

IX-055 – DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO WEB APLICADA À HIDRÁULICA DE CANAIS

Rafael Pereira Maciel⁽¹⁾

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú. Mestrando em Engenharia Oceânica na Universidade Federal do Rio Grande.

Luis Henrique Magalhães Costa

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (2003). Doutor em Recursos Hídricos pelo DEHA-Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - UFC e Instituto Superior Técnico de Lisboa (PDEE-CAPEs). Professor pela Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

Lenise Farias Martins⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú.

Endereço⁽¹⁾: Rua Fernando Osório Filho, nº 500 – Cassino – Rio Grande – RS Tel.: (88) 99972-3372, email: rafaelmaci95@hotmail.com

RESUMO

Escoamentos livres são caracterizados pela presença de ar atmosférico e condutos que trabalham sob esse regime são denominados canais. Redes de esgoto, galerias de drenagem e vertedouros são exemplos mais comuns de obras requerem conhecimento em hidráulica de canais para elaboração do projeto. A complexidade dos cálculos relacionados a essa área motiva a criação de ferramentas computacionais que agregam precisão e rapidez na geração de resultados. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma aplicação web para resolução de problemas comuns envolvendo hidráulica de canais. Esta ferramenta foi produzida através da união das linguagens de programação web: HTML, CSS e JavaScript. O resultado final está disponível no link: <http://hidrouva.com.br/>, e pode ser acessada em qualquer dispositivo que tenha acesso à internet. A seção de hidráulica de canais contém cinco páginas: fluxo normal, que através dos dados de vazão e perfil geométrico do conduto, calcula a altura da lâmina d'água; vazão, cujos cálculos são semelhantes ao da página anterior, porém resulta na vazão calculada a partir da altura d'água; ressalto hidráulico, que calcula a profundidade, o comprimento, e a altura do ressalto de acordo com a seção escolhida; dimensionamento de um trecho de tubulação de esgoto; vertedouros, que aborda os dois perfis: vertedouro retangular e vertedouro em perfil *Creager*, que a partir dos dados topográficos e de cheia, resulta nas dimensões para a execução do projeto. A aplicação web HIDROUVA possui estética simples e didática com resultados confiáveis, sendo uma ferramenta útil tanto para profissionais da área quanto para alunos de cursos relacionados à hidráulica de canais.

PALAVRAS-CHAVE: Hidráulica de canais, desenvolvimento web, tecnologia.

INTRODUÇÃO

A necessidade de controlar, conter e transportar os recursos hídricos exige a implantação de obras hidráulicas dos mais diversos tipos. Dentre elas os condutos livres ou canais, os quais são utilizados para transporte e adução de água, que apresentam como principal característica a presença de pressão atmosférica ao longo da sua seção.

Porto (2006, p. 221) afirma que há mais dificuldade em tratar condutos livres do que forçados, porque apesar da similaridade no tratamento analítico dos dois tipos de escoamento devido a uma quantidade relevante de fatores externos que influem nesse tipo de fluxo. Com isso, devido à complexidade dos estudos e à importância deles para a sociedade, a hidráulica de canais é uma das disciplinas fundamentais na formação de engenheiros civis e de outros profissionais que trabalham nessa área.

O dimensionamento de canais se inicia com a determinação da geometria da seção e prossegue com a análise hidráulica que contém rotinas de cálculo muito complexas e exaustivas que demandam tempo e exigem um alto nível de precisão.

O desenvolvimento de ferramentas computacionais facilita, reduz e agrega precisão ao dimensionamento de obras hidráulicas. Porém algumas aplicações mais complexas exigem formação sobre o uso e possuem versões pagas que muitas vezes dificultam o acesso principalmente de estudantes.

Devido à importância e à popularização de dispositivos com acesso à internet, este trabalho objetivou o desenvolvimento de uma aplicação web voltada à hidráulica de canais composta por seções que abrangem os problemas mais comuns relacionados à área: determinação da profundidade normal (fluxo normal), determinação da capacidade de vazão, análise do ressalto hidráulico, dimensionamento de um trecho de rede de esgoto e dimensionamento de vertedouros. Para isso, aplicaram-se as seguintes linguagens de programação para desenvolvimento web: HTML, CSS e Javascript e usufruiu-se de exemplos da literatura para validar a confiabilidade dos resultados exibidos na tela do usuário.

REFERENCIAL TEÓRICO

SOFTWARES RELACIONADOS À HIDRÁULICA DE CANAIS

Profissionais optam cada vez mais pelo uso de ferramentas computacionais para agilizar e otimizar os seus trabalhos obtendo dados confiáveis e de alta precisão quando comparado ao método manual de elaboração de projetos. Porto (2006) explica que os atuais recursos computacionais reduzem o tempo de processamento e incremento das possibilidades de cálculo, possibilitando a simulação matemática de sistemas hidráulicos complexos fazendo intervir possantes e refinados modelos numéricos.

Neste enfoque, Porto (2006), Pruski et al. (2006), Pompeo e Savietto (1997), Zaque e Menezes Filho (2011) e Braga (2017) desenvolveram ferramentas computacionais abrangendo várias áreas da hidráulica de canais.

Porto (2006) desenvolveu o *software* CANAIS3.EXE que resolve problemas de dimensionamento (cálculo dos parâmetros geométricos da seção), capacidade de vazão, determinação da altura d'água ou largura do fundo do canal dos seguintes tipos de seção: retangular, trapezoidal, circular, fundo circular, dentre outros serviços.

O *software* HIDROS, desenvolvido por Pruski et al (2006), implementa diversos modelos para dimensionamento e manejo de projetos hidroagrícolas. A ferramenta possui serviços de dimensionamento de canais, de drenagem de superfície, de controle de terraceamento, dentre outros. Pompeo e Savietto (1997) elaboraram o sistema BDL para o cálculo da capacidade de bocas de lobo. Para dimensionamento de galerias de água pluviais, Zaque e Menezes Filho (2011) criaram o DIMGAP um aplicativo computacional que realiza análise de custos do sistema de drenagem projetado.

Numa versão mais moderna e acessível, Braga, Menezes Filho e Freire (2017) criaram um aplicativo android "Cálculo Hidráulico" que abrange o dimensionamento de canais retangulares e trapezoidais pela determinação da profundidade normal, a determinação de diâmetro de seções circulares e a verificação da capacidade hidráulica de seções retangulares e trapezoidais pela determinação da vazão.

Logo, tendo em vista a grande acessibilidade à internet por diversos tipos de dispositivos, optou-se pela criação de uma aplicação web relacionada à hidráulica de canais, pois é uma ferramenta de fácil alcance, não necessita de um arquivo executável para instalação, além de não ocupar espaço na memória do dispositivo utilizado.

CONCEITOS APLICADOS NO TRABALHO

O escoamento uniforme em condutos livres ocorre quando a profundidade da água, a área molhada da seção transversal e a velocidade são constantes ao longo do canal. Para Baptista e Coelho (2010) o cálculo do escoamento uniforme apresenta duas situações distintas: determinação da profundidade da lâmina d'água e a capacidade de vazão do conduto.

Em canais, dependendo do percurso que a água percorre e da velocidade ao longo da trajetória, Porto (2006) afirma que pode ocorrer uma sobrelevação brusca no nível da água a uma curta distância causando ondulações na superfície, entrada de ar e perda de energia devido à forte turbulência, caracterizando o ressalto hidráulico.

Para o dimensionamento de um trecho de uma rede de esgoto, alguns fatores influem na escolha do perfil traçado na rede. A topografia do terreno é a etapa inicial para análise do projeto, as cotas e a declividade do local são importantes para definir a profundidade de escavação e para analisar a trajetória do líquido ao longo do trecho para que o escoamento ocorra de forma natural. As vazões de projeto para início e fim de plano são fatores que vão influenciar na escolha diâmetro do conduto para que o escoamento seja livre. A rugosidade da tubulação

está relacionada diretamente com as características do material que a compõe, sabendo disso é feita uma estimativa do valor em função do tipo de material da tubulação a partir de tabelas encontradas na literatura.

