

Usos da HP 95LX em projetos de obras de saneamento básico

HILTON FELÍCIO DOS SANTOS

Engenheiro Coordenador de Projetos I do Grupo Executivo para a Despoluição do rio Tietê

Um PC de bolso, da Hewlet-Packard e Lotus Development Inc., HP 95LX, com a planilha Lotus 1-2-3 e MS-DOS 3.2 gravados em ROM, estimulou o autor a rever a metodologia usual de cálculo para alguns tópicos freqüentes em projetos de saneamento básico. Num artigo, o autor descreve dois dos sete aplicativos em ROM da HP 95LX (editor e calculadora); em outro, dá o exemplo de ajuste de curvas (viscosidade em função da temperatura, para uso na fórmula universal de cálculo de condutos forçados), demonstrando ser possível guardar no pequeno PALMTOP HP 95LX a maioria (se não todas) das tabelas de uso mais freqüentes pelos engenheiros projetistas.

Em 1991, desde abril nos Estados Unidos e desde setembro no Brasil, os projetistas de obras de saneamento contam com uma nova ferramenta para cálculos e dimensionamento de suas obras: um PC de bolso, da Hewlet-Packard e Lotus Development Inc., a HP 95LX, com a planilha Lotus 1-2-3 e MS-DOS 3.2 gravados em ROM. A portabilidade deste computador estimulou o autor a rever a metodologia usual de cálculo para alguns tópicos freqüentes em projetos de saneamento básico.

A - Cálculo de y/D no dimensionamento de um coletor de esgoto por algoritmo de convergência rápida gravado na ROM

Considere-se o clássico problema hidráulico de cálculo do percentual de enchimento (y/D) de uma tubulação no projeto de uma rede coletora de esgoto, em função da vazão de projeto (Qproj), da declividade da tubulação (lmin), do coeficiente de rugosidade do tubo (n) de Manning) e do diâmetro do tubo (D):

Para Qproj em litros/segundo, D em metros, lproj em metros/metros, n adimensional, a incógnita ENCH (adimensional = y/D), pode ser calculada iterativamente pela expressão:

$$Q_{proj} = 1000/n^*$$

!multiplica por 1000 para Q em l/s!

$$(D/4)^2 \cdot 1 - \text{SIN} (2 \cdot \text{ACOS} (1 - 2 \cdot \text{ENCH}))$$

$$(2 \cdot \text{ACOS} (1 - 2 \cdot \text{ENCH})) (2/3)^*$$

!raio hidráulico 2/3!

$$\text{SQRT} (l_{min})^*$$

!declividade (1/2)!

$$D/2 \cdot 8 \cdot (2 \cdot \text{ACOS} (1 - 2 \cdot \text{ENCH}) -$$

$$\text{SIN} (2 \cdot \text{ACOS} (1 - 2 \cdot \text{ENCH}))$$

!área molhada!

No modo de cálculo em radianos entra-se, por exemplo, com:

$$Q_{proj} = 6,958$$

$$n = 0,013$$

$$D = -0,150$$

$$l_{min} = 0,003$$

e o ENCH, é encontrado iterativamente por um algoritmo de convergência gravado na ROM do computador:

$$\text{ENCH} = 0,698 \text{ ou } 69,8 \% \sim \text{ou } y/D = 70 \%$$

Deve ser ressaltada a complexidade algébrica da expressão e a possibilidade de cálculo da incógnita sem necessidade de explicitá-la. Este algoritmo faz parte do SOLVER, como batizado pela HP, tendo sido incorporado às suas calculadoras desde a extinta HP 15C estando agora disponível neste PC de bolso.

Podem ser feitas algumas observações sobre a expressão acima:

1) Esta relação faz parte de um conjunto de oito equações básicas para dimensionamento de uma rede coletora. Mais adiante exemplifica-se o uso destas equações. No momento é de interesse assinalar que a transferência da expressão para este texto foi feita sem redigitação, graças a um recurso disponível na ROM denominado Clipboard: marca-se o que se quer transferir no catálogo de equações do SOLVER, faz-se uma cópia temporária pelo Clipboard e transfere-se o desejado para o Editor do texto, a partir da posição do cursor.

2) Note-se também que a equação no SOLVER foi montada com anotações intercaladas (raio hidráulico, área, molhada etc.), que em nada prejudicam o processamento da solução, desde que as observações estejam delimitadas por pontos de exclamação (!).

3) Os projetistas normalmente resolvem esta equação para y/D através de ábacos, ou tabelas após cálculos iniciais de entrada, ou programas de computador — os melhores já com uma tabela de consulta por diâmetro, para maior rapidez no processamento. O SOLVER substitui com vantagem os dois primeiros métodos.

