IV CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER - PDVAgro 2019

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE METODOLOGIAS DE ESTIMATIVAS DE VAZÃO EM CONDUTOS LIVRES

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGÍAS DE ESTIMACIONES DE FLUJO DE CONDUCTA LIBRE

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN METHODOLOGIES OF FREE-CONDUCT FLOW ESTIMATES

Apresentação: Comunicação Oral

Arison Sousa dos Santos¹; Francisco Wemerson Sousa Silva²; Francisco Alir de Oliveira³; Gustavo Yves Rodrigues Ramos⁴; Wady Lima Castro Junior⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0135>

Resumo

Com o aumento dos problemas de caráter hídrico, ocasionado quase sempre por ação antrópica, que provoca numa diminuição da disponibilidade de água, se faz necessário a estimativa e quantificação de vazões para planejamentos hídricos em termos de gerenciamento e também para a caracterização dos cursos superficiais. A estimativa de vazão é ferramenta primordial para se conhecer o funcionamento e quantificação de um conduto livre, avaliando a disponibilidade hídrica. A gestão dos recursos hídricos é de extrema importância uma vez que a quantificação estimada de córregos e rios tem aplicação em planejamento de projetos urbanos e rurais, por isso, o gerenciamento quantitativo de água serve de base para o desenvolvimento de planos hídricos. O objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise comparativa de metodologias de estimativa de vazão em condutos livres, procurando destacar suas precisões, no município de Codó, MA. Os testes foram realizados nas dependências do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA. Para a realização foi utilizado uma estrutura construída, simulando um canal de um rio e os vertedouros retangulares com paredes e triangulares, onde foi medida a carga hidráulica das respectivas metodologias. Os tratamentos dispõem-se, Vertedouro retangular e triangular nas larguras: 0,5; 0,7 e 1m de larguras. A técnica dos vertedouros teve boa aplicabilidade, onde houve êxito na obtenção dos dados pelas fórmulas de ambos os formatos utilizados. O uso de vertedouros de formato triangular foi o que obteve maior regularidade nos dados obtidos, diferente do que ocorreu com os dados do vertedouro retangular. Sendo assim o vertedouro triangular, se destaca como o mais adequado para estimativas de medidas de vazões no município de Codó, considerando as condições de instalações utilizadas neste

¹ Agronomia, IFMA – Campus Codó, arisonsousa20@gmail.com

² Agronomia, IFMA – Campus Codó, f.wemerson.agro@gmail.com

³ Agronomia, IFMA – Campus Codó, almir.oliveira@acad.ifma.edu.br

⁴ Agronomia, IFMA – Campus Codó, gustavo.18gy@gmail.com

⁵ Doutor, IFMA – Campus Codó, wadycastle@ifma.edu.br

projeto.

Palavras-Chave: Hidrologia, Recursos hídricos, Vertedouros.

Resumen

Con el aumento de los problemas de agua, casi siempre causados por la acción antrópica, que causa una disminución en la disponibilidad de agua, es necesario estimar y cuantificar los caudales para la planificación del agua en términos de gestión y también para la caracterización de los cursos de superficie. La estimación del flujo es una herramienta primordial para conocer el funcionamiento y la cuantificación de un conducto libre, evaluando la disponibilidad de agua. La gestión de los recursos hídricos es de suma importancia ya que la cuantificación estimada de arroyos y ríos tiene aplicación en la planificación de proyectos urbanos y rurales, por lo que la gestión cuantitativa del agua es la base para el desarrollo de los planes de agua. El objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis comparativo de metodologías para la estimación del flujo en conductos libres, con el objetivo de resaltar su precisión, en Codó, MA. Las pruebas se realizaron en las instalaciones del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Maranhão - IFMA. Para este propósito, se utilizó una estructura construida, simulando un canal fluvial y los aliviaderos de paredes rectangulares y triangulares, donde se midió la carga hidráulica de las metodologías respectivas. Se proporcionaron tratamientos, vertedero rectangular y triangular en anchos: 0.5; 0.7 y 1 m de ancho. La técnica de aliviadero tuvo buena aplicabilidad, donde fue exitoso obtener los datos mediante las fórmulas de ambos formatos utilizados. El uso de aliviaderos de forma triangular fue el que obtuvo más regularidad en los datos obtenidos, diferente de lo que sucedió con los datos del aliviadero rectangular. Así, el aliviadero triangular se destaca como el más adecuado para estimar las mediciones de flujo en Codó, considerando las condiciones de las instalaciones utilizadas en este proyecto..

Palabras Clave: Hidrología, Recursos hídricos, Aliviaderos.

Abstract

With the increase of water problems, almost always caused by anthropic action, which causes a decrease in water availability, it is necessary to estimate and quantify flow rates for water planning in terms of management and also for the characterization of surface courses. Flow estimation is a primordial tool to know the functioning and quantification of a free conduit, assessing water availability. Water resource management is of utmost importance since the estimated quantification of streams and rivers has application in urban and rural project planning, so quantitative water management is the basis for the development of water plans. The objective of the present work was to perform a comparative analysis of methodologies for estimation of flow in free ducts, aiming to highlight their accuracy, in Codó, MA. The tests were performed at the facilities of the Federal Institute of Education Science and Technology of Maranhão - IFMA. For this purpose, a constructed structure was used, simulating a river channel and the rectangular walled and triangular spillways, where the hydraulic load of the respective methodologies was measured. Treatments are provided, rectangular and triangular spillway in widths: 0.5; 0.7 and 1 m wide. The spillway technique had good applicability, where it was successful to obtain the data by the formulas of both formats used. The use of spillways of triangular shape was the one that obtained

more regularity in the obtained data, different from what happened with the rectangular spillway data. Thus, the triangular spillway stands out as the most suitable for estimating flow measurements in Codó, considering the conditions of installations used in this project.