Vertedouros são outros exemplos de obras associada à hidráulica de canais cuja função é regular o nível d'água em barragens. O dimensionamento requer muita precisão pois segundo o Departamento do Interior dos Estados Unidos (1987) a importância de um vertedouro seguro é crucial, muitas falhas de barragens foram causadas por vertedouros subdimensionados ou projetados inadequadamente. No Brasil, os tipos de seção mais comuns são: canal retangular e canal em *perfil Creager*, cujo detalhamento será detalhado na seção específica para esses tópicos durante a metodologia.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma aplicação web para que possa ser usada na análise hidráulica e no dimensionamento de canais. Para isso serão seguidas algumas etapas:

- Criar roteiros de cálculos baseados na literatura existente;
- Desenvolver a programação e a estética da aplicação;
- Comparar os resultados exibidos na página com o gabarito de exercícios da bibliografia.

METODOLOGIA UTILIZADA

A aplicação foi desenvolvida através da associação de três linguagens de programação web: HTML para definir a estrutura do site; CSS para definir o visual e a estética; e *Javascript* para efetuar os cálculos disponibilizados na plataforma. A seção de hidráulica de canais é composta por cinco páginas: dimensionamento de canais sob escoamento uniforme (fluxo normal), cálculo da vazão, ressalto hidráulico, dimensionamento de um trecho de tubulação de esgoto e de vertedouros, conforme mostra a figura 1. O detalhamento da metodologia de criação destas páginas será descrito nos tópicos seguintes.

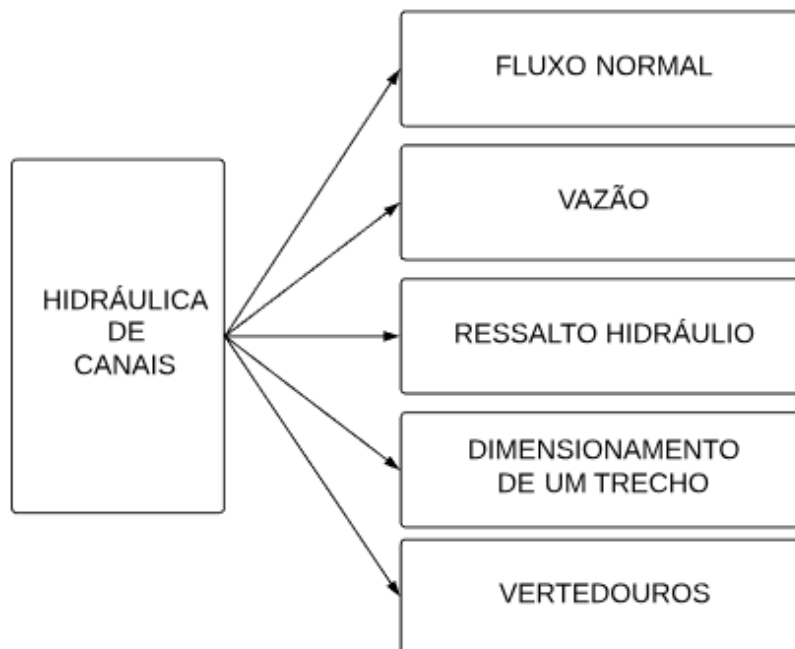


Figura 1. Fluxograma de páginas da seção Hidráulica de Canais

FLUXO NORMAL

Esta página foi criada a partir de roteiros de cálculos tendo como premissa a literatura consultada, cujas fórmulas principais estão citadas neste tópico. Inicialmente, foram definidas as seções transversais tendo como base as geometrias mais comuns utilizadas em obras hidráulicas. O usuário poderá escolher dentre as quatro formas abaixo: retangular, circular, trapezoidal, triangular, conforme indica a figura 2.

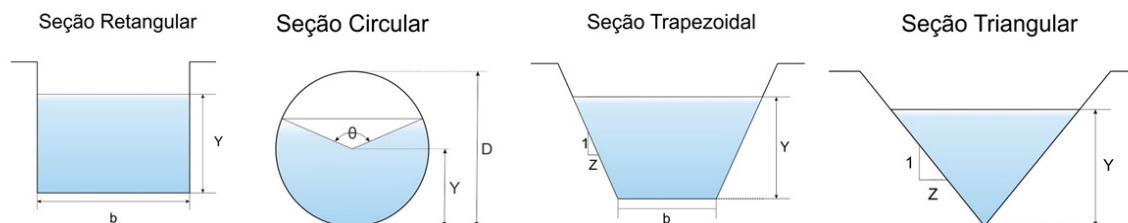


Figura 2. Perfis geométricos de canais

Após escolhida a geometria, as demais informações solicitadas na entrada de dados são: vazão de projeto, base do canal, diâmetro da seção (em caso de perfil circular), inclinação do talude e o coeficiente de Manning referente à rugosidade do canal.

Para a determinação da altura d'água (Y_0) nas seções trapezoidal, retangular e triangular, usou-se a fórmula de Manning em função de Y_0/b que, para simplificação na programação, foi seccionada sendo K_2 o primeiro membro e K' o segundo, conforme as equações 1 e 2.

$$K_2 = \frac{n \times Q}{b^{8/3} \times \sqrt{I}} \quad \text{equação (1)}$$

$$K' = \left(\frac{Y_0}{b}\right)^{5/3} \frac{\left(1 + \left(\frac{Y_0}{b}\right) \times Z\right)^{5/3}}{\left(1 + 2\left(\frac{Y_0}{b}\right) \sqrt{1 + Z^2}\right)^{2/3}} \quad \text{equação (2)}$$

No qual:

- Y_0 = Altura d'água (m)
- b = Base do canal (m)
- Q = Vazão de projeto (m^3/s)
- n = Rugosidade (Manning)
- I = Declividade do terreno (m/m)
- Z = Inclinação da aresta do perfil geométrico

O objetivo é encontrar o menor valor de Y_0/b que acarreta no valor máximo da lâmina d'água para dimensionamento. Para isso, igualou-se as equações 1 e 2 o que resultou em um processo iterativo devido à Y_0/b está tanto no numerador quanto no denominador da equação com expoentes fracionários.

Para implementar no código de programação, foi declarado o valor inicial de $Y_0 = 0$ e foram criadas duas variáveis para serem comparadas entre si: eq_{min} que possui um valor inicial arbitrário alto e eq que é a subtração de K_2 e K' . Na primeira iteração, a variável eq recebe o primeiro resultado da subtração de k_2 e k' com o valor inicial de Y_0 , em seguida é verificada a condição, se eq for menor que o valor inicial de eq_{min} , eq_{min} recebe o valor atual de eq e $ymin$ o valor atual de Y_0 . Com o novo valor de eq_{min} , para a próxima iteração, é acrescentado 0,01 à Y_0 . Quando a condição for falsa, $ymin$ terá o valor do Y_0 da última iteração e este será resultado exato da altura da lâmina d'água do conduto dimensionado. A figura 3 exibe um fluxograma do processo iterativo e a tabela 1 exemplifica com valores usados nos testes da programação a fim de facilitar o entendimento do método.

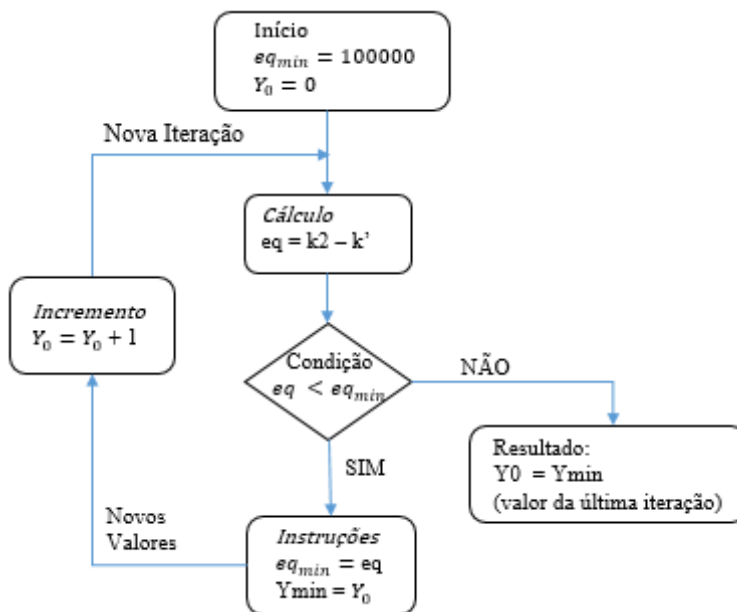


Figura 3. Processo Iterativo da página Fluxo Normal

Tabela 1. Processo Iterativo com dados arbitrários

Iteração	Y ₀	K ₂	K'	eq	eq _{min}	condição	y _{min}
1	0.000	0.570	0.000	0.570	10000	sim	0.000
2	0.010	0.570	0.024	0.546	0.570	sim	0.010
3	0.020	0.570	0.042	0.529	0.546	sim	0.020
4	0.030	0.570	0.058	0.512	0.529	sim	0.030
n	0.625	0.570	0.569	0.001	0.001	não	0.625

