

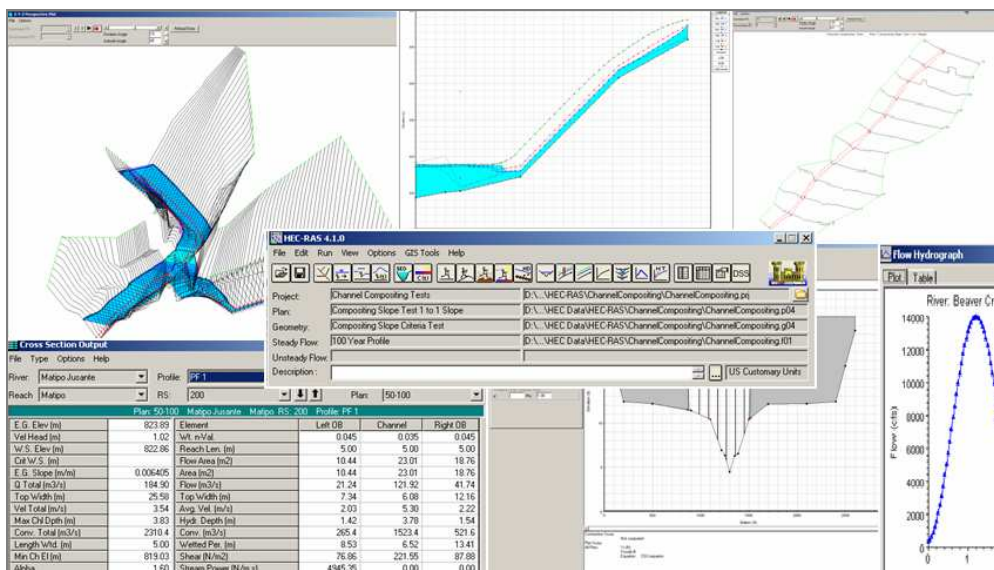
# Curso Básico HEC-RAS

Elaborado por: Rubens Gomes Dias Campos

Engenheiro Civil – UFMG

Msc. Recursos Hídricos – UFMG

Apoio Logístico: Eng Marcos Jabor – DER MG



Versão 1.1

Belo Horizonte, 7 e 8 de Maio de 2011.

## SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	2
OBJETIVO .....	4
INTRODUÇÃO.....	4
INSTALANDO OS SOFTWARES .....	4
HEC-RAS .....	4
SOBRE O HEC-RAS .....	5
BASE TEÓRICA .....	5
FORMULAÇÃO MATEMÁTICA – ESCOAMENTO PERMANENTE.....	5
MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO PERMANENTE.....	7
FORMULAÇÃO MATEMÁTICA – ESCOAMENTO TRANSITÓRIO .....	8
MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO TRANSITÓRIO .....	9
INTERFACES.....	14
INTERFACE PRIMÁRIA – PARTE I .....	14
INTERFACE PRIMÁRIA – PARTE II .....	15
GEOMETRIA .....	16
INTERFACE GEOMETRIA - INTRODUÇÃO .....	16
SEÇÃO GEOMÉTRICA.....	17
JUNÇÕES.....	20
O SISTEMA SIG E O HEC-RAS.....	21
FERRAMENTA INTERPOLAÇÃO .....	24
POR TRECHO .....	24
POR SEÇÃO.....	25
ENTRADA DE DADOS POR TABELAS .....	26
DADOS DE VAZÃO E CONDIÇÕES DE CONTORNO – REGIME PERMANENTE.....	30
ANÁLISE PERMANENTE .....	32
DADOS DE VAZÃO E CONDIÇÕES DE CONTORNO – REGIME TRANSITÓRIO .....	33
ANÁLISE TRANSITÓRIO.....	35
ERROS, ADVERTÊNCIAS E NOTAS .....	36
GEOMETRIA - FERRAMENTA PONTES E BUEIROS.....	37
LEVEES .....	41
RESULTADOS GRÁFICOS .....	42
PERFIS DOS TRECHOS DOS MODELOS .....	42
GRÁFICOS DE DADOS HIDRÁULICOS .....	43