Keywords: Hydrology, Water resources, Spillways.

Introdução

A água é um recurso natural limitado e ocupa papel extremamente importante no desenvolvimento econômico de uma região. A crescente demanda pelo uso da água aliada a também crescente poluição hídrica tem contribuído para as preocupações da humanidade com relação à disponibilidade, com qualidade, deste recurso no planeta (ALVES, 2017).

A quantificação dos recursos hídricos são desafios aos estudiosos, porém quando de posse desses dados, pode-se realizar melhores planejamentos hídricos, estimativas de vazões, melhor compreensão a respeito do balanço hídrico, além de melhor controle nas tomadas de decisões, com relação a retirada da água das bacias hidrográficas, sem comprometer o seu curso natural e contribuir para o esgotamento desenfreado. A estimativa de vazão é ferramenta primordial para se conhecer o funcionamento e quantificação de um conduto livre, avaliando a disponibilidade hídrica (BONIFÁCIO E FREIRE, 2013).

Como forma de amenizar a carência de dados de vazão de corpos de água, utilizam-se metodologias indiretas para sua estimativa. Com isso, existem diferentes métodos e técnicas que podem ser agregados, com distintos níveis de precisão e de custo (ANDRADE et al., 2010).

A gestão dos recursos hídricos é de extrema importância uma vez que a quantificação estimada de córregos e rios tem aplicação em planejamento de projetos urbanos e rurais, por isso, o gerenciamento quantitativo de água serve de base para o desenvolvimento de planos hídricos. Para a correta idealização e gestão dos recursos hídricos, é básica a quantificação desses recursos, com relação aos principais fenômenos hidrológicos que podem interferir no processo (SANTOS., 2010).

A água doce é um recurso essencial no uso doméstico, industrial e agrícola. Nesse contexto, a quantificação e o gerenciamento quali-quantitativo dos recursos hídricos disponíveis tornam-se de primordial importância.

A vazão é definida como a quantidade de fluido que passa pela seção reta de um canal, por unidade de tempo. Este fluido pode ser líquido, gás ou vapor. De uma maneira geral, a

medição é realizada através do efeito de uma interação física entre o fluido e o medidor (BERGMANN., 2011).

O resultado da medição de vazão é a melhor maneira de se obter o valor verdadeiro e, na ausência da possibilidade de se medir, as estimativas com efeitos sistemáticos, geralmente são obtidas pela média aritmética de N medições repetidas do mesmo mensurado (VIM., 2007). A escolha entre as formas de obtenção de vazão está muitas vezes ligada à disponibilidade dos equipamentos (custos) e ao tempo de coleta de dados que estes necessitam.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma análise comparativa de metodologias de estimativa de vazão em condutos livres, procurando destacar suas precisões, no município de Codó, MA.

Fundamentação Teórica

HIDRÁULICA AGRÍCOLA

A hidráulica, técnica de captar, conduzir, elevar e utilizar a água, onde é aplicados princípios e leis da mecânica dos líquidos tem desempenhado papel importante para estimar e medir vazão dentre seu campo de estudo (SANTOS JUNIOR, MARQUES, FERRARI. 2006). Dependendo da acurácia do equipamento de grau de precisão, os mesmos podem ser caros e sofisticados, e existe também outros que são mais simples e baratos.

Elías&Mojarro (2001) afirmam que para programar a fundo volumétrica de água aos sistemas hidráulicos é indispensável ter base de medição deste recurso em toda a sua distribuição, onde irá permitir aperfeiçoar a eficácia em sua repartição e conhecer com bom nível de credibilidade com o gasto que se tem disponível em cada ponto de influência, para cumprir com a entrega oportuna e suficiente de água aos usuários.

Medidores de vazão adequadamente selecionados, e com uma manutenção correta permitem medidas precisas do fluxo de água, o que vem se tornando imprescindível em sistemas hidráulicos, (BAUM et al., 2003). Por isso se deve a grande preocupação nas estimativas de vazão, pela carência de dados.

IMPORTÂNCIA DA DETERMINAÇÃO DE VAZÃO

A determinação da vazão consiste em uma etapa fundamental nesse processo de caracterização das condições hidrológicas e na avaliação da disponibilidade hídrica de uma bacia, existindo várias técnicas para obtê-la (CUSTODIO & LLAMAS, 1976; RANTZ, 1982; PORTO, 2001). Contudo, quanto maior a acurácia da técnica, mais onerosa e maior a

necessidade de recursos técnicos, o que justifica o fato de muitas bacias hidrográficas não serem monitoradas continuamente e não terem suas condições hídricas ainda claramente definidas.

Segundo Alves (2017), em circunstâncias de episódios de chuvas intensas e probabilidade de ocorrência de vazões acima da média, as simulações hidrológicas se apresentam como uma ferramenta que permite transformar a informação de chuva em estimativa de vazão em um determinado ponto. Para algumas aplicações, como estudos de regularização de vazões, estimar a vazão pode ser uma informação suficiente para conclusão dos estudos.

A simulação hidrológica abastece de informações de grande seriedade para gestão de eventos de precipitações intensas, no entanto a precisão de ganhar tempo na mobilização das equipes de defesa civil demanda o acompanhamento de valores de previsão meteorológicas, valores de chuva e vazão transferidos em tempo real pelos postos telemétricos (ALVES, 2017).

