
ANÁLISE DA RUGOSIDADE DO CANAL HIDRÁULICO IMPLANTADO NO LABORATÓRIO DA ESCOLA DE ENGENHARIA MACKENZIE

Liliane Frosini Armelin

Maria de Fátima Souza Curi

Viviane Ioannou Souza

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Uma das importantes questões discutidas atualmente na engenharia hidráulica é a rugosidade do conduto abordado em um projeto. Essa variável se refere às imperfeições do fundo e das paredes e é o principal fator de resistência ao escoamento. O canal hidráulico retangular adquirido da empresa Armfield para fins didáticos e de pesquisa, implantado no laboratório da Escola de Engenharia Mackenzie, apresenta um coeficiente de rugosidade, que não foi informado pelo fabricante, composto por dois materiais diferentes: aço inoxidável no fundo e vidro nas paredes. Este artigo teve o objetivo de determinação experimental dessa variável. Os resultados foram organizados em gráficos que podem ser facilmente consultados para a adoção do coeficiente mais adequado para cada situação a ser abordada na utilização do canal hidráulico.

Palavras-chave: Canal hidráulico didático. Armfield. Rugosidade do canal.

1 INTRODUÇÃO

A Hidráulica é uma das disciplinas básicas da Engenharia Civil que estuda os escoamentos em condutos livres em que ocorre a atuação da pressão atmosférica e em condutos forçados em que a pressão atuante é diferente da atmosférica. O seu estudo é importante para que o engenheiro esteja capacitado para a execução de projetos de abastecimento de água, rede coletora de esgoto, drenagem de águas pluviais, canalizações, hidrovias e irrigação, entre outras obras. Uma das melhores metodologias para o entendimento do assunto se dá pela parte aplicada, que consiste em laboratórios em que o aprendizado acontece por meio de observações, simulações e medições de características dos escoamentos.

O canal de hidráulica do curso de Engenharia Civil, localizado no Campus Higienópolis da UPM, foi importado da Inglaterra e entrou em operação no primeiro semestre de 2016. Juntamente, foram adquiridos os acessórios, como vertedores, medidores e comportas, fundamentais para as aulas experimentais. A identificação estipulada pelo fabricante é “*Glass sided tilting flume and accessories S6-MkII-10-xx-x Self-contained tilting flume, 10 meter long working section*” (ARMFIELD, 2013).

As características principais desse equipamento são: canal de 10 metros de comprimento com paredes em vidro e fundo em aço inoxidável. Seção transversal de forma retangular com 300 mm de base e 500 mm de altura. A alimentação da água é feita através de uma bomba hidráulica que trabalha afogada e confere recirculação da água que é acumulada em quatro reservatórios de capacidade de 1.000 litros cada. No final do canal há uma comporta, responsável pela redução ou elevação da linha da água, conforme a necessidade, e, no início, um dispositivo tranquilizador, cuja finalidade é permitir a entrada da água com a menor turbulência possível, característica essa que pode alterar a precisão das medições. A declividade de fundo pode assumir vários valores, pois existe um sistema mecânico de mudança, até mesmo para declividades negativas. No fundo, existem orifícios de aproximadamente 300 mm de diâmetro que permite a instalação de acessórios ou de esgotamento da água caso não seja possível ser realizado pelos meios usuais.

A vazão é controlada por uma válvula do tipo borboleta instalada na tubulação que alimenta a bomba localizada abaixo do canal. A medição da vazão em litros/s é feita por medidor eletromagnético ligado a um painel de controle.

A Figura 1 mostra algumas vistas do equipamento instalado. Ao lado do equipamento, foram implantadas passarelas para permitir medições, troca de acessórios e visualização superior do escoamento.

