

**VertCalc: software hidráulico para dimensionamento de vertedores de parede delgada e
estimativa de vazão**

VertCalc: hydraulic software to sharp-crested weir design and flow measurement

**VertCalc: software hidráulico para diseño de vertederos de pared delgada y estimación
de caudal**

Recebido: 20/11/2020 | Revisado: 21/11/2020 | Aceito: 29/11/2020 | Publicado: 03/12/2020

Thales Augusto Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4934-9951>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Brasil

E-mail: thales2210@gmail.com

Davi Santiago Aquino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7047-5384>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Brasil

E-mail: davi.aquino@ifba.edu.br

Resumo

Vertedores de parede delgada são estruturas hidráulicas simples, baratas e úteis na medição de vazão em condutos livres. Embora seja fácil a obtenção do valor de vazão quando conhecidas as dimensões do vertedor, o problema inverso é mais complexo: dimensionar um vertedor para uma vazão máxima esperada, pois para tal é necessária a resolução de uma equação com incógnita de graus $3/2$ e $5/2$, que não se pode executar analiticamente, requerendo-se o uso de recursos computacionais. O presente trabalho objetivou apresentar e disponibilizar à comunidade acadêmica e aos profissionais da área de Hidráulica o VertCalc: um software offline e gratuito que possui funções de estimativa de vazão e de dimensionamento de vertedores com geometrias retangular com ou sem contrações, triangular e trapezoidal. O programa foi desenvolvido na linguagem Visual Basic e se apresentou como de fácil usabilidade e com confiabilidade dos resultados quando comparados com a literatura técnica. A análise de erros de estimativas dos valores do programa desenvolvido resultou em percentuais entre 0,0% e 6,6%.

Palavras-chave: Hidráulica; Hidrometria; Recurso computacional.

Abstract

Sharp-crested weirs are simple, inexpensive, and useful hydraulic structures for measuring flow in open channels. Although obtaining the flow rate when the dimensions of the weir are known is easy, the inverse problem is more complex: designing a weir for a maximum expected flow as it is necessary to solve an $3/2$ and $5/2$ degree equation, which cannot be performed analytically and requires the use of computational resources. This paper aimed to present the VertCalc, which is a free and offline software that has functions of estimating flow and design of weirs with rectangular (with or without contractions), triangular, and trapezoidal geometries, and make it available to the academic community and hydraulic professionals. The program was developed in the Visual Basic language and presented itself as easy to use and with reliable results when compared with the technical literature. The error analysis in estimating the values of the developed program resulted in percentages between 0.0% and 6.6%.

Keywords: Hydraulics; Hydrometry; Computational resource.

Resumen

Los vertederos de pared delgada son estructuras hidráulicas simples, económicas y útiles para medir el flujo en conductos libres. Si bien es fácil obtener el caudal cuando se conocen las dimensiones del aliviadero, el problema inverso es más complejo: dimensionar un vertedero para un caudal máximo esperado, ya que es necesario resolver una ecuación con grados $3/2$ y $5/2$ desconocidos, que no puede realizarse analíticamente, requiriendo el uso de recursos computacionales. Este trabajo apuntó presentar y poner a disposición de la comunidad académica y profesionales en el campo de la hidráulica el VertCalc: un software gratuito y offline que tiene funciones para estimar caudales y diseño de vertederos con geometrías rectangulares con o sin contracciones, triangulares y trapezoidales. El programa fue desarrollado en el lenguaje Visual Basic y se presentó como fácil de usar y con resultados confiables en comparación con la literatura técnica. El análisis de errores en la estimación de los valores del programa desarrollado arrojó porcentajes entre 0,0% y 6,6%.

Palabras clave: Hidráulica; Hidrometría; Recurso computacional.

1. Introdução

No âmbito da hidráulica de condutos livres, vertedores são paredes, diques ou aberturas sobre os quais o líquido escoar em contato com a pressão atmosférica (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015). Dessa forma, essas estruturas podem ser entendidas como

orifícios hidráulicos de grandes dimensões nos quais suprimiu-se a aresta do topo (Porto, 2006). O termo também tem aplicabilidade a obstáculos à passagem da corrente de água ou de outro fluido circundante e a extravasores de barragens utilizados para controle de nível, dentre outras funções (Chanson, 2005).