Neste sentido, Pogian (2016) destaca que, a apropriação adequada das vazões características de um curso d'água (mínimas, máximas, médias), bem como das funções relacionadas a elas (curvas de permanência, de máximas/mínimas, etc.), é determinante para gestão da água na bacia, sendo necessária para subsidiar os mais diversos projetos de usos da água, além de permitir análises para eventos extremos de secas ou cheias. Desta forma, existe diversas finalidades com o qual se faz de suma importância a estimativa de vazão, como, planejamento agrícolas, saneamento urbano, manejo de barragem, etc.

RECURSOS HÍDRICOS E SUAS QUANTIFICAÇÕES

A água existente na Terra está distribuída em sua maior parte no mar, constituindo aproximadamente de 97% do total, contrapondo os valores de água doce presente em maior parte nas geleiras (cerca de 2,2%), enquanto que apenas 0,8% está disponível nos rios e córregos. Destes 0,8%, 97% da água é subterrânea e apenas 3% superficial (SPERLING, 2005).

A água doce é um recurso essencial no uso doméstico, industrial e agrícola. Como o consumo global de água dobra a cada 20 anos, mais de duas vezes a taxa de crescimento da população, e com o aumento das taxas de poluição e sobre-exploração, a disponibilidade de água em muitas regiões do mundo tem reduzido (BORGHETTI et al., 2004). Nesse contexto, a quantificação e o gerenciamento quali-quantitativo dos recursos hídricos disponíveis

tornam-se de primordial importância.

Com a falta de dados hidrológicas, diferentes métodos têm sido utilizados para aferir a vazão dos cursos d'água. Em locais sem aparelhos para esta finalidade, a determinação, consiste na similaridade espacial das funções, variáveis e parâmetros hidrológicos, entre bacias de uma mesma região, permitindo a cessão entre locais com informações para os que não a detém, nos chamados estudos de regionalização de vazões, sendo bastante difundidos e utilizados, (POGIAN,2016).

O conhecimento dos parâmetros ou das variáveis hidrológicas é de grande relevância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, promovendo sugestões para medidas mitigadoras, no caso de ocorrência de impactos ao meio ambiente e a quantidade e qualidade de água, para as diferentes formas de uso. Desse modo, os dados de vazão são importantes para estimar, por exemplo, o volume de água para o abastecimento humano, além da possível previsão e prevenção de inundações e enchentes, ou do volume mínimo de água sem prejuízo ecológico (BONIFÁCIO E FREIRE, 2013).

Deste modo, torna-se cada vez mais importante o conhecimento do real valor de uma das mais básicas variáveis hidrológicas: a vazão. Os métodos de medição de vazão foram desenvolvidos, inicialmente, a partir do Renascimento, com medições de velocidades superficiais em rios realizadas por Leonardo da Vinci (1452-1519) com flutuadores (MALDONADO, WENDLAND, PORTO, 2015). Além disso, a quantificação da vazão em cursos d'água superficiais é uma informação importante para o gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos (WENDLAND ET AL., 2007; RABELO E WENDLAND, 2009).

ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Dentre as áreas de estudo da hidrologia destaca-se a que estuda o escoamento superficial, que trata do movimento da água sobre a superfície do solo. O escoamento superficial passa a ocorrer a partir do momento em que a intensidade de precipitação supera a capacidade de infiltração da água no solo e em que a capacidade de armazenamento de água sobre a superfície do solo é exercida (SOUZA, 2010). Sua ocorrência contém distintas fases, ocorrendo desde o início da precipitação chegando até ao escoamento propriamente dito.

Enxurradas com grande intensidade ocasionam grandes picos de escoamento, resultando em problemas, como: enchentes e cheias, principalmente em áreas mais ocupadas por habitações populares, cujos sistemas de drenagem urbanos possuem pouca eficácia em função da redução da infiltração da água por não haver solo descoberto para essa finalidade

(LUCAS et al., 2009).

Segundo Villela e Mattos (1975), o escoamento superficial é para a engenharia, um dos mais importantes fenômenos do ciclo hidrológico. A partir dos resultados oferecidos pelos modelos, é possível um melhor entendimento do que acontece na bacia por ocasião dos picos de escoamento e, desta forma, a interpretação dos resultados pode ser útil no estabelecimento de diretrizes de qualquer plano de intervenção, servindo como instrumento para o planejamento urbano e regional da bacia hidrográfica (LOU, 2010).

METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DE VAZÃO

Aparelhos medidores e estimadores de vazão, quando adequadamente escolhidos, e com uma manutenção adequada admitem medidas concisas do fluxo de água, tornando-o indispensável em sistemas hidráulicos, (BAUM et al., 2003). Ainda, a medição confiável e precisa da vazão de um fluido requer uma correta engenharia que envolve a seleção do instrumento de medição, a sua instalação, a sua operação, a sua manutenção e a interpretação dos resultados obtidos (VÁSQUEZ, 2012).

Métodos mais simples e menos onerosos, mas que forneçam dados igualmente confiáveis e aplicáveis em um amplo intervalo de situações, tornam-se extremamente relevantes, já que podem suprir a necessidade de dados e contribuir para o conhecimento, ainda que incipiente, dos regimes hídricos locais (COSTA, BACELLAR e SILVA, 2007).

A escolha do método depende do volume do fluxo de água, das condições locais, do custo e da precisão desejada. Dentre os métodos mais simplificados, encontram-se os vertedores, que são aberturas na parte superior de uma parede, onde o líquido escoar, e são indicados para medir de pequenas e médias vazões. Geralmente são construídos com forma geométrica definida, sendo as mais utilizadas: retangulares, triangulares, trapezoidais e circulares (ROSSI et al., 2015).