Em seções circulares, para calcular Y_0 , foi adotado um procedimento análogo ao utilizado anteriormente adaptando para as peculiaridades geométricas dessa seção. Utilizando a forma compacta da equação de Manning (equação 3), temos:

$$M = \left(\frac{n \times Q}{\sqrt{I}} \right)^{3/8} \quad \text{equação (3)}$$

O processo iterativo utilizado, segue a mesma lógica da figura 3, porém K_2 e K' são substituídos pelos coeficientes de forma K_1 (equação 4) e K_1' (equação 5).

$$K_1 = \frac{M}{D} \quad \text{equação (4)}$$

$$K_1' = R^{3/8} = \left\{ \left[\frac{\theta - \sin \theta}{8} \right] \left[\frac{1 - (\sin \theta)/\theta}{4} \right]^{2/3} \right\}^{3/8} \quad \text{equação (5)}$$

Vale salientar que o valor do ângulo (θ) destacado na figura 4 é definido a partir de relações geométricas, resultando na equação 6 que é incrementada na equação 5.

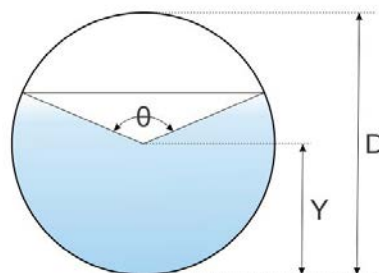


Figura 4. Seção Circular

$$\theta = 2 \cos^{-1}(1 - 2 Y_0/D) \quad \text{equação (6)}$$

Em seguida são calculadas as propriedades hidráulicas: área hidráulica, perímetro molhado, raio hidráulico, velocidade, número de froude, energia específica e tipo de fluxo. As fórmulas utilizadas estão disponíveis no anexo 1. O roteiro de programação é exemplificado na figura 5.

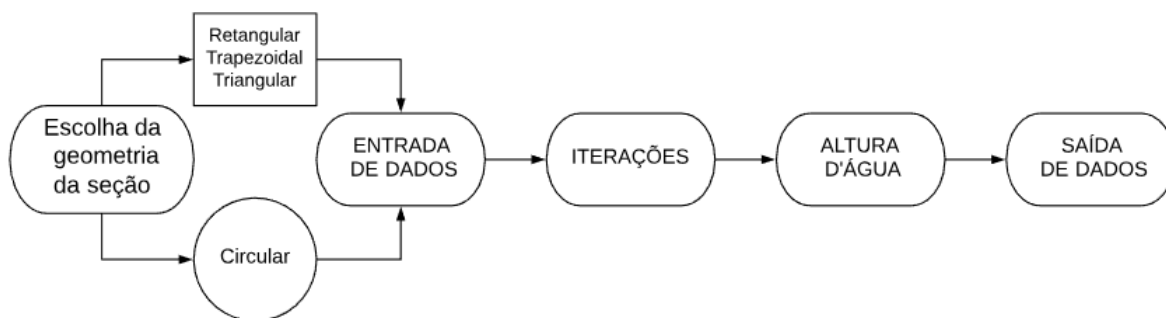


Figura 5. Lógica de programação da página Fluxo Normal

CÁLCULO DE VAZÕES

Esta página foi elaborada através de roteiros de cálculo para cada tipo de seção cujas fórmulas principais são citadas nesse tópico. O objetivo é calcular a capacidade de vazão do canal conhecendo as variáveis geométricas e hidráulicas (altura d'água e inclinação do talude). O usuário seleciona a seção geométrica do canal – as mesmas descritas na figura 2 – e insere os dados de entrada: altura d'água ($Y - m$), base do canal ($b - m$) ou diâmetro ($d - m$), inclinação do talude da parede do canal ($Z - m/m$) e coeficiente de Manning.

Para canais retangulares, trapezoidais e triangulares, a capacidade de vazão foi calculada a partir do coeficiente de forma K expresso pela equação 7 que é originado da razão entre a área molhada (A_m) e o perímetro molhado (P_m) expressos a partir de relações trigonométricas envolvendo a inclinação do canal (Z), a base do canal (b) e a altura d'água (Y_0).

$$K = \left(\frac{A_m}{P_m} \right)^{3/8} = \left[\frac{(b/Y_0 + Z)^{5/3}}{(b/Y_0 + 2\sqrt{1 + Z^2})^{2/3}} \right]^{3/8} \quad \text{equação (7)}$$

Em seguida, para o cálculo da vazão é utilizada a equação de Manning em função do coeficiente K , da altura d'água (Y_0), da inclinação do talude (I) e da rugosidade (n) conforme a equação 8.

$$Q = (KY_0)^{\frac{8}{3}} \times \sqrt{I} \times n^{-1}$$

equação (8)

Para canais circulares, utilizou-se a equação 9, sendo θ calculado conforme a equação 6.

$$Q = \frac{1}{20,2n} D^{\frac{8}{3}} \sqrt{I} \frac{(\theta - \sin \theta)^{\frac{5}{3}}}{\theta^{\frac{2}{3}}}$$

equação (9)

A figura 6 apresenta o esquema da metodologia descrita aplicada à programação do projeto.

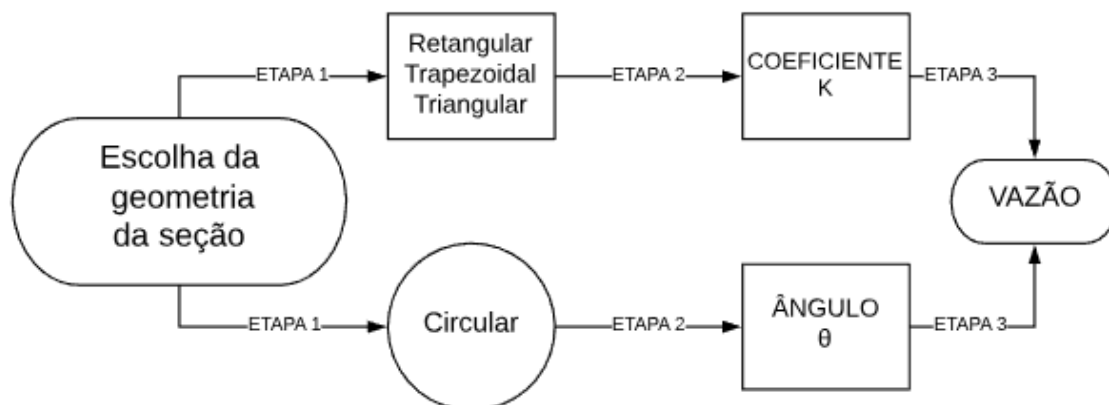


Figura 6. Lógica de programação da página Vazão

RESSALTO HIDRÁULICO

O ressalto hidráulico é o fenômeno em que um escoamento supercrítico se torna subcrítico, e é caracterizado por elevação brusca do nível d'água a uma curta distância (figura 7). Este tópico apresenta as principais equações para a construção desta página e o esquema lógico utilizado na programação.

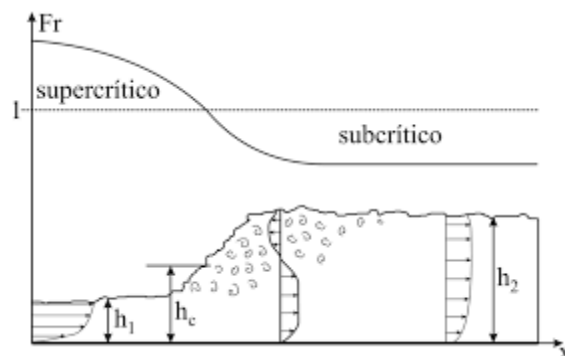


Figura 7. Ressalto Hidráulico

Nesta página é calculada as características do ressalto ocorrido em canais retangulares e circulares. A entrada de dados é composta pelas características da seção (base ou diâmetro), vazão (Q - m³/s) e uma profundidade conhecida (montante ou jusante).