Além de serem estruturas relativamente simples, os vertedores possuem grande importância prática, dada a sua utilização em uma série de construções hidráulicas como barramentos, sistemas de irrigação, estações de tratamento de águas e de esgotos e medição de vazão em cursos d'água e canais (Porto, 2006).

Para medição de vazão em condutos livres, nos quais a água ou outro fluido de interesse escoar à pressão atmosférica, os vertedores são dispostos em geral perpendicularmente às linhas de corrente do escoamento, o qual flui sobre sua abertura e com a leitura da carga hidráulica recorre-se a equações específicas para obtenção do valor da vazão (Brunetti, 2008; Dingman, 2009). Embora os vertedores classifiquem-se quanto a uma série de características geométricas e de projeto, os mais utilizados para estimativa de vazão são os de parede delgada e com geometria simétrica, principalmente retangular, triangular e trapezoidal (Akan, 2006; Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015; Porto, 2006).

Dados obtidos num experimento de bancada realizado por pesquisadores da Universidade Politécnica de Bucareste, Romênia, demonstraram existência de acurácia superior a 99% entre os dados experimentais de vazão medidos e os teóricos advindos de equações para vertedores de parede delgada com seções retangular, triangular, trapezoidal e proporcional do tipo Sutro (Ionescu *et al.*, 2019).

Especificamente para medição de vazão tanto em corpos receptores quanto para efluentes líquidos, com aplicação precípua em estações de tratamento de esgotos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas ressaltava que o uso adequado de vertedores triangulares ou retangulares de parede delgada é um método preciso, econômico e de fácil instalação, com erros de medição abaixo de 3%, desde que essas estruturas hidráulicas sejam corretamente instaladas, bem operadas e apresentem boa manutenção (ABNT, 1995).

As aplicações do uso de vertedores vão além da Engenharia Hidráulica. Essas estruturas também fornecem subsídios para: estudos hidrogeológicos em bacias hidrográficas (Costa *et al.*, 2007); vigilância e controle de organismos aquáticos de importância epidemiológica (MS, 2008); modelagem hidrossedimentológica para planejamento do uso do solo e de recursos hídricos (Santos & Srinivasan, 2012; Nguyen *et al.*, 2015) e outros.

Uma das vantagens da utilização de vertedores em hidrometria, conforme já abordado, é a simplicidade quanto à obtenção do valor de vazão, pelo uso de equações práticas. A equação

geral que permite a estimativa de vazão utilizando como dados de entrada a carga hidráulica e dimensões relativas à geometria do vertedor é advinda da equação de Bernoulli para escoamento permanente uniforme, que por sua vez resulta numa equação diferencial, a qual tem soluções distintas para cada geometria do vertedor utilizado (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015). Entretanto, para o dimensionamento dessas estruturas, a depender das variáveis de projeto, fatalmente a equação geral recai numa equação de graus $3/2$ e $5/2$, cuja solução algébrica depende do uso de métodos numéricos manuais ou, mais comumente, computacionais (Porto, 2006).

Recursos computacionais aplicados à Hidráulica são uma ferramenta sobremaneira útil para dimensionamento de estruturas requeridas nos projetos inerentes (Suárez-Medina & Astudillo-Enríquez, 2013). A assim chamada Hidráulica Computacional permite a solução de equações complexas que podem modelar o problema real existente pelo uso de distintos métodos iterativos. As equações gerais que regem o escoamento de fluidos em condutos livres providos de vertedores são um exemplo dessa aplicação (Popescu, 2014).

Todavia, por envolver uma complexidade de fenômenos de transporte de fluidos, a mensuração de vazão e o estudo de características do escoamento sobre o vertedor não é tarefa trivial e a depender da profundidade da análise, será necessário o uso de recursos específicos, computacionais ou manuais, que comumente utilizam modelagem numérica avançada (Al-Hashimi *et al.*, 2017; Mahtabi & Arvanaghi, 2018; Rady, 2011; Zahiri *et al.*, 2014).

Em relação à docência de disciplinas de Engenharia correlatas a escoamento de fluidos, tais como Fenômenos de Transporte, Mecânica dos Fluidos, Hidráulica, Hidrologia, Irrigação e Drenagem, Obras Hidráulicas e outras, os recursos computacionais, como simuladores virtuais e programas específicos, se apresentam como úteis ferramentas didáticas que podem auxiliar na qualidade do ensino, principalmente em instituições que não disponham de equipamentos experimentais para a realização de aulas práticas (Guillermo *et al.*, 2005; Guillermo *et al.*, 2019).