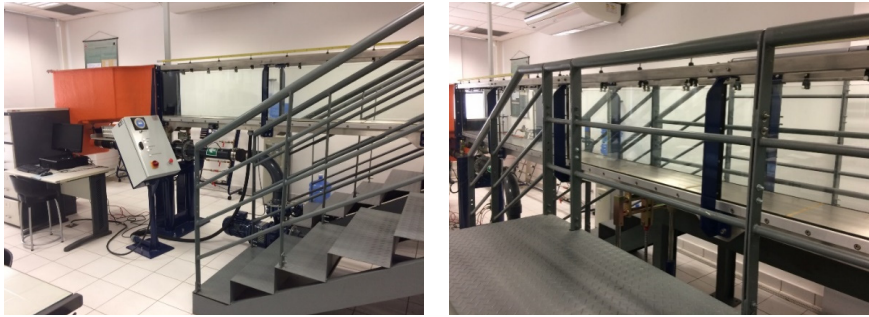


Figura 1 Vista do painel de comando, reservatório de alimentação e canal hidráulico.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

O equipamento, no período de funcionamento, apresentou pontos positivos, como visualização do escoamento, e apresentou alguns aspectos deficientes. O canal foi projetado apenas para fins didáticos e para a visualização do escoamento, e, como dito anteriormente, a seção transversal tem base executada em aço inoxidável e suas paredes em vidro (materiais muito lisos). Tais características, conjuntamente, resultaram em escoamento muito rápido, o que dificulta as medições de altura de linha d'água e impõe ao escoamento sempre as mesmas condições (altas velocidades e pequenas profundidades, ou seja, escoamento torrencial).

A base e as paredes executadas de material muito liso conferiram ao canal uma rugosidade muito baixa. A rugosidade do conduto é uma variável de extrema importância, pois é o fator que confere resistência ao escoamento de fluidos e, portanto, influencia a capacidade de vazão.

Uma vez que a velocidade é alta, a linha d'água se altera, não encontrando o equilíbrio do escoamento uniforme, o que prejudica as investigações das características hidráulicas de um escoamento.

2 OBJETIVOS

No geral, o objetivo principal é o conhecimento mais aprofundado das características do canal experimental, de modo a facilitar sua utilização. Este estudo auxiliará nos futuros experimentos a serem efetuados no laboratório.

Isso foi feito por meio da determinação de uma equação que relaciona a rugosidade do canal com a vazão, a linha d'água e a declividade longitudinal de fundo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o entendimento do canal, é necessária uma revisão nos conceitos hidráulicos estabelecidos. Entre os tipos de escoamentos existentes, o escoamento uniforme é o mais indicado para obtenção de bons resultados, portanto, é o assunto que terá mais foco neste artigo.

Nesse tipo de escoamento observa-se a não variação dos parâmetros envolvidos em todas as seções transversais, como a distribuição das velocidades, a profundidade da água, bem como a área da seção transversal. Além disso, a linha do perfil da superfície do líquido deve estar paralela com a linha do fundo do canal (Figura 2). Então, pode-se dizer que para o regime uniforme todas as características hidráulicas em cada seção independem do fator tempo.

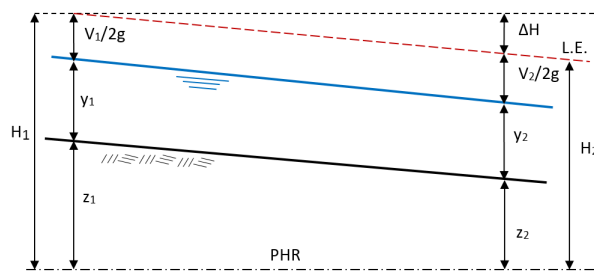


Figura 2 Seção longitudinal de um escoamento uniforme.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Analisando a figura acima, se o escoamento é uniforme, temos:

- Altura da linha da água: $y_1 = y_2$.
- Termo cinético da energia: $\frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g}$.

O escoamento uniforme é obrigatoriamente permanente, pois, se não há modificação da área molhada, certamente não haverá acréscimo e nem redução de vazão.

Esse tipo de escoamento pode ocorrer em condutos livres, que podem ter as mais diversas formas de seção transversal, sendo muito usuais as formas retangular e trapezoidal. Entre os materiais utilizados em obras de canalização estão presentes o concreto, a terra, as rochas ou o gabião.