TABELA DE PROPRIEDADES HIDRÁULICAS .....	44
CURVA CHAVE .....	45
TABELA DE DADOS DE SAÍDA.....	46
VISUALIZAÇÃO 3D .....	47
FIGURAS DE FUNDO.....	48
PLANOS.....	49
REGIME PERMANENTE .....	49
REGIME TRANSITÓRIO .....	49
APLICAÇÕES .....	50
ENTRADA DE DADOS.....	51
SUPERFÍCIE LÍQUIDA.....	52
BUEIROS.....	52
PONTES.....	53
ÁREAS BLOQUEADAS E ÁREAS INEFETIVAS .....	56
LIMITAÇÕES DO SOFTWARE .....	57
BIBLIOGRAFIA .....	58

## OBJETIVO

O Objetivo do curso é que, após este, cada engenheiro participante tenha domínio suficiente para desenvolver de forma plena o uso deste recurso computacional, de forma a ser capaz de entrar com dados proceder a análises e interpretar resultados.

Para tanto são abordados não somente feições sobre o software, mas também teoria sobre o funcionamento teórico dos mesmos.

## INTRODUÇÃO

Esta apostila foi desenvolvida para ser utilizada durante o curso, com exposição simultânea, do software HEC-RAS e as instruções seguem anotadas em figuras que representam a interface do programa.

Procurou-se adotar a sequência de exposições destas figuras a serem seguidas no curso.

O objetivo do curso é fornecer aos alunos noções básicas do HEC-RAS para que, com os conhecimentos de engenharia, possam desenvolver de forma independente projetos e estudos com a utilização do mesmo.

Serão desenvolvidos, durante o curso, passo a passo com as interfaces expostas nesta apostila, exemplos. A apostila visa a descrever as principais interfaces que serão utilizadas.

## INSTALANDO OS SOFTWARES

### HEC-RAS

Executar o aplicativo e definir prioridades para instalação dos exemplos fornecidos e Sistema Internacional de Unidades.

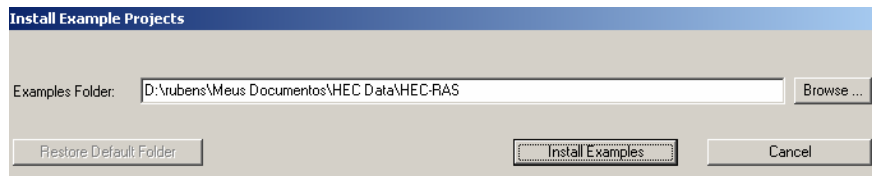


Figura 01 – Exemplos a serem instalados.

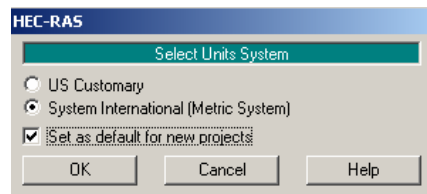


Figura 02 – Definição do sistema de unidades adotado.

## SOBRE O HEC-RAS

Basicamente, possui uma interface primária por onde pode-se acessar várias outras interfaces para entrada, consulta e verificação de dados.

Este software armazena os dados em vários arquivos de forma independente. Assim, criam-se arquivos somente de geometria, vazões, sedimentos, etc.

Estes arquivos de dados podem ser analisados por diferentes combinações de forma a se criar vários planos de análise.

## BASE TEÓRICA

### FORMULAÇÃO MATEMÁTICA – ESCOAMENTO PERMANENTE

A equação de energia sentencia que:

Uma partícula de água em escoamento com peso específico  $\gamma$ , massa específica  $\rho$ , massa  $m$  e situada a uma cota  $z$  em relação a um Datum, e considerando esta partícula submetida a um campo gravitacional, levando-se em conta as energias cinéticas e potenciais de posição e de pressão.

Para a determinação do escoamento permanente a solução da equação de energia, creditada à Bernoulli, é dada pela seguinte formulação:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Onde os termos são os seguintes, respectivamente;

$Y_1, Y_2 \rightarrow$  Profundidade líquida na seção;

$Z_1, Z_2 \rightarrow$  Cota do fundo do canal em relação a um Datum;

$V_1, V_2 \rightarrow$  Velocidade média na seção;

$\alpha_1, \alpha_2 \rightarrow$  Coeficientes de Coriolis;

$g \rightarrow$  Aceleração da gravidade;

$h_e \rightarrow$  Perda de carga no trecho.