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva apresentar e disponibilizar à comunidade científica o VertCalc: um software offline de uso gratuito desenvolvido para acadêmicos e profissionais que visem a dimensionar vertedores de parede delgada, bem como estimar a vazão de condutos livres por intermédio da utilização dessas estruturas hidráulicas.

2. Metodologia

2.1 Escopo do programa

Antes de se proceder à definição da linguagem de programação utilizada e à elaboração das linhas de código do software, delimitaram-se os tipos de vertedores que seriam utilizados, mediante à finalidade da pesquisa (Pereira *et al.*, 2018).

O programa computacional desenvolvido abrange apenas vertedores de parede delgada cuja principal função é medição de vazão. Desta forma, vertedores de parede espessa, também conhecidos como barragens de nível, e aqueles presentes em grandes barramentos, como os de usina hidrelétrica ou de reservatórios de acumulação, não fazem parte da abordagem do programa aqui apresentado. A delimitação da atuação do programa embasou-se no fato de que para hidrometria em canais e cursos d'água, os vertedores mais utilizados são os parede delgada e com geometria simétrica em relação ao seu eixo vertical (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015; Porto, 2006).

Para estimativa de vazão em vertedores de paredes delgadas, partiu-se do Teorema de Bernoulli para escoamento permanente e uniforme, que após as devidas considerações resulta na equação diferencial geral para vertedores simétricos em relação ao seu eixo vertical, apresentada pela Equação 1.

$$Q = 2\sqrt{2g} C_d \int_0^H x(y) \sqrt{(H-y)} dy \quad (1)$$

Na qual:

Q é a vazão aferida, em $m^3 s^{-1}$;

g é a aceleração gravitacional local, em $m s^{-2}$;

C_d é o coeficiente de descarga ou de vazão, adimensional;

H é a carga hidráulica medida à montante do vertedor, em m;

x é a metade da largura do vertedor para a carga observada, em m; e

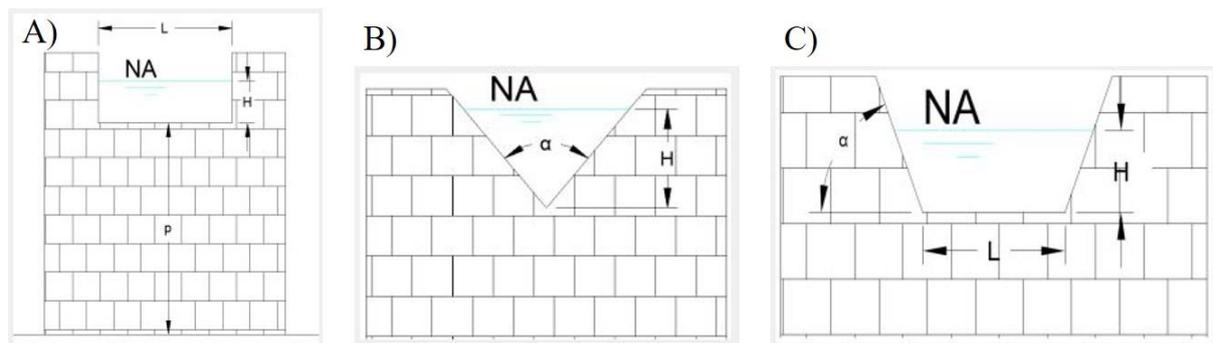
y é a carga hidráulica no instante observado, variando de 0 a H, em m.

Como a Equação de Bernoulli preconiza escoamento ideal, as dissipações de energia são desprezadas, o que não corresponde fidedignamente à realidade. Desta forma, é necessário o incremento do coeficiente de descarga (C_d), também conhecido como coeficiente de vazão,

cujos valores adimensionais variam entre 0 e 1 e são objeto de estudos específicos, conforme a geometria do vertedor utilizado e é influenciado pelas características do escoamento e por uma série de fenômenos físicos, como atrito, tensão superficial, distribuição de pressão, presença de contrações laterais e perfil de velocidade (Arvanaghi & Oskuei, 2013; Ayaz, & Mansoor, 2018; Ionescu *et al.*, 2019; Johnson, 2000).

