

## DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO ANDROID PARA A HIDRÁULICA DE CANAIS

### *Development of an Android App to open channel hydraulics*

Pedro Henrique Alves Braga<sup>1</sup>, Frederico Carlos Martins de Menezes Filho<sup>2</sup>, Guilherme Mendonça Freire<sup>3</sup>

Recebido em 13 de outubro de 2016; recebido para revisão em 06 de fevereiro de 2017; aceito em 13 de março de 2017; disponível on-line em 29 de março de 2017.



#### PALAVRAS CHAVE:

Hidráulica de canais;  
Android;  
Dispositivos móveis.

**RESUMO:** O presente artigo aborda o desenvolvimento de um aplicativo para sistema Android destinado a estudantes e profissionais que lidam com a hidráulica de canais ou condutos livres, constituindo também uma ferramenta didática para o ensino da referida disciplina nos cursos de Engenharia. O aplicativo abrange o dimensionamento de canais retangulares e trapezoidais pela determinação da profundidade normal; a determinação do diâmetro de seções circulares verificando as restrições de velocidade ( $v$ ) e da relação altura d'água e diâmetro ( $h/d$ ); a verificação da capacidade hidráulica de seções retangulares e trapezoidais pela determinação da vazão e o cálculo da profundidade crítica. O desenvolvimento do aplicativo deu-se pela utilização da IDE (*Integrated Development Environment*) Android Studio. Para o dimensionamento e determinação das profundidades normal e crítica para canais retangulares e trapezoidais, dispôs-se do método de *Newton-Raphson* criando estruturas de repetição a partir da fórmula de *Manning*, permitindo a resolução de cálculos de maneira rápida. Já para o dimensionamento das seções circulares dispôs-se das equações propostas por Saatçi (1990) e Menezes Filho e Costa (2012). Os resultados obtidos com o aplicativo quando comparados às metodologias de tentativa e erro ou sistemática iterativa ou gráfica foram satisfatórios para diversos exemplos coletados na literatura, configurando-se assim uma ferramenta didática importante para o ensino da hidráulica de canais.

#### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup>e-mail: [pedroha.braga@gmail.com](mailto:pedroha.braga@gmail.com) ( P. H. A. Braga )

Graduando em Engenharia Civil, UFV – Campus Rio Paranaíba

<sup>2</sup>e-mail: [menezesfilho.frederico@gmail.com](mailto:menezesfilho.frederico@gmail.com) ( F. C. M. Menezes Filho )

Engenheiro Civil, Professor, Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Doutor, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFV - Campus Rio Paranaíba.

<sup>3</sup>e-mail: [guilhermemfreire@gmail.com](mailto:guilhermemfreire@gmail.com) ( G. M. Freire )

Cientista da Computação, Professor do Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Mestre, Engenharia de Software, UFV - Campus Rio Paranaíba.

## 1. INTRODUÇÃO

A hidráulica em condutos livres ou hidráulica de canais caracteriza-se como uma das disciplinas fundamentais para a formação de engenheiros civis, sanitaristas e ambientais abrangendo os escoamentos sujeitos à pressão atmosférica. Tal disciplina contempla o dimensionamento de canais e galerias de águas pluviais e esgotos, aborda a verificação da

capacidade hidráulica de condutos livres com diversos tipos de seções transversais e, também, estuda os fenômenos de ressalto hidráulico e remanso. Buscando a simplicidade dos cálculos matemáticos, assume-se a constância no tempo e espaço dos valores da profundidade da lâmina de água caracterizando-se, assim, o escoamento permanente uniforme, representando o equilíbrio entre as forças de gravidade e forças de resistência (CHADWICK E MORFETT, 1998).

Consoante Baptista e Coelho (2010), o cálculo do escoamento permanente uniforme se distingue em duas situações, a saber:

a) Verificação do funcionamento hidráulico, caracterizado pela determinação da capacidade de vazão de um canal utilizando a equação de *Manning*, sendo conhecidas as propriedades geométricas (área molhada e raio hidráulico);

b) Dimensionamento que determina a profundidade normal ( $y_n$ ) em função das variáveis hidráulicas. A resolução implica em uma sistemática iterativa ou gráfica.

