

INSTITUTO POLYTECHNICO BRASILEIRO

1 9 2 1

CONFERENCIAS E COMUNICAÇÕES  
TECHNICAS

Nº 2

ESTUDOS DE HYDRAULICA

I- O VERTEBOR DE SOLEIRA ESPESSA  
NA MEDIÇÃO DAS AGUAS CORRENTES

por

C. A. BARBOSA DE OLIVEIRA

---

*Instituto Polytechnico Brasileiro*

Resolveu - meus senhores - este Instituto, mui acertadamente que, em cada sessão, um de nós se encarregasse de apresentar um pequeno trabalho, destinado a despertar a atenção e a troca de idéas entre os consocios presentes.

Estes trabalhos, que teriam o caracter de uma conferencia ou de uma simples comunicação technica, dariam grande interesse ás nossas sessões, facilitando, ao mesmo tempo, a cooperação profissional, tão deficiente entre nós, sobretudo no que concerne á solução dos grandes problemas da nossa patria!

Em uma das ultimas sessões, o distincto collega Dr Luiz Cantanhede abriu a serie de conferencias, como muito bem disse o nosso illustre Presidente o Dr. Antonio Olyntho, e na de hoje vou, por designação de varios collegas, ter o prazer de abrir a serie de comunicações technicas, apresentando-vos um pequeno estudo de hydraulica, sobre " O VERTEADOR DE SOLEIRA ESPESSA NA MEDIÇÃO DAS AGUAS CORRENTES ". A minha comunicação, perante as seguintes, será certamente fraca, tendo sido escripta ás pressas, mas espero todavia que ella consiga vos interessar, por se tratar de experiencias muito recentes, sobre um problema, que ha cerca de 200 annos occupa os geometras<sup>e</sup>/experimentadores.

## ESTUDOS DE HYDRAULICA

### I- O VERTEDOR DE SOLEIRA ESPESSA NA MEDIÇÃO DAS AGUAS CORRENTES.

Herschel- o grande experimentador norte-americano e grande amigo das realizações praticas - nos seus estudos, com o objectivo de simplificar a lei do escoamento pelos vertedores, acaba de reconhecer, que a forma mais simples, ou melhor a que conduz á lei mais simples, não é a do vertedor de parede delgada, e sim um typo de soleira espessa, cujas características são completamente originaes.

Desde as primeiras experiencias relativas ás aguas correntes, os estudos sobre vertedores são sempre voltados para a forma, que se tornou classica, do vertedor de parede delgada, e daí a tendencia de todos os hydraulicos á adopção desse typo.

O illustre engenheiro norte-americano, entretanto, como se verifica pelos seus trabalhos desde 1898, pensa em <sup>um</sup> typo de vertedor de soleira espessa com taludes e capaz de assegurar á passagem da corrente liquida, uma trajectoria menos contornada.

Os vertedores de soleira espessa, com taludes, foram estudados, minuciosamente, pelo notavel experimentador francez Henry Bazin, que teve occasião de constatar a extrema varia-

bilidade das condições de escoamento, a descarga dependendo, não sómente da carga, mas ainda da largura da soleira, e da inclinação dos dois taludes. A largura da soleira tem, como sabemos, uma influencia bem accentuada; a inclinação do talude de montante - reduzindo a contracção - tem por effeito um augmento na descarga; e a inclinação do talude de jusante - agindo ordinariamente no mesmo sentido que um alargamento de soleira - tem como consequencia uma redução na descarga.

Bazin estudou os vertedores taludados com aresta viva <sup>m</sup> <sup>m</sup> <sup>m</sup> com espessuras de 0.10, 0.20, e 0.40 de soleira. Um tal estudo, para ser completo devia naturalmente se estender a um numero muito mais consideravel de casos particulares, mas, na impossibilidade material de executal-os, elle examinou os typos acima, reunindo as numerosas experiencias feitas, nos cinco grupos seguintes:

- 1°) vertedores cujos paramento de jusante fosse pouco afastado da vertical para permittir a formação de lenções destacados do corpo da barragem;
- 2°) vertedores cujo paramento de montante fosse vertical ou quasi vertical, o paramento de jusante sendo, ao contrario de uma inclinação muito fraca sobre a horizontal, de modo que a lamina ficasse applicada sobre elle;
- 3°) vertedores apresentando ambos os taludes pouco inclinados, até 45° no maximo, sobre a horizontal;
- 4°) vertedores de soleira concordada, por superficie curvas, aos taludes; e finalmente
- 5°) vertedores de perfil completamente curvos.