Para definição das linhas de código do programa desenvolvido, a Equação 1 foi aplicada para estimativa de vazão em três geometrias de vertedores de parede delgada: retangular com e sem contrações, triangular e trapezoidal, que são as configurações geométricas mais comuns em hidrometria (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015; Brunetti, 2008; Chanson, 2005). A Figura 1 apresenta a geometria dos vertedores utilizados para elaboração do software.

Figura 1. Elementos geométricos de vertedores retangulares com contração (A), triangulares (B) e trapezoidais (C). NA: nível d'água; L: largura da soleira; H: carga hidráulica; p: altura da soleira; α : ângulo de abertura ou de inclinação.



Fonte: Autores.

2.2 Vertedores retangulares

Ao se aplicar a Equação 1 para vertedores retangulares com largura L medida em metros e sem contrações laterais, obtém-se a Equação 2.

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L H^{3/2} \quad (2)$$

Após estudos empíricos do comportamento da vazão em vertedores retangulares sem contrações, observou-se que para a maioria dos casos práticos o valor de coeficiente de descarga se aproximava de 0,62 (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015). Assim, ao considerar esse valor para C_d e a aceleração gravitacional como $9,81 \text{ m s}^{-2}$ na Equação 2, obtém-se a assim

chamada equação de Francis, apresentada na Equação 3, válida para o referido tipo de vertedores.

$$Q = 1,838 L H^{3/2} \quad (3)$$

Todavia, é comum na prática de aferição de vazão a utilização de vertedores retangulares com uma ou duas contrações laterais, conforme ilustrado na Figura 1A. Assim, para esses casos, a Equação 3 não possui validade, uma vez que a presença de contrações altera as linhas de fluxo do escoamento sobre o vertedor. Desta forma, Francis propôs uma modificação a fim de validar a utilização da sua equação prática para o caso de presença de contrações laterais em vertedores retangulares de parede delgada (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015). Nesse contexto, caso haja uma contração lateral, ao invés da Equação 3 deve-se utilizar a Equação 4.

$$Q = 1,838 (L - 0,1H) H^{3/2} \quad (4)$$

Semelhantemente, se houver duas contrações laterais no vertedor retangular de parede delgada, deve-se utilizar a Equação 5.

$$Q = 1,838 (L - 0,2H) H^{3/2} \quad (5)$$

Embora as Equações 4 e 5 representem um grande avanço para a hidrometria por intermédio de vertedores retangulares com contrações laterais, quando se necessita realizar o dimensionamento desse tipo de vertedor a partir de uma determinada vazão máxima esperada, cada uma dessas equações resultará em uma equação com incógnitas de grau $3/2$ e $5/2$, pois nesse caso a variável a ser determinada é a carga hidráulica H . Logo, a equação resultante tem solução por meios analíticos de forma complexa e trabalhosa, demandando ainda muito tempo para sua aplicação. Assim, a sua resolução com o auxílio de recurso computacional é uma alternativa mais viável (Porto, 2006).

As Equações 3, 4 e 5 são advindas das considerações de Francis e são as mais utilizadas para o caso de vertedores retangulares de parede delgada com ou sem contrações laterais (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015). De todo modo, há outras possibilidades de cálculo, que comumente envolvem equações empíricas mais complexas, principalmente quando se deseja proceder ao dimensionamento pelo uso de métodos numéricos. Duas dessas possibilidades são o método da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos, apresentada na

Equação 6, e o método de Bazin, apresentado pela Equação 7, nas quais a variável p é altura da soleira, conforme mostrada da Figura 1A.

$$Q = \left(1,816 + \frac{1,816}{1000H + 1,6} \right) \left[1 + 0,5 \left(\frac{H}{H + p} \right)^2 \right] L H^{3/2} \quad (6)$$

$$Q = \left(0,405 + \frac{0,003}{H} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{H}{H + p} \right)^2 \right] L H \sqrt{2gH} \quad (7)$$

Para que as Equações 6 e 7 possam ser aplicadas aos casos de presença de contrações laterais, é necessário que a largura da soleira L seja substituída por $(L - \alpha H)$, onde α é 0,1 para uma contração lateral ou 0,2 para duas contrações laterais (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015). Assim, similarmente ao procedimento de cálculo por intermédio das Equações 4 e 5, é necessária a utilização de um recurso computacional para a convergência das soluções desejadas.

2.3 Vertedores triangulares e trapezoidais

Ao se aplicar a Equação 1 para vertedores triangulares de parede delgada e simétricos em relação ao seu eixo vertical, com abertura α em graus, conforme se apresenta na Figura 1B, obtém-se a Equação 8.