Existem diversos métodos de medida da vazão em condutos livres, a eleição do mais adequado depende de vários fatores: precisão requerida, permanência da estrutura de medida, economia, simplicidade de operação e perdas provocadas pela própria estrutura (Vásquez, 2012). De uma maneira geral a maioria dos métodos propostos baseia-se na variação do nível de água, no caso de condutos livres, ou ainda na variação da pressão, no caso dos condutos forçados (LEOPOLDO & SOUZA, 1979).

MÉTODO DIRETO

O método direto, consiste no padrão de comparação em relação aos outros, pois nele, diferentemente dos demais, é feita a medição da vazão, enquanto que nos outros processos, é realizada a estimativa, ou seja, utilizado como controle para os demais. Então, ele é tido como a base para a investigação da acurácia das outras metodologias, seja ela, molinete, vertedouros, acústico, flutuador, etc.

VERTEDOUROS

Vertedor ou descarregador de grandes dimensões conhecidas, sem aresta no topo, instalado perpendicularmente a corrente de água. Em que a presença do vertedor sobe o nível da água em questão a montante até chegar a alcançar um número que produz uma lâmina sobre a parede do vertedor, compatível com a vazão descarregada. Os vertedores são divididos em vertedores com soleira delgada e espessa, sendo que os mais utilizados são os de formatos retangulares e triangulares de parede fina (PORTO, 2003).

Vertedor é definido, basicamente, como uma parede inserida perpendicularmente ao fluxo de água, que a mesma passa, então, a verter através de uma abertura de forma geométrica definida na parte superior dessa barreira, seja triangular, retangular, trapezoidal, etc. A altura da lâmina d'água, comumente utilizada em metros, acerta distância dessa abertura, conhecida como carga (h), é, então, utilizada em fórmulas conforme o formato do vertedouro, estimando-se o valor da vazão (CUSTODIO & LLAMAS, 1976; PORTO, 2001).

O vertedor triangular de parede delgada, segundo a NBR 13403/95 oferecem maior precisão para vazões menores que 30 L/s, e as determinações contínuas de vazão são possíveis quando um registrador de altura é acoplado ao vertedor (Rossi et al., 2015). Vertedouros triangulares são particularmente interessantes na medição de pequenas vazões, visto que possuem uma maior precisão (BUREAU OF RECLAMATION, 1997).

Em termos práticos, os vertedores triangulares são utilizados com ângulos de abertura de $\alpha=90^\circ$ e as fórmulas empíricas mais utilizadas são:

- Thomson:

$$Q = 1,40 \times h^{5/2}$$

- Gouley e Crimp:

$$Q = 1,32 \times h^{2,48}$$

Essas equações são válidas para $0,05 < h < 0,38$ m, $P > 3h$, $b > 6h$.

Esses vertedores, são recomendados para medição de vazões de pequeno fluxo, como

referido no parágrafo anterior, com cargas entre 0,06 e 0,50 m, sendo estes, fatores limitantes para aplicabilidade desse formato utilizado (PORTO, 2003). Vale destacar, a necessidade crescente de informações hidrológicas como um importante suporte em projetos de preservação e de aproveitamento sustentável das fontes de água. E que a técnica dos vertedores portáteis apresenta significativo potencial para contribuir nesse processo, uma vez que se constitui em uma alternativa prática, segura e viável economicamente (COSTA, BACELLAR e SILVA., 2007).

A correta determinação dos coeficientes de um vertedor é muito importante para a precisão e exatidão das medições desse instrumento, pois, sem esta, o instrumento poderá exibir resultados que não representam bem a dinâmica real do sistema (SALOMON., 2016).

Metodologia

Dizer qual a natureza da pesquisa (qualitativa, quantitativa), qual o tipo (etnográfica, experimental, estudo de caso, etc) o campo de pesquisa e os sujeitos, quais instrumentos utilizados e qual o procedimento.

O experimento foi realizado no campo experimental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão - Campus Codó, no município de Codó, MA, Figura 03, na região dos Cocais Maranhense, com coordenadas geográficas de 4° 26' 51" de latitude Sul, 43° 52' 57" de longitude Oeste, e altitude média de 48 m (IBGE, 2010).

Os tratamentos foram constituídos por diferentes larguras da soleira em vertedouros retangulares e triangulares (Tabela 1). Consistia os tratamentos de um esquema fatorial de interação de três larguras (0,5 ; 0,7, 1 m) x Formatos (Retangular e Triangular) x Método de obtenção (Medição e Estimativa), totalizando 12 tratamentos. Os vertedores foram construídos de material metálico com paredes delgadas, com formas retangulares e triangulares padrões para vertedores, afim de determinar as vazões. Para cada metodologia utilizada, foi adotada 3 repetições por métodos.

Tabela 01 - Tratamentos utilizados, tipo de vertedouros e larguras do canal.

Tratamentos	Tipo de Vertedouro	Largura do canal (m)
T1	Retangular	0,5
T2	Triangular	0,5
T3	Retangular	0,7
T4	Triangular	0,7
T5	Retangular	1
T6	Triangular	1

Fonte: Própria.

ESTAÇÃO EXPERIMENTAL CONSTRUÍDA

Como conduto livre, foi construído um canal de alvenaria de altura de 0,5 m e, 3 canaletas com larguras de leitos diferentes. Os dois tanques foram construídos com dimensões de 2,5 x 2,5 x 1 m, ou seja, com capacidade para 6,25 m³ de água. O primeiro com função de fonte de água onde irá correr sobre o canal e chegar até o segundo tanque que está abaixo do nível do solo.

A declividade adotada para que simulasse o córrego em movimento, foi de 1,5%, correspondendo a 9 cm de desnível, nos 6 metros de canal que foram construídos. As paredes internas tanto dos reservatórios como do canal foram rebocadas com cimento. Para o funcionamento sempre enchíamos o reservatório superior com uma bomba sapo de 1,2 m³ de vazão/hora. Após todo o reservatório cheio, procedíamos com a escolha do vertedouro e largura onde era inserido no canal para assim haver a abertura da comporta.