A sistemática gráfica consiste na utilização de gráficos auxiliares para o cálculo do escoamento uniforme em seções circulares, trapezoidais e retangulares; calculando-se inicialmente a expressão disposta no eixo das abscissas e a posterior com a intersecção do valor com as curvas representativas da seção que se estuda determinar  $y/b$  ou  $y/D$  no eixo das ordenadas, resultando no valor da profundidade normal que se busca. Já a sistemática iterativa ou analítica, abrange o uso de calculadoras científicas, planilhas eletrônicas ou ainda de forma manual por tentativa e erro. Isso demanda tempo e torna os cálculos muitas vezes tediosos, desestimulando os alunos no aprendizado deste ponto fundamental da hidráulica de canais. Por fim, há a possibilidade da utilização de métodos numéricos, tais como o método da bissecção, método de aproximações sucessivas e o método de Newton que possibilitam a rápida resolução do referido cálculo por meio de rotinas elaboradas em linguagem FORTRAN, como disposto em CHAUDHRY (1993).

Neste enfoque, com a popularização dos dispositivos móveis e com a tendência da evolução dos sistemas de ensino e trabalho, pensou-se na implementação de um aplicativo para celular a fim de executar as situações de verificação e dimensionamento que demandariam certo tempo se fossem realizados a mão ou ainda de modo gráfico. Vale ressaltar que diversos outros aplicativos didáticos foram desenvolvidos na área

da Engenharia Hidráulica de modo a buscar melhor compreensão e entendimento dos alunos no processo de aprendizagem. Podemos citar alguns como o CANAIS3.EXE (PORTO, 1999) e o HIDROS (PRUSKI et al., 2006) para hidráulica de canais, o sistema BDL para cálculo da capacidade de bocas de lobos (POMPEO e SAVIETTO, 1997), o aplicativo DIMGAP 1.0 para o dimensionamento de galerias de águas pluviais e análise de custos apresentado por Zaque e Menezes Filho (2011).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste artigo foi, por meio do desenvolvimento de um aplicativo denominado Cálculo Hidráulico utilizando a plataforma de desenvolvimento móvel Android, comparar os resultados obtidos com as metodologias clássicas dispostas na literatura, tais quais: a sistemática analítica (tentativa e erro) e a sistemática gráfica. Ressalta-se que tal aplicativo destinar-se-á não somente a estudantes de engenharia, levando-se em conta questões didáticas, mas também a profissionais da engenharia que lidam com questões práticas da hidráulica de canais.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 DIMENSIONAMENTO DE CANAIS E O CÁLCULO DAS PROFUNDIDADES NORMAL E CRÍTICA

O dimensionamento da seção de um canal consiste na definição da seção transversal e de suas dimensões uma vez definidos a vazão ( $Q$ ) e a declividade de fundo ( $I$  ou  $S_o$ ) (SILVESTRE, 1982). Considerando a fórmula de *Manning*, por sua ampla utilização, tem-se a Equação 1 (CHAUDHRY, 1993):

$$Q = \frac{C_o}{n} A R^{2/3} I^{1/2} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

**Q** = vazão (m<sup>3</sup>/s);

**C<sub>o</sub>** = fator de conversão igual a 1,0 no S.I;

**n** = coeficiente de Manning;

**A** = área molhada (m<sup>2</sup>);

**R** = raio hidráulico (m);

**I** = declividade longitudinal (m/m).

Nesta equação a área molhada e o raio hidráulico são funções da profundidade  $y$  e da seção transversal do canal e  $n$  depende da superfície de escoamento e pode ser definido diretamente por meio de tabelas dispostas na literatura para canais naturais e artificiais.