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} C_d \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) H^{5/2} \quad (8)$$

Por sua vez, um vertedor trapezoidal, para fins de estimativa de vazão, pode ser considerado como a soma das contribuições de um triangular com um retangular sem contrações laterais (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015). Assim, a estimativa de vazão para um vertedor trapezoidal é dada pela Equação 9, que é a soma da Equação 2 com a Equação 8.

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L H^{3/2} + \frac{8}{15} \sqrt{2g} C_d \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) H^{5/2} \quad (9)$$

Entretanto, conforme se ilustra na Figura 1C, para um vertedor trapezoidal, o software desenvolvido considera como α o ângulo formado entre a horizontal e a inclinação externa do

talude, diferentemente da consideração que o programa realiza para um vertedor triangular (Figura 1B), no qual os cálculos baseiam-se no ângulo interno do entalhe. Assim, o ângulo equivalente da parcela triangular do vertedor trapezoidal é equivalente ao dobro do ângulo complementar de α para o triangular. Logo, para o cálculo da vazão para o vertedor trapezoidal nesta condição, a Equação 9 é reescrita na forma da Equação 10

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L H^{3/2} + \frac{8}{15} \sqrt{2g} C_d \cotg(\alpha) H^{5/2} \quad (10)$$

2.4 Funcionalidades do programa

Utilizou-se para o desenvolvimento do programa computacional a linguagem de programação Visual Basic[®], no ambiente de desenvolvimento integrado da Microsoft Visual Studio Community[®] 2017. No total, foram inseridas cerca de 1.100 linhas de código para o adequado funcionamento do software.

O programa permite o cálculo tanto da vazão quanto de qualquer variável geométrica dos vertedores contemplados pelo seu escopo. Por intermédio de cálculos simplificados, que poderiam ser também obtidos pelo uso de calculadora, o software estima as variáveis para vertedores retangulares sem contrações pelas Equações 2, 6 e 7; para os triangulares pelo uso da Equação 8; e para os trapezoidais por intermédio da Equação 10. Semelhantemente, o cálculo de vazão para vertedores retangulares com uma ou duas contrações laterais é efetivado usando as Equações de 4 a 7. Esse conjunto de funções não requer do programa o uso de métodos iterativos, bastando o fornecimento das variáveis de entrada por parte do usuário.

Todavia, no caso de vertedores retangulares com uma ou duas contrações laterais, para se estimar a carga hidráulica, necessária para o dimensionamento dessas estruturas, o uso de calculadora não é suficiente, pois, como já abordado, é requerido o uso de métodos numéricos para resolução de equação com incógnitas de grau $3/2$ e $5/2$. Assim, para esse caso, o programa desenvolvido faz iterações pelo método da bissecção até a convergência do resultado da estimativa da carga hidráulica (H). Logo, essa funcionalidade permite a obtenção do valor de H nas Equações de 4 a 7, fato que não poderia ser obtido diretamente de forma manual, pois não há solução analítica para o problema proposto.

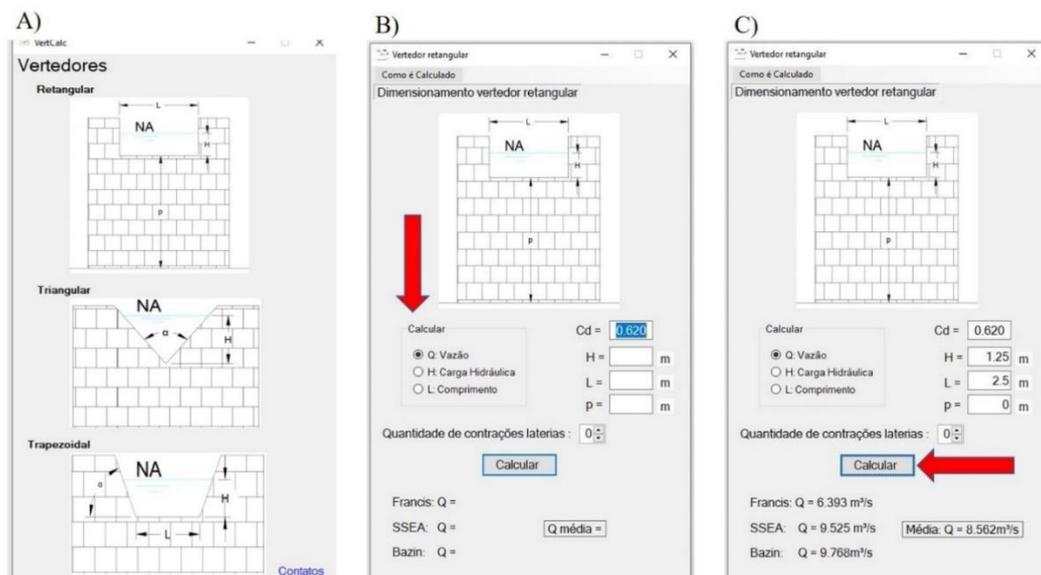
Para verificação da confiabilidade dos valores calculados pelo programa, utilizaram-se problemas com resoluções disponíveis na literatura técnica da área de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015; Brunetti, 2008; Porto, 2006)