De modo geral, canais são conhecidos como condutos livres de água, isto é, a seção pode ser aberta ou até mesmo fechada, e o que vai determinar se o conduto é livre é a água estar sujeita à pressão atmosférica em algum ponto do escoamento (AZEVEDO NETO *et al.*, 1998).

Sellin (1969) destaca que as principais características para a descrição do fluxo da água em um canal são: profundidade, largura, velocidade da água e declividade do canal. Além disso, pode ser considerado mais importante ainda a rugosidade das paredes e do fundo do canal, porém não podem ser medidas diretamente, apenas por efeito do fluxo.

Segundo Porto (2006), pode-se dividir a equação básica para o cálculo de canais em regime uniforme em duas partes. Uma delas é a parte que envolve parâmetros necessários para o dimensionamento da seção, como a vazão, o coeficiente de Manning (que será mais detalhado ao longo deste artigo) e a declividade. A outra parte envolve os parâmetros geométricos da seção do canal, sendo eles a área molhada e o raio hidráulico.

A vazão normalmente é conhecida ou imposta em um canal. É um fator dependente direto da área da seção transversal e da velocidade média que o fluido escoou, então, se a velocidade média e a área devem permanecer constantes em um canal cujo escoamento é uniforme, a vazão também será.

A declividade influencia diretamente na linha d'água, mesmo que seja para uma mesma vazão, pois, quanto maior for, maior é a velocidade de escoamento da água.

O raio hidráulico é a razão entre a área da seção transversal ocupada pelo fluido e o perímetro molhado. É necessária sua determinação para obter em números o que indica a eficiência do canal, ou seja, quanto maior o raio hidráulico, maior será a vazão transportada, considerando uma área molhada constante, em um canal com mesma declividade e natureza das paredes e fundo.

Para que o escoamento de qualquer fluido aconteça, se faz necessária uma força que acelere o seu movimento. Quando essa força é aplicada, ocorre outra força, de resistência contrária ao movimento do fluido, devido às saliências e reentrâncias contidas na região de contato entre o fluido e o perímetro molhado (Figura 5). Tal resistência (atrito) é a principal responsável pela perda de carga em escoamentos uniformes e gradualmente variados, bem como é função da viscosidade do fluido, além da rugosidade do canal.

Essa rugosidade é a característica mais importante que causa resistência ao escoamento, e pode ser observada nas paredes e no fundo do conduto. Rugosidade é um conjunto de desvios microgeométricos que todos os materiais apresentam, sejam eles industrializados ou naturais. São caracterizados pelas pequenas saliências e reentrâncias presentes na superfície.

A primeira equação considerada para escoamento uniforme foi a Fórmula de Chézy (Equação 1), descrita a seguir. Segundo Chézy, a rugosidade do material interfere na capacidade de vazão. O coeficiente de Chézy, C , é o parâmetro que inclui a

rugosidade na equação, no entanto, é muito difícil caracterizar a resistência das paredes e do fundo em razão da extensa variedade de formas geométricas e revestimentos que certamente se alteram ao longo do tempo (PORTO, 2006).

$$V = C \times \sqrt{Rb \times i} \quad (1)$$

Onde:

V = Velocidade de escoamento (m/s)

C = Coeficiente de Chézy

Rb = Raio hidráulico (m)

i = Declividade (m/m)

Posteriormente, foi criada a fórmula que passou a ser a mais utilizada nos Estados Unidos, a Fórmula de Manning.

Na equação de Manning (Equação 2), a presença da rugosidade é descrita pelo coeficiente η . Apesar de esse coeficiente ser muito utilizado, ele não possui um significado físico determinado.

$$Q = \frac{1}{\eta} \times S \times Rb^{2/3} \times \sqrt{i} \quad (2)$$

Onde:

Q = Vazão (m³/s)

η = Coeficiente de rugosidade (Manning)

S = Área molhada (m²)

Rb = Raio hidráulico (m)

i = Declividade (m/m)

Mesmo assim, ocorreu a popularização de tal equação, pelo fato de o autor considerar o efeito que as paredes e o fundo do canal podem provocar no escoamento de um fluido de maneira mais precisa: o coeficiente de rugosidade, que descreve a aspereza do revestimento do canal foi disponibilizado em tabelas geradas com resultados de laboratório para os mais diversos tipos de revestimentos. Além disso, a simplicidade e a influência da técnica norte-americana são fatores consideráveis.