Pode-se reescrever a Equação 1, expressando consoante Baptista e Coelho (2010) as variáveis geométricas do lado esquerdo e as variáveis hidráulicas do lado direito da Equação 2:

$$AR^{2/3} = \frac{nQ}{C_0 I^{1/2}} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

$Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s);

$C_0$  = 1,0 (S.I.);

$n$  = coeficiente de Manning;

$A$  = área molhada (m<sup>2</sup>);

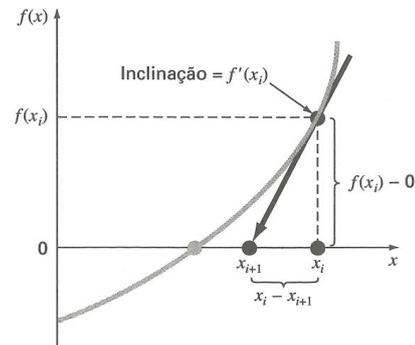
$R$  = raio hidráulico (m);

$I$  = declividade longitudinal (m/m).

Deste modo, dados os valores de  $n$ ,  $Q$  e  $C_0$ , por meio da Equação 2 determina-se a profundidade normal de um canal. Tal resolução pode ser executada por gráficos, tentativa e erro usando planilhas eletrônicas ou calculadoras e métodos numéricos como o método de *Newton-Raphson*. Da mesma maneira para o cálculo da profundidade crítica, profundidade onde a energia específica é mínima e que caracteriza o regime crítico de escoamento (CHAUDHRY, 1993), pode-se utilizar uma sistemática iterativa, gráfica ou por método numérico.

### 3.2 MÉTODOS PARA O CÁLCULO DE RAÍZES DE EQUAÇÕES NÃO-LINEARES

Consoante Chapra e Canale (2008), o método de *Newton-Raphson* empregado neste trabalho, seja talvez a fórmula mais amplamente usada para localizar uma raiz. Tendo como base a Figura 1, considerando-se uma aproximação inicial  $x_i$  para a raiz e estendendo-se uma reta tangente a partir do ponto  $[x_i, f(x_i)]$ , o ponto onde essa tangente cruza o eixo  $x$  representa uma estimativa melhorada da raiz.



**FIGURA 1:** Descrição gráfica do método de Newton-Raphson. **FONTE:** Chapra e Canale, 2008.

Assim, o referido método pode ser deduzido em sua interpretação geométrica. Na Figura 1, a primeira derivada em  $x$  é equivalente à inclinação, que pode ser traduzida nas Equações 3 e 4:

$$f'(x_i) = \frac{f(x_i) - 0}{x_i - x_{i+1}} \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

$f'(x_i)$  = primeira derivada em  $x$ ;

$f(x_i)$  = função em  $x$ ;

$x_i$  = aproximação inicial;

$x_{i+1}$  = aproximação posterior.

Reorganizando, tem-se que:

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad \text{Eq. [4]}$$

Sendo a Equação 4 chamada de Fórmula de Newton-Raphson.

Em que:

$f'(x_i)$  = primeira derivada em  $x$ ;

$f(x_i)$  = função em  $x$ ;

$x_i$  = aproximação inicial;

$x_{i+1}$  = aproximação posterior.

### 3.3 A PLATAFORMA ANDROID

Segundo Cherubini *et al.* (2014), o Android é uma plataforma desenvolvida pela Google voltada para dispositivos móveis, sendo um sistema de código aberto baseado no sistema operacional GNU/Linux com diversas aplicações já instaladas tendo seu ambiente de programação formado pela linguagem de programação Java.

De acordo com Cardoso (2012) a plataforma Android é utilizada pela *Open Handset Alliance* (OHA) que é uma aliança de diversas empresas com a intenção de criar padrões abertos para telefonia móvel. Entre as empresas participantes estão HTC, Dell, Intel, Google, Motorola, Qualcomm, Texas Instruments, LG, T-Mobile, Samsung e Nvidia. A partir dessa aliança foi criado o Android Studio, sendo uma das principais aplicações para a criação de aplicativos.