visando a comparação dos resultados tanto de vazão quanto de dimensionamento obtidos pelo programa desenvolvido. Os valores de erro relativo foram as proporções percentuais de diferença entre os valores encontrados para cada teste de validação e o valor da literatura.

3. Resultados e Discussão

O programa recebeu o nome de VertCalc e o arquivo executável da sua versão 1.11 está disponível gratuitamente no endereço eletrônico: <https://url.moosaico.com/205265>. Ao executar o arquivo, o usuário é apresentado à interface do programa, conforme se apresenta na Figura 2A

Figura 2. apresentação da interface inicial e principais funções de cálculo do VertCalc.



Fonte: Autores.

Na interface inicial, basta o usuário clicar na figura da geometria correspondente ao vertedor desejado: retangular, triangular ou trapezoidal e será aberta uma nova janela para o vertedor em questão. Para cada opção geométrica, o programa permite tanto o cálculo de vazão quanto de dimensões de vertedor.

Apresenta-se na Figura 2B a aba do vertedor retangular. No menu “Calcular”, indicado na referida Figura pela seta, o usuário pode optar pelo que deseja determinar: vazão, carga hidráulica ou o comprimento da soleira. Em cada caso, à direita desse menu, o programa informa quais são as variáveis necessárias para o cálculo, já fixando as unidades de medidas no Sistema Internacional de Unidades. Como padrão, o valor do coeficiente de descarga (C_d) é

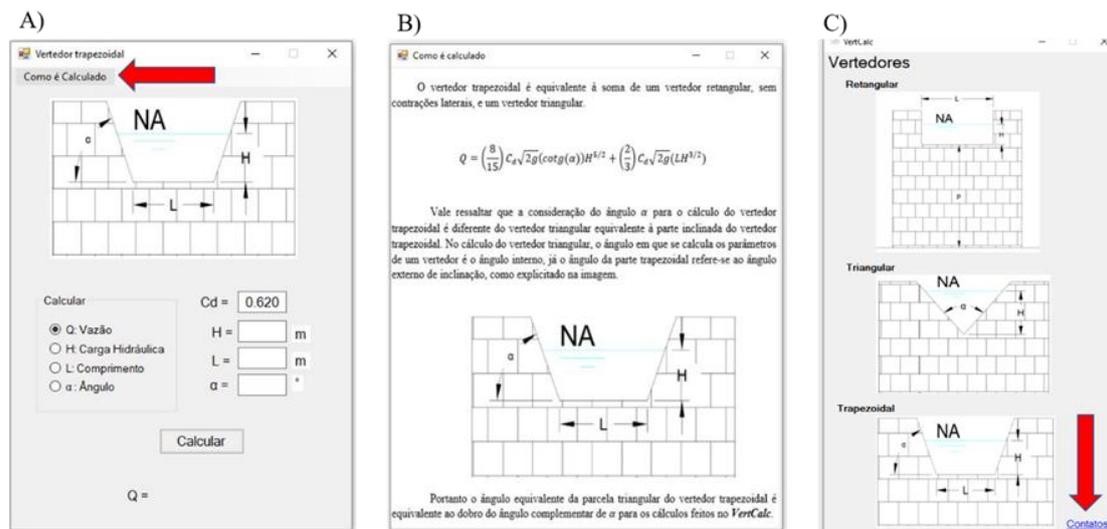
sugerido como 0,62, que é o valor expedito geralmente utilizado em hidrometria com vertedores (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015). Todavia, é facultado ao usuário a inserção de qualquer valor deste coeficiente, desde esteja compreendido entre 0 e 1, que são seus limites teóricos (Brunetti, 2008; Chanson, 2005; Porto, 2006).