4) Partindo-se de uma estimativa irrealista como y/D igual a zero a iteração acima é completada em 11 segundos. Nos casos reais, em que o tirante do trecho de jusante não é muito diferente do de montante, chega-se ao resultado em menos de 5 segundos. O autor verificou que o SOLVER da HP95LX é cerca de 30% mais rápido do que o do HP 48SX (calculadora). Fixando-se os limites de busca o cálculo é ainda mais rápido.

B - Efeito de uma obra no fundo de um canal

Consideremos um outro exemplo de cálculo hidráulico que pode ser feito sob novo enfoque com a HP 95LX, associando-se o SOLVER, o utilitário de conversão de unidades e a capacidade de representação gráfica de funções, recursos disponíveis na ROM do computador. O que se segue foi extraído da publicação CIVIL ENGINEERING PROBLEMS de autoria de William Glendinnig M.S.,P.E. ex-professor do MIT nos E.U.A. Trata-se de uma coleção de problemas com soluções, de testes a que devem se submeter os engenheiros profissionais autônomos do Estado de Nova York, a cada 5 anos, para ter renovação legal da licença profissional. O exemplo é também interessante quando se compara a "tentativa e erro" de 1961 (data da publicação) com os recursos de cálculo aqui (e hoje) disponíveis.

Exercício proposto

Um canal de seção retangular tem largura $b = 6$ pés, declividade constante de 0.0010 e um coeficiente de rugosidade $n = 0.011$. Se a vazão no canal é uniforme e igual a 102 pés cúbicos por segundo, qual o tirante? Se for construído um vertedor de soleira larga, transversal e no fundo do canal, com altura $h = 1.5$ pé, e se a forma e a largura da crista do vertedor forem tais que a vazão ocorra no tirante crítico, qual será a elevação do NA na posição do vertedor? Assumir que a perda por atrito é desprezível, considerar a velocidade de aproximação.

Solução

Os dados são convertidos ao sistema métrico usando-se utilitário para conversão de unidades do aplicativo "Calculadora":

$$\begin{aligned} b &= 6 \text{ pés} = 1,8288 \text{ m/s} \\ h &= 1.5 \text{ pé} = 0,4572 \text{ m} \\ Q &= 102 \text{ cfs} = 2,8883 \text{ m}^3/\text{s} \\ I &= 0,0010 \\ n &= 0,011 \end{aligned}$$

A equação da vazão a partir de Manning, no catálogo do SOLVER é resolvida, sendo equação e solução (Hmolh) transferidos para este texto através do Clipboard:

$$\begin{aligned} Q &= b \cdot H_{\text{molh}}/n \cdot \\ &\cdot \text{!seção molhada}/n! \\ &\cdot (b \cdot H_{\text{molh}}/(b + 2 \cdot H_{\text{molh}}))^{2/3} \cdot \\ &\cdot \text{!raio hidráulico}^{2/3}! \\ &\cdot I^{1/2} \\ &\cdot \text{!declividade}^{1/2}! \\ H_{\text{molh}} &= 0,9229 \text{ m} \end{aligned}$$

O tirante crítico num canal ocorre quando a energia específica (soma da profundidade com a carga de velocidade) for mínima. E em um canal retangular ele ocorre quando é satisfeita a relação:

$$Q^2/g = (\text{seção molh})^3/b$$

Ou resolvendo a relação no SOLVER e de lá trazendo como antes:

$$Q^2/9,8183 = (H_c \cdot b)^3/b$$

$$H_c = 0,6333 \text{ m.}$$

Como a perda por atrito foi enunciada como desprezível, o gradiente de energia é constante:

$$H + V^2/2 \cdot g = H_c + V_c^2/2 \cdot g$$

Ou trazendo do SOLVER a expressão e sua resolução:

$$\begin{aligned} H + (Q/((H + h) \cdot b))^2/(2 \cdot 9,8183) = \\ H_c + (Q/(H_c \cdot b))^2/(2 \cdot 9,8183) \end{aligned}$$

$$H = 0,8789 \text{ m (por iteração, após um segundo).}$$

A resolução na obra citada continua, substituindo os valores conhecidos na relação acima e resolvendo H por tentativa e erro. Trazendo a equação resultante do SOLVER:

$$H^3 - 0,0356 \cdot H^2 - 6,597 \cdot H - 0,0716 = 0$$

As 3 raízes de H podem ser vistas graficamente no módulo gráfico associado ao SOLVER — e capaz de traçar a função em relação a qualquer uma das variáveis:

$$\begin{aligned} H &= -0,7320 \\ H &= -0,1113 \\ H &= 0,8789 \text{ m. (única válida como real)} \end{aligned}$$

A equação final em unidades inglesas é:

$$H^3 - 1,163 \cdot H^2 - 7,09 \cdot H - 2,52 = 0$$

resolvida por "tentativa e erro" na obra citada, resultando $H = 2,88$ pés (0,8789 m).

A disponibilidade da representação gráfica imediata permite uma compreensão mais ampla do fenômeno físico e permite simular como o projeto pode ser influenciado pela alteração de um ou mais parâmetros.