A Figura a seguir demonstra os termos da equação de energia.

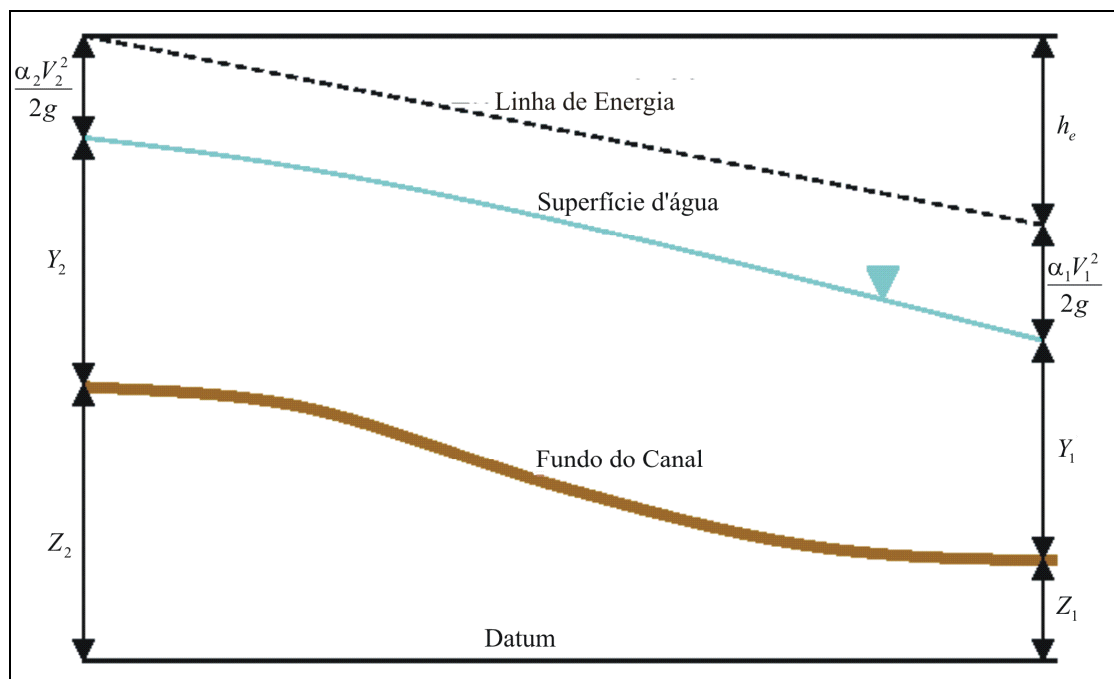


Figura 03 – Perfis das linhas de água e energia e termos da equação de energia.

## MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO PERMANENTE

Os perfis da superfície líquida são calculados de uma seção para a próxima pela resolução da equação de energia por um processo iterativo conhecido como Método Passo Padrão, introduzido por CHOW (1959).

Para escoamentos na grande maioria dos canais naturais em condições normais, o perfil em trechos de canais curtos é muito semelhante ao perfil para o escoamento uniforme,

A determinação da superfície líquida é feita pelo uso das equações 1 e 2, em um processo iterativo, sendo este processo computacional o seguinte;

Calcula-se uma determinada elevação da superfície de água, WS1, na seção à montante (ou na seção à jusante se um perfil supercrítico está sendo calculado);

Baseado na elevação de superfície de água calculada determina-se a condutância e velocidade correspondente;

Com os valores do passo 2, podem se calcular  $\bar{S}_f$  e resolver a equação 2 para  $h_e$ ;

Com valores dos passos 2 e 3 é possível calcular a equação 1 para WS2;

Comparam-se os valores assumidos, WS1, e calculado, WS2, até o momento no qual a diferença convirja para 0,003 m, ou outro valor definido.

A perda de carga entre duas seções é devida às perdas por atrito e por perdas por contração e expansão. A equação de perda de carga proposta é a seguinte;

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

Onde;

$L \rightarrow$  Comprimento do trecho;

$\bar{S}_f \rightarrow$  Coeficiente de perda de carga representativo do trecho;

$C \rightarrow$  Coeficientes representativo de perda de carga por contração e expansão;

O comprimento do trecho,  $L$ , é calculado como segue:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (3)$$

Onde;

$L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} \rightarrow$  Comprimentos dos trechos para as seções especificadas em suas margem esquerda, canal principal e margem direita.