Elle reuniu em quadros os coefficients obtidos, nas series de

experiências á que procedeu, e que têm os numeros 125 a 194, mas a grande variedade de formas de vertedores faz com que cada typo tenha sua escala especial de coefficients. E' claro, diz o proprio Bazin, que não é possivel estabelecer uma formula geral, levando em conta a influencia de todos os elementos, que intervêm no problema.

Nos Estados Unidos foram tambem feitas experiencias em grande escala em 1898, pelo conhecido profissional Rafter, para a U. S. Deep Waterways Commission, no laboratorio de hydraulica da Cornell University. Foram estudadas varias formas de vertedores taludados, e obtidos os respectivos coefficients, que, para as differentes casos, podem ser empregados com relativa segurança.

O merito de Herschel foi ter reconhecido, no meio da infinita variedade de vertedores de soleira espessa, taludados, uma forma que correspondia ao seu intuito de simplificação, reunido á sua outra idéa, de que a descarga devia depender da differença de duas pressões, uma a montante, levando em conta a velocidade de chegada, e outra sobre a crista do vertedor, a qual adhere a lamina d'agua.

Anteriormente a Herschel tiveram a mesma idéa, Boileau, no seu trabalho " Mesures des eaux courantes ", e Bazin nas suas memoraveis experiencias sobre vertedores, publicadas em seis artigos nos " Annales des Ponts et Chaussées ".

Boileau apresentou uma formula, que comprehendia um elemento medido sobre a soleira, e Bazin ponderou que em um verte

dor de typo dados o coefficiente m dependia principalmente de dois elementos, a contracção sobre a soleira, e a pressão sob a lamina d'agua, e que esta pressão estava tão intimamente ligada á descarga, que seria possível, observando-a seguidamente, deduzir as variações de descarga, com uma precisão <sup>j</sup> jamais alcançada pela medida directa das cargas. A medida das pressões pode ainda ser utilizada, accrescenta o eminente experimentador, para o registro de descargas variaveis. Os apparatus Venturi, creados por Herschel, são fundados sobre uma applicação desse genero, e servem para medir a descarga dos grandes conductos d'agua. Como sabemos, por uma experiencia bem conhecida de Venturi, si diminuirmos o diametro de um conducto sobre uma pequena extensão, se produz, nessa parte, uma redução de pressão, correspondente ao augmento de velocidade do liquido; determinando, por experiencias, a relação entre esses dois elementos, a medida das pressões conduz a das descargas, e assim sendo, por meio de um registrador automatico, obtem-se o volume d'agua, que durante um certo tempo, fornece o conducto, embora occorram variações accidentaes na sua descargas.

O mesmo principio é evidentemente applicavel aos vertedores, tornando possível realisar o registro directo da descarga, empregando o processo para transformar o indicador de carga de um vertedor em indicador de descarga, processo imaginado pelo engenheiro Hegly, e descripto por este em uma interessante memoria publicada em 1898, nos "Annales des Ponts et Chaussées".

Nessa ordem de idéas, Bazin indicou, em quasi todas as suas experiencias, a pressão sob a lamina, certo de que este

elemento poderia em muitos casos receber uteis applicações, e a sua notavel probidade profissional o levava sempre a registrar, em seus trabalhos, todos os resultados numericos obtidos para que seus continuadores pudessem tirar consequencias que lhe tivessem escapado !

Este eminente mestre, um dos creadores da Hydraulica Moderna, era realmente um observador perfeito, e um experimentador modelar !