C - Novo enfoque para armação das equações básicas de dimensionamento de uma rede coletora de esgotos

Voltando ao dimensionamento de uma rede coletora, ilustra-se o emprego da HP 95LX segundo os critérios da NBR 9649. No que se segue, apenas os nomes das variáveis foram alterados com relação aos sugeridos pela norma, optando-se por siglas mneomônicas. Os dados do exemplo foram retirados da obra PHD 411 — SANEAMENTO I publicada pela USP, e são provenientes do exemplo de auditoria do Eng. Milton T. Tsutiya. Comparam-se os resultados do exemplo daquela Publicação, com os obtidos pelo uso da HP 95LX, assinalando os primeiros com (P) quando forem diferentes na precisão adotada pelo autor da referida Publicação.

Sejam as seguintes variáveis e dados básicos:

$$\begin{aligned} TiCL &= \text{taxa contribuição inicial (l/s} \cdot \text{m)} \\ TfCL &= \text{taxa contribuição final (l/s} \cdot \text{m)} \\ p &= \text{população inicial (hab)} = 2000 \\ P &= \text{População Final (Hab)} = 3500 \\ q &= \text{per capita água (l/hab} \cdot \text{dia)} = 160 \\ C &= \text{coeficiente de retorno} = 8 \\ K1 &= \text{coeficiente } Q_{\text{max dia}} = 1.2 \\ K2 &= \text{coeficiente } Q_{\text{max hora}} = 1.5 \\ Li &= \text{extensão inicial da rede(m)} = 2877 \end{aligned}$$

L_f = extensão final da rede(m) = 2877
 inf = infiltração linear (l/s * m) = .0001
 CTM = cota do terreno a montante (m)
 CTJ = cota do terreno a jusante (m)
 LT = extensão do trecho (m)
 QLI = Q localizada inicial (l/s) = 0
 QLF = Q localizada final (l/s) = 0
 QiT = vazão inicial no trecho (l/s)
 QfT = vazão final no trecho (l/s)
 $QiTp$ = QiT considerada no projeto (l/s)
 $QfTp$ = QfT considerada no projeto (l/s)
 $Imin$ = declividade calculada (m/m)
 n = coeficiente de Manning = .013
 D = diâmetro da tubulação (m)
 $ENCH$ = y/D ou tirante/diâmetro
 $Vprj$ = velocidade no trecho (m/s)
 $Ttra$ = tensão trativa (Pa)
 $Vcri$ = velocidade crítica (m/s)

As oito equações fundamentais, que serão comentadas na resolução do exemplo, foram transpostas do SOLVER para este texto através do Clipboard. Estas são as equações básicas:

$$1) TiCL = ((C * K2 * p * q / 86400) / Li + inf) * 1000$$

$$TfCL = ((C * K1 * K2 * P * q / 86400) / Lf + inf) * 1000$$

$$2) QiT = (TiCL * LT + Qloc) * INV(1000)$$

$$QfT = (TfCL * LT + QLOC) * INV(1000)$$

$$3) QiTp = IF(QiT < 1.5 * 1.5 * QiT)$$

$$QfTp = IF(QfT < 1.5 * 1.5 * QfT)$$

$$4) Imin = IF((CTM-CTJ)/LT > .0055 * QiTp ^ -.47, (CTM-CTJ)/LT, .0055 * QiTp ^ -.47)$$

$$5) Qproj = 1000/n * (D/4 * (1-SIN(2 * ACOS(1-2 * ENCH))) / (2 * ACOS(1-2 * ENCH))) ^ (2/3) * SQRT(Imin) * D ^ 2 / 8 * (2 * ACOS(1-2 * ENCH) - SIN(2 * ACOS(1-2 * ENCH)))$$

!multiplica por 1000 para Q em l/s!
 !raio hidráulico ^ (2/3)!
 !declividade ^ (1/2)!
 !área molhada!

$$6) Vprj = 1/n * (D/4 * (1-SIN(2 * ACOS(1-2 * ENCH))) / (2 * ACOS(1-2 * ENCH))) ^ (2/3) * SQRT(Imin)$$

$$7) Ttra = 10 ^ 4 * D/4 * (1-SIN(2 * ACOS(1-2 * ENCH))) / (2 * ACOS(1-2 * ENCH))) * Imin$$

$$8) Vcri = 6 * SQRT(9.81 * D/4 * (1-SIN(2 * ACOS(1-2 * ENCH))) / (2 * ACOS(1-2 * ENCH)))$$

O exemplo da obra citada, didaticamente dimensiona 4 trechos de uma rede coletora: trechos 1-1 e 1-2, seqüenciais para mostrar a acumulação de vazões no trecho de jusante, trecho 1-5, para mostrar a imposição de uma declividade diferente da calculada (evitando-se um degrau na confluência de coletores) e o trecho 1-7, para mostrar que se adotada a declividade calculada, a relação y/D no fim do plano seria maior do que 75%: como a declividade do terreno é favorável no trecho seguinte, o autor aumenta a declividade para diminuir y/D , em vez de aumentar o diâmetro.

