

PLANILHA ELETRÔNICA PARA APOIO NO DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS PREDIAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS

Ana Carolina Portela Ernesto Gomes Da Silva¹ ; Karina Vilela Rodrigues² & Michael Silveira Thebaldi³

RESUMO – A mudança do uso e ocupação do solo a nível urbano interfere na parcela da precipitação que poderia ser infiltrada, gerando uma lâmina maior de deflúvio. Assim, as cidades adotam medidas para conter e direcionar a locais adequados a água precipitada, desde as instalações prediais para captação e condução de águas pluviais até as soluções de micro e macrodrenagem. Para tal, a nível predial é necessário o uso de calhas, condutores verticais, caixas de areia, condutos horizontais descarregando nas sarjetas ou diretamente nos coletores públicos. Desta forma, objetivou-se com este trabalho a criação de uma ferramenta computacional para auxiliar no dimensionamento de instalações prediais de águas pluviais. Optou-se pelo uso de planilhas no Microsoft Excel e Visual Basic for Applications por serem meios consolidados e disseminados na automatização de cálculos dentro da engenharia. Assim, a planilha eletrônica desenvolvida apresentou dimensionamento de calhas e condutores verticais coerentes com as solicitações de projeto, além de contar com uma interface simplificada e intuitiva, proporcionando ao usuário uma boa experiência e aumento de produtividade.

ABSTRACT– The change in land use and soil occupation at urban level interferes with the amount of precipitation that could be infiltrated, generating a larger runoff water depth. Cities adopt measures to contain and to give direction to precipitated water to suitable locations, from building facilities for catchment and transport rainwater to micro and macrodrainage solutions. For this, at building level it is necessary to use rain gutters, downspouts, sandboxes and horizontal flumes discharging into runway gutters or directly to public drainage channels. Thus, the objective of this work was to create a computational tool to assist in the design of stormwater building installations. We opted for the use of spreadsheets in Microsoft Excel and Visual Basic for Applications as they are consolidated and disseminated means in the automation of calculations within engineering. The developed electronic spreadsheet presented the design of rain gutters and downspouts consistent with the project requests. In addition, it has a simplified and intuitive interface, providing the user a good experience and increased productivity.

Palavras-Chave – Gestão de águas pluviais; Hidráulica aplicada ao meio urbano; Recursos Computacionais.

INTRODUÇÃO

A gestão de águas pluviais é frequentemente negligenciada em países subdesenvolvidos ou com alta disponibilidade hídrica, até a chegada de períodos chuvosos e consequentes transtornos causados por inundações ou mesmo em épocas de escassez, em que estas águas poderiam ser utilizadas para o

1) Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Campus Universitário, 37200-900, Lavras – MG, Brasil, (73) 99968-9078, anacarolinaportela1@gmail.com

2) Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Campus Universitário, 37200-900, Lavras – MG, Brasil, (35) 98819-0815, karina.vilela02@gmail.com

3) Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Campus Universitário, 37200-900, Lavras – MG, Brasil, (37) 98406-3707, michael.thebaldi@ufla.br



consumo não potável e como apoio na diminuição de risco de inundações (May e Prado, 2006; Hongmin e Lu, 2019).

Neste sentido, Zaizen *et al.* (2000) afirmam que a utilização de sistemas de captação de águas pluviais em áreas urbanas pode proporcionar benefícios como o controle da drenagem do solo, prevenção de alagamentos, restauração do ciclo hidrológico, conservação de água potável além de promover educação ambiental.

Uma vez que os telhados representam uma grande porcentagem das áreas urbanas impermeáveis, são ideais para a captação de águas pluviais (Li *et al.*, 2010; Mehrabadi *et al.*, 2013). Logo, faz-se necessário o projeto de instalações prediais de águas pluviais, as quais são definidas como o conjunto de elementos para a concentração, captação, armazenamento e tratamento do deflúvio para o uso não potável, conferindo à edificação conforto, segurança, funcionalidade, higiene, economia e durabilidade, devendo ser isoladas das demais instalações da construção para que não haja contaminação (ABNT, 1989; Campisano *et al.*, 2017).