Em canais retangulares, sendo o valor da profundidade a montante um dado de entrada, inicialmente calcula-se a velocidade pela equação da continuidade e o número de Froude (equação 10).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g Y_1}} \quad \text{equação (10)}$$

Sendo:

Fr = Número de Froude;

V = velocidade (m/s);

g = gravidade;

Y₁ = profundidade a montante.

Em seguida, calcula-se a profundidade a jusante (Y₂) em função de Y₁ e do número de Froude, conforme a equação 11.

$$Y_2 = \frac{1}{2} Y_1 \left(\sqrt{1 + 8 Fr^2} - 1 \right) \quad \text{equação (11)}$$

Entretanto, se a profundidade a jusante for um dado de entrada, o cálculo da profundidade a montante, será conforme a equação 12.

$$Y_1 = Y_2^2 + Y_2 + \frac{2Q^2}{gb^2} \quad \text{equação (12)}$$

Para canais circulares, foi adotada a profundidade a montante como dado de entrada devido à quantidade de exemplos na literatura abordando apenas esse viés de cálculo. É solicitado o diâmetro da seção e a página retorna o valor da profundidade a jusante, para isso é calculada a profundidade crítica (Y_c) expressa na equação 13.

$$Y_c = \frac{1,01}{D^{0,264}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0,506} \quad \text{equação (13)}$$

Em seguida é calculado o número de Froude (equação 14) para definir as próximas etapas a serem seguidas.

$$Fr = \left(\frac{Y_c}{Y_1} \right)^{1,93} \quad \text{equação (14)}$$

Se Fr for menor que 1,70 usa-se a equação 15, caso contrário usa a equação 16.

$$Y_2 = \frac{Y_c^2}{Y_1} \quad \text{equação (15)}$$

$$Y_2 = \frac{Y_c^{1,8}}{Y_1^{0,755}} \quad \text{equação (16)}$$

O site retorna o valor da profundidade complementar (montante ou jusante), da energia dissipada além do comprimento e da altura do ressalto. A rotina de programação é expressa na figura 8.

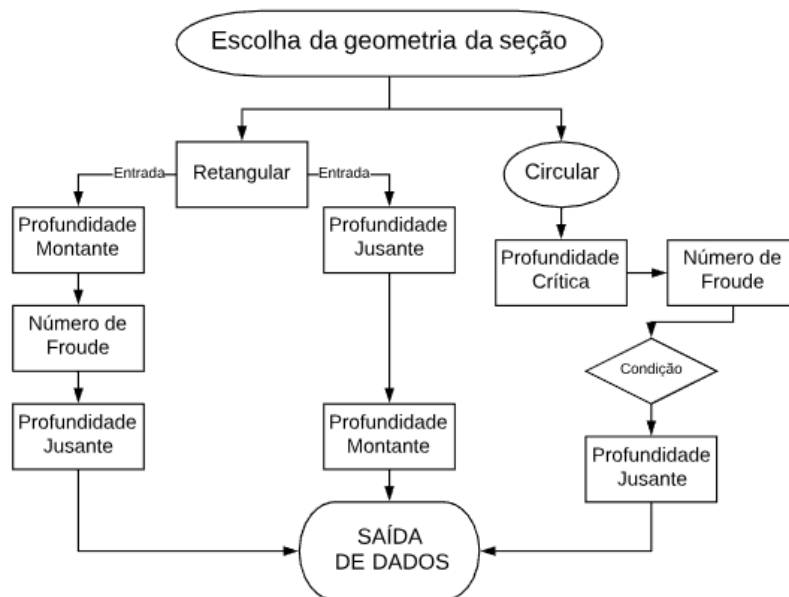


Figura 8. Lógica de programação da página Resalto Hidráulico

DIMENSIONAMENTO DE UM TRECHO DE UMA REDE DE ESGOTO

Nesta página é possível calcular as características básicas de uma tubulação de esgoto, sendo uma ferramenta importante para auxiliar o profissional na etapa de elaboração do projeto. Os dados de entrada, mostrados na figura 9, desta página são: vazão de início e fim de plano, dados topográficos e do material da tubulação utilizada no trecho (cotas, rugosidade, comprimento e recobrimento), os parâmetros A e B relacionados ao coeficiente de Manning disponíveis na imagem da tabela localizada na interface da página e o recobrimento mínimo.

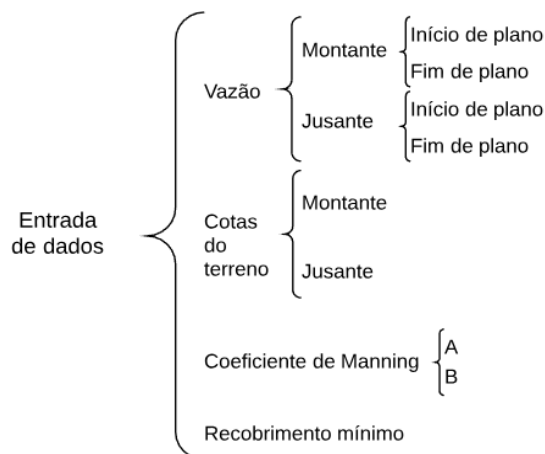


Figura 9. Entrada de dados da página Dimensionamento De Um Trecho

Em seguida, é definida a vazão de projeto que deve ser maior que 1,50 l/s (mínimo exigido por norma), depois é determinada a declividade de projeto (I_{proj}) comparando os valores da declividade do terreno com a declividade mínima (equação 17) devendo ser adotado o valor que implique na menor profundidade de escavação do terreno, geralmente adota-se o maior valor da declividade.

$$I_{\min} = A Q_{proj}^{-B} \quad \text{equação (17)}$$

Vale salientar que existem casos em que a cota a montante é menor ou igual que a de jusante, caracterizando a variável - declividade do terreno - como nula ou negativa, ou seja, o líquido não escoar naturalmente por gravidade. Então, adota-se obrigatoriamente o valor da declividade mínima, essa situação deve ser refletida no perfil longitudinal da seção. Esta página foi programada para que a imagem do perfil esquemático do trecho se altere conforme as informações da declividade possibilitando ao usuário um esboço do assentamento da tubulação.

A escolha do diâmetro comercial é feita através do cálculo de D_{75} que é em função da rugosidade, vazão de projeto para fim de plano ($Q_{proj\ f}$) e a declividade de projeto. Adota-se o valor comercial maior e mais próximo do resultado da equação 18.

$$D_{75} = \left(3,52n \frac{Q_{proj\ f}}{\sqrt{I_{proj}}} \right)^{0,375} \quad \text{equação (18)}$$

Além disso, são calculados os valores das profundidades e de suas respectivas cotas dos poços de visita nas extremidades do trecho, e também é realizada as verificações hidráulicas como a vazão de cheia, a relação Y/D no início e fim de plano, a tensão trativa e as velocidades inicial, final e crítica. A lógica de programação adotada é exibida de forma simplificada na figura 10 devido à complexidade da página que acarreta em muitos dados de saída.



Figura 10. Lógica de programação da página Dimensionamento De Um Trecho

VERTEDOUROS

Finalizando a seção de hidráulica de canais, nesta página é possível dimensionar vertedouros do tipo retangular e perfil *Creager*. Inicialmente o usuário precisa escolher qual a seção transversal do vertedouro para dar seguimento ao dimensionamento explicado nos tópicos seguintes.

VERTEDOURO RETANGULAR

Para o dimensionamento desse tipo de dissipador, é solicitado ao usuário os seguintes dados: Cota da Soleira, nível de água maximorum (N.A. max), tipo de soleira (espessa ou delgada), volume acumulado na soleira e no N. A. max, tempo de concentração (t_c - s) e vazão da cheia de projeto ($Q_{E_{max}}$ - m³/s).

O objetivo é encontrar o valor da largura e altura do vertedouro. É efetuada a seguinte sequência de cálculos. Inicialmente é determinado o tempo de base através da equação 19 e depois é calculado o volume de enchente (V_e - m³) conforme a equação 20.

$$t_b = 3 \times t_c \quad \text{equação (19)}$$

$$V_e = \frac{Q_{E_{max}} \times t_b}{2} \quad \text{equação (20)}$$

Em seguida é calculado um volume (equação 21) associado ao valor da máxima vazão - $Q_{s_{max}}$ (equação 22), de acordo com a representação simplificada do hidrograma de enchente (figura 11).