O cálculo de y/D no exemplo citado é feito mediante uma tabela de 40 colunas por 38 linhas. O raio hidráulico, por outra tabela de uma coluna por 30 linhas. Para ambas, a consulta é feita precedida por cálculos iniciais. As divergências entre os resultados no que se segue, quando existentes, devem ser atribuídas à precisão da HP 95LX, que trabalha internamente com 15 casas decimais. Por outro lado o cálculo do raio hidráulico não é individualizado como na obra citada uma vez que está incluído nas equações (5) a (8).

Deve ser observado que tanto as tabelas citadas como o ábaco (de autoria do eng.º José Soares Pimentel, da Sabesp) são auxiliares práticos e viáveis, na ausência do algoritmo SOLVER gravado na ROM dos computadores portáteis.

No SOLVER, entrando-se com os dados na eq (1):

$$1) TiCL = 1.64 \text{ l/s} * \text{m}$$

Para o cálculo de $TfCL$ apenas $K1$, P e Lf precisam ser digitados, pois a tela de entrada conserva os dados anteriores já introduzidos e que são agora reutilizados.

$$TfCL = 3.34 \text{ l/s} * \text{m}$$

Os dados específicos dos trechos do exemplo citado são:

TRECHO	LT	CTM	CTJ
1-1	89	502.05	498.00
1-2	38	498.00	495.71
1-5	33	489.26	487.56
1-7	100	484.90	485.50

Dimensionamento do trecho 1-1

A numeração dos itens que se seguem é a mesma das equações básicas:

$$2) QiT = 0.146 \text{ l/s}$$

Como esta vazão será a de montante para o trecho seguinte, pode ser guardada em um dos registros da calculadora. Basta STO 1 (Reg 1 = 0.146)

$$QfT = 0.297 \text{ l/s}$$

Da mesma forma, STO 2 (Reg 2 = 0.297)

$$3) QiTp = 1.50 \text{ l/s}$$

A equação (3) é condicional:

$$Q_{iTp} = IF(Q_{iT} < 1,5 \cdot 1,5 \cdot Q_{iT})$$

expressando a condição da Norma: se a vazão do trecho for menor que 1,5 l/s, adote 1,5, caso contrário, adote a vazão do trecho. No caso, como Q_{iT} é 0,146 l/s, a opção por 1,5 l/s foi feita.

$$Q_{fTp} = 1,50 \text{ l/s (caso análogo ao anterior)}$$

$$4) I_{min} = 0,0455 \text{ m/m}$$

Novamente trata-se de uma equação condicional:

$$I_{min} = IF((CTM-CTJ) \cdot LT > 0,0055 \cdot Q_{iTp}^{-0,47}, (CTM-CTJ) \cdot LT \cdot 0,0055 \cdot Q_{iTp}^{-0,47})$$

Pela Norma, a declividade mínima que satisfaz a condição de $T_{tra} = 1 \text{ Pa}$ pode ser calculada pela expressão (aproximada): $0,0055 \cdot Q_{iTp}^{-0,47}$. A equação diz que se a declividade do terreno for maior do que a calculada pela Norma, deve ser adotada a declividade do terreno, caso contrário, a calculada pela Norma. No caso, é feita a opção pela declividade do terreno, pois a da Norma seria cerca de dez vezes menor que a do terreno.

$$5) ENCH = 0,15$$

Na equação (5) entra-se com n de Manning, $Q_{prj} = 1,5 \text{ l/s}$ e $D = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$. O SOLVER deve ser ajustado para calcular em radianos e a incógnita $y/D = ENCH$ é calculada por iteração em 9 segundos neste caso. Trata-se da equação da continuidade ($Q = V \cdot A$) combinada com fórmula de Manning ($V = 1/n \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2}$), onde o raio hidráulico e a seção molhada estão em função do ângulo central com a superfície do líquido. O ângulo, por sua vez, é expresso em função de y/D .

$$6) V_{prj} = 0,94 \text{ m/s ou } 0,98 \text{ (P)}$$

$$7) T_{trat} = 6,2 \text{ Pa ou } 6,4 \text{ Pa (P)}$$

$$8) V_{cri} = 2,19 \text{ m/s ou } 2,22 \text{ m/s (P)}$$

Na resolução das três últimas equações (6 a 8), apenas o cálculo foi acionado, pois as incógnitas já determinadas e os dados pertinentes já figuravam na tela, com seus valores conhecidos.