Segundo Rupp *et al.* (2011), é essencial que o dimensionamento deste sistema seja correto, para evitar custos desnecessários quando este é superdimensionado ou baixa eficiência quando é subdimensionado. Apesar disso, não é incomum se deparar com situações de calhas transbordando ou sem condutores verticais, tendo caimento livre nos logradouros ou em terrenos vizinhos.

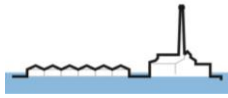
A norma brasileira NBR 10844 (ABNT, 1989) oferece apenas uma tabela para o dimensionamento de calhas, somente para seção semicircular, e dois ábacos para o dimensionamento de condutores verticais, considerando que estes sejam de materiais rugosos e com dois desvios na base. Com isso, entende-se como limitada e pouco abrangente considerando a variedade de seções e materiais utilizados usualmente.

Com o intuito de auxiliar a implantação adequada de instalações prediais de águas pluviais e contribuir com o cenário de gestão de águas pluviais, objetivou-se com este estudo oferecer uma ferramenta simples e intuitiva para o dimensionamento de calhas e condutores verticais destas instalações, optou-se pela plataforma Excel, como interface por meio de planilhas operacionais e a linguagem de programação VBA, para a elaboração das rotinas do dimensionamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo foram criadas rotinas e sub-rotinas para cada ação necessária no processo de cálculo a fim de facilitar possíveis alterações e intervenções no código.

O algoritmo desenvolvido foi baseado no dimensionamento de calha proposto pela NBR 10844 (ABNT, 1989) considerando a seção de máxima eficiência, como apresentado por Baptista e Lara



(2014). Já os condutores verticais foram dimensionados por meio das formulações propostas por Azevedo Netto e Fernández (2015), submetidos ao terceiro estágio de escoamento.

A Figura 1 apresenta o fluxograma geral do algoritmo implementado, ilustrando a sequência realizada após a entrada de dados pelo usuário até a saída dos resultados.

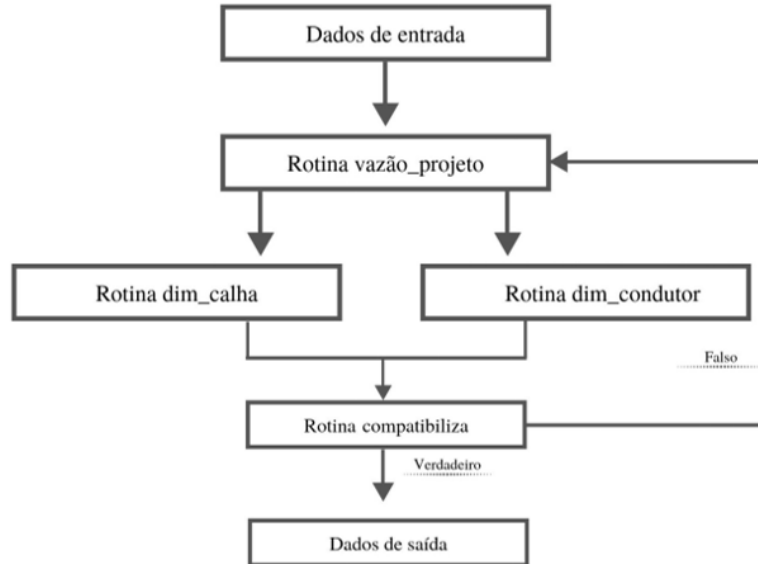


Figura 1 – Fluxograma geral do algoritmo.

Os dados de entrada que implicam em uma escolha são inseridos por caixas de seleção, assim, ao optar por uma das alternativas dispostas é gerado um valor correspondente para o código. Já para os dados que são expressos por valores numéricos, foram designadas células específicas para digitação destes, como por exemplo, a determinação dos dados meteorológicos.