Ainda utilizando como exemplo a opção de um vertedor retangular (Figura 2B), caso se requeira o cálculo de vazão, o usuário precisa preencher os dados geométricos do vertedor, ou seja: quantidade de contrações (nenhuma, uma ou duas), carga hidráulica (H) em metros, largura da soleira (L) em metros e altura da soleira (p) em metros. Após o correto preenchimento, basta clicar no ícone “Calcular” que o programa realiza a estimativa de vazão em m³/s com três casas decimais por três métodos e fornece a média dos valores encontrados por cada método (Figura 2C). Para o método de Francis, o VertCalc utiliza a Equação 3, 4 ou 5, para os casos de ausência de contrações laterais, presença de uma contração ou de duas contrações, respectivamente. A estimativa de vazão pelo método da Sociedade Suíça de Engenheiros e Arquitetos é realizado pela Equação 6 e pelo método de Bazin o é pela Equação 7.

De forma intuitiva por parte do usuário e similar ao anteriormente exposto, com os devidos ajustes, o programa calcula: a carga hidráulica ou o comprimento da soleira para vertedores retangulares; a vazão, a carga hidráulica ou o ângulo de abertura do entalhe para vertedores triangulares; e a vazão, a carga hidráulica, o comprimento da soleira ou o ângulo de inclinação dos taludes para os vertedores trapezoidais.

Ademais, como uma ferramenta de suporte, nas respectivas abas de cada tipo de vertedor, há no menu localizado na parte superior à esquerda, a opção “como é calculado”, conforme se apresenta na Figura 3A. Em cada caso, há uma breve explicação sobre os métodos empregados nas linhas de código do programa desenvolvido (Figura 3B) e, conforme se apresenta na Figura 3C, há ainda na parte inferior direita da interface inicial um link de contatos dos desenvolvedores do programa, por intermédio do qual o usuário pode estabelecer comunicação via e-mail com os responsáveis, se assim o desejar.

Figura 3. ferramentas de suporte ao usuário do programa VertCalc.



Fonte: Autores.

No intuito de se validarem os resultados dos cálculos do VertCalc tanto de estimativa de vazão quanto de dimensionamento dos vertedores, compararam-se os valores obtidos pelo programa com os existentes em literatura técnica das áreas de Hidráulica e de Mecânica dos Fluidos (Azevedo Netto & Fernández y Fernández, 2015; Brunetti, 2008; Porto, 2006) e observou-se a consonância entre os valores da resolução dos exercícios da literatura consultada e os retornados pelo programa computacional desenvolvido. Nos testes de validação os erros relativos encontrados, tiveram valores em módulo variando entre 0,0% e 6,6%.

Desta forma, o software se apresentou como uma forma segura de estimativa de vazão e/ou de dimensionamento de vertedores de parede delgada com as geometrias retangular com presença ou não de contrações laterais, triangular e trapezoidal. Conforme já abordado, o VertCalc está disponível gratuitamente para uso pela comunidade acadêmica e por profissionais da área de Engenharia, não sendo requerido nenhum cadastro prévio por parte do usuário, podendo ser utilizado, após sua instalação, sem a necessidade de acesso à Internet, o que permite, por exemplo, sua utilização em campo nos locais eventualmente sem cobertura de redes telemáticas.

4. Considerações Finais

A utilização da linguagem de programação Visual Basic® propiciou o desenvolvimento de um software offline de uso gratuito com aplicação na área de Hidráulica de condutos livres. O VertCalc se apresenta como um programa de fácil usabilidade, sendo uma útil ferramenta

para estimativa de vazão e para dimensionamento de vertedores de paredes delgadas com as geometrias retangular com ou sem contrações laterais, triangular ou trapezoidal. A disponibilização gratuita do referido programa computacional por intermédio da Internet é uma forma de disseminação de um produto de inovação tecnológica de uso livre tanto à comunidade acadêmica relativa às Engenharias quanto a profissionais da área.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao campus Eunápolis e à Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPGI) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) pela infraestrutura e pelo apoio financeiro que proporcionaram o desenvolvimento tanto do programa computacional quanto do presente trabalho.

