



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA LINHA D'ÁGUA EM UMA SEÇÃO DE TRANSIÇÃO DE UM CANAL COM MOVIMENTO GRADUALMENTE VARIADO, EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE DOS TALUDES.

Rejane Felix Pereira¹; Juliana Alencar Firmo de Araújo²; Raquel Jucá de Moraes Sales³; Jessyca Costa Barros⁴ & Raimundo de Oliveira Souza⁵

RESUMO – Este trabalho trata de uma análise do comportamento da linha d'água em um canal prismático, com extremidade livre, onde a água deverá sofrer uma queda livre, tomando esta seção como uma seção de controle. Para este estudo foram consideradas algumas simulações, onde as profundidades do canal são calculadas em função de diferentes parâmetros. O estudo considerou um agrupamento de vários parâmetros para cada variação dos taludes das paredes do canal. A equação diferencial que descreve o perfil das profundidades foi resolvida pelo método do passo a passo. Os resultados mostram que estes parâmetros desempenham importantes papéis no comportamento da linha d'água, para diferentes ângulos dos taludes.

ABSTRACT – This paper deals with an analysis of the behavior of the waterline in a prismatic channel, with free bound, where the water will suffer a free fall, turning this section as a control. For this study, it was included some simulations, where the depth of the channel are calculated on the basis of different parameters. In such case, the slope of the canal walls was considered for different set of different parameters. The differential equation that describes the profile of the depths was solved by the step method. The results show that these parameters play important roles in the behavior of the water line, for different slope of the canal walls.

Palavras-Chave – escoamento gradualmente variado, seção de controle em canais, perfil de linha d'água em canais.

-
- 1) Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Campos do Pici, CEP- 60445-760. Bloco 713. Fortaleza – Ceará. e-mail: rejanefp@gmail.com.
 - 2) Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Campos do Pici, CEP- 60445-760. Bloco 713. Fortaleza – Ceará. e-mail: judiaraujo@yahoo.com.br.
 - 3) Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, CEP- 60445-760, Bloco 713, Fortaleza – Ceará. e-mail: raqueljuca@gmail.com.
 - 4) Mestranda em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, CEP- 60445-760, Bloco 713, Fortaleza – Ceará. e-mail: jessycacbarros@gmail.com.
 - 5) Professor Titular da Universidade Federal do Ceará. Campos do Pici, CEP- 60445-760. Bloco 713. Fortaleza – Ceará. e-mail: rsouza@ufc.br.

1 - INTRODUÇÃO

O escoamento gradualmente variado é definido como sendo aquele escoamento onde parâmetros hidráulicos variam de forma progressiva ao longo da corrente, permanecendo constante com relação ao tempo, em cada seção do canal. Normalmente este tipo de escoamento em canais ocorre antes de uma seção de controle, que é o ponto que se pode fazer uma relação entre a profundidade e a vazão.

Como coloca Henderson (1966), uma discussão sobre escoamento uniforme mostra claramente que este estado de escoamento pode ser pensado como um controle, desde que, a partir das equações da resistência pode-se ter o cálculo da descarga sendo conhecida a profundidade.

Este é o estado em que um escoamento tende a se comportar em um longo canal, quando outras formas de controle estão presentes. Se, por outro lado, há outros tipos de controles, estas estruturas hidráulicas tendem a alterar o estado de escoamento uniforme fazendo com que o mesmo sofra transição, que pode ser gradual ou abrupto, entre dois estado do escoamento, French (1986).

Na região de transição, o escoamento é geralmente não uniforme e para suas análises há a necessidade do uso da formula de Chezy para este tipo de escoamento. Neste caso, a declividade da linha de energia deve ser usada no lugar da declividade de fundo do canal, que só deve ser usado nos caso de movimento uniforme, Chow (1959).

Shen *et.al* (1984) mostra que uma das análises mais frequentes neste tipo escoamento trata do estudo do comportamento da linha d'água proveniente da presença de uma estrutura de controle qualquer nas proximidades de uma região do canal. Neste caso, novas formulações são necessárias para que se tenha uma melhor capacidade de análise.

Este trabalho resolveu a equação diferencial da linha d'água de um canal retangular, que se aproxima de uma queda livre, e analisou como os parâmetros hidráulicos e geométricos afetam esta linha d'água. O estudo faz uma análise, verificando o comportamento da profundidade, como função dos taludes das paredes, para diferentes parâmetros hidráulico e geométricos do canal, a medida que a água se aproxima da borda livre.