Figura03 - Estrutura de alvenaria para a realização dos testes de estimativa de vazão.

Fonte: Própria.

Para a execução dos testes, houve a utilização dos vertedouros triangulares e retangulares, os mesmos foram confeccionados para os devidos testes. Foram adquiridas chapas metálicas de dimensão: 1,2 x 2 m, as mesmas foram cortadas nos seus devidos formatos e larguras para os devidos tratamentos.

MÉTODO DIRETO (VOLUMÉTRICO)

Para a avaliação de vazão por esse método, o volume de água que vertia pelo

vertedouro era coletado com ajuda de um recipiente com capacidade para 20 litros, e, no momento da coleta desse volume de água é cronometrado o tempo, servindo como base o tempo de 5 segundos.

Após esse procedimento o volume coletado era colocado em um balde graduado em litros e era aferido o volume (L). Procedimento esse que era feito simultaneamente com a aferição pela régua da carga hidráulica (H), tanto no método do vertedouro retangular como o triangular.

O volume coletado em litros (L) foi convertido para metro cúbico m³, dividindo por 1000. Medição sendo estimada em metro cúbico por segundo.

O método direto foi tomado como base para as outras metodologias, sendo a vazão determinada pela equação 1 a seguir, descrita por Carvalho (2008):

$$Q = V \times T$$

Sendo:

Q = Vazão em (m³/s) equação (1)

V = Volume do tanque experimentado (Litros);

T = Tempo de enchimento do tanque (segundos).

VERTEDOIRO RETANGULAR

Foi colocado a chapa de ferro no canal e escolhido um ponto P no centro do canal, com mesmo nível da altura onde a água começa a verter, após isso foi aferido com uma régua graduada em centímetros (cm) a altura da carga hidráulica (H). O ponto P onde era feito as aferições da carga hidráulica, tinha-se sempre a medida de aproximadamente 1,3 m a montante do curso d'água, no meio do canal.

Procedimentos estes realizados para todas as larguras utilizadas no experimento, onde a homogeneidade do escoamento e a acurácia na hora da aferição determinaram a confiabilidade dos dados obtidos. Por fim, a vazão é estimada pela Fórmula de Francis explicitada através da Equação 2, Carvalho (2008):

$$Q = 1,838. L. H^{3/2}$$

Sendo:

Q = Vazão (m³/s) equação (2)

L = Comprimento da soleira (m);

H = Carga hidráulica (m).

VERTEDOIRO TRIANGULAR

A vazão pelo método do vertedouro triangular se descreve a estimativa pela Fórmula de Thompson citada através da Equação 3, conforme Barreto (1989) e Carvalho (2008):

$$Q = 1,4. \tan \Theta/2 .H^{5/2} \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

Q = Vazão, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;

1,4 = constante, adimensional;

Θ = Ângulo da abertura do vertedor ($^\circ$ Gaus);

H = Carga hidráulica (m).

Foram realizadas comparações com os dois formatos de vertedouros e dos mesmo com o método direto, sendo este, tido como testemunha, pois ao invés de estimar, ele mediu a vazão e por isso tem uma confiabilidade melhor.

Os dados assim obtidos foram tabulados e tratados através do software Microsoft Excel® para a confecção dos gráficos listados nos resultados e discussões. Os dados foram analisados através de estatística descritiva (DIEHL, SOUZA, DOMINGOS., 2007).

Resultados e Discussão

Fazer a descrição dos dados obtidos e principais resultados, fazer relação entre os dados obtidos e as hipóteses de pesquisa, apresentar dados inesperados que apareceram e que acha interessante destacar. Interpretar os resultados e discutir, tendo como base a fundamentação teórica.

Estão apresentados na Tabela 02, dados referentes a leitura da carga hidráulica, largura do canal experimentado, além das medições e estimativas de vazões, objetivo principal dessa pesquisa.

Tabela 02: Dados médios das leituras, Carga hidráulica e estimativa de vazões calculadas através da fórmula de (James B. Francis).

Largura do Canal (m)	Q. Vertedouro Retangular Médio (m^3/s)	Q. Vertedouro Triangular Médio (m^3/s)	Vazão M. Direto (m^3/s)
0,5			
0,5	0,00134	0,00123	0,00128
0,5			
0,7			
0,7	0,00129	0,00123	0,00126
0,7			
1			
1	0,00137	0,00122	0,00130
1			

Fonte: Própria.

Diante dos dados obtidos, percebe-se a aproximação dos resultados obtido pelo pelos vertedouros retangulares e triangulares, Tabela 02.

Os valores conseguidos com a aplicação da fórmula no vertedouro retangular demonstraram que, os resultados superestimaram os obtidos pelo método direto. No entanto essas alterações não tiveram grandes proporções, ou seja, em termos de aplicabilidade, o vertedouro retangular teve grande semelhança de resultados obtidos quando comparado com o método padrão.

Os vertedouros retangulares e triangulares, em se tratando de aplicação ao desenvolvimento da pesquisa, para avaliação dos resultados, cumpriram com bastante eficácia sua utilização, foram obtidos resultados bastante satisfatórios pois assemelharam-se ao método de medição padrão. Rossi et al., (2015), destaca, que a simulação das alturas de lâmina d'água realizada permitiu determinar a vazão máxima do canal o que é de grande valia, devido à crescente necessidade de informações hidrológicas em microbacias, pois estas informações podem ser utilizadas como um importante suporte no dimensionamento de alguns projetos, dentre eles o de drenagem urbana.