Dimensionamento do trecho 1-2

Para este trecho volta-se à equação (2) e muda-se a extensão do trecho ($LT = 38$). A tela já indica a manutenção dos outros dados pertinentes:

$$2) Q_{iT} = 0,063 \text{ l/s ou } 0,062 \text{ l/s (P)}$$

Esta vazão acumula-se à de montante, guardada no registro 1. A calculadora funciona com notação RPN ou algébrica, como preferido. A soma fornece a vazão do trecho: $0,146 + 0,063 = Q_{iT} = 0,209 \text{ l/s}$ ou $0,208 \text{ l/s (P)}$

Com ENTER este valor ingressa na tela, na posição que estiver sendo iluminada com o cursor, como nova vazão de dimensionamento a ser utilizado nesta e nas telas seguintes.

Da mesma forma:

$$Q_{fT} = 0,127 \text{ l/s}$$

$$0,297 \text{ (do registro 2)} + 0,127 = Q_{fT} = 0,425 \text{ l/s}$$

$$3) Q_{iTp} = 1,50$$

$$Q_{fTp} = 1,50$$

$$4) I_{min} = 0,0603 \text{ m/m}$$

$$5) ENCH = 0,14$$

Desta vez apenas o cálculo foi acionado, pois os dados pertinentes já constavam da tela. A iteração foi completada em 3 segundos.

$$6) V_{prj} = 1,03 \text{ m/s ou } 1,09 \text{ m/s (P)}$$

$$7) T_{trat} = 7,7 \text{ Pa ou } 7,8 \text{ Pa (P)}$$

$$8) V_{cri} = 2,12 \text{ m/s ou } 2,13 \text{ m/s (P)}$$

Dimensionamento do trecho 1-5

A vazão de dimensionamento para este trecho não ligado ao anterior é dada na obra citada como igual a 5,481 l/s, volta-se à equação (3), para introdução desde dado como Q_{iTp} .

$$3) Q_{iTp} = 5,481 \text{ l/s}$$

Da mesma forma para Q_{fTp} , igual a 6,002 l/s:

$$Q_{fTp} = 6,002 \text{ l/s}$$

4) Com os dados topográficos do trecho e sua extensão:

$$I_{min} = 0,0515 \text{ m/m}$$

Neste ponto o projetista nota a necessidade de aumentar a declividade para 0,0548 m/m para que não ocorra um degrau de 0,11m. Este valor da declividade é introduzido como dado na equação (4) para o uso nas telas seguintes.

$$5) ENCH = 0,27 \text{ ou } 0,26 \text{ (P)}$$

Para este cálculo foi utilizada a vazão inicial dada. A iteração levou 12 segundos.

E com a vazão final fornecida:

$$ENCH = 0,28 \text{ ou } 0,27 \text{ (P)}$$

6) Para a vazão inicial:

$$V_{prj} = 1,46 \text{ m/s ou } 1,45 \text{ m/s (P)}$$

Para a vazão final:

$$V_{prj} = 1,50 \text{ m/s ou } 1,48 \text{ m/s (P)}$$

7) Para a vazão inicial a tensão trativa é:

$$T_{tra} = 12,7 \text{ Pa ou } 12,6 \text{ Pa (P)}$$

8) Para a vazão final a velocidade crítica é:

$$V_{cri} = 2,91 \text{ m/s ou } 2,92 \text{ m/s (P)}$$

Dimensionamento do trecho 1-7

As vazões dadas para este trecho são introduzidas na equação (3):

$$3) Q_{iTp} = 5,950 \text{ l/s}$$

$$Q_{fTp} = 6,958 \text{ l/s}$$

4) Com os dados topográficos do trecho e sua extensão:

$$I_{min} = 0,0024 \text{ m/m}$$

Com esta declividade a obra citada indica que para Q_{fTp} a relação y/D será maior do que 75% consultando-se o ábaco e a tabela. Com

efeito, utilizando-se a equação (5), verifica-se ser: $ENCH = 0,77$. Tendo em vista a inclinação favorável do terreno à jusante, a declividade foi aumentada para $0,003 \text{ m/m}$. Alterando-se este dado na equação (5):

$$ENCH = 0,70$$

6) A V_{proj} para a vazão final é:
 $V_{prj} = 0,53 \text{ m/s}$

8) E a velocidade crítica para esta vazão é:
 $V_{cri} = 3,96 \text{ m/s}$

6) A velocidade de projeto para a vazão inicial é:
 $ENCH = 0,62$, pela equação (5). Com este valor na equação (6):
 $V_{prj} = 0,51 \text{ m/s}$

7) A tensão trativa será para a vazão inicial:
 $T_{tra} = 1,3 \text{ Pa}$
 Estes exemplos poderiam ser resolvidos passando-se as equações para as células da planilha 1-2-3 da HP 95 LX obtendo-se um cálculo programado. O autor espera que o descrito neste artigo, que faz referência parcial a apenas dois dos sete aplicativos em ROM da HP 95 LX (Editor e Calculadora), possa ter despertado o interesse dos leitores para o potencial deste computador como auxiliar de projeto.