2 - FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático para estudar esta classe de problema deve partir da dedução da equação da resistência de Chezy para escoamento não uniforme. Assim, aplicando a lei de conservação da quantidade do movimento a volume de controle genérico tem-se, Henderson (1966):

$$-\gamma A \Delta h - \tau_0 P \Delta x = \rho A v \frac{\partial v}{\partial x} \Delta x \quad (1)$$

Onde,

τ_0 = tensão de cisalhamento de fundo;

h = profundidade da linha d'água;

A = área da seção transversal;

v = velocidade na direção x ;

x = distancia ao longo do canal;

P = perímetro molhado;

γ = peso específico da água.

Combinando a equação (1) com a equação de Chezy pode-se chegar à equação abaixo,

$$\frac{dH}{dx} = \frac{d}{dx} \left(z + y + \frac{v^2}{2g} \right) = S_f = -\frac{v^2}{RC^2} \quad (2)$$

Onde,

R = raio hidráulico;

C = coeficiente de Chezy;

y = profundidade;

z = cota de fundo;

g = aceleração da gravidade.

Rearrmando a equação (2) teremos,

$$\frac{dE}{dx} = S_0 - S_f \quad (3)$$

Onde,

E = energia específica;

S_0 = declividade de fundo do canal;

S_f = declividade da linha de energia.

Esta equação ainda pode se escrita na forma,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - F_r^2} \quad (4)$$

Onde,

Fr = número de Froude.

3 - SOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DIFERENCIAL DA LINHA D'ÁGUA

Para este trabalho foi proposta solução da equação (4) pelo método do passo a passo. Este método consiste em transformar a equação diferencial proposta em uma equação de diferença na forma, Chalfen *et.al.* (1984),

$$\frac{\Delta E}{\Delta x} = S_0 - \frac{v^2}{RC^2} \quad (5)$$

Desta forma, esta equação pode ser resolvida passo a passo, desde que sejam conhecidos os parâmetros hidráulicos e geométricos do canal. Para este trabalho foram usados os seguintes elementos:

- Canal com seção trapezoidal, com boca livre no em uma extremidade do canal. Isto quer dizer que haverá uma queda livre da água no final do trecho do canal;
- Largura da base do canal igual a 20 ft;
- Número de Manning variável para diferentes simulações;
- Declividade de Fundo Variável para diferentes simulações;
- Vazão variável diferentes para diferentes simulações;
- Talude variável para diferentes simulações.

4 - RESULTADOS

Para este trabalho foram feitas várias simulações para diferentes vazões, diferentes rugosidade, diferentes declividade de fundo e para diferentes taludes, para ver a sensibilidade da equação (4) diante destes parâmetros.

A figura 1 mostra o comportamento da linha d'água para diferentes cenários. Em cada um deles se variou os taludes das paredes do canal, para ver como esta variação influencia o comportamento da linha d'água. De acordo com a figura, verificou-se que variando a declividade de fundo do canal e os taludes, há uma alteração no comportamento da linha d'água no que diz respeito ao início do movimento gradualmente variado. Em outras palavras, quando a declividade de fundo do canal aumenta, diminui a distância em que a seção de controle começa a ser sentida. Por exemplo, o início do movimento gradualmente variado varia de, aproximadamente, 1000 pés, para declividade de fundo igual a 0,0006 m/m, para 450 pés, quando a declividade de fundo for de 0,001. Mas, mantido estas declividades de fundo, os resultados mostram que quanto maior é o ângulo das paredes com a horizontal, mas distante começa o processo de variação do escoamento.