Para Santos Junior, Marques, Ferrari (2006), no que diz respeito a acurácia, maior aproximação da verdade (testemunha), a metodologia que se destacou em seu experimento foi o vertedor retangular seguida pelos vertedores triangular e trapezoidal. Fato que também ocorreu nessa pesquisa, o vertedouro retangular apesar de superestimar o método padrão (Método direto), porém ficou mais próximo do mesmo do que o triangular com o método padrão.

A utilização das réguas milimétricas na própria chapa do vertedor, embora nem sempre recomendadas pelas normas, não causou erros consideráveis nos resultados. Os dados de vazão obtidos com h (altura d'água tomada na placa) mostraram melhor correlação com os dados obtidos com o método volumétrico que aqueles obtidos com a carga corrigida (H), (COSTA, BACELLAR e SILVA., 2007).

Não existe um medidor ideal para ser usado universalmente, todo medidor de vazão

possui vantagens e limitações inerentes, sendo oportuno para cada situação de uso adequar a metodologia sob aspectos técnicos e econômicos (VÁSQUEZ., 2012). Para nossa situação achamos ideal a técnica do vertedouro uma vez que se enquadrou muito bem para o curso que adotamos e para a vazão utilizada, além da sua aplicabilidade e facilidade na execução dos testes.

Tabela 3: Tipo de vertedouro, Largura do canal e soleira, e estimativas de vazões.

Tipo de Vertedouro	Largura do Canal (m)	Larg. Soleira (m)	H (m)	Q Equação (m³/s)	Q M. Direto (m³/s)
Retangular	0,5	0,305	0,025	0,00130	0,000134
Triangular (90°)	0,5	0,305	0,06	0,00125	0,00123
Retangular	0,7	0,405	0,014	0,00120	0,00129
Triangular (90°)	0,7	0,405	0,06	0,00136	0,00123
Retangular	1	0,505	0,02	0,00132	0,00137
Triangular (90°)	1	0,505	0,06	0,00133	0,00123

Fonte: Própria.

Na Tabela 03 são apresentados dados de largura de canal, formato do vertedouro, volume captado, tempo para captação do volume e vazão pelo método direto. É notório a aproximação dos resultados encontrado, tendo em vista o cuidado na realização dos testes. Com destaque para a largura de 1 m, que teve resultados mais próximos em ambos os formatos, em relação aos outros. Quando se utiliza 1 m pela velocidade ser menor do curso, tende a uma homogeneidade melhor na carga hidráulica e por isso, uma semelhança nos resultados obtidos com os dois formatos de vertedouros.

Tendo em vista as larguras inferiores as de 1 m, há uma necessidade de realizar a aferição da carga hidráulica com mais critério, uma vez que por ser largura menores, a velocidade do curso tende a aumentar para manter a mesma vazão, com isso, deve ser criteriosamente nas realizações dos testes para larguras menores que 1 m. Como observado para as larguras de 0,5 e 0,7 m, houve maior variação dos resultados quando se aplicado as fórmulas para as estimativas dos resultados.

Tabela 04: Dados referentes ao método direto.

Larguras dos Canais (m)	Tipo Vertedouro	Volume (L)	Tempo (s)	Vazão (m³/s)
0,5	Retangular	1,6	6,5	0,00130
0,5	Triangular (90°)	1,6	7,5	0,00125
0,7	Retangular	8	6	0,00120
0,7	Triangular (90°)	8	6,8	0,00136
1	Retangular	6	6,6	0,00132
1	Triangular (90°)	14	8	0,00133

Fonte: Própria.

Quando se compara simultaneamente as estimativas com os dois formatos e a medição pelo método direto, figura 05, é possível observar a homogeneidade dos valores obtidos para o formato triangular, entre 4400 e 4500 (L/h), mostrando que apesar do vertedouro triangular subestimar os resultados obtidos pelo método padrão, o mesmo tem maior confiabilidade em termos de oscilações durante as medidas da carga hidráulica (H) e consequente estimativa, com valor médio de 4428 (L/h).

Figura 05: Comparação entre a medição e a estimativa de vazão para todas as larguras experimentadas.

Fonte: Própria.

Os resultados da análise de variância para a medição de vazão pelo método direto estão expostos na Tabela 05, evidenciando com os resultados, diferença significativa pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 05: Resultado da análise da ANOVA quando utilizado o método direto.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Larg. Canal	2	1.034144444E-0008	5.17072222E-0009	212.982	0.0000
Formato	1	6.536055556E-0009	6.53605556E-0009	269.220	0.0000
Larg. Canal x Formato	2	3.129077778E-0008	1.56453889E-0008	644.432	0.0000
Erro	12	2.913333333E-0010	2.42777778E-0011		
Total corrigido	17	0.00000000			
CV (%)	0.38				
Média Geral	0.0012913				

Número de observações: 18

Font

e: Própria.

Analisando a Tabela 06, há diferença significativa ($p < 0,005$) na coluna, para as larguras de 0,5 e 0,7 m, sendo o vertedouro de formato retangular tendo obtidos os valores médios superiores de vazão, para essas duas larguras. E, não houve diferença significativa

quando se comparou os valores médios de vazão para a largura de 1 m, evidenciando assim uma boa execução na realização dos testes onde para diferentes formatos, para a mesma largura de canal, não varie os resultados obtidos.

Tabela 06: Resultado da análise pelo teste de tukey a 5% de possibilidade quando utilizado o método direto.

Tipo	Largura do canal (m)		
	0,5	0,7	1
Retangular	0.001296 Ba	0.001199 Ca	0.001321 Aa
Triangular	0.001251 Cb	0.001351 Ab	0.001329 Ba
Cv.	0,38 %		

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha ou minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tuckey a 0,05% de probabilidade de erro.Fonte: Própria.