#### 4. METODOLOGIA

O aplicativo denominado Cálculo Hidráulico engloba sete sub aplicativos destinados à verificação da capacidade hidráulica e dimensionamento de seções retangulares e trapezoidais pela determinação da profundidade normal; a determinação da profundidade crítica para as seções mencionadas e o dimensionamento de seções circulares, no caso galerias de águas pluviais. Tais opções aparecem na inicialização do aplicativo (Figura 2).

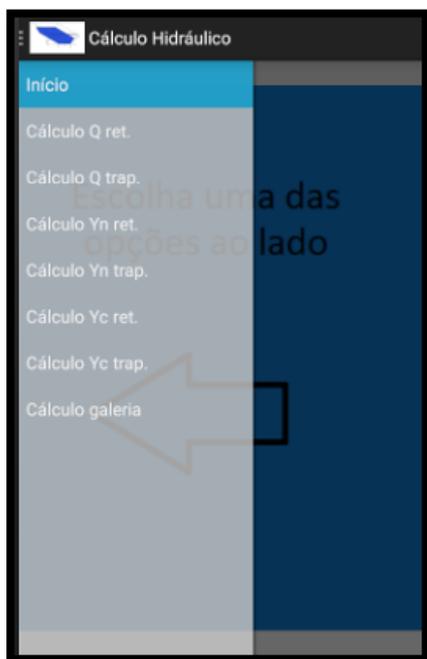


FIGURA 2: Tela inicial de opções ao usuário.

FONTE: Autoria própria.

Para o desenvolvimento do mesmo

utilizou-se como fonte principal as rotinas em FORTRAN apresentadas por CHAUDHRY (1993), dispondo-se do método numérico de *Newton-Raphson* para a busca das profundidades normais ou críticas. De posse dos algoritmos, realizou-se a transcrição para a linguagem JAVA, no intuito desejado de se obter uma ferramenta para ser utilizada em *smartphones* ou dispositivos móveis. Fez-se também a inclusão do cálculo do número de Froude e o dimensionamento de seções circulares. O aplicativo foi desenvolvido utilizando o modelo padrão *Navigation Drawer* do *Android Studio* que é uma plataforma livre.

##### 4.1 CÁLCULO DA VAZÃO DE CANAIS

Utilizou-se a Fórmula de Manning, Equação 1, para o cálculo da vazão de canais de seção retangular e trapezoidal. A única diferença nos dados de entrada para estas seções, refere-se ao indicador de taludes ( $z$ ) necessário para a seção trapezoidal.

##### 4.2 DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE NORMAL

O dimensionamento de canais compreende a determinação da profundidade do escoamento ou da profundidade normal no escoamento uniforme. Para tal, por meio da Fórmula de Manning e do método de *Newton-Raphson* se obtém a profundidade normal. Para mais detalhes do equacionamento, favor consultar Chaudhry (1993). Reproduz-se a seguir trecho do código (Figura 3), no qual é possível observar o laço de repetição (loop) onde é aplicado o método de Newton para encontrar a profundidade normal e após o cálculo do número de Froude.

##### 4.3 DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE CRÍTICA

Para determinação da profundidade crítica, dispôs-se da equação do número de Froude, da equação da continuidade e do método de *Newton-Raphson*. O equacionamento pode ser consultado em Chaudhry (1993). Na Figura 4 apresenta-se trecho do código para a determinação da profundidade crítica em seção trapezoidal.

```

toler = 0.001d;
err=0.00000001d;
do {
  df = ((bo + s1 * yi) * yi) * Math.pow(((bo + s1 * yi) * yi) / (bo + (2 * yi * (Math.sqrt(1 + (s1 * s1))))), 0.6667) - ((cm
  * qi) / Math.sqrt(theta));
  dfdy = 1.6667 * (bo + 2 * yi * s1) * Math.pow((((bo + s1 * yi) * yi) / (bo + (2 * yi * (Math.sqrt(1 + s1 * s1))))),
  0.6667) - 0.6667 * Math.pow((((bo + s1 * yi) * yi) / (bo + (2 * yi * (Math.sqrt(1 + s1 * s1))))), 1.6667) * (2 *
  Math.sqrt(1 + s1 * s1));
  hnew = yi - df / dfdy;
  err = Math.abs((hnew - yi) / hnew);
  yi = hnew;
  Fr = (qi / (yi * (bo + yi * s1))) / (Math.pow(9.81 * (((bo + s1 * yi) * yi) / (bo + 2 * s1 * yi)), 0.5));
} while (err > toler);

```

**FIGURA 3:** Trecho do código onde é aplicado o método de Newton por meio do laço de repetição (loop) para a determinação da profundidade normal.