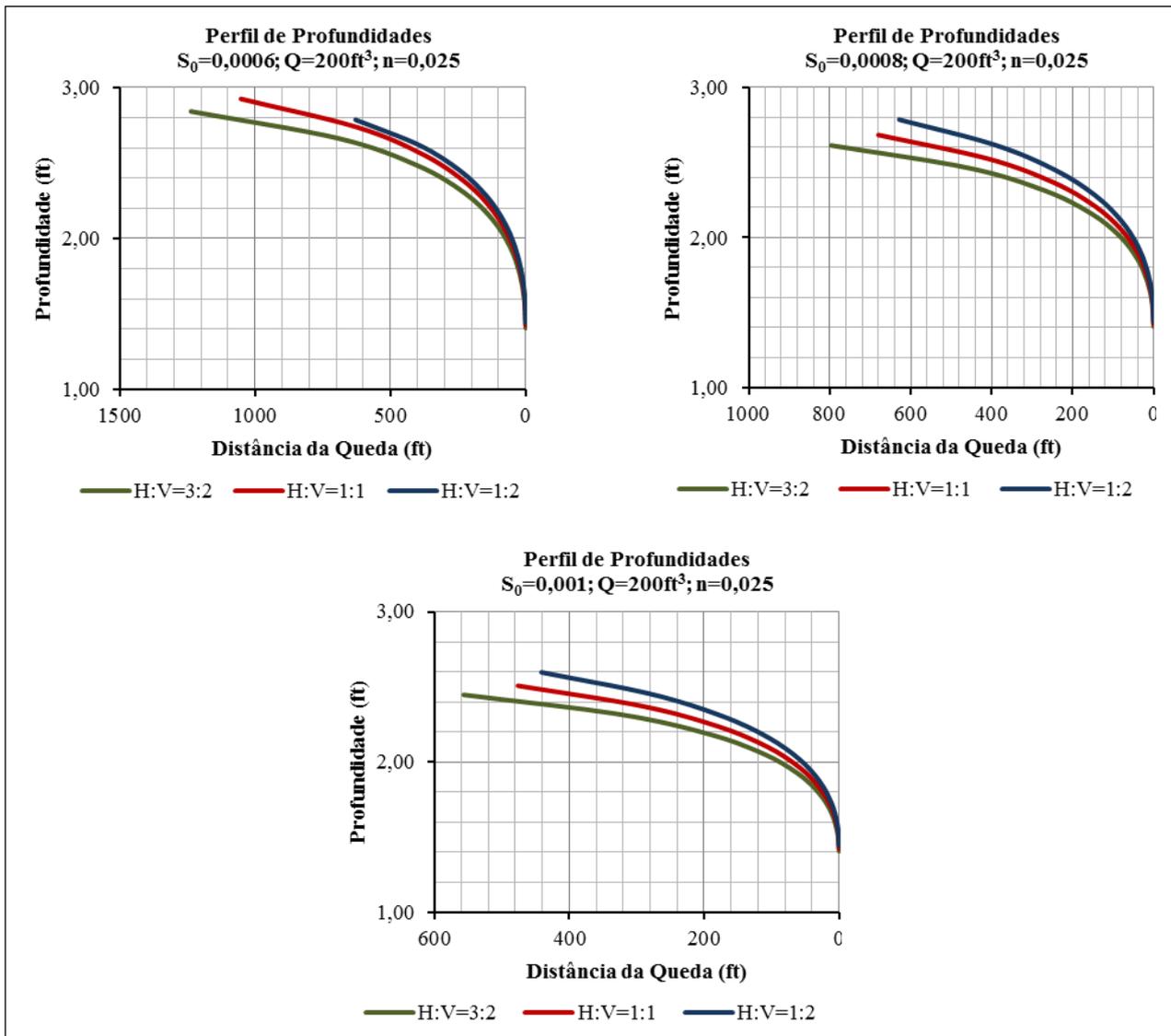


Figura 1 - Comportamento da linha d'água para diferentes declividades e taludes.

A figura 2 mostra um novo cenário, onde se variou a rugosidade e os taludes das paredes do canal. Neste caso, percebeu-se que quanto menor for o número de Manning, mais próximo ocorre a transição do escoamento para movimento gradualmente variado. Verifica-se ainda que, por exemplo, para n igual a 0,015, o movimento começa, em média, a 180 pés da borda da seção de transição. Por outro lado, quando o número de Manning for de 0,025, o início da transição ocorre, aproximadamente, a 500 pés da borda do canal, mostrando assim que quanto maior for o número de Manning, maior será a distância que define o início da transição do movimento gradualmente variado. Ainda, percebe-se que altura da linha d'água varia muito pouco para diferentes taludes. Estas profundidades são mais sensíveis com a variação da declividade do fundo do canal.