O coeficiente dependerá dos requisitos hidráulicos a serem considerados no canal, ou seja, o tamanho de grãos que compõem o leito, o grau de sinuosidade em rios e até mesmo o nível de superfície em que a água estiver (SELLIN, 1969).

A Tabela 1 apresenta uma relação entre o material do conduto com o coeficiente de rugosidade de Manning, assim como as características citadas anteriormente. Leva-se em consideração as condições em que se encontra o material, impondo quatro situações do conduto que variam de “muito boas” a “más”.

Essas condições proporcionam uma aproximação cada vez maior e assim o cálculo se torna mais preciso.

TABELA 1

Tabela dos coeficientes de rugosidade para a fórmula de Manning.

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais com fundo em terra e talude com pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais com leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento em concreto	0,012	0,014	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012	0,014	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0,010	0,012	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,012	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido com alcatrão	0,011	0,012	0,013	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual anterior, porém com pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espriadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espriadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: Adaptada de Porto (2006).

Em resumo, a equação pode ser usada para o cálculo da profundidade do canal, caso a vazão seja conhecida. Isso se deve ao fato de a profundidade ser calculada indiretamente, ou seja, o uso da equação funciona sob o método de tentativa e erro, no qual se tem como resposta a profundidade do canal.

4 METODOLOGIA

A metodologia a ser aplicada consiste na elaboração de ensaios no canal utilizando diferentes declividades longitudinais de fundo. Para cada uma dessas, realizaram-se também variações nas vazões, com os valores de: 5 L/s; 12 L/s; 19 L/s e 26 L/s, pelo manuseio do painel de controle do canal (Figura 3).

Inicialmente, considerou-se o regime de escoamento do canal como uniforme e permanente. Foram estabelecidas a vazão da bomba e a declividade do fundo do canal.



Figura 3 Painel de controle do canal.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Após alguns segundos, houve a estabilização da vazão. O escoamento passou a ser uniforme após tentativas do nivelamento da profundidade com o auxílio da ponta limnimétrica e do manuseio da comporta (Figura 4).

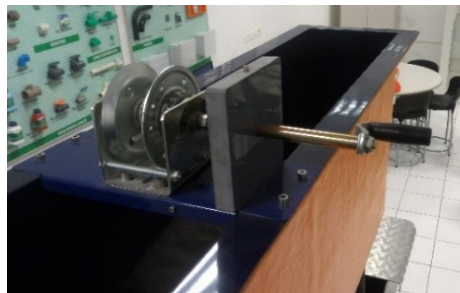


Figura 4 Manivela para manuseio da comporta.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Foram medidas as profundidades em quatro pontos ao longo do canal (Figura 5), para obtenção de uma média simples das alturas de linha da água.



Figura 5 Canal hidráulico em funcionamento.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Com base na fórmula de Manning (Equação 2) e a partir das quatro vazões e declividades preestabelecidas, dos parâmetros geométricos (área e perímetro molhado) conhecidos e, finalmente, da leitura das profundidades, será possível obter os coeficientes de rugosidade.

$$i_i \rightarrow \begin{cases} Q_1 \rightarrow y_1 \rightarrow \eta_1 \\ Q_2 \rightarrow y_2 \rightarrow \eta_2 \\ Q_3 \rightarrow y_3 \rightarrow \eta_3 \\ Q_4 \rightarrow y_4 \rightarrow \eta_4 \end{cases}$$

Para que haja uniformidade no canal, as leituras nos pontos 1 e 4 foram verificadas para ver se apresentavam a mesma altura de linha d'água, condição para a utilização da Equação de Manning (Equação 2).

Primeiramente foi notado que, independentemente da vazão trabalhada, o canal assume uma linha d'água ondulada, como pode ser visto nas Figuras 6 e 7. Além disso, a severidade dessa ondulação aumentou à medida que se alterava a vazão e/ou a declividade.