A rotina denominada “vazão_projeto” foi desenvolvida para determinar a vazão de referência para o dimensionamento da instalação. Por meio da Figura 2, observa-se de forma simplificada quais dados inseridos foram utilizados, além das sub-rotinas criadas para o cálculo da área de contribuição, intensidade pluviométrica e coeficiente de correção decorrente da presença de curva na calha.

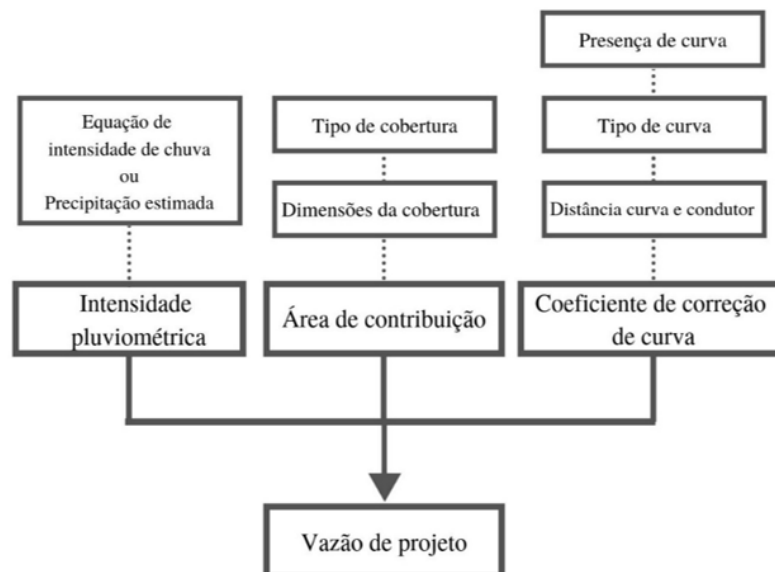
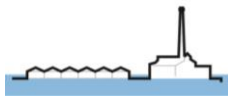


Figura 2 – Fluxograma das variáveis necessárias para a determinação da vazão de projeto.



A rotina “dim_calha” contempla as etapas do dimensionamento da seção da calha, conforme é possível acompanhar na Figura 3. A partir da determinação do material e da inclinação da calha, juntamente com a vazão calculada na rotina supracitada, obtém-se o valor que os parâmetros de forma são igualados. Foram estabelecidas sub-rotinas específicas para cada tipo de seção, com as relações que proporcionam a seção de máxima eficiência adotando uma borda livre de 20%. Por fim, foi criada a denominada calha mínima, para os casos nos quais a largura da calha calculada for inferior a 75 mm referentes a dimensão do condutor vertical mínimo.

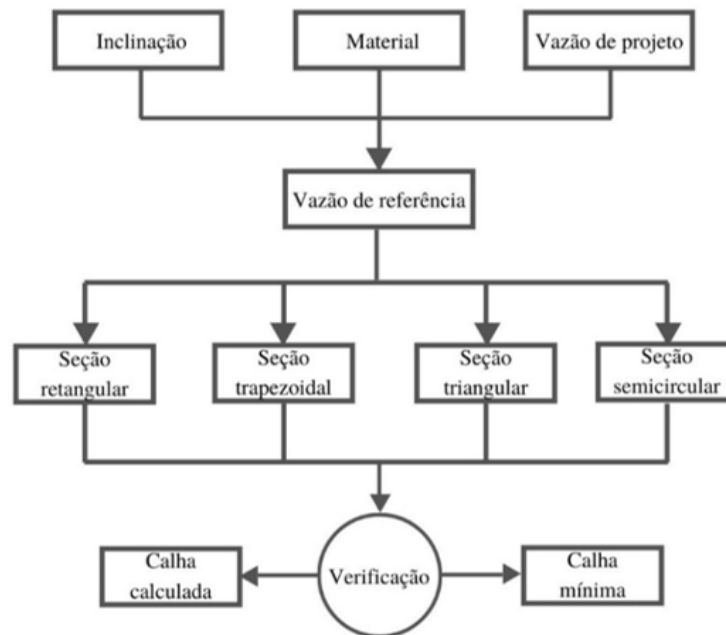


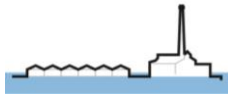
Figura 3 – Fluxograma referente à determinação da geometria da calha.