Quando se analisa a mesma tabela, dessa vez na linha, existe diferença significativa ($p < 0,05$) para as larguras tanto com o formato retangular como o triangular. Obtendo dados médios superiores quando no retangular para a largura de 1 m e quando no triangular para largura de 0,7 m. No entanto o Cv (Coeficiente de variação) apresentado é baixíssimo, mostrando uma boa precisão dos resultados obtidos.

Na literatura é observável que para cada situação, tendo em vista diferença de declividade, material das paredes, material do vertedouro, abertura da comporta, etc., existe uma carga hidráulica (H), onde para aquela situação os resultados possuem mais acurácia. Percebeu-se que para as vazões mensuradas, o vertedor triangular foi mais acurado quando a carga hidráulica foi de 0,01 m. Já para os vertedores retangular e trapezoidal as maiores acurácias ocorreram com $H = 0,05$ m (SANTOS JUNIOR, MARQUES, FERRARI. 2006). Os resultados da análise de variância pelas estimativas de vazão utilizando os dois formatos, estão expostos na Tabela 07, evidenciando com os resultados, diferença significativa pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 07: Resultado da análise da ANOVA pelo tukey a 5% de probabilidade quando utilizando as estimativas para os dois formatos.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Larg. Canal	2	4.547111111E-0009	2.27355556E-0009	189.463	0.0000
Formato	1	4.805000000E-0008	4.80500000E-0008	4004.167	0.0000
Larg. Canal x Formato	2	4.732000000E-0009	2.36600000E-0009	197.167	0.0000
Erro	12	1.440000000E-0010	1.20000000E-0011		
Total corrigido	17	0.00000000			
CV (%)	0.27				
Média Geral	0.0012818				

Número de observações: 18

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 8, há diferença significativa na coluna, para todas as larguras utilizadas para os dois formatos, ficando evidente os maiores valores médios para o formato retangular. Na linha, notou-se Diferença significativa apenas para o formato retangular, para o triangular não houve diferença significativa para as diferentes larguras experimentadas.

Tabela 08: Resultado da análise qualitativa pelo teste de tukey a 5% de possibilidade quando utilizado para as estimativas.

Tipo	Largura do canal (m)		
	0,5	0,7	1
Retangular	0.001343 Ba	0.001290 Ca	0.001367 Aa
Triangular	0.001231 Ab	0.001230 Ab	0.001229 Ab
Cv.	0,27%		

*Médias seguida pela mesma letra maiúscula na linha ou minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tuckey a 0,05% de probabilidade de erro. Fonte: Própria.

É notória uma homogeneidade nos dados com o formato triangular, resultando em valores iguais pelo teste de tukey ($p < 0,05\%$), quando observado só resultados na linha. Nos leva a concluir que este formato citado tem mais precisão do que o retangular, pois esse segundo varia tanto pra mais quanto pra menos. Retangular variou tanto na coluna como na linha.

De acordo com Monico et al. (2009), o conceito de precisão está relacionado ao desvio (erro) durante a repetitividade das medições, enquanto a acurácia refere-se ao grau de aproximação da grandeza medida em relação àquela considera como verdadeira (referência). Quando se refere a precisão, o formato triangular tende a ser mais preciso que o retangular, de acordo com a tabela 8, onde verifica-se as estimativas, o triangular não varia entre si, ou seja, pelo teste de tukey a 5 % de probabilidade de erro.

O método utilizado se mostrou, e constitui-se em uma alternativa segura e pratica na medição de pequenas vazões em canais abertos. Quanto aos custos deve-se considerar basicamente o material da placa e serviços de marcenaria para o corte da mesma, uma vez que sua instalação não exige mão de obra especializada. Desta forma, conclui-se que a instalação do vertedor permitiu atingir os objetivos propostos, uma vez que, foi possível medir a vazão do canal, Rossi et al., (2015).

Conclusões

A técnica dos vertedouros teve boa aplicabilidade, onde houve êxito na obtenção dos dados pelas fórmulas de ambos os formatos utilizados. O uso de vertedouros de formato triangular foi o que obteve maior regularidade nos dados obtidos, diferente do que ocorreu com os dados do vertedouro retangular. Sendo assim o vertedouro triangular, se destaca como o mais adequado para estimativas de medidas de vazões no município de Codó, considerando as condições de instalações utilizadas neste projeto.

Referências

Alves, Fellipe Henrique Borba. Sistema de previsão de enchentes: integração de modelos de previsão de chuva, simulação hidrológica e hidrodinâmica / Fellipe Henrique Borba Alves. - 2017. 181f.

ANDRADE, Luiz A.; MARTINEZ, Carlos B.; FILHO, Jair N.; AGUIRRE, Luis A. Estudo comparativo dos métodos de medição de vazão – uma aplicação em comissionamento de turbinas hidráulicas. Centro de Pesquisas em Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 73-79, 2010.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. Manual de Hidráulica. 8ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

BARRETO, G. Irrigação: princípios, métodos e prática. Campinas, IAC, 1989. 185p.

BAUM, M.C.; DUKES, M.D.; HAMAN, D.Z. Selection and use of watermeters for irrigation water measurement. 2003. Disponível em: http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_AE106. Acesso: 26/12/2018.

BERGMANN, G. Avaliação metrológica de sistemas de medição de vazão. 2011. 95 f. Monografia (Bacharel em engenharia de controle e automação) – Centro de ciências exatas e tecnológicas do centro universitário UNIVATES. Lajeado, 2011.