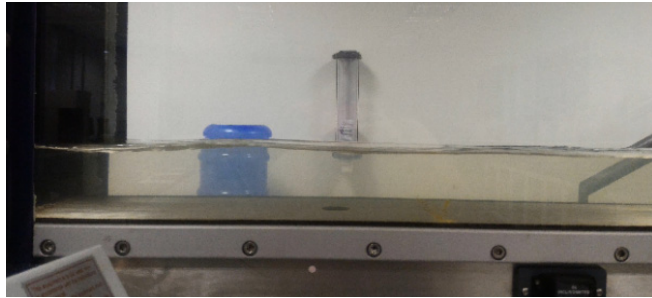


Figura 6 Linha d'água na saída do reservatório de alimentação.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

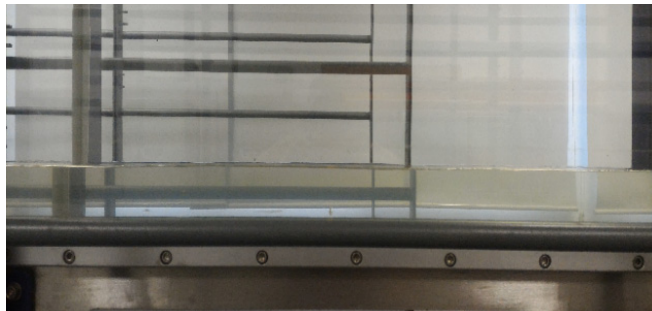


Figura 7 Linha d'água na parte central do canal.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Na tentativa de tranquilizar a linha da água, foi colocado no reservatório de alimentação um tranquilizador de fluxo, que consiste em um rolo de polímero vazado, o qual pouco ajudou, pois os principais fatores dessa instabilidade são as altas velocidades e a reduzida largura do canal.

5 SIMULAÇÕES NO CANAL

Essa etapa consiste em ensaios no canal hidráulico, na qual cinco opções de declividade de fundo foram testadas para as quatro vazões estabelecidas. Dessas cinco opções, três foram descartadas, pois uma ou mais opções de vazão resultaram em escoamentos crítico e torrencial, cujas condições hidráulicas alteraram ainda mais a linha da água dificultando as medições, que já estavam prejudicadas pelas velocidades altas.

Sendo assim, o esquema de realização dos ensaios ficou estabelecido da seguinte maneira:

$$i_1 = \frac{1}{500} \rightarrow \begin{cases} Q_1 = 05\text{ l/s} \rightarrow \eta_1 \\ Q_2 = 12\text{ l/s} \rightarrow \eta_2 \\ Q_3 = 19\text{ l/s} \rightarrow \eta_3 \\ Q_4 = 26\text{ l/s} \rightarrow \eta_4 \end{cases}; \quad i_2 = \frac{1}{400} \rightarrow \begin{cases} Q_1 = 05\text{ l/s} \rightarrow \eta_1 \\ Q_2 = 12\text{ l/s} \rightarrow \eta_2 \\ Q_3 = 19\text{ l/s} \rightarrow \eta_3 \\ Q_4 = 26\text{ l/s} \rightarrow \eta_4, \end{cases}$$

Sendo, “ i ” a declividade do canal e “ Q ” a vazão volumétrica.

5.1 Coleta de dados

A Tabela 2 mostra os dados coletados no canal hidráulico.

TABELA 2

Coleta de dados de altura de linha da água “ y ”.

$i = 0,002 \text{ m/m} = 1/500$				
Q	0,005	0,012	0,019	0,026
y	0,0378	0,0671	0,0912	0,1117
$i = 0,0025 \text{ m/m} = 1/400$				
Q	0,005	0,012	0,019	0,026
y	0,0344	0,0592	0,0812	0,1014

Fonte: Elaborada pelas autoras.

5.2 Interpretação dos dados

Com os dados coletados, determinou-se o coeficiente de Manning para cada ensaio realizado. As Tabelas 3 e 4 mostram os resultados.

TABELA 3

Determinação do Coeficiente de Manning ($i = 1/500 \text{ m/m}$).