Já para o dimensionamento do condutor vertical foi elaborada a rotina “dim_condutor”, cujo esquema de funcionamento é representado na Figura 4. Diferentemente da lógica aplicada para o dimensionamento da calha, o dimensionamento do condutor vertical é realizado por meio de tentativas.

Inicialmente, escolhida a seção do conduto é calculado o raio hidráulico referente ao condutor mínimo recomendado de 75 mm. Assim, juntamente com o comprimento fornecido pelo usuário, é feita a determinação do coeficiente de descarga por meio de uma sub-rotina.

Assim, de posse de todas as variáveis necessárias, obtém-se a capacidade de escoamento do condutor. Caso a vazão escoada não seja compatível com a vazão de referência é realizado um *loop* recalculando o raio hidráulico com dimensões maiores. Este *loop* é realizado até que a condição seja satisfeita.

Na última etapa, antes da saída de dados, a rotina verifica a compatibilização entre as dimensões da calha e do condutor, evitando problemas construtivos da instalação. Se o condutor possuir dimensão superior em até 10% em relação a calha, é realizado um novo *loop*, dividindo a vazão de projeto, sendo então estabelecido que é necessário mais um condutor vertical. O *loop* se encerra



quando a condição for atendida e número de repetições indica a quantidade de condutores. Por fim, os resultados são fornecidos ao usuário por meio do campo destinado para tal finalidade.

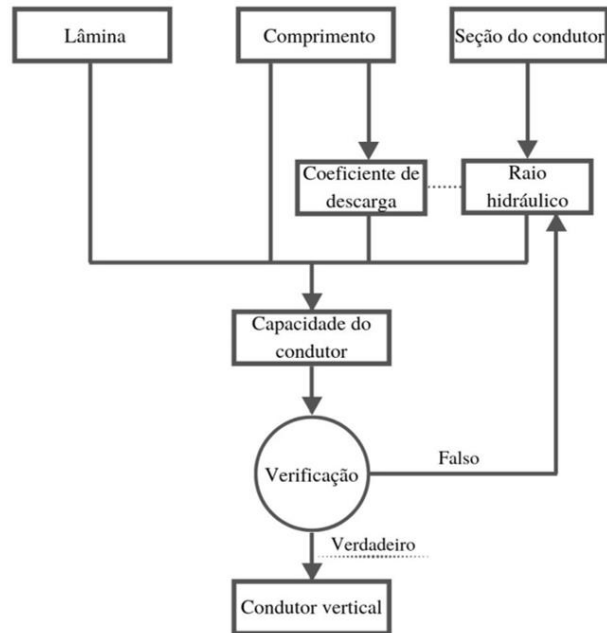


Figura 4 – Fluxograma referente à determinação do condutor vertical.

A validação dos resultados consistiu na análise dos dados de saída, a fim de garantir o funcionamento do código desenvolvido. Foi realizada por meio de exemplos implementados na planilha e pela comparação com outros meios de dimensionamento para atestar a consistência dos resultados. Foram propostos dois casos como exemplo, definidos de forma a explorar as condicionantes e as rotinas elaboradas.

O caso 1 consiste numa cobertura de duas águas com as dimensões indicadas na Figura 5a situada na cidade de Salvador/BA, com intensidade pluviométrica, de acordo com a NBR 10844 para período de retorno de cinco anos igual a 122 mm/h (ABNT, 1989), foi escolhida calha de plástico com curva de canto arredondado à distância de um metro do condutor vertical, que contava com seis metros de comprimento.