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob} \rightarrow$  Média aritmética das vazões entre as seções especificadas em sua margem esquerda, canal principal e margem direita.

Em geral, quando não se consegue balancear a equação de energia em uma seção, as causas comuns disto são normalmente um número inadequado de seções (seções muito espaçadas) ou dados inconsistentes, presentes nas seções.

## FORMULAÇÃO MATEMÁTICA – ESCOAMENTO TRANSITÓRIO

As premissas adotadas para a formulação das equações de Saint-Venant são as seguintes, de acordo com CHAUDHRY (1993):

A distribuição de pressões no escoamento é tratada como hidrostática. Esta premissa é válida se superfície líquida não tem curvatura acentuada.

A declividade do leito é pequena, o canal é de leito fixo e, portanto, a profundidade medida normalmente ao canal e verticalmente são praticamente a mesma.

O escoamento é unidimensional, ou seja, a velocidade ( $u$ ) do escoamento é uniforme na seção.

O canal é prismático. A seção transversal do canal pode variar ao longo do escoamento, porém variações desse tipo são tratadas pela restrição de vários pequenos segmentos prismáticos.

Os coeficientes de rugosidade utilizados em equações de escoamento turbulento e uniforme são aplicáveis ao escoamento não permanente para cálculo da perda de carga. As equações de Manning ou Chézy podem ser utilizadas para descrever efeitos de rugosidade e perdas de carga;

O fluido é incompressível e de densidade constante.

Três leis da conservação – Massa, momento e energia – são usadas para descrever o escoamento em canais abertos, CHAUDHRY (1993). Duas variáveis do escoamento, como a profundidade e velocidade ou a profundidade e a vazão, são suficientes para descrever as condições do escoamento em uma



seção do canal. Entretanto, duas equações devem ser usadas para analisar uma situação típica de escoamento.

Para a forma reduzida temos a equação de conservação da quantidade de momento (TUCCI, 1998):

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_o - S_f) \quad (4)$$

Para a conservação de massa a equação é escrita como (TUCCI, 1998):

$$b \frac{\partial y}{\partial t} + A \frac{\partial y}{\partial x} + vb \frac{\partial y}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

Entre as simplificações das equações do escoamento as que possuem maior relevância quanto as suas influências sobre esta pesquisa é sobre o escoamento ser admitido como unidimensional e sobre a continuidade da função.

Segundo TUCCI (1998) nas deduções das equações foram desprezadas as variações de velocidade nas direções transversal e vertical, sendo assim, a velocidade média é representativa da variabilidade de velocidades na seção e o processo é considerado, preponderantemente, longitudinal, na direção do rio ou de uma declividade principal.

Tratando-se de uma região onde a planície de inundação tem uma seção larga, que foi ocupada por equipamentos urbanos e existem várias ilhas devido ao processo de assoreamento, pode-se observar a formação de vários trechos preferenciais de escoamento, bem como de áreas de armazenamento, caracterizadas aqui pelos equipamentos urbanos (quarteirões).

## MÉTODOS NUMÉRICOS PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO TRANSITÓRIO

Segundo CHOW et al. (1988) as equações de Saint-Venant para escoamentos distribuídos não são facilmente resolvidas por soluções analíticas, exceto em poucos casos especiais muito simples.

Existem equações diferenciais parciais que, em geral, devem ser resolvidas utilizando-se métodos numéricos. Tais métodos são classificados como Métodos Numéricos Diretos ou Métodos Característicos. Para os Métodos Diretos as equações das diferenças finitas são formuladas a partir das equações diferenciais parciais originadas da continuidade e momento. A

solução para a taxa de escoamento e elevação da superfície líquida são então obtidas para tempos e distâncias incrementais ao longo do rio.

Em métodos numéricos para resolução das equações parciais os cálculos são executados em uma malha localizada sobre o plano  $x-t$ . O plano  $x-t$  é uma rede de pontos definidos por incrementos de distância de comprimento  $\Delta x$  e incrementos de tempo de duração  $\Delta t$ .