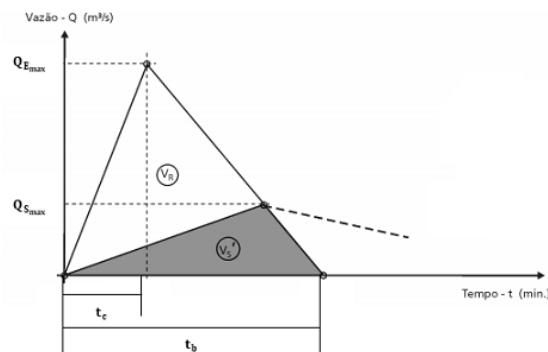


Figura 11. Hidrograma Triangular Simplificado

$$V'_s = V_E - V_R \quad \text{equação (21)}$$

$$Q_{s_{\max}} = \frac{2V'_s}{t_b} \quad \text{equação (22)}$$

Para calcular a largura do vertedouro (L), utiliza-se a equação 23.

$$L = \frac{Q_{s_{\max}}}{1,11} \quad \text{equação (23)}$$

Em seguida usa-se uma variação da fórmula de Manning para definir a altura d'água vertente (equação 24).

$$H = \left(\frac{Q_{s_{\max}}}{4,43 \mu \times L} \right)^{\frac{2}{3}} \quad \text{equação (24)}$$

Sendo que:

H = Lâmina d'água sobre a soleira do vertedouro em m

μ = coeficiente de descarga que depende do tipo de soleira especificada

A lógica de programação utilizada é simples e direta conforme a figura 12.

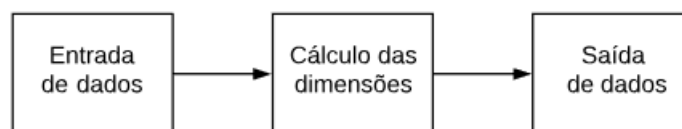


Figura 12. Lógica de programação da página Vertedouro Retangular

VERTEDOIRO EM PERFIL CREAGER

Em barragens, onde a cota da soleira está muito acima da cota do terreno rochoso é necessário a construção de um muro vertedouro. O perfil *Creager* é muito adotado em barragens devido à sua eficiência hidráulica e por seu dimensionamento ser em função da altura de carga hidráulica, possuindo ábacos que relacionam as coordenadas (X, Y) para o traçado do perfil. A página solicita inicialmente os seguintes dados de entrada: vazão milenar ($Q_{1000} - m^3/s$), largura do canal (L – m), coeficiente de descarga (cd), cota da soleira (CS – m) e cota do topo rochoso (CTR – m).

A geometria consiste na junção de um muro (P), seguido da interseção de dois semicírculos de raios R1 e R2 de C a O, uma curva exponencial de O a T, uma reta de T a B e um arco de raio R entre B e D conforme mostra a figura 13. Nesta seção, o usuário insere os dados de entrada à medida que os cálculos são efetuados, pois a página é composta por etapas.

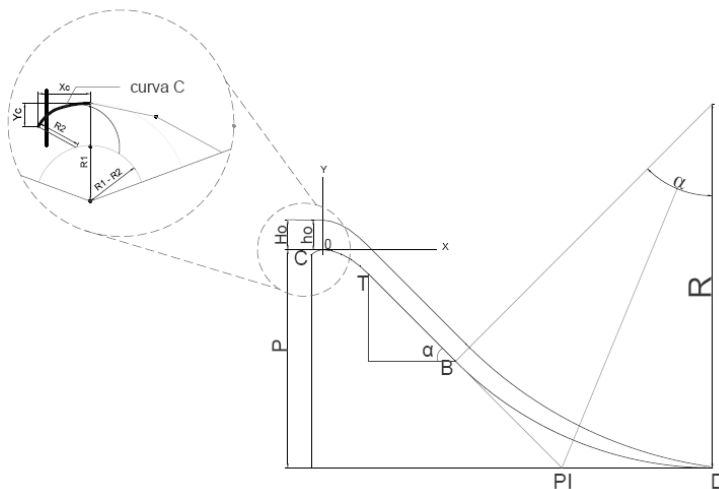


Figura 13: Vertedouro Perfil Creager

Após inserido os dados de entrada, é calculada a altura do muro (P), a altura da lâmina d'água (H_0) mostrada na equação 25 e a descarga unitária (equação 26).

$$H_0 = \left(\frac{Q_{1000}}{Cd \times L} \right)^{2/3} \quad \text{equação (25)}$$

$$q = \frac{Q_{1000}}{(1 \times L)} \quad \text{equação (26)}$$

Os coeficientes h_0 , h_a e h_a/H_0 mostrados na figura 18 serão utilizados na próxima etapa. A equação 27 mostra o cálculo de h_0 , sendo necessário um processo iterativo, e h_a é a subtração de H_0 e h_0 .

$$h_0 = h_a + \frac{q^2}{2g(P + h_0)^2} \quad \text{equação (27)}$$

Para calcular os pontos da curva do vertedouro, segundo a metodologia do Departamento de Interior dos Estados Unidos (1987), etapa de cálculo seguinte requer os valores correspondentes aos ábacos disponíveis para download na página, que relacionam a inclinação do talude com a altura da lâmina d'água, sendo estes: X_c/H_0 , Y_c/H_0 , R_1/H_0 , R_2/H_0 , K, n.

Assim, as coordenadas do ponto C são calculadas por H_0 multiplicando X_c/H_0 e Y_c/H_0 . Para as coordenadas do ponto T é solicitado o valor da inclinação na reta (α), este é igualado à equação diferencial da curva exponencial (equação 28), a fim de encontrar as coordenadas do ponto (equação 29).

$$Y_t = -KH_0 \left(\frac{X}{H_0} \right)^n \quad \text{equação (28)}$$

Derivando, temos:

$$X_t = \left(\frac{H_0^n \alpha}{KnH_0} \right)^{1/n-1} \quad \text{equação (29)}$$

No ponto B, é utilizada a equação de Ven te Chow para encontrar o valor do raio (R) conforme a equação 30.

$$R \geq 10^X \quad \text{equação (30)}$$

O resultado da equação 31 é na unidade pés, que consequentemente gera a mesma unidade para R, porém o resultado final deve ser convertido para metros conforme o sistema internacional de medidas.

$$X \text{ (ft)} = \frac{(\sqrt{2gH} + 6,4H) + 16}{11,85H + 64} \quad \text{equação (31)}$$

H: Altura máxima de queda ($P + h_0$)

Adota-se um valor aproximado, de preferência inteiro, para o raio, em seguida calcula-se o comprimento de BPI através da tangente do ângulo α , depois o Y correspondente ao triângulo formado, e subtrai-se de P o valor de Y encontrado, usa-se a equação geral da reta para encontrar a coordenada Xb. As coordenadas do ponto D são encontradas de forma intuitiva, relacionando as coordenadas de D.

Esta página contém a seguinte lógica de programação expressa na figura 14.

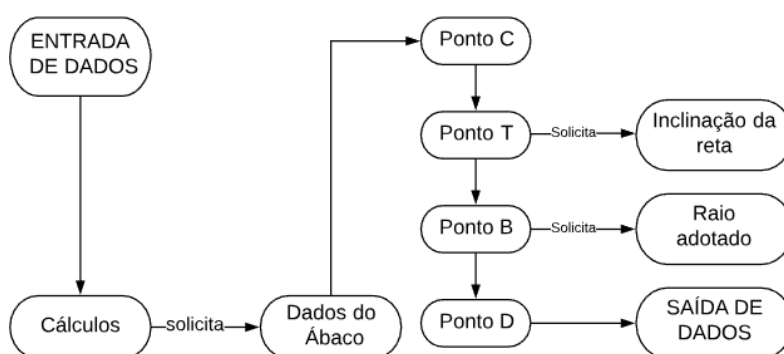


Figura 14. Lógica de programação da página Vertedouro Perfil Creager

VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Este trabalho é parte do site HIDROUVA disponível no link <http://hidrouva.com.br>. Todas as páginas apresentam informações sobre os respectivos assuntos e imagens, demonstrando as seções e variáveis analisadas a fim de proporcionar clareza na exibição dos resultados.

Com a finalidade de verificar a confiabilidade dos resultados, realizou-se um estudo comparativo aplicando os dados de exercícios da literatura e validando-os com a saída de dados exibidos para o usuário. A tabela 2 indica a comparação dos principais resultados das páginas desenvolvidas na aplicação.