Já o caso 2 também é uma cobertura de duas águas, cuja dimensões estão indicadas na Figura 5b, situada no município de Formiga/MG. A intensidade pluviométrica foi calculada por meio dos parâmetros da equação de chuvas intensas apresentados por Borges e Thebaldi (2016), foi escolhida calha de plástico sem curva e condutor vertical com três metros de comprimento.

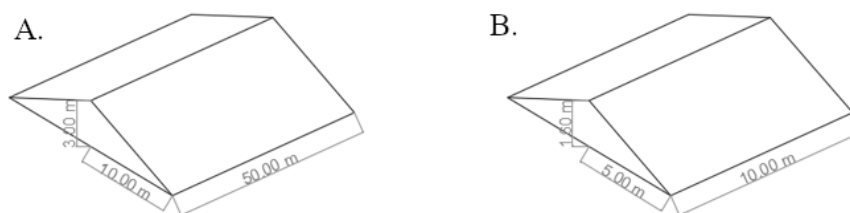
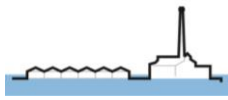


Figura 5 – Representação das dimensões das coberturas: caso 1 (a) e caso 2 (b).



Nestes cenários foram aplicadas a todas as seções e as inclinações disponíveis, a fim de poder observar um comportamento geral dos dimensionamentos fornecidos.

A partir da geometria dos elementos gerada na planilha, foi calculada a capacidade de escoamento das calhas à seção cheia por meio da equação Manning-Strickler. Foi realizado também um comparativo percentual entre a vazão calculada e a vazão de projeto, para observar se a capacidade dos elementos dimensionados atende a solicitação de projeto e por qual margem de segurança.

Os condutos verticais foram verificados por duas vias: pelos ábacos disponíveis na norma brasileira e pelo processo de dimensionamento adotado no código, assim, validando o funcionamento esperado da planilha e comparando os métodos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O caso 1 foi proposto visando observar os resultados obtidos considerando uma cobertura de maior dimensão com curva na calha, utilizando uma precipitação estimada. Por meio das diretrizes de projeto e como referência, a vazão de projeto foi calculada manualmente e tem os valores de área igual a 575 m², coeficiente multiplicativo da vazão de projeto de 1,10, intensidade de precipitação de 122 mm/h e vazão de projeto igual a 1286,08 L/min.

Sendo assim, os parâmetros geométricos gerados pela planilha referentes a calha, foram dispostos na Tabela 1. Em uma análise primária, é possível perceber que as dimensões se comportam como o esperado, reduzindo sua magnitude conforme o aumento da inclinação. Contudo, as larguras apresentadas para a seção triangular, são pouco usuais.

Tabela 1 – Dimensões obtidas para o dimensionamento das calhas com os dados de entrada do caso 1.

Seção transversal	Dimensão	Inclinação		
		0,5%	1,0%	2,0%
Retangular	B (cm)	21,70	19,00	16,70
	h (cm)	13,00	11,40	10,00
Trapezoidal	B (cm)	29,00	25,50	22,40
	b (cm)	13,20	11,60	10,20
	h (cm)	13,70	12,10	10,60
Triangular	B (cm)	36,70	32,20	28,30
	h (cm)	18,40	16,10	14,20
Semicircular	D (cm)	26,10	22,90	20,10

A partir de cada geometria obtida, foi determinada a capacidade de escoamento relativa destas, em relação à vazão de projeto, sendo os resultados apresentados por meio da Figura 6.

