, as tubulações adotáveis, perante os dados de dimensionamento extraídos das normas nacionais e estrangeiras, serão os DN 88 e 100, de águas pluviais, bem como DN 150, 200, 250, 300 e 400 de esgoto, série de infraestrutura, fabricados de acordo com a NBR 7362:05.

Sendo assim, temos:

Tabela 19. Compilação dos resultados calculados.

Metodologias	COMPILAÇÃO DOS DIÂMETROS CALCULADOS		
	CVs do Galpão 1	CVs do Galpão 2	CVs do Galpão 3
NBR 10844 (Calhas 10x10)	70	-	-
NBR 10844 (Calhas 15x15)	-	-	-
NBR 10844 (Calhas 20x20)	-	77	-
NBR 10844 (Calhas 25x25)	-	77	-
UPC 2021	75	125	200
BS 12056 f=0,22	95	180	280
BS 12056 f=0,33	70	130	220

Fonte: Autoral (2024).

Adequando o dimensionamento calculado à disponibilidade de tubulação do mercado (DN88, DN100, DN150, DN200, DN250, DN300 e DN400), tem-se:

Tabela 20. Resultados adequados à diâmetros comerciais.

Metodologias	DIÂMETROS COMERCIAIS ADOTADOS		
	CVs do Galpão 1	CVs do Galpão 2	CVs do Galpão 3
NBR 10844 (Calhas 10x10)	88	-	-
NBR 10844 (Calhas 15x15)	-	-	-
NBR 10844 (Calhas 20x20)	-	88	-
NBR 10844 (Calhas 25x25)	-	88	-
UPC 2021	88	150	200
BS 12056 f=0,22	100	200	300
BS 12056 f=0,33	88	150	250

Fonte: Autoral (2024).

A Tabela 19, por si só, já evidencia a inflexibilidade da NBR 10844:1989, exposta a limitação de seus ábacos de dimensionamento em lidar com grandes vazões e alturas de lâmina d'água na calha, essa falha é contornável no contexto brasileiro através de reconcepções no projeto, prejudicando a praticidade em cenários onde o projetista deve evitar ocupar espacialmente um edifício com condutos excessivos.

4. CONCLUSÃO

É possível concluir que as normativas levantadas, seja o *Uniform Plumbing Code 1*, seja a *British Standards 12056*, possuem uma gama de resultados ampla, especialmente por não adotarem os critérios adotados pela norma brasileira, e não limitarem suas ferramentas como o código brasileiro limita.

O dimensionamento através de tabelas nesses documentos acelera em muito na determinação dos diâmetros dos condutores verticais do sistema de águas pluviais gravitacional. Através da tabela de resultados pelo método estadunidense, infere-se que existe uma amplitude maior de dimensionamento, com uma tabela que alcança valores de diâmetro bem maiores que a norma brasileira, e não dependem de um fator atrelado à um componente externo, como a geometria e altura da lâmina d'água na calha.

O código britânico se destaca pela ampla tabela de diâmetros de tubulação, com uma tabela extensa e intuitiva, oferecendo até mesmo uma equação para determinação de diâmetros não tabelados, o que confere ao projetista uma maior gama de opções no dimensionamento de sistemas de águas pluviais prediais, e sua extensa e detalhada norma quanto às instalações de águas pluviais em edificações é reflexo de sua complexidade, devendo ser um modelo na modernização da norma brasileira quanto ao concebimento de um novo documento prescritivo adequado à bons critérios construtivos em águas pluviais.

Um projeto bem feito consiste em um projeto de tubulações que não provoquem ruído, que não permitam vazamentos, vibrações ou qualquer tipo de alteração física de sua integridade, condutos protegidos contra pressões negativas, entupimento ou qualquer tipo de interrupção de seu funcionamento ideal.

Nesse sentido, através da exposição e debate das referidas normas, o trabalho apresentado pretende contribuir para o debate acerca do alinhamento das normas técnicas brasileiras com as melhores práticas internacionais, expandindo suas prescrições de forma que não precisem haver soluções criativas por parte daqueles que projetarão sistemas prediais de águas pluviais.

5. RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A reflexão induzida por esse trabalho se dá pela exposição de pontos fracos da norma NBR 10844:1989, seguindo hipóteses de dimensionamento que não são contempladas pela técnica prescrita por esse documento.