$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$	0,005	0,012	0,019	0,026
$y \text{ (m)}$	0,0378	0,0671	0,0912	0,1117
$S \text{ (m}^2)$	0,01134	0,02013	0,02736	0,03351
$P \text{ (m)}$	0,3756	0,4342	0,4824	0,5234
$Rh \text{ (m)}$	0,03019	0,04636	0,05672	0,06402
$V \text{ (m/s)}$	0,44092	0,59613	0,69444	0,77589
F	0,72406	0,73475	0,73419	0,74120
η	0,00983	0,00968	0,00951	0,00922

Fonte: Elaborada pelas autoras

TABELA 4

Determinação do Coeficiente de Manning ($i = 1/400$ m/m).

Q (m ³ /s)	0,005	0,012	0,019	0,026
y (m)	0,0344	0,0592	0,0812	0,1014
S (m ²)	0,01032	0,01776	0,02436	0,03042
P (m)	0,3688	0,4184	0,4624	0,5028
Rh (m)	0,02798	0,04245	0,05268	0,06050
V (m/s)	0,48450	0,67568	0,77997	0,85470
F	0,83402	0,88663	0,87390	0,85696
η	0,00951	0,00900	0,00901	0,00902

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Com base nos coeficientes e as vazões preestabelecidas, foi gerado o gráfico da Figura 8, que ilustra a variação do coeficiente de rugosidade de Manning com a vazão no canal para as declividades de fundo do canal i , estabelecidas para este estudo:

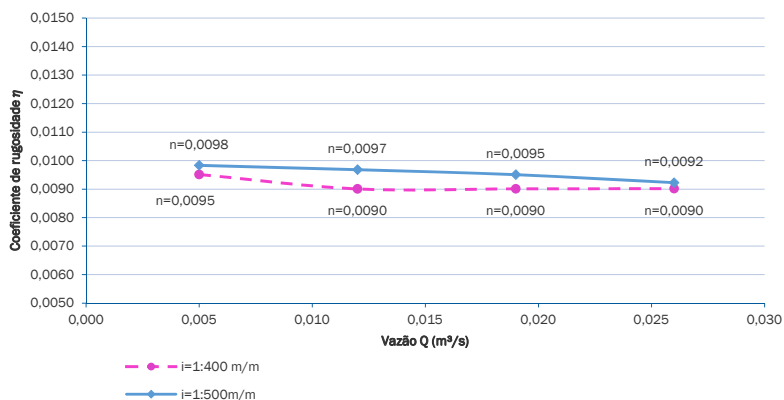


Figura 8 Variação do coeficiente de rugosidade em relação à vazão e à declividade de fundo do canal.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Analisando a Figura 8, pode-se verificar que há uma tendência de redução no coeficiente com o aumento da vazão. Essa característica era esperada, pois o aumento da vazão implica no aumento da linha da água, que resulta em maior influência do material das paredes no escoamento, vidro, do que do material do fundo, aço inoxidável. Sendo o vidro mais liso que o aço inoxidável, o coeficiente resultante será menor à medida que a linha da água aumenta.

Outra característica importante observada é a não coincidência entre as linhas do gráfico referentes às declividades de fundo 1/500 m/m e 1/400 m/m, situação provável, pois as diferentes declividades geraram diferentes alturas de linha da água, sendo menores aquelas em que a velocidade foi maior, por predominar a energia cinética. Nesse caso, isto aconteceu na declividade 1/400 m/m. A Figura 9 ilustra melhor essa situação.

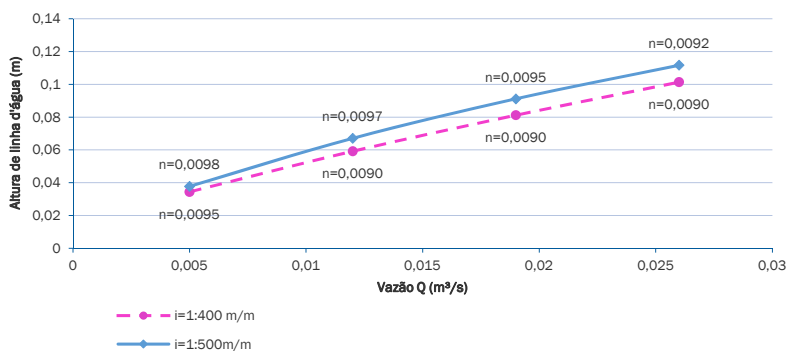


Figura 9 Variação da altura da linha d'água y em relação à vazão e a declividade de fundo do canal.