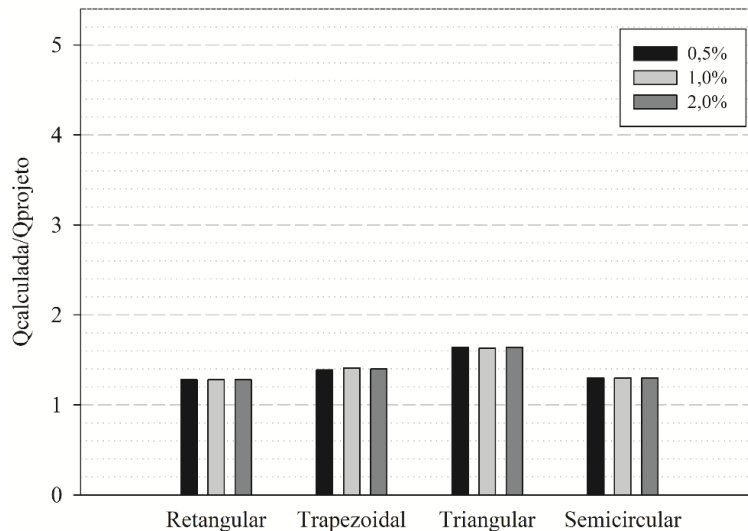
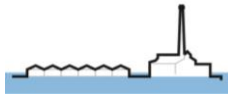


Figura 6 – Capacidade de escoamento relativa das calhas a partir da geometria fornecida pela planilha, referentes ao Caso 1, em diferentes inclinações do conduto.

Em valores absolutos, todas as calhas atendem a vazão de projeto e, em análise secundária, que tal vazão é atendida com margem de segurança de pelo menos 27%. Destaca-se ainda, que para as seções trapezoidal e triangular a margem de segurança supera 40%, podendo ser justificada pela adoção da borda livre, pois esta aumenta consideravelmente a área molhada da seção para essas geométricas.

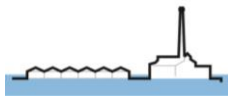
Quanto aos resultados dos condutores verticais, foram obtidas para todas as configurações aplicadas a mesma geometria, referente ao condutor mínimo: para a seção retangular dimensões de 7,5 x 7,5 cm e para a seção circular um diâmetro de 75 mm. Assim, nota-se que a variabilidade da lâmina nas diferentes seções de calha e inclinações, não afetou as dimensões dos condutores.

Para verificar a capacidade de escoamento, foi realizado o cálculo manual do condutor com a maior e a menor lâmina na calha. Determinou-se assim que a variabilidade da lâmina nas diferentes seções de calha e inclinações, impactou em apenas 0,57% na capacidade de escoamento do condutor. Além disso, constatou-se que as geometrias dimensionadas atendem à demanda de projeto.

Como parâmetro de comparação, foi realizado o dimensionamento recomendado em norma (ABNT, 1989). A partir da interceptação da projeção vertical da vazão de projeto e curva referente ao comprimento do condutor, obteve-se um diâmetro de 80 mm que escoava uma lâmina de 77 mm.

Portanto, a planilha gera uma seção transversal inferior à obtida por meio do ábaco. Como não é especificado o estágio de escoamento do condutor dimensionado pela norma, pode-se especular que tal diferença seja resultado tanto de coeficientes de segurança embutidos como o fato de um condutor afogado apresentar maior rendimento.

Já o Caso 2 foi proposto visando observar os resultados obtidos considerando a cobertura de uma casa de pequeno porte com um pavimento, além da intensidade pluviométrica ser calculada por meio dos parâmetros da equação de chuva intensa. De maneira análoga, a vazão de projeto foi



calculada manualmente para referência e os valores obtidos foram: área de 58 m²; coeficiente multiplicativo da vazão de projeto igual a 1,00; intensidade de precipitação de 154,79 mm/h e vazão de projeto de 149,63 L/min.

Da mesma forma, os dados de entrada referentes ao Caso 2 foram implementados na planilha e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2. Por se tratar de uma cobertura de menor porte com uma vazão reduzida, observa-se que as dimensões são inferiores as obtidas no Caso 1 e a ocorrência da “calha mínima” para todas as inclinações com seção trapezoidal e para a seção retangular com 2,0% de inclinação.