A partir da Figura 4.2, os pontos de distância são denotados pelo índice  $i$  e os pontos de tempo pelo índice  $j$ . A linha do tempo seria uma linha paralela ao eixo  $x$  por todas as distâncias e para um valor de tempo concedido.

Esquemas numéricos transformam as equações diferenciais governantes em um esquema de equações de diferenças finitas algébricas, que pode ser linear ou não linear. As equações de diferenças finitas representam as derivadas espaciais e temporais em termos de variáveis desconhecidas em ambas as linhas do tempo,  $j + 1$ , e sua linha precedente,  $j$ , onde todos os valores são conhecidos de um cálculo anterior (ver Figura 4.2). A solução das equações de Saint-Venant avançam de uma linha do tempo para a próxima.

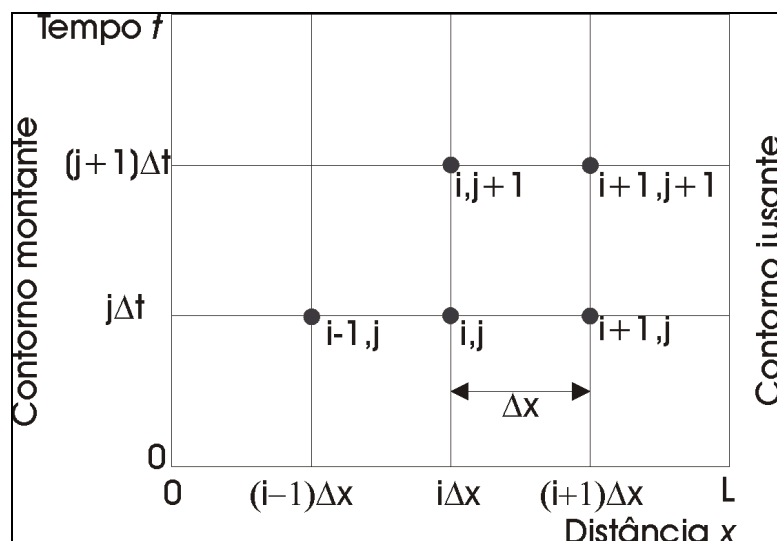


Figura 04 - Malha de plano  $x-t$  usada para solução numérica das equações de Saint-Venant por diferenças finitas - Adaptado de CHOW et al. (1988).

A aproximação para o esquema de diferenças finitas pode ser aproximado pela função  $u(x)$  como mostrado na Figura 4.3. Por um processo de expansão da série de Taylor de  $u(x)$  em um ponto  $x + \Delta x$  produz:

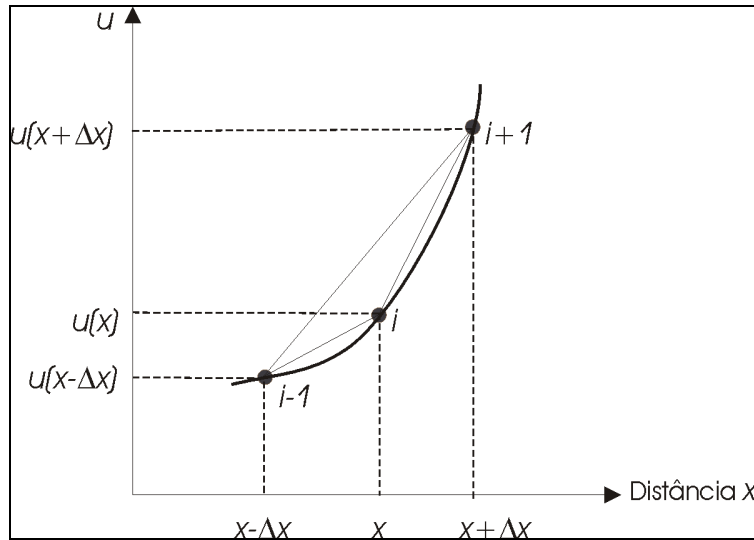


Figura 05 - Aproximações por diferenças finitas para a função  $u(x)$ -  
Adaptado de CHOW et al. (1988).

$$u(x + \Delta x) = u(x) + \Delta x u'(x) + \frac{1}{2} \Delta x^2 u''(x) + \frac{1}{6} \Delta x^3 u'''(x) + \dots \quad (6)$$