A Clemens Herschel, porém, coube agora a realização pratica da sua idéa, e da dos seus dois predecessores. O vertedor creado por este illustre engenheiro, tem a soleira constituida por um tubo circular oco em latão, com cerca de 6 centimetros de raio exterior, apresentando para montante e para jusante taludes inclinados, com 2 de base por 1 de altura. O tubo de latão apresenta orificio de 3 milimetros, cujos eixos são normaes ao talude de montante, orificios que permitem a agua entrar no tubo, enchendo-o, e tornando possivel a observação da pressão sob a lamina, em um ponto certo da soleira, e que não varia com o experimentador.

O paramento de montante apresenta a declividade constante de 2:1, em prolongamento do talude da soleira, e o de jusante no extremo do talude da soleira, constituida por uma chapa de latão de cerca de 60 centimetros, é vertical, tornando o vertedor de lamina livre.

O talude de montante foi projectado de maneira a conduzir a agua, tranquillamente, sobre a soleira que ella atravessaria com uniformidade e sem determinar choque, e o pequeno talude de jusante evitaria o inconveniente da entrada do ar no lençol

dagua, conservando-o adherente á soleira.

Do mesmo modo que no caso do vertedor de parede delgada, typo de hydrometro, a contracção lateral deve ser supprimida.

A figura 1 mostra a disposição adoptada para a soleira espessa, e a figura 2, a disposição de conjuncto do vertedor, cuja estructura de madeira pode evidentemente ser substituida pela de alvenaria.

A idéa de Herschel era determinar a descarga, admittindo-a directamente proporcional á differença  $\underline{d}$  de duas pressões, uma medida a montante e compensada da velocidade de chegada da agua, e outra na crista do vertedor, a qual adhire a lamina liquida. E' a lei mais simples possivel, que as recentes experiencias confirmam, traduzindo-a pelas formulas, em unidades inglezas e metricas:

$$q = 5.50 \underline{d}$$

$$q' = 1.676 \underline{d}'$$

sendo respectivamente,  $q$  e  $q'$  as descargas em pés cubicos por segundo e por pé de comprimento, e em metros cubicos por segundos e por metro linear de comprimento de vertedor:  $\underline{d}$  e  $\underline{d}'$  as differenças em pés e em centimetros das elevações dagua nos 2 pontos já mencionados.

Para observar a elevação dagua, levando em conta a velocidade de chegada, emprega-se um tubo de Pitot, tendo como supporte um tubo de latão, e sendo collocado em um ponto de velocidade media, determinado por observações. Herschel nas suas experiencias collocou o tubo de Pitot a 6 decimos da profundidade, e a um terço da largura, de qualquer um dos lados do canal.

Descripto o novo typo de verteder de soleira espessa, creado por Herschel, passemos á parte experimental, que foi realzada no laboratorio de Hydraulica do conhecido Instituto de Technologia de Massachusetts;

Este excellente Instituto, reconhecendo o alto valor da instrucção experimental, como um elemento, indispensavel na formação do espirito do engenheiro, estabeleceu numerosos, amplos e bem aparelhados laboratorios, que occupam uma area de cerca de 6400 metros quadrados, não incluindo escriptorios, corredores, etc. O aparelhamento dos seus laboratorios foi escolhido e installado tendo como objectivos: primeiro, dar ao estudante a pratica em trabalhos experimentais, e em applicações que o engenheiro possa encontrar no exercicio da sua profissão; segundo, dar todos os recursos para investigações originaes e pesquisas em assumptos technicos.

Esse segundo objectivo, facilitou a Herschel a realização no laboratorio de Hydraulica das suas experiencias, que foram provevidas e custeadas pela " American Society of Mechanical Engineers ", que publicou em 1920, sob o nome " An improved form of weir for gaging in open chennels ", os resultados obtidos no correr de anno de 1919 por aquelle eminente engenheiro.