Tabela 2. Validação dos resultados obtidos pela aplicação utilizando fontes bibliográficas relacionadas ao assunto

Página Web	Seção Escolhida	Parâmetro Analisado	Fonte Bibliográfica	Resultados	
				Bibliografia	Aplicação Web
Fluxo Normal	Retangular	Altura d'água	Porto (2006)	$Y_0 = 1,35$	$Y_0 = 1,350$
Vazão	Circular	Vazão	Porto (2006)	$Q = 1,20$	$Q = 1,197$
Ressalto Hidráulico	Retangular	Profundidade a jusante	Netto e Fernandéz (2017)	$Y_2 = 1,37$	$Y_2 = 1,368$
Dimensionamento de um trecho	-	Declividade de projeto	Pereira e Silva (2010)	$I = 0,0143$	$I = 0,0143$
Vertedouro	Creager	Lâmina Vertente (H_0)	Porto (2006)	$H_0 = 0,60$	$H_0 = 0,600$

Os detalhamentos das versões finais de cada página estão explicitados nos próximos tópicos, descrevendo as individualidades de cada subseção.

PÁGINAS: FLUXO NORMAL E CÁLCULO DA VAZÃO

Ambas possuem estrutura, estética, entrada e saída de dados semelhantes. A página “Fluxo Normal” contém um conjunto de quatro botões para que o usuário escolha a seção a ser trabalhada, logo abaixo dele tem-se um formulário onde as linhas brancas e as linhas cinzas representam os dados de entrada e de saída, respectivamente. A figura 15 é uma captura de tela da aplicação e destaca a altura da lâmina d’água (Y), parâmetro utilizado para verificar a confiabilidade conforme consta na tabela 2.

Cálculos

Vazão (m³/s)	3,0
Largura da base do canal (m)	3,0
Inclinação (m/m)	0,0005
Coefficiente de Manning (Rugosidade)	0,024
Altura da Lâmina d'água (Y)	1,350
Área Hidráulica (m²)	4,050
Perímetro Molhado (m)	5,700
Raio Hidráulico (m)	0,711
Velocidade (m/s)	0,741
Número de Froude	0,204
Energia Específica (m)	1,602
Tipo de Fluxo	subcrítico

Seção Retangular

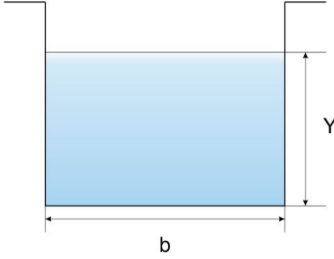


Figura 15. Validação dos resultados da página Fluxo normal em canais retangulares

A figura 16, também uma captura de tela, mostra a validação dos resultados na página “Vazão” com seção circular, realçando o resultado “vazão” que foi o item utilizado na análise da tabela 2. A estética dessa página segue o mesmo conceito aplicado na página “Fluxo Normal”.

Altura d'água (m)	0,82
Diâmetro (m)	1,0
Inclinação (m/m)	0,0025
Coefficiente de Manning (Rugosidade)	0,013
Vazão (m³/s)	1,197
Área Hidráulica (m²)	0,689
Perímetro Molhado (m)	2,265
Raio Hidráulico (m)	0,304
Velocidade (m/s)	1,737
Número de Froude	0,612
Energia Específica (m)	0,929
Tipo de Escoamento	subcrítico

Seção Circular

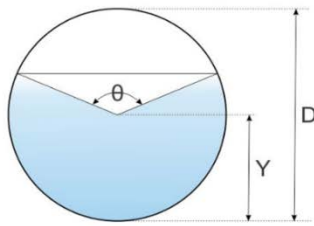


Figura 16. Validação dos resultados da página Vazão em canais circulares

Em suma, a tabela 3 sintetiza todos os parâmetros das duas páginas. Em “Fluxo Normal”, os dados de entrada são: vazão, base, diâmetro (para seções circulares), talude (para seções trapezoidal e triangular), inclinação e rugosidade.

Os dados de saída desta página são: altura d'água, área molhada, perímetro molhado, raio hidráulico, velocidade, número de Froude, energia específica e tipo de fluxo. Em Vazão, os dados de entrada são quase os mesmos da página Fluxo Normal a diferença é que a altura d'água é um dado de entrada e a vazão é um resultado a ser exibido.

Tabela 3. Entrada e saída de dados das páginas Fluxo Normal e Vazão

Entrada de Dados	FLUXO NORMAL				VAZÃO			
	Retangul lar	Circular	Trapezo idal	Triangul ar	Retangul lar	Circular	Trapezo idal	Triangul ar
Vazão	X	X	X	X				
Altura d'água					X	X	X	X
Base	X		X		X		X	
Diâmetro		X	X			X	X	
Talude			X	X			X	X
Inclinação	X	X	X	X	X	X	X	X
Rugosidade	X	X	X	X	X	X	X	X
Saída de Dados	Retangul lar	Circular	Trapezo idal	Triangul ar	Retangul lar	Circular	Trapezo idal	Triangul ar
Vazão					X	X	X	X
Altura d'água	X	X	X	X				
Área Molhada	X	X	X	X	X	X	X	X
Perímetro Molhado	X	X	X	X	X	X	X	X
Raio Hidráulico	X	X	X	X	X	X	X	X
Velocidade	X	X	X	X	X	X	X	X
Número de Froude	X	X	X	X	X	X	X	X
Energia Específica	X	X	X	X	X	X	X	X
Tipo de Fluxo	X	X	X	X	X	X	X	X

PÁGINA: RESSALTO HIDRÁULICO

O resultado final desta página é exibido na captura de tela abaixo (figura 17) que contém as opções para análise do ressalto hidráulico de acordo com os dados de entrada que o usuário dispõe. A estética dessa seção é composta por um conjunto de três botões com as seguintes opções: canal retangular – profundidade a jusante, canal circular, canal retangular – profundidade a montante, o usuário seleciona de acordo com a geometria do canal e a profundidade desconhecida. A figura 23 exibe a captura de tela do produto final desta página e é destacada a linha contendo o resultado da profundidade a jusante, parâmetro utilizado na tabela 2.

Canal Retangular Profundidade à jusante
Canal Circular
Canal Retangular Profundidade à montante

Canais Retangulares Horizontais

Cálculo da profundidade à jusante

Base (m)	2,5
Vazão (m³/s)	0,25
Profundidade à montante (m)	0,90
Profundidade à jusante (m)	1,368
Altura do Ressalto (m)	0,468
Comprimento do Ressalto (m)	3,226
Energia dissipada (m)	0,021

Seção Retangular

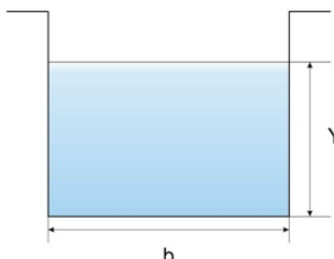


Figura 17. Validação dos resultados da página Ressalto Hidráulico em canais retangulares

A tabela 4 resume os dados de entrada e saída desta página. A entrada de dados é composta pelos valores da base, do diâmetro (para seções circulares), da vazão e uma profundidade conhecida (montante ou jusante), a saída de dados exibe os seguintes resultados: profundidade desconhecida (montante ou jusante), altura conjugada, número de Froude e altura do ressalto.

Tabela 4. Conteúdo da página Ressalto Hidráulico

ENTRADA DE DADOS	Canal Retangular Profundidade a Jusante	Canal Circular	Canal Retangular Profundidade a Montante
Base	X		X
Diâmetro		X	
Vazão	X	X	X
Profundidade a montante	X	X	
Profundidade a jusante			X
SAÍDA DE DADOS			
Profundidade a montante		X	X
Profundidade a jusante	X		
Altura Conjugada		X	
Número de Froude		X	
Altura do Ressalto	X	X	X
Comprimento do Ressalto	X	X	X
Energia Dissipada	X	X	X

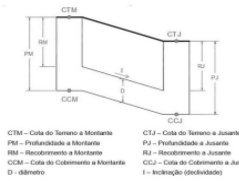
PÁGINA: DIMENSIONAMENTO DE UM TRECHO

O resultado final é mostrado na figura 18, vale salientar que, devido à quantidade de parâmetros, a captura de tela desta página funciona apenas para mostrar de forma objetiva a estética adotada.

A estrutura da página é simples e didática proporcionando ao usuário eficiência e praticidade seja na elaboração de projeto, seja na análise de uma rede de esgoto. Esta página apresenta duas tabelas distintas tanto para entrada de dados quanto para os resultados. À direita da tela, tem a imagem de um esboço do perfil do trecho assentado e, logo abaixo dela, a imagem da tabela necessária para o cálculo da declividade mínima.