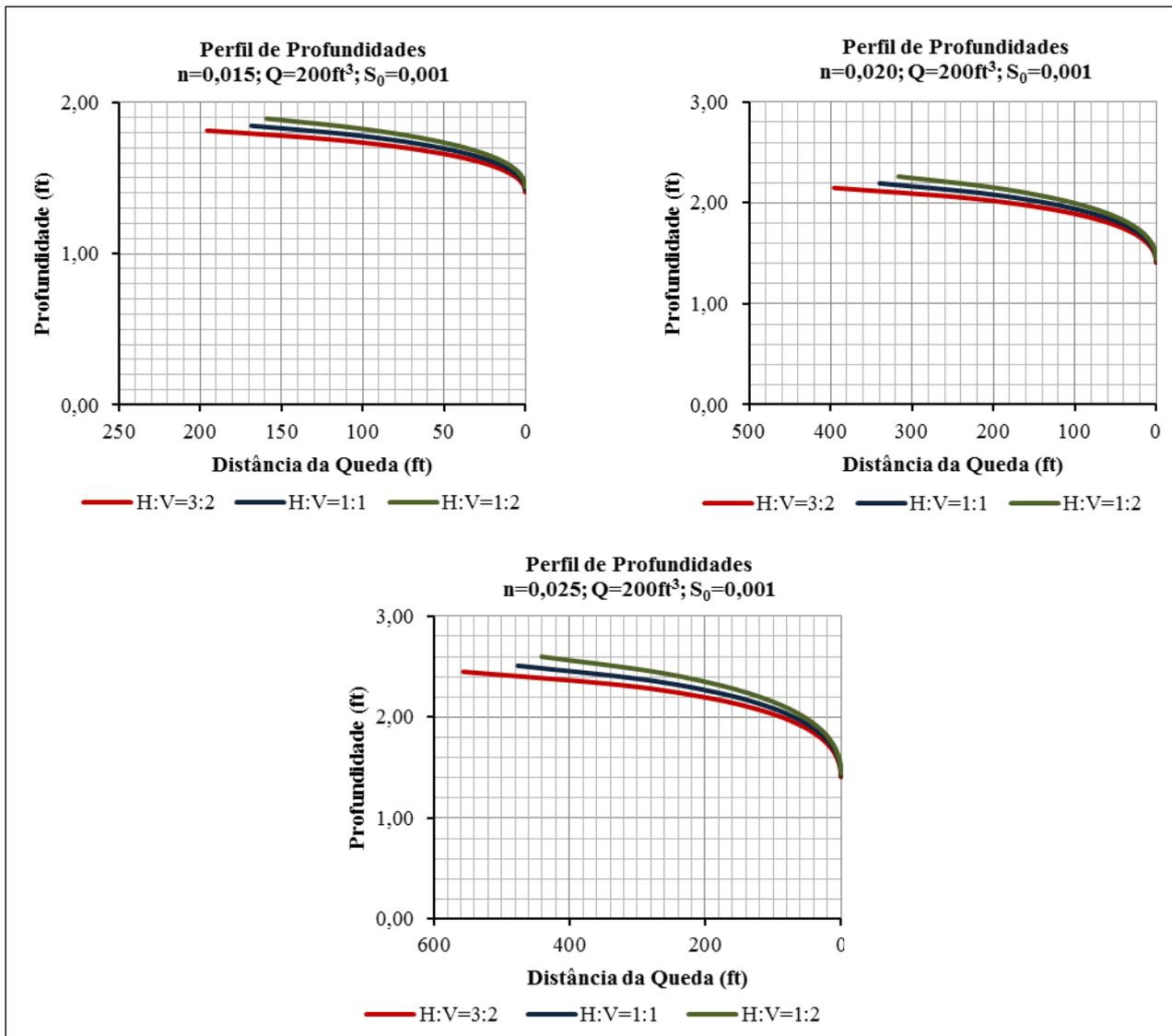


Figura 2 - Comportamento da linha d'água para diferentes números de Manning (n) e taludes

A figura 3 mostra um cenário onde é alterada a vazão com os taludes das paredes dos canais. Neste caso, os resultados mostram que a influência dos taludes no comportamento da linha d'água não é tão forte. Por exemplo, para uma vazão de $600\text{ft}^3/\text{s}$, o início da transição ocorre a 1000ft de distância da borda para um talude H:V=1:2. Já para H:V=3:2, o início da transição ocorre a apenas 700 pés da seção de controle. Outro detalhe que deve ser observado, diz respeito às profundidades, neste caso, as linhas d'água só ocorrem diferenças significativas para uma vazão de $600\text{ft}^3/\text{s}$, considerando outros cenários. Para as demais situações estudadas, a diferenças de alturas não são tão representativas.