Exemplo de um ajuste de curvas com a HP 95 LX: viscosidade em função da temperatura, para uso na fórmula universal (PNB-591) de cálculo de condutos forçados

O objetivo do trabalho é demonstrar ser possível guardar no pequeno PALMTOP HP 95 LX a maioria (se não todas) as tabelas de uso mais freqüente pelos engenheiros projetistas, tornando obsoleta a interpolação dos dados tabelados e/ou diminuindo a consulta a material impresso durante os projetos.

O exemplo escolhido satisfaz o objetivo proposto e procura demonstrar o uso de três aplicativos do PALMTOP: uma das macros pré-gravadas na planilha 1-2-3, a calculadora e o Editor, todos integrados no procedimento que se segue. A transferência dos elementos do Editor para a planilha poderia ter sido feita de uma única vez (em bloco). Aqui foi feita a opção de se transferir um resultado de cada vez.

Consideremos os seguintes tipos de equações básicas e suas respectivas transformadas:

Tipo	Equação	Transformada
Linear	$y = B + Mx$	
Exponencial	$y = B e^{Mx}$	$\ln y = \ln B + Mx$
Logarítmica	$y = B + M \ln x$	
Potencial	$y = B x^M$	$\ln y = \ln B + M \ln x$

Consideremos agora as duas primeiras colunas do Quadro (1), que são parte da tabela da página 207 do *Manual de Hidráulica* (Azevedo Netto, sétima ed. vol. I):

Quadro (1) — Viscosidade x Temperatura

T e m p	Visc *	Ln (Visc*)	Visc pela equaç. (1)	Visc pela equaç. (2)
	10^{-9}	10^{-9}	$*10^{-9}$	$*10^{-9}$
4	1567	-13,366	1,527	1559
6	1473	-13,428	1,452	1473
8	1386	-13,489	1,381	1391
10	1308	-13,547	1,313	1314
12	1237	-13,602	1,249	1241
14	1172	-13,656	1,187	1172
16	1112	-13,709	1,129	1112
18	1059	-13,758	1,074	1060
20	1007	-13,808	1,021	1010
22	960	-13,856	971	963
24	917	-13,902	923	918
26	876	-13,947	878	875
28	839	-13,991	835	839
30	804	-14,033	794	805
32	772	-14,074	755	773

Colocando-se as viscosidades em função das temperaturas na template STAT.WK1 da 1-2-3, fazendo-se uma regressão linear simples e consultando-se o gráfico de distribuição dos dados ao longo da linha de tendência, verifica-se que o melhor ajuste será conseguido com a curva exponencial.

A passagem dos logaritmos neperianos da Calculadora para o Editor e para a template STAT.WK1 da 1-2-3 foi feita para cada temperatura, sem redigitação do valor encontrado na calculadora. Para cha-

mar os comandos a seguir basta a primeira letra do comando, aqui por extenso para maior facilidade de compreensão.

Preparação dos aplicativos antes do cálculo

1) 1-2-3. MENU. FILE. RETRIEVE. cursor até STATWK1. ALT-XY. ALT-ERASE. YES. ENTER. entrada na coluna X dos dados de temperatura, de 2 a 32 graus. Após a última temperatura, cursor posicionado na coluna Y, em frente dos 4 graus.

2) EDITOR. preenchimento da coluna das temperaturas, volta-se com o cursor até a posição onde deverá ser escrito o primeiro logaritmo (em frente dos 4 graus).

3) CALCULADORA. MENU. OPTIONS. FORMAT. FIX. 9. 10. ENTER. 9. +. -, ^, ST01. MENU. MATH. MORE (4 vezes), preparando-se para acionar a tecla de função F6, que calculará o logaritmo neperiano (LN).

Cálculo

1) A viscosidade cinemática correspondente a 4 graus é 0.000001567. Na Calculadora, entrar 1567. RCL1. *, LN, CTRL-F2 (copy), ST0 @. Com LN, é calculado o logaritmo neperiano de $1567 \cdot 10^{-9}$. Com CTRL-F2, é feita uma cópia no Clipboard para passagem para o EDITOR. Com ST0 @, este logaritmo é passado para a 1-2-3 em frente aos 4 graus, onde estava o cursor; na 1-2-3. ENTER, o logaritmo é registrado na célula e volta-se a Calcline da Calculadora, automaticamente.

2) Antes de novo cálculo, EDITOR F4 (Paste), e este logaritmo também fica escrito na frente dos 4 graus da tabela do texto. Deixar o cursor na posição correta para que seja escrito o segundo logaritmo em frente dos 6 graus. Voltar a Calculadora para o segundo cálculo. O resultado, transferido com 9 casas decimais, foi editado para fins de maior clareza do Quadro (1), suprimindo-se os 6 últimos algarismos.