A disposição geral adoptada em seus trabalhos, consistia em uma bomba centrifuga Worthington, de uma capacidade maxima de 1260 litros por segundos que elevava a agua, reunida em um poço e proveniente, por meio de canaes, do vertedor ou do rio Charles, conforme o caso em estudo. Agua elevada, a cerca de 12 metros, passava por um tubo Venturi, intercallado em um en-

canamento que a adduzia a um canal superior de aço, que por sua vez a adduzia até o seu outro extremo, onde a agua cahia verticalmente em um poço, que alimentava por um canal o vertedor em ensaio. A descarga do vertedor era levada por outro canal até o poço da bomba, fechando assim o cyclo. Uma valvula reguladora e outras valvulas e comportas, convenientemente collocadas, completavam o aparelhamento geral, aqui summariamente descripto, de que se serviu Herschel.

As experiências procedidas por este notavel profissional não foram bastante numerosas, mas foram todavia sufficientes para estabelecer a lei de escoamento do novo vertedor. Elle examinou descargas variaveis entre 0 e 900 litros por segundo e por metro linear: a profundidade a montante variando tambem de  $1.75^m$  a  $0.84^m$ , redução obtida por meio de um plano movel, como mostra a figura 2.

O laboratorio de Hydraulica do Instituto de Massachusett possui ainda outros circuitos, sendo, o mais importante, constituido por uma bomba centrifuga que é destinada a manter a descarga em um systema de canaes, construidos no andar terreo, elevando a agua atravez de um medidor Venturi, a um canal de aço, collocado no segundo andar. Este canal, por intermedio de um encanamento e de uma turbina, alimenta um outro canal-onde a altura da agua pode ser regularizada por uma comporta - e que por sua vez alimenta o referido systema de canaes do andar terreo. O laboratorio possui ainda varias turbinas e bombas, diversos medidores Venturi, além de um aparelhamento excellente de orificios, tubos addicionaes, tubos de Pitot, etc.

Nos Estados Unidos são numerosos os laboratorios desse genero , o que não acontece entre nós, onde os Governos ainda não se compenetraram do character altamente educativo da observação e da experimentação individuaes, desenvolvendo o senso das realidades concretas, formando intelligencias bem orientadas para as verdades scientificas e habituando, sobretudo, os estudantes á boa comprehensão dos phenomenos que a natureza oferece, dando-lhes o seu justo valor, pela medida dos diversos elementos que nelles intervêm.

Uma das mais bellas conquistas da sciencia moderna consiste precisamente na instituição de methodos praticos para realizar essas medidas, que devem ser feitas, individualmente, pelos que desejam saber, e que só assim aprenderão.

E a hydraulica, com o seu character francamente experimental está pedindo, entre nós, com insistencia, um desses laboratorios, que poderia ser instituido pelo Governo -- sob a dependencia immediata da Escola Polytechnica desta Capital, que per sua vez poderia organizar o seu projecto nas proximidades das installações, já existentes e pertencentes á Repartição de Aguas -- com despesa relativamente diminuta, para os resultados extraordinarios, que fatalmente seriam colhidos.

E por grandes que sejam as liberalidades do Thesouro de uma nação, quando se trata do desenvolvimento e do aperfeiçoamento do ensino e da cultura da intelligencia do seu povo, essas liberalidades constituem sempre o emprego mais reproductivo da riqueza publica.

Feita esta rapida digressão, voltemos ao nosso assumpto, para nos referirmos ao emprego desse novo typo de vertedor nos canaes de distribuição de agua de irrigação, muito espalhados em certas zonas dos Estados Unidos e onde a falta de meios apropriados de medição, causava grandes prejuizos. Neste novo typo - de capacidade superior aos vertedores triangular e trapessoidal de Thomson e de Cipoletti - as constatações são faceis e rapidas, pois, basta observar a differença de nivel nos dois tubos, que podem ser collocados um ao lado do outro.

Com os resultados auspiciosos colhidos nas explorações agricolas da America de Norte, a sua fabricação já está sendo tratada na França, por uma importante usina do Sueste. E, si esses resultados receberem - como parece certo - uma confirmação definitiva, Herschel terá prestado mais um grande serviço á hydraulica, e especialmente aos industriaes e agricultores, para os quaes a medição rigorosa da descarga é uma necessidade, perfeitamente superada pelo novo typo de vertedor - que consegue reunir a simplicidade e a exactidão.

---