Na figura 18 é realizada a linha que exibe o resultado da declividade de projeto, cujo valor e comparação com a literatura está na tabela 2.

Dados de Entrada			
Início de Plano		Fim de Plano	
Vazão de Montante (l/s)	0	Vazão de Montante (l/s)	0
Vazão de Jusante (l/s)	0,39	Vazão de Jusante (l/s)	0,68
Dados do Trecho			
Cota do terreno à Montante (CTM - m)	10	Cota do terreno à Jusante (CTJ - m)	9
Comprimento do trecho (L - m)	70	Coefficiente de Manning (n)	0,013
A (tabelas)	0,0088	B (tabelas)	0,47
Recobrimento à Montante (RM/min - m)	0,90	Diâmetro Mínimo (mm)	150
Calcular			
Resultados			
Características da tubulação		Escoamento	
D75 (mm)	60,21	Tensão Trativa (Pa)	0,453
Diâmetro comercial (mm)	150	Tipo de Escoamento	SUBCRÍTICO
Declividade mínima (l/min - m/m)	0,0048		
Declividade do terreno (ter - m/m)	0,0143	Declividade de projeto (proj - m/m)	0,0143
Verificações		Verificação	
Vazão de cheia (Qcheia - l/s)	18,233	Cota do coletor à montante (CCM - m)	8,990
Velocidade de cheia (Vcheia - m/s)	1,030	Cota do coletor à jusante (CCJ - m)	7,980
Velocidade Inicial (V1 - m/s)	0,618	Recobrimento à Jusante (RJ - m)	0,90
Velocidade Final (V2 - m/s)	0,618	Profundidade à Montante (PM - m)	1,080
Velocidade Crítica (Vc - m/s)	0,470	Profundidade à Jusante (PJ - m)	1,080
V/D (início de plano)	0,190	V/D (fim de plano)	0,190



CTM - Cota do Terreno à Montante
CTJ - Cota do Terreno à Jusante
RM - Recobrimento à Montante
RJ - Recobrimento à Jusante
CCM - Cota do Coletor à Montante
CCJ - Cota do Coletor à Jusante
L - Comprimento do Trecho
D - Diâmetro

$I_{min} = A \cdot Q_1^B$

Coeficiente de Manning	Coeficientes (Imin)	
	A	B
0,009	0,0065	0,49
0,010	0,0061	0,49
0,011	0,0058	0,49
0,012	0,0056	0,48
0,013	0,0055	0,47
0,014	0,0051	0,47
0,015	0,0049	0,47
0,016	0,0048	0,47

Figura 18. Página Dimensionamento De Um Trecho

Vale salientar que a imagem do perfil do trecho muda conforme o resultado da declividade do terreno. Esta alteração ocorre para representar de maneira simplificada o assentamento da tubulação em terrenos em declive (figura 19a), em aclave (figura 19b) ou planos (figura 19c).

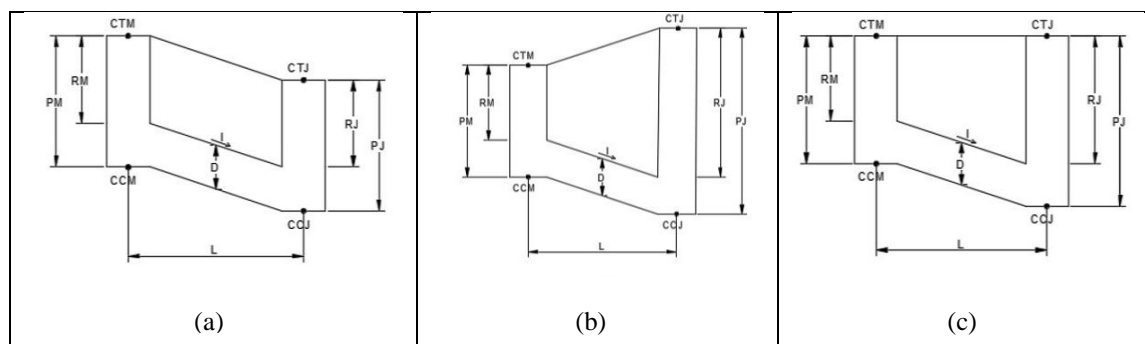


Figura 19. Imagem dinâmica

Sendo que:

CTM – Cota do coletor a montante
RM – Recobrimento a montante
PM – Profundidade a montante
CCM – Cota do coletor a montante
D – Diâmetro da tubulação

CTJ – Cota do terreno a jusante
RJ – Recobrimento a jusante
PJ – Profundidade a jusante
CCJ – Cota do coletor a jusante
L – Comprimento do trecho

A tabela 3 resume todos os parâmetros utilizados na página. A entrada de dados é composta por: vazão de montante (início e fim de plano), vazão de jusante (início e fim de plano), rugosidade, coeficientes A e B, cotas do terreno (montante e jusante), comprimento do trecho, e recobrimento mínimo.

A página retorna para o usuário os seguintes parâmetros: D75, diâmetro comercial, declividade – mínima, terreno, projeto – tensão trativa, tipo de escoamento, recobrimento a jusante, cota do coletor (montante e

jusante), profundidade (montante e jusante), velocidades – cheia, inicial, final, crítica – vazão de cheia e Y/D (início e fim de plano).

Tabela 5. Entrada e Saída de dados da página Dimensionamento De Um Trecho

Entrada de Dados			
Início e fim de plano (l/s)	Vazão de Montante	<u>Dados do Trecho</u>	
	Vazão de Jusante	Cota do terreno	Montante
			Jusante
		Comprimento do trecho (m)	
Rugosidade		Recobrimento mínimo (m)	
A (tabela*)		B (tabela*)	
Saída de Dados			
<u>Características da tubulação</u>		<u>Verificações</u>	
D75(mm)	Diâmetro comercial (mm)	Velocidades(m/s)	cheia
declividade (m/m)	mínima		inicial
	terreno		final
	projeto		crítica
<u>Escoamento</u>		Vazão de Cheia (l/s)	
Tensão Trativa (Pa)	Tipo de Escoamento	Y/D (início e fim de plano)	
<u>Cotas - profundidades</u>			
Recobrimento a Jusante (m)			
Cota do coletor (montante e jusante)			
Profundidade (montante e jusante)			

PÁGINA: VERTEDOUROS

Essa página oferece duas opções para dimensionamento de vertedouro: geometria retangular e em perfil *Creager*.

Para dimensionamento de vertedouro retangular, a estética aplicada é simples e direta, conforme a figura 20. Há duas tabelas alocando a entrada de dados e os resultados, e a imagem da seção transversal do canal com suas respectivas dimensões.

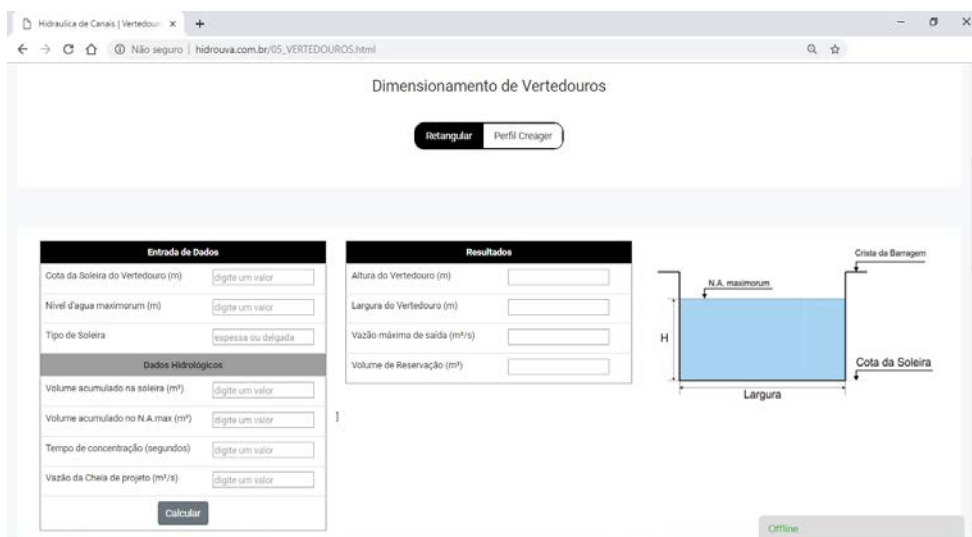


Figura 20: Página Vertedouro retangular

A entrada de dados é composta pelos seguintes itens: cota da soleira, nível de água maximumum, tipo de soleira, tempo de concentração, vazão de cheia, volume acumulado – na cota da soleira, e no nível de água maximumum. Os resultados exibidos para o usuário são: altura, largura, vazão máxima de saída e volume de reservação, conforme mostra a tabela 6.