**FONTE:** Autoria própria.

```

theta = 0.034906 * theta;
k = (q / Math.sqrt(Math.cos(theta))) / Math.sqrt(gravity / 1);
dbdy = 2 * s1;
do {
  b = bo + 2 * s1 * yi;
  a = (0.5) * (bo + b) * yi;
  f = Math.pow(a, (1.5)) / Math.sqrt(b) - k;
  fd = (1.5) * Math.sqrt(a * b) - (0.5) * Math.pow((a / b), (1.5)) * dbdy;
  dy = f / fd;
  yi = yi - dy;
} while (Math.abs(dy) > toler);

```

**FIGURA 4:** Trecho do código onde se determina a profundidade crítica em seção trapezoidal.

**FONTE:** Autoria própria.

## 5. DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO CIRCULAR

O equacionamento para a determinação do diâmetro da seção circular, referenciando-se neste aplicativo às galerias de águas pluviais, baseou-se no trabalho de Saatçi (1990) e de Menezes Filho e Costa (2012). Tal sistemática de cálculo permite, por meio de equações, o dimensionamento de galerias de águas pluviais, consoante a observância das restrições para a velocidade (V) no intervalo de 0,75 m/s a 5,0 m/s e da relação altura d'água-diâmetro (h/d) no intervalo de 0,10 a 0,85. No aplicativo, como dados de entrada são requeridos: o coeficiente de Manning, a vazão a ser transportada, a declividade e o diâmetro inicial arbitrado. Caso os valores de velocidade ou relação altura lâmina d'água-diâmetro não sejam satisfeitos para os limites impostos, o aplicativo avisa ao usuário para alterar o diâmetro. Caso contrário, o aplicativo retorna a mensagem "diâmetro válido".

## 6. RESULTADOS

De posse de exercícios dispostos na literatura correlata ao assunto, fez-se o teste do aplicativo e os resultados foram satisfatórios (Quadro 1). Além dos resultados serem praticamente os mesmos, a rápida resolução após a inserção dos dados de entrada representa a grande vantagem frente às metodologias de tentativa e erro ou sistemática gráfica que demandam tempos superiores ao verificado com o uso do aplicativo. Isso é o grande diferencial do ponto de vista didático, já que permite ao professor flexibilizar uma gama enorme de exercícios possibilitando um aprendizado mais atrativo aos alunos. Destaca-se que as estimativas iniciais foram ampliadas supondo desconhecimento do usuário e, mesmo assim, houve a rápida conversão pelo aplicativo, utilizando o método de *Newton-Raphson* na obtenção da profundidade normal ou crítica.

**QUADRO 1:** Apresentação dos resultados obtidos pelo aplicativo utilizando fontes bibliográficas correlatas ao assunto.