3) Na calculadora, entrar 1473 e repetir a seqüência de cálculo já explicada. Quando na 1-2-3, localizar o cursor em frente dos 6 graus: na volta automática, após ENTER do cálculo anterior, o cursor ficou na célula em frente aos 4 graus.

4) Após completar a introdução dos 15 pares de dados na 1-2-3 e no EDITOR, voltar a 1-2-3, para o cálculo da regressão.

5) Na 1-2-3, SHIFT HOME, se for desejado visualizar as opções de macros que ficaram ocultas pelo rolamento da tela. Acionar o cálculo da regressão com ALT-REGRESSION: surge a tela do resultado da regressão, com os seguintes dados de interesse principal:

Intercept	- 13.2916351135
Std Err of Y Est	0.014..
R squared	0.996...
Slope	- 0.0251748706

A correlação é boa (0.996) e as viscosidades calculadas serão precisas majoritariamente até o segundo algarismo significativo (0.014).

A equação transformada é:

$$\ln(\text{Visc}) = -13.291635 - 0.025175 \cdot T$$

E a equação que seria arquivada para uso, no catálogo de equações do Solver:

EQ (1):

$$\text{Visc} = 0.000001689 \cdot 2.718281828^{(-0.0251748706 \cdot T)}$$

Para encontrar a base dos logaritmos neperianos (2,718...) basta colocar 1 na Calcline e pressionar a tecla de função E^X ; para encontrar o antilogaritmo de -13,2916..., basta colocá-lo na Calcline e tam-

bém acionar E^X . A equação encontrada foi transferida para o catálogo do Solver pelo Clipboard. Seu uso no Solver permitiu completar a penúltima coluna do Quadro (1).

Todos os valores calculados pela equação foram transferidos pelo Clipboard, da Calculadora para o texto. Para o cálculo, foi colocado no reg 1 o multiplicador 10^9 ; foi ajustada a representação com zero casas decimais e as viscosidades correspondentes às diversas temperaturas, calculadas pela equação, foram multiplicadas por 10^9 antes da transferência para o Quadro (1).

Comparando-se com os dados, verifica-se que das 15 viscosidades dadas, 3 estão certas apenas até o primeiro significativo e uma discorda no primeiro significativo (30 graus: 794 em vez de 804). As 11 restantes concordam até o segundo algarismo significativo.

Com o objetivo de conseguir numa única equação a substituição total da tabela das viscosidades em função da temperatura (cujo alcance vai de zero a 38 graus de 2 em 2 graus na obra citada), o processo acima foi repetido para 3 intervalos de temperatura: 4 a 16, 14 a 28, 26 a 38 graus. As 3 curvas obtidas tiveram correlação de 0.999. Pesquisando o comportamento destas curvas nas sobreposições de temperaturas (14, 16, 26 e 28 graus, foram estabelecidos os limites de aplicação de cada equação, de tal forma a representar toda tabela com exatidão até o segundo algarismo significativo.

A equação resultante tem cinco condicionais, pois para as viscosidades máximas correspondentes às temperaturas de zero e de 2 graus, a resolução é simplesmente uma representação do valor tabelado. Por outro lado, como abaixo de 4 graus as viscosidades são as maiores, e como adotar uma declividade maior favorece a segurança na fórmula universal, para temperaturas entre 2 e 4 graus exclusive, a equação adota a viscosidade correspondente a 2 graus; para as compreendidas entre 0 e 2 graus, a viscosidade de 0 grau.

A equação a seguir foi transferida pelo Clipboard do catálogo do Solver e substitui a tabela do livro, como se observa comparando-se a segunda e a última coluna no Quadro (1).

EQ (2):

$$\begin{aligned} v = & \text{IF}(T = 0 \text{ OR } T < = 1, 1792 \cdot 10^{-9}, \\ & \text{IF} = (T = 2 \text{ OR } T < 4, 1763 \cdot 10^{-9}, \\ & \text{IF} < T > = 4 \text{ AND } T < 16, \\ & 1748 \cdot 10^{-9} \cdot 2.7183^{(-0.028570 \cdot T)}, \\ & \text{IF}(T) = 16 \text{ AND } T < 28, \\ & 1629 \cdot 10^{-9} \cdot 2.7183^{(-0.023882 \cdot T)}, \\ & 1480 \cdot 10^{-9} \cdot 2.7183^{(-0.020288 \cdot T)})) \end{aligned}$$

Significando:

Se a temperatura for 0 ou menor do que 2 graus a viscosidade é igual a 0.000001792; se for 2 graus ou menor do que 4 graus, é 0.000001763; se estiver entre 4 inclusive e 16 exclusive, deve ser calculada pela expressão compreendida entre os dois pontos (...); se estiver entre 16 inclusive e 28 exclusive, pela próxima expressão entre os dois pontos (...) e se for igual ou maior do que 28 graus, pela última expressão depois do último ponto.