Onde  $u'(x) = \partial u / \partial x$ ,  $u''(x) = \partial^2 u / \partial x^2$ , e daí em diante. A expansão da série de Taylor em  $x - \Delta x$  produz:

$$u(x - \Delta x) = u(x) - \Delta x u'(x) + \frac{1}{2} \Delta x^2 u''(x) - \frac{1}{6} \Delta x^3 u'''(x) + \dots \quad (7)$$

Uma aproximação pela Diferença Central utiliza a diferença subtraindo 4.7 de 4.6:

$$u(x + \Delta x) - u(x - \Delta x) = 2 \Delta x u'(x) + O(\Delta x^3) \quad (8)$$

Onde  $O(\Delta x^3)$  representa um residual contendo os termos de terceira e maiores ordens.

Resolvendo para  $u'(x)$  e assumindo  $O(\Delta x^3) \approx 0$  resulta em:

$$u'(x) \approx \frac{u(x + \Delta x) - u(x - \Delta x)}{2 \Delta x} \quad (9)$$

Que possui um erro de aproximação de ordem de  $\Delta x^2$ . Este erro de aproximação, devido à eliminação dos termos de ordem maior, é também referido como erro truncado.

A aproximação para a Diferença Progressiva é definida pela subtração da equação 4.6 de  $u(x)$ :

$$u(x + \Delta x) - u(x) = \Delta x \cdot u'(x) + 0.(\Delta x^2) \quad (10)$$

Assumindo que termos de segunda e ordens maiores são negligenciáveis, solucionando para  $u'(x)$  resulta:

$$u'(x) \approx \frac{u(x + \Delta x) - u(x)}{\Delta x} \quad (11)$$

Que apresenta um erro de aproximação da ordem de  $\Delta x$ .

A aproximação para a Diferença Regressiva é definida pela subtração de  $u(x)$  da equação 4.7:

$$u(x) - u(x - \Delta x) = \Delta x \cdot u'(x) + 0.(\Delta x^2) \quad (12)$$

Assumindo que termos de segunda e ordens maiores são negligenciáveis, solucionando para  $u'(x)$  resulta:

$$u'(x) \approx \frac{u(x) - u(x - \Delta x)}{\Delta x} \quad (13)$$

O método das diferenças finitas pode utilizar o esquema implícito ou o esquema explícito. A principal diferença entre os dois é que para o método na forma explícita os valores desconhecidos são obtidos de forma sequencial ao longo do eixo do tempo de um ponto de distância para outro, enquanto que o método na forma implícita os valores desconhecidos em uma linha do tempo são todos obtidos simultaneamente.

A forma explícita é mais simples, mas pode ser instável, o que significa que valores de  $\Delta x$  e  $\Delta t$  pequenos são necessários para a convergência numérica do procedimento. A forma explícita é mais conveniente por que os resultados são fornecidos em pontos de uma malha, e assim pode-se tratar variações sutis do canal de uma seção para outra, mas, é menos eficiente que a forma implícita, e assim não adequado para simulação de vazões por longos períodos.

A forma implícita é matematicamente mais complicada, mas com o uso de computadores isto não é um problema sério quando se pode programar o método. Este método é estável para longos intervalos com baixa perda de precisão e assim trabalha mais rápido que o método explícito. Este método também pode suportar variações significativas entre as seções que descrevem o canal.

O software utilizado no trabalho proposto, HEC-RAS 4.1, possui em seus algoritmos, a forma implícita de quatro pontos para resolução do método das diferenças finitas, conhecido como esquema caixa (USACE a, 2008).

Os esquemas implícitos usam as aproximações por diferenças finitas para ambas derivações temporal e espacial em termos da variável dependente em uma linha do tempo desconhecida. Com um exemplo simples as derivadas de tempo e espaço podem ser escritas para um ponto desconhecido  $(i + 1, j + 1)$  como:

$$\frac{\partial u_{i+1}^{j+1}}{\partial x} = \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_i^{j+1}}{\Delta x} \quad (14)$$

$$\frac{\partial u_{i+1}^{j+1}}{\partial t} = \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_{i+1}^j}{\Delta t} \quad (15)$$

## INTERFACES

### INTERFACE PRIMÁRIA – PARTE I

Interface por meio da qual pode se acessar as demais interfaces.