BONIFÁCIO, C.M., FREIRE, R. COMPARAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS PARA A MEDIÇÃO DA VAZÃO E VELOCIDADE APLICADOS EM DOIS CURSOS D'ÁGUA DA BACIA DO RIBEIRÃO MARINGÁ. IN: IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 2, 2013, pp. 406-415.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul. Curitiba: Maxigráfica, 2004.

BUREAU OF RECLAMATION. U.S. Department of the interior. Water Measurement Manual. 3rd ed. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1997.

Carvalho, T. M. TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO POR MEIOS CONVENCIONAIS

E NÃO CONVENCIONAIS – Revista brasileira de geografia e física. Recife-PE Vol. 01 n.01 Mai/Ago 2008, 73-85.

Costa, F. M.; Bacellar, L. de. A. P.; Silva, E. F. Vertedores portáteis em microbacias de drenagem. Rem: Rev. Esc. Minas vol.60 no.2 Ouro Preto Apr./June 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672007000200002>.

CUSTODIO, E., LLAMAS, M.R. Hidrologia subterrânea. Barcelona: EdicionesOmega S.A., 1976. vol 2. 1157p. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000077&pid=S0370-4467200700020000200005&lng=en> . Acessado em: 10/01/2019.

DIEHL, C. A.; SOUZA, M. A.; DOMINGOS, L. E. C. O USO DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA NA PESQUISA EM CUSTOS: ANÁLISE DO XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS. ConTexto, Porto Alegre, v. 7, n. 12, 2º semestre 2007.

ELÍAS G. EDUARDO; MOJARRO, FRANCISCO. Medidor de flujo de agua para canales de riego Laboratorio de Diseño y Desarrollo en Electrónica Universidad Autónoma de Zacatecas 5as Jornadas de Investigación 25 al 29 de Junio del 2001.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Projeto Mudança do Referencial Geodésico - PMRG. IBGE 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br> Acesso em: 20 nov. 2016.

LEOPOLDO, P. R.; SOUSA, A. P. Hidrometria: medição de vazão, Botucatu: UNESP, 1979.

LOU, F. R. Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do rio Piabanha/RJ. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LUCAS, E. W. M; SOUSA, F. A.; SILVA, S. F. D. S.; LUCIO, P. S.; Modelagem hidrológica determinística e estocástica aplicada à região hidrográfica do Xingú – Pará. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.3, 308-322, 2009.

MALDONADO, Luiz Henrique; WENDLAND, Edson Cezar e PORTO, Rodrigo de Melo. Avaliação de métodos de baixo custo para medição de vazão em córregos. Rev. Ambient. Água [online]. 2015, vol.10, n.2, pp.402-412. ISSN 1980 993X. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1293>

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C. dos; OLIVEIRA, L. C. de. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 15, nº 3, p. 469-483, 2009.

NOVAES, Luciano Farias. M. S., UFV. Fevereiro de 2005. Modelo para a quantificação para a disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu. Orientado: Fernando Falco Prusky. Conselheiros: Demétrius David da Silva. Márcio Mota Ramos.<Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9726/texto%20completo.pdf?sequence=1&iAllowed=y>. Acessado em: 10 de Janeiro de 2019.

Pogian, Mauricio Freixo, 1989- P746e Estimativa de vazão mínima em pequenas bacias hidrográficas / Mauricio Freixo Pogian. – 2016. 129 f. : il.

PORTO, R.M. Orifícios – tubos curtos – vertedores. In.:_____Hidráulica Básica. (2.ed.). São Carlos: EESC – USP, 2001. cap. 12, p. 381–391. 519p. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000082&pid=S0370-4467200700020000200010&lng=en> . Acessado em: 28/12/2018.

PORTO, Rodrigo de Melo. Hidráulica básica. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 2003.

RABELO, J. L.; WENDLAND, E. Assessment of groundwater recharge and water fluxes of the Guarani Aquifer System, Brazil. Hydrogeology Journal, v. 17, p. 1733-1748, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-009-0462-y>.

RANTZ, S.E. Measurement of stage and discharge. In: Measurement and Computation of Streamflow. Washington: Geological Survey Water-Supply Paper 2175, 1982. v. 1. 284p. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000083&pid=S0370-4467200700020000200011&lng=en> Acessado em 20/02/2019.

Rossi B. L., Lima K. R., Hermann K., Catharina K. R. S., Técnica de Medição de Vazão por Vertedor Triangular de Parede Delgada, Instalado na UFMT. E&S - Engineering and Science 2015, 1:3.

Santos Junior, H. dos; Marques, F. de S.; Ferrari, J. L. AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE VAZÃO PARA FINS AQUÍCOLAS. Revista Univap. XIV Encontro latino Americano de iniciação científica. 2006.

SOUZA, Cristina. D'ornellas Filipakis, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2010. Sistema computacional para estimativa de escoamento superficial. Orientador: Fernando Falco Prusky. Coorientadores: José Márcio Alves Da Silva e Conceição Aparecida Previero.

SPERLING, Marcos Von. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Volume 1, 3ª ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

Vásquez, M. A. N et al. Comparativo de métodos para medida de vazão em condutos livres. IV WINOTEC: Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na irrigação e INVAGRI: International Meeting. Fortaleza. 2012. Pág. 3.

VILLELA S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. 1ª ed. São Paulo. McGrawHill do Brasil, 1975. 245p.

VIM. Vocabulário internacional de metrologia. Instituto nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial – INMETRO, 78 p., 2008. Disponível em: <http://www.inmetro.com.br>. Acesso em: 25 fev. 2017.

WENDLAND, E.; BARRETO, C.; GOMES, L. Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring. *Journal of Hydrology*, v. 342, n. 34, p. 261- 269, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.05.033>.