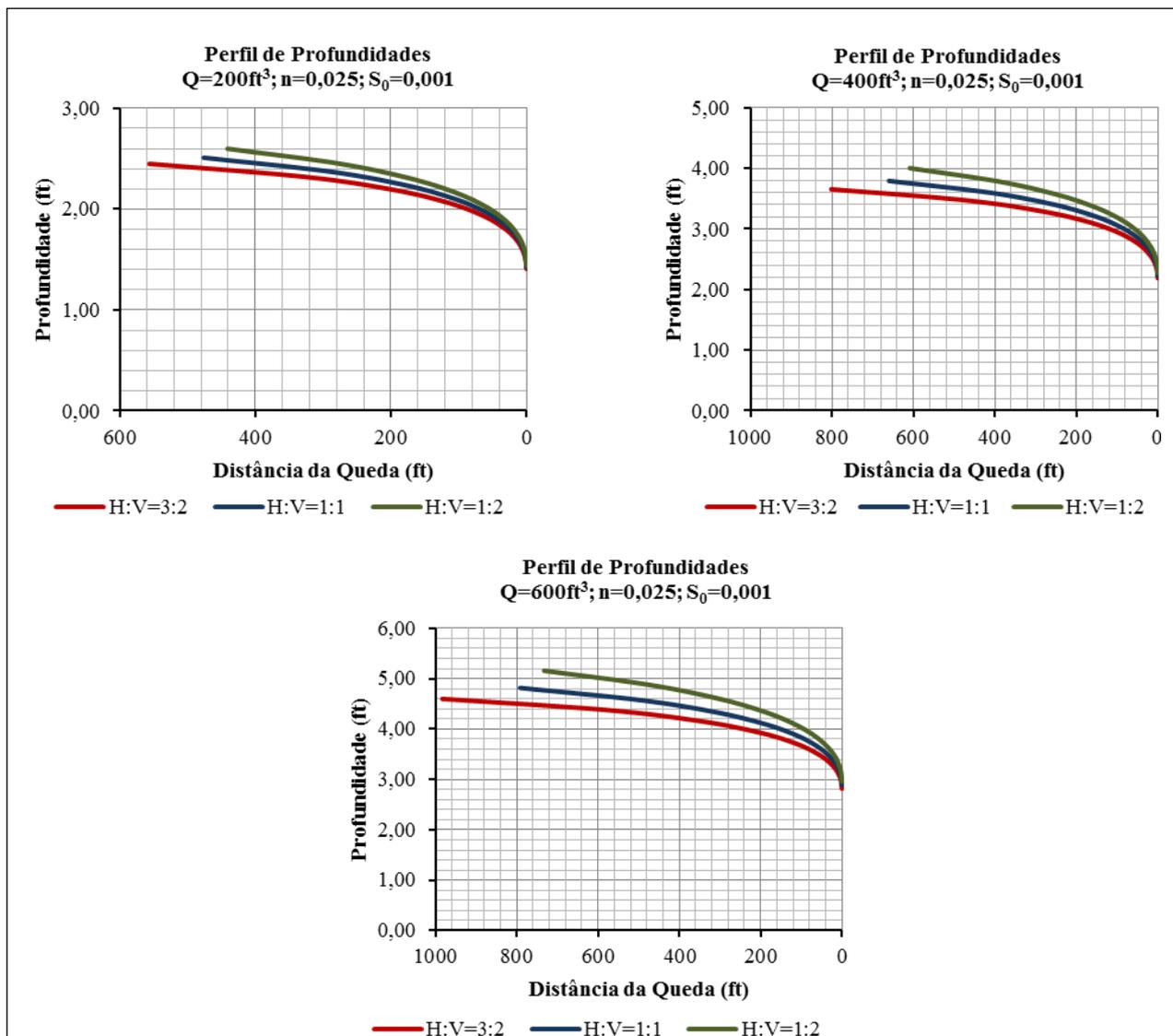


Figura 3 - Comportamento da linha d'água para diferentes vazões e taludes

5 - CONCLUSÕES

Para um escoamento gradualmente variado tentou-se estudar o comportamento do perfil das profundidades em um canal prismático com extremidade livre como controle. Os resultados permitiram concluir que para as diferentes condições tomadas nas simulações, o coeficiente da rugosidade e a vazão são os parâmetros que mais influenciam o comportamento da linha d'água, tanto do ponto de vista de profundidade como do ponto de vista de transição entre o escoamento uniforme e o escoamento gradualmente variado. Os resultados permitiram concluir que para grandes vazões, os taludes passam a desempenhar uma maior influência no comportamento da linha d'água, tanto do ponto de vista de início da transição, como nas alturas destas linhas, mostrando assim que para conclusões mais definitivas há a necessidade de mais estudos nesta linha de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

CHALFEN, M.; NIEMIEC, A., (1986). “*Analytical and numerical solution of Saint–Venant equations*”. Journal of Hydrology, Poland, v. 86, p. 1-13.

CHOW, V. T., (1959). *Open–channel hydraulics*. McGraw–Hill, New York, N. Y., 680 p.

FRENCH, R. H., (1986). *Open Channel Hydraulics*, B&JO Enterprise PTE LTD.

HENDERSON, F. M., (1966). *Open Channel Flow*, Macmillian Publishing Co. Inc.

SHEN, H. W; YEN, B. C., (1984). *Advances in open-channel hydraulics*, after V.T. Chow`s book. Journal of Hydrology, [S. L.], v. 64, p. 333–348.