Referências

- Akan, A. O. (2006). *Open Channel Hydraulics*. Oxford: Elsevier Science & Technology.
- Al-Hashimi, S. A. M., Madhloom, H. M., Khalaf, R. M., Nahi, T. N., & Al-Ansari, N. A. (2017). Flow over Broad Crested Weirs: Comparison of 2D and 3D Models. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 11, 769-79.
- Arvanaghi, H., & Oskuei, N. N. (2013). Sharp-Crested Weir Discharge Coefficient. *J. Civil Eng. Urban*, 3(3), 87-91.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13403. (1995). Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores - Escoamento livre. Rio de Janeiro: ABNT.
- Ayaz, M., & Mansoor, T. (2018). Discharge coefficient of oblique sharp crested weir for free and submerged flow using trained ANN model. *Water Sci.*, 32(2), 192-212.
- Azevedo Netto, J. M., & Fernández y Fernández, M. (2015). *Manual de hidráulica*. São Paulo: Blucher.
- Brunetti, F. (2008). *Mecânica dos Fluidos*. São Paulo: Pearson Education.

Chanson, H. (2005). *Hydraulics of Open Channel Flow*. Oxford: Elsevier Science & Technology.

Costa, F. M.; Bacellar, L. A. P., & Silva, E. F. (2007). Vertedores portáteis em microbacias de drenagem. *Rev. Esc. Minas*, 60(2), 213-8.

Dingman, S. A. (2009). *Fluvial Hydraulics*. Oxford: Oxford University Press.

Guillermo, O. E. P., Schlatter, G. V., Lima, J. V., Tarouco, L. R., & Reategui, E. (2019). Aprendizagem significativa suportada pelas tecnologias de informação e comunicação: laboratório virtual Hidrolândia. In: Martins, E. N. (Org.). *Informática aplicada à educação 2*. Ponta Grossa (PR): Atena Editora.

Guillermo, O. E. P., Tarouco, L. M. R., & Endres, L. A. M. (2005). O poder das simulações no ensino de hidráulica. *Renote*, 3(1), 1-10.

Ionescu, C. S., Nistoran, D. E. G., Opreș, A. I., & Simionescu, Ș. (2019). Sensitivity Analysis of Sharp-Crested Weirs as a Function of Shape Opening, for Small Discharges. *Hidraulica*, 2019(2), 43-51.

Johnson, M. Discharge coefficient analysis for flat-topped and sharp-crested weirs. (2000). *Irrig. Sci.*, 19, 133-137.

Mahtabi, G., & Arvanaghi, H. (2018). Experimental and numerical analysis of flow over a rectangular full-width sharp-crested weir. *Water Sci. Eng.*, 11(1), 75-80.

Ministério da Saúde. (2008). *Vigilância e controle de moluscos de importância epidemiológica: diretrizes técnicas*. Brasília: Editora do Ministério da Saúde.

Nguyen, V. T., Moreno, C. S., & Lyu, S. (2015). Numerical simulation of sediment transport and bedmorphology around Gangjeong Weir on Nakdong River. *KSCE J Civ Eng*, 19(7), 2291-2297.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. *Metodologia da pesquisa científica*. (2018). Santa Maria: UAB/NTE/UFSM.

Popescu, I. *Computational Hydraulics: Numerical Methods and Modelling*. (2014). London: IWA Publishing.

Porto, R. M. (2006). *Hidráulica básica*. São Carlos: EESC/USP.

Rady, R. M. A. E. H. 2D-3D modeling of flow over sharp-crested weirs. (2011). *J. Appl. Sci. Res*, 7(12), 2495-2505.

Santos, L. L., & Srinivasan, V. S. (2012). Modelagem Hidrossedimentológica no Semi-Árido Paraibano Utilizando o Modelo Wepp e o Efeito de Escala Sobre os seus Parâmetros. *Rev. Bras. Recur. Hídricos*, 17(1), 53-63.

Suárez-Medina, M. A., & Astudillo-Enríquez, C. (2013). Uso de software para la gestión de proyectos hidráulicos. *Tecnol. cienc. agua*, 4(3), 195-202.

Zahiri, A., Tang, X., & Azamathulla, H. M. (2014). Mathematical modeling of flow discharge over compound sharp-crested weirs. *J Hydro-Environ. Res.*, 8(3), 194-199.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Thales Augusto Ribeiro – 40%

Davi Santiago Aquino – 60%