Função do aplicativo	Fonte	Dados de entrada	Resultado	Resultado obtido pelo aplicativo
Verificação da capacidade hidráulica	Gribbin (2009)	Seção retangular; $b = 3,66 \text{ m}$ ; $l = 0,02$ ; $n = 0,013$ ; $y_n = 0,48 \text{ m}$	$Q = 10,11 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 10,07 \text{ m}^3/\text{s}$
	Baptista e Coelho (2010)	Seção trapezoidal; $z=2$ ; $b = 7 \text{ m}$ ; $l = 0,0006 \text{ m/m}$ ; $n = 0,025$ ; $y_n = 5,00$ .	$Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}^*$	$Q = 169,2 \text{ m}$
Determinação da profundidade normal	Baptista e Coelho (2010)	Seção retangular; $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ ; $b = 10 \text{ m}$ ; $l = 0,0005 \text{ m/m}$ ; $n = 0,014$ .	$y = 2,31 \text{ m}$	$y = 2,31 \text{ m}$
	Porto (1999)	Seção trapezoidal; $Q=6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ; $z=2$ ; $b = 4,0 \text{ m}$ ; $l = 0,0005 \text{ m/m}$ ; $n = 0,018$ .	$y = 1,05 \text{ m}$	$y = 1,05 \text{ m}$
Determinação da profundidade crítica	Baptista et al. (2008)	Seção trapezoidal; $z=2$ ; $b = 5 \text{ m}$ ; $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$	$y = 1,72$	$y = 1,72 \text{ m}$
	Gribbin (2009)	Seção trapezoidal; $z=2$ ; $b = 1,83$ ; $Q = 2,26$	$y = 0,45$	$y = 0,45 \text{ m}$
Dimensionamento de seção circular	Siqueira et al. (2007)	$Q = 0,340 \text{ m}^3/\text{s}$ ; $n = 0,015$ ; $l = 0,0663 \text{ m/m}$ ; $D = 0,40 \text{ m}$	$D = 0,40 \text{ m}$	$D = 0,40 \text{ m}$ (diâmetro válido)

\* valor arredondado pelos autores.

## 7. CONCLUSÕES

Destaca-se que, apesar da simplicidade do aplicativo, a grande expansão dos usos de *smartphones* e dispositivos móveis por alunos de graduação faz com que tais ferramentas sejam utilizadas de maneira a tornar o ensino da hidráulica mais atraente, compreendendo um diferencial na resolução de exercícios bem como da verificação rápida para outras situações.

Ressalta-se que buscar-se-á por meio da continuidade deste trabalho, a agregação ao aplicativo de outras funções referentes à hidráulica de canais como o cálculo de remanso e ressalto hidráulico.

Espera-se, sobretudo, que tal aplicativo venha a auxiliar os alunos no aprendizado da hidráulica de canais e, também, que a sua utilização possa fomentar a criação de outros programas ligados à engenharia. É notória a importância destas ferramentas como instrumentos didáticos auxiliares

e essenciais à consolidação dos conteúdos vistos em sala de aula.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA, M. B; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. 3. ed. rev. ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

CARDOSO, A. S. **Avaliação de aplicações gráficas em diferentes versões do sistema Android**. Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2012.

CHADWICK, A; MORFETT, J. **Hidráulica em Engenharia Civil e Ambiental**. Coleção: Ciência e Técnica. Insituto Piaget, 1998

CHAPRA, S. C; CANALE, R. P. **Métodos numéricos para engenharia**. 5a. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

CHAUDHRY, M. H. **Open Channel Flow**. New Jersey: Ed. Prentice Hall, 1993.

CHERUBINI, L. F., SILVA, I. A. F., SILVA, A. A. V. **Desenvolvimento de uma aplicação android capaz de estimar a produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro-fuzzy.** Jornada de pesquisa e extensão, 2014.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais.** São Paulo: Cengage Learning, 2009.

MENEZES FILHO, F. C. M; COSTA, A. R. **Sistemática de cálculo para o dimensionamento de galerias de águas pluviais: uma abordagem alternativa.** REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil. N°4, vol. 1, 12-22. 2012.

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.

PORTO, R. P. **Hidráulica básica.** 2a. ed. São Carlos: EESC-USP, 1999.

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.

SAATÇI, A. **Velocity and depth of flow calculations in partially filled pipes.** ASCE Journal of Environmental Engineering, vol. 116, n. 6, p.1202-1208, nov/dec. 1990.

SIQUEIRA, E. Q; COSTA, A. R; MENEZES FILHO, F. C. M. **Curso Básico de Hidrologia Urbana: nível 3.** ReCESA, 2007. 130 p.

SILVESTRE, P. **Hidráulica Geral.** Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1982.

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.