As metodologias de cálculo sugeridos pelo *Uniform Plumbing Code* e pelo *British Standards Institution 12056*, ambos aqui demonstrados, foram trazidos como forma de elucidar documentos técnicos alternativos legítimos, mas ainda dentro da solução de drenagem de águas pluviais em edificações por gravidade.

Pode haver ainda, consonante a esse trabalho:

- Comparação financeira da aplicação das tubulações pelos procedimentos alternativos de cálculo;
- Estudo mais a fundo, sob o ponto de vista ambientalista, acerca da relação da drenagem urbana com o índice de inundação nessas localidades;
- Inclusão, nos estudos de viabilidade, de tecnologias ainda mais modernas, como a drenagem predial sifônica, com condutos forçados;
- Comparação das tecnologias aqui abordadas com métodos alternativos de drenagem, avaliando sua eficácia e benesses em termos arquitetônicos.

Por fim, faz-se necessário conhecer e expandir os estudos na área de projetos de instalações de águas pluviais em edificações, compreendendo os interesses nacionais de desenvolvimento como reflexo de suas normativas construtivas, que devem ser abrangentes, apresentar as mais diversas soluções para quaisquer cenários imprevistos, e ser vanguarda na normatização de tecnologias inovadoras que atendam a crescente demanda por expansão delas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTHUR, S., & WRIGHT, G. B. (2005). Recent and future advances in roof drainage design and performance. **Building Services Engineering Research and Technology**, 26(4), 337–348. <https://doi.org/10.1191/0143624405bt127tn>
- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5680: Tubo de PVC rígido - dimensões – Padronização**. Rio de Janeiro, 1977. 3p.
- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10843 - Tubos de PVC rígido para instalações prediais de águas pluviais – Especificação**. Rio de Janeiro, 1988. 3p.
- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10844: Instalações Prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro, 1989. 13p.
- ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7362: Sistemas enterrados para condução de esgoto – Requisitos para tubos com parede maciça e conexões de PVC**. Rio de Janeiro, 2005. 30p.
- BROWN, S. A.; STEIN, S. M.; WARNER, J. C. **Urban drainage design manual**. 2001.
- BSI. **BS EN 12056-3: Gravity drainage systems inside buildings – Part 3: Roof drainage, layout and calculation**. British Standards Institute. 2000.
- CP 308:1974 **Drainage of roofs and paved areas**. Disponível em: <https://www.intertekinform.com/en-au/standards/cp-308-1974-1325411_saig_bsi_bsi_3260665/>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- FRICANO, Russell J.; GRASS, Alison. Evaluating American rainwater harvesting policy: A case study of three US cities. **Journal of Sustainable Development**, v. 7, n. 6, p. 133, 2014.
- Gormley, M., Kelly, D., Campbell, D., Xue, Y., & Stewart, C. (2021). Building Drainage System Design for Tall Buildings: Current Limitations and Public Health Implications. **Buildings**, 11(2). <https://doi.org/10.3390/buildings11020070>
- HOFF, H. The global water challenge – Modeling green and blue water. **Journal of Hydrology**, v. 384, n. 3–4, p. 175–176, 30 abr. 2010.
- IAPMO/ANSI. **Universal Plumbing Code 1:2021**. Disponível em: <<https://epubs.iapmo.org/2021/UPC/>>. Acesso em: 24 abr. 2024.
- ASTM D2729. **polyvinyl chloride (PVC) material. 1. Fittings**: ASTM D, v. 2729.
- STEFFEN, Jennifer et al. Water supply and stormwater management benefits of residential rainwater harvesting in US cities. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 49, n. 4, p. 810-824, 2013.
- SU, Ming-Daw et al. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 7, p. 393-399, 2009.
- THOMAS, Russell B. et al. Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 75, p. 166-173, 2014.
- WARD, Sarah; MEMON, F. A.; BUTLER, David. Harvested rainwater quality: the importance of appropriate design. **Water Science and Technology**, v. 61, n. 7, p. 1707-1714, 2010.
- WARD, Sarah; MEMON, F. A.; BUTLER, David. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. **Water Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 85-96, 2010.

World Water Development Report 2019 – **Leaving No One Behind**. Disponível em: <<https://repository.gheli.harvard.edu/repository/12938/>>. Acesso em: 12 mar. 2024.