Como exemplo de aplicação pode ser tomado o exercício resolvido da obra citada (pág. 205):

Uma tubulação de aço rebitado, com 0.30 m de diâmetro (D) e 300 m de comprimento (L), conduz $0.130 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q) de água a 15.5 graus centígrados. A rugosidade (k) do tubo é 0.003 m. A viscosidade cinemática (v) da água nesta temperatura é $0.000001127 \text{ m}^2/\text{s}$. Determinar a velocidade média (V) e a perda de carga (hf).

A resolução do problema aplica a equação da continuidade (achando V), determina o número de Reynolds (Re) em função da viscosidade dada ($V \cdot D/\nu$) e determina a rugosidade relativa ($D:k$) para entrar no Diagrama de Rouse e achar o coeficiente de resistência (f). Finalmente encontra a perda de carga (hf). Para um caso real, conhecendo-se os demais dados a viscosidade deveria ser determinada consultando-se uma tabela que a fornecesse em função da temperatura. Haveria necessidade de interpolação.

Com os recursos da HP 95LX evita-se a consulta à tabela, a interpolação da leitura para a temperatura fracionária dada e o emprego do Diagrama de Rouse, uma vez que o cálculo iterativo para determinação de (f) leva menos de 3 segundos. Sabendo-se que o escoamento é transitório (passagem de parede lisa para parede rugosa) até mesmo o cálculo do Re pode ser evitado. Por outro lado o resultado encontrado não difere do calculado na obra citada, demonstrando que o uso da equação (2) para determinação da viscosidade tem nível de precisão satisfatório. Resolvendo o exemplo, trazendo as equações e suas resoluções do Solver:

$$Q = V \cdot \pi \cdot D^2 \cdot 4 \text{ onde } V = 1.84 \text{ m/s}$$

$$\nu = \text{IF}(T = 0 \text{ OR } T < = 1, 1792 \cdot 10^{-9},$$

$$\text{IF}(T = 2 \text{ OR } T < 4, 1763 \cdot 10^{-9},$$

$$\text{IF}(T > = 4 \text{ AND } T < 16,$$

$$1748 \cdot 10^{-9} \cdot 2.71831^{(-.028570 \cdot T)},$$

$$\text{IF}(T > = 16 \text{ AND } T < 28,$$

$$1629 \cdot 10^{-9} \cdot 2.7183^{(-.023882 \cdot T)},$$

$$1480 \cdot 10^{-9} \cdot 2.7183^{(-.020288 \cdot T)}))$$

onde $\nu = 0.000001123 \text{ m}^2/\text{s}$
(observe a exatidão até o terceiro algarismo, entre o calculado e o fornecido)

Usando agora a fórmula universal, recomendada pela PNB-591, onde o Re foi substituído em função dos dados e de (ν):

$$1/\text{SQRT}(f) = -2 \cdot \text{LOG}(k \cdot (3.7 \cdot D) + 1.971 \cdot D \cdot \nu \cdot Q \cdot \text{SQRT}(f))$$

onde $f = 0.038$

$$hf = f \cdot L \cdot V^2 \cdot 1 / (2 \cdot 9.81 \cdot D)$$

onde hf = 6.54 m (6.55 m, obra citada)

Uma última nota sobre a HP 95 LX: este antigo, ocupando 11500 bytes de sua memória, utiliza apenas 2% da sua RAM. Poderia também ter sido preservado na RAM auxiliar; um cartão de memória do tamanho de um cartão de crédito com 512 kb de capacidade.

CHAMADA PARA TRABALHOS

No mês de junho do próximo ano será realizado o I Seminário Nacional sobre A Qualidade da Operação em Sistemas de Abastecimento de Água, em São Paulo. O evento será realizado e promovido pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo — SABESP.

Os resumos dos trabalhos deverão ser apresentados nos idiomas português ou inglês, sendo que o resumo deverá abranger uma página A4 e o trabalho final, no máximo 15 páginas A4. Todos os resumos recebidos até o dia 4 de março e aceitos, serão incluídos nos anais. A aceitação será comunicada aos autores até o dia 22 de março. Os autores selecionados deverão apresentar os trabalhos

finais até abril de 1993. O I Seminário Nacional sobre "A Qualidade da Operação em Sistemas de Abastecimento de Água é Controle de Perda", tem os seguintes temas: Macromedição e Pitometria; Micromedição; Cadastro Técnico; Manutenção e Reabilitação de Unidades Operacionais; Sistema Integrado de Prestação de Serviços; Cadastro Comercial e Uso Eficiente da Água no Domicílio.

Os trabalhos deverão ser encaminhados para o Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento EDD/E da Sabesp, na Rua Costa Carvalho, 300, Pinheiros, CEP: 05408 000, São Paulo, Brasil, aos cuidados da engenheira Silvana de Almeida N. Contrim. Maiores informações telefone (011) 210 9577 e Fax (011) 813-3587.