Fonte: Elaborada pelas autoras.

6 RESULTADOS

Os resultados mostram que a rugosidade de Manning apresenta uma pequena variação com a alteração da linha da água e isso ocorre porque as medições se referem a uma rugosidade composta relacionada ao aço inoxidável do fundo e ao vidro das paredes.

Apesar de ambos os materiais do canal serem pouco rugosos, o menos rugoso é o vidro, o que explica a redução do coeficiente conforme a altura da linha da água se eleva.

A declividade de fundo também interfere no coeficiente, pois tem influência na velocidade média do escoamento e, portanto, no aumento da energia cinética. Consequentemente, para uma mesma vazão, com o aumento da energia cinética do escoamento, ocorre redução na energia potencial, o que significa redução na profundidade do canal.

Para a declividade de fundo menor $i = 1/500$ m/m, que origina o escoamento mais lento, o coeficiente de declividade médio é $n = 0,00950$. A declividade de fundo $i = 1/400$ m/m, que origina o escoamento mais rápido, apresenta um coeficiente médio de $n = 0,00925$.

A variação dos valores apresentados parece mínima, no entanto, esse coeficiente exerce uma significativa influência na capacidade de vazão do conduto e um equívoco na sua escolha para dimensionamento pode resultar em erros na elaboração de projetos relacionados a recursos hídricos.

Para condutos pequenos, como o que está instalado no Laboratório de Hidráulica, optou-se por trabalhar com um coeficiente de rugosidade médio simplificado de $n = 0,010$, pois o objetivo principal é o didático. Por ser o canal de dimensões reduzidas, as discrepâncias observadas nos valores não alteram significativamente as vazões veiculadas. Essas alterações estão em torno de 3% para cada declividade de fundo diferente.

Se o objetivo estiver relacionado a alguma pesquisa, seria interessante levar em consideração essas observações para que os resultados a serem alcançados em alguma investigação sejam os mais aproximados da realidade quanto possível.

Para futuros estudos, pretende-se trabalhar com um coeficiente de rugosidade equivalente, com ponderação realizada através do perímetro molhado para o cálculo da vazão e validação deste por meio de ensaios realizados para declividades distintas.

ANALYSIS OF THE ROUGHNESS OF THE HYDRAULIC CHANNEL IMPLANTED IN THE LABORATORY OF THE MACKENZIE SCHOOL OF ENGINEERING

Abstract

One of the important issues currently discussed in hydraulic engineering is the roughness of the pipeline in a project. This variable refers to the imperfections of the bottom and walls and is the main factor of resistance to flow. The Armfield Rectangular hydraulic channel for didactic and research purposes, implanted in the laboratory of the Mackenzie School of Engineering, presents a roughness coefficient composed by 2 different materials: stainless steel of the bottom and glass in the walls. This research had the objective of experimental determination of this variable: The composed roughness. The results from this study were available in graphs that can be used for the adoption of the most adequate coefficient for each situation to be approached in the use of the hydraulic channel.

Keywords: Education hydraulic channel. Armfield. Channel roughness.

REFERÊNCIAS

ARMPFIELD INC. *Engineering teaching & research equipment*. Instruction manual. Hampshire: Armfield Inc., 2013.

AZEVEDO NETTO, J. M. *et al. Manual de hidráulica*. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

SELLIN, R. P. H. *Flow in channels*. Belfast: Macmillan And Co Ltd., 1969.

PORTO, R. M. *Hidráulica básica*. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540p.

Contato

Liliane Frosini Armelin
liliane.armelin@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em março de 2018.
Aprovado em agosto de 2018.