Tabela 2 – Dimensões obtidas com o dimensionamento das calhas com os dados de entrada do Caso 2.

Seção transversal	Dimensão	Inclinação		
		0,5%	1,0%	2,0%
Retangular	B (cm)	9,70	8,50	7,50
	h (cm)	5,80	5,10	4,50
Trapezoidal	B (cm)	16,50	16,50	16,50
	b (cm)	7,50	7,50	7,50
	h (cm)	7,80	7,80	7,80
Triangular	B (cm)	16,40	14,40	12,70
	h (cm)	8,20	7,20	6,40
Semicircular	D (cm)	11,70	10,20	9,00

Assim sendo, a capacidade de escoamento relativa das calhas dimensionadas para o Caso 2, relativas à vazão de projeto, são apresentadas na Figura 7.

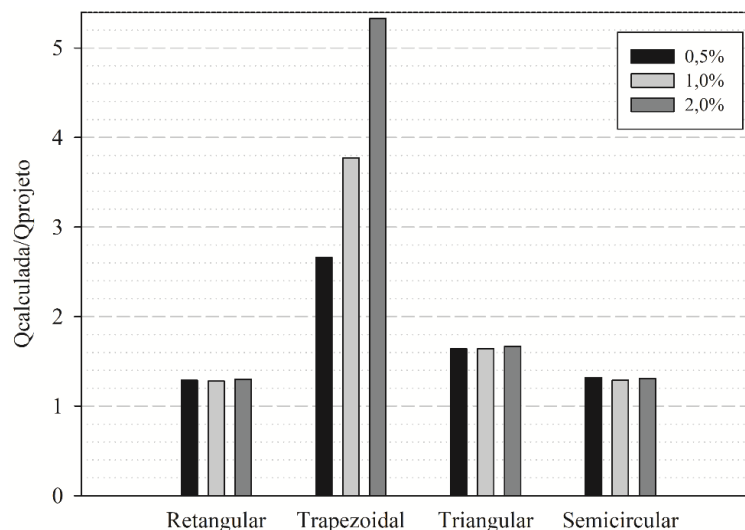
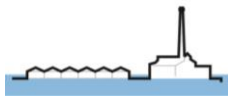


Figura 7 – Capacidade de escoamento relativa das calhas a partir da geometria fornecida pela planilha, referentes ao Caso 2, em diferentes inclinações do conduto.

Na Figura 7 é possível observar que a vazão de projeto é atendida em todos os casos, contudo, há uma discrepância nos valores referentes a “calha mínima” em relação às demais. Tal percepção



vem do fato das margens de segurança serem similares às determinadas no Caso 1, exceto nas condições em que se obteve a “calha mínima”. Observa-se que para estas, a vazão calculada é superior em até aproximadamente 4,3 vezes a vazão requisitada.

Em contrapartida, para os condutores verticais foram obtidos os mesmos resultados para Caso 1: condutor mínimo para todas as configurações. Assim, foi calculada a capacidade de escoamento do condutor para as condições fixadas no Caso 2, com a maior e menor lâmina na calha manualmente e comparados com os valores obtidos nos procedimentos de cálculo via a planilha desenvolvida.

Com isso, observou-se que a vazão escoada pelo condutor não apenas atende à demanda de projeto, como também excede essa em até 8 vezes. Apesar de possuírem mesma seção, os condutores apresentaram capacidades distintas para cada um dos casos, decorrentes da diferença de comprimento entre estes.

Como forma de obter mais uma referência para comparação, foi utilizado o ábaco apresentado na norma NBR 10844 (ABNT, 1989). Desta vez, foi realizada a verificação da vazão para o diâmetro obtido no dimensionamento da planilha, pois a vazão de projeto não é contemplada pelo ábaco. Assim, um condutor de diâmetro de 75 mm com 3 metros de comprimento teria, segundo o ábaco, capacidade de escoar uma vazão de aproximadamente 960 L/min - compatível com as especificações demandas para situação proposta, ainda que haja diferença entre os valores da capacidade.