Tabela 6. Entrada e Saída de dados da página Vertedouro retangular

Entrada de Dados		
Cota da Soleira (m)	Dados Hidrológicos	
Nível d'água maximumum (m)	Volume	Soleira (m³)
Tipo de Soleira	Acumulado (m³)	N.A. max
Tempo de Concentração (s)		
Vazão de Cheia (m³/s)		
Saída de Dados		
Altura (m)	Largura (m)	
Vazão máxima de saída (m³/s)	Volume de Reservação (m³)	


A estrutura da seção de perfil *Creager* (figura 21) consiste em cinco tabelas: entrada de dados, resultados, dados do ábaco onde há um link para download direto dos ábacos caso seja necessário, ponto c, ponto t, ponto b, ponto d e, no canto direito, há uma imagem exemplificando a geometria do vertedouro. A figura 21 apresenta a captura de tela desta página e o valor de H_0 é realçado para a análise da tabela 2.

Retornar Perfil Creager

Entrada de Dados	
Vazão milenar (m³/s)	0,30
Largura do canal (m)	1,0
Coefficiente de descarga	2
Cota da Soleira (m)	0
Cota do Topo da Rocha (m)	0
Calcular	

Resultados	
Altura do Muro (m)	0,00
Descarga unitária (m³/s.m)	0,300
H0 (m)	0,800
h0 (m)	0,000
há (m)	0,000
há/H0	0,000

Desenho Esquemático de um Vertedouro em Perfil Creager



H = Altura do muro
 H_0 = altura de lâmina d'água
 h_0 = altura d'água acima do ponto C
 $h_a = H_0 - h_0$ (abatimento da cota d'água imediatamente após a passagem pelo vertedouro)
 Pontos coordenados: C, T, B, D
 P = ponto de inflexão
 R = raio de curvatura
 a = ângulo do arco de curvatura (pelo vertedouro)

Dados do Abaco					
Xc/H0	Yc/H0	R1/H0	R2/H0	Kc	n
<input type="text" value="Digite um valor"/>	<input type="text" value="Digite um valor"/>	<input type="text" value="Digite um valor"/>	<input type="text" value="Digite um valor"/>	<input type="text" value="Digite um valor"/>	<input type="text" value="Digite um valor"/>
Calcular					

PONTO C	
Xc	<input type="text"/>
Yc	<input type="text"/>
R1	<input type="text"/>
R2	<input type="text"/>

PONTO T	
Inclinação da reta	<input type="text" value="Digite um valor (0,00)"/>
Calcular	
Xt	<input type="text"/>
Yt	<input type="text"/>

PONTO B	
Velocidade	<input type="text"/>
X (pés)	<input type="text"/>
Raio (m)	<input type="text"/>
Raio adotado (m)	<input type="text" value="Digite um valor"/>
Calcular	
Xb	<input type="text"/>
Yb	<input type="text"/>

PONTO D	
Ângulo (graus)	<input type="text"/>
reta BPI (m)	<input type="text"/>
Xd	<input type="text"/>
Yd	<input type="text"/>

Figura 21: Página Vertedouro perfil Creager

Em suma, o conjunto de parâmetros que compõem a entrada de dados são: vazão milenar, largura do canal, cota da soleira, coeficiente de descarga e cota do topo da rocha. Os resultados apresentados são: altura do muro, descarga unitária, H_0 , h_0 , h_a , h_a/H_0 .

Os dados solicitados provenientes do ábaco são: X_c/H_0 , Y_c/H_0 , R_1/H_0 , R_2/H_0 . No Ponto C são exibidos os seguintes fatores: X_c , Y_c , R_1 , R_2 . No ponto T é solicitado o valor da inclinação da reta o que resulta nas coordenadas X_t e Y_t .

No ponto B são mostrados os dados: velocidade, X, raio e em seguida pede-se o raio adotado pelo usuário para então gerar as coordenadas do ponto. Por fim, no ponto D são mostrados o ângulo, a extensão da reta BPI e as coordenadas do ponto (X_d , Y_d).

Tabela 7. Entrada e saída de dados da página Vertedouro Perfil Creager

Entrada de Dados		Resultados	
Vazão Milenar (m³/s)	Largura (m)	Altura do Muro (m)	
Cota da soleira (m)		Descarga Unitária (m³/s.m)	
Coeficiente de descarga		H0 (m)	h0 (m)
Cota do topo da rocha (m)		há (m)	há/H0
Dados do Ábaco			
Xc/H0	Yc/H0	R1/H0	R2/H0
K		n	
Ponto C	Ponto T	Ponto B	Ponto D
Xc	Inclinação da reta	Velocidade	Ângulo (graus)
		X(pés)	reta BPI (m)
Yc	Xt	Raio (m)	Xd
		Raio adotado (m)	
R1	Yt	Xb	Yd
R2		Yb	

CONCLUSÃO / RECOMENDAÇÕES

A facilidade de acesso à internet por meio de vários dispositivos faz com que aplicações web sejam utilizadas com mais frequência. Através da análise dos resultados obtidos com a aplicação web desenvolvida é possível constatar que o modelo apresenta uma estética agradável, adaptando-se a todas as resoluções de tela. Além da obtenção de dados satisfatórios, quanto à confiabilidade dos resultados, devido à compatibilidade com os dados de referência.

Espera-se que o resultado final desse trabalho seja uma ferramenta bastante aplicada por profissionais e alunos no aprendizado da hidráulica de canais, e que o uso desta aplicação possa motivar a criação de outros modelos ligados às diversas áreas da engenharia.

Sugere-se a continuidade do site HIDROUVA destacando outras áreas a serem acrescentadas como por exemplo hidrologia, mecânica dos fluídos, redes de abastecimento de água que abordem os principais assuntos trabalhados a fim de enriquecer o conjunto de serviços disponíveis na plataforma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO NETTO, José Martiniano de ; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández Y. *Manual de Hidráulica*. 9. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2015. ISBN 978-85-212-0500-5.
2. BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Lara Pinto. *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. Belo Horizonte: UFMG, 2014.
3. BAPTISTA, Márcio Benedito *et al* (org.). *Hidráulica Aplicada*. 2. ed. rev. e aum. Porto Alegre - RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2014. 628 p. ISBN 85-88686-09-0.
4. BRAGA, Pedro Henrique Alves; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de; FREIRE, Guilherme Mendonça. Desenvolvimento de um aplicativo android para a hidráulica de canais. *Revista eletrônica de engenharia civil*, Goiânia - GO, 29 mar. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/43710>. Acesso em: 3 abr. 2019.
5. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas. São Paulo: Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, 2006.
6. PEREIRA, José Almir Rodrigues; SILVA, Jaqueline Maria Soares da. *Rede Coletora de Esgoto Sanitário: Projeto, Construção e Operação*. 2. ed. rev. e aum. Belém: [s. n.], 2010. 301 p. ISBN 978-85-911185-0-2.

7. POMPÊO, C. A; SAVIETTO, H. *Drenagem de pavimentos: sistema BDL*. In: Benedito Braga; Carlos Tucci; Marcos Tozzi. (Org.). *Drenagem Urbana - Gerenciamento, simulação, controle*. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, UFRGS, p.91-100. 1997.
8. PORTO, Rodrigo de Melo. *Hidráulica Básica*. 4. ed. São Carlos - SP: EESC USP, 2006. 519 p. ISBN 85-7656-084-4.
9. PRUSKI, F. F., SILVA, D. D., TEIXEIRA, A. F., CECÍLIO, R. A. SILVA, J. M. A., GRIEBELER, N. P. *Hidros - Dimensionamento de sistemas hidroagrícolas*. Viçosa: UFV, 2006. 259p.
10. UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. *Spillways*. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. *Design of Small Dams*. Washington, DC: U.S Government Printing Office, 1987.
11. ZAQUE, R. A. M; MENEZES FILHO, F. C. M. *DIMGAP 1.0: Aplicativo para o dimensionamento de galerias de águas pluviais e análise de custos envolvidos*. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió. 2011.