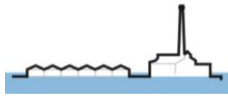
Com o uso da planilha eletrônica desenvolvida, pôde-se realizar o dimensionamento de calhas e condutores verticais coerentes com as solicitações de projeto, de maneira rápida e prática. Além disso, a planilha conta com uma interface simplificada, intuitiva e conhecida, o que proporciona ao usuário uma boa experiência e aumento de produtividade.

CONCLUSÃO

A planilha eletrônica desenvolvida apresentou resultados satisfatórios nos testes realizados, apresentando dimensões com relações geométricas proporcionais e atendendo as diretrizes de projeto. Assim, conclui-se que as rotinas implementadas são válidas.

No entanto, em relação às calhas, obteve-se resultados melhores para as seções retangular e semicircular pois, para vazões elevadas, a calha triangular apresenta largura incompatível com as usuais, além da borda livre adotada ter impacto diferente em cada geometria. Outro ponto observado é a condição de calha mínima, que atendeu às solicitações, porém, não da forma mais econômica. Já para o condutor vertical percebeu-se certa inconsistência ao se tecer comparações com dimensionamento recomendado pela NBR 10844 (ABNT, 1989).

De forma que a planilha possa contribuir para o cenário apresentado neste trabalho, foi determinado seu livre acesso. Assim, convida-se o leitor a explorar a interface gráfica descrita e os



demais recursos da planilha denominada Pluvial 1.0, que está disponível no endereço eletrônico: <http://www.deg.ufla.br/documentos/download>.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1989). *NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais: Procedimento*. Rio de Janeiro, Brasil.
- AZEVEDO NETTO, J.M.DE.; FERNÁNDEZ, M.F.Y. (2015). *Manual de hidráulica* (9. ed.). Blucher, São Paulo – SP, 632 p.
- BAPTISTA, M.; LARA, M. (2014). *Fundamentos de engenharia hidráulica* (3. ed.). Editora UFMG, Belo Horizonte – MG, 473 p.
- BORGES, G.M.R.; THEBALDI, M.S. (2016). “*Estimativa da precipitação máxima diária anual e equação de chuvas intensas para o município de Formiga, MG, Brasil*”. *Revista Ambiente e Água* 11(4), pp. 891-902.
- CAMPISANO, A.; BUTLER, D.; WARD, S.; BURNS, M.J.; FRIEDLER, E.; DEBUSK, K.; FISHER-JEFFES, L.N.; GHISI, E.; RAHMAN, A.; FURUMAI, H.; HAN, M. (2017). “*Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives*”. *Water Research* 115, pp. 195–209.
- HONGMIN, L.; LU, Y. (2019). “*Analysis and Evaluation of the Urban Rainwater Harvesting System in Green Buildings*” in 4th International Conference on Advances in Energy and Environment Research (ICAEER 2019), E3S Web of Conferences, Oct. 2019, 118(03028), 4 p.
- LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. (2010). “*Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland*”. *Desalination* 260(1-3), pp. 1–8.
- MAY, S.; PRADO, R.T.A. (2006). “*Experimental evaluation of rainwater quality for non-potable applications in the city of São Paulo, Brazil*”. *Urban Water Journal* 3(3), pp. 145–151.
- RASHIDI MEHRABADI, M.H.; SAGHAFIAN, B.; HAGHIGHI FASHI, F. (2013). “*Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions*”. *Resources, Conservation and Recycling* 73, pp. 86–93.
- RUPP, R.F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. (2011). “*Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial*”. *Ambiente Construído* 11(4), pp. 47–64.
- ZAIZEN, M.; URAKAWA, T.; MATSUMOTO, Y.; TAKAI, H. (2000). “*The collection of rainwater from dome stadiums in Japan*”. *Urban Water* 1(4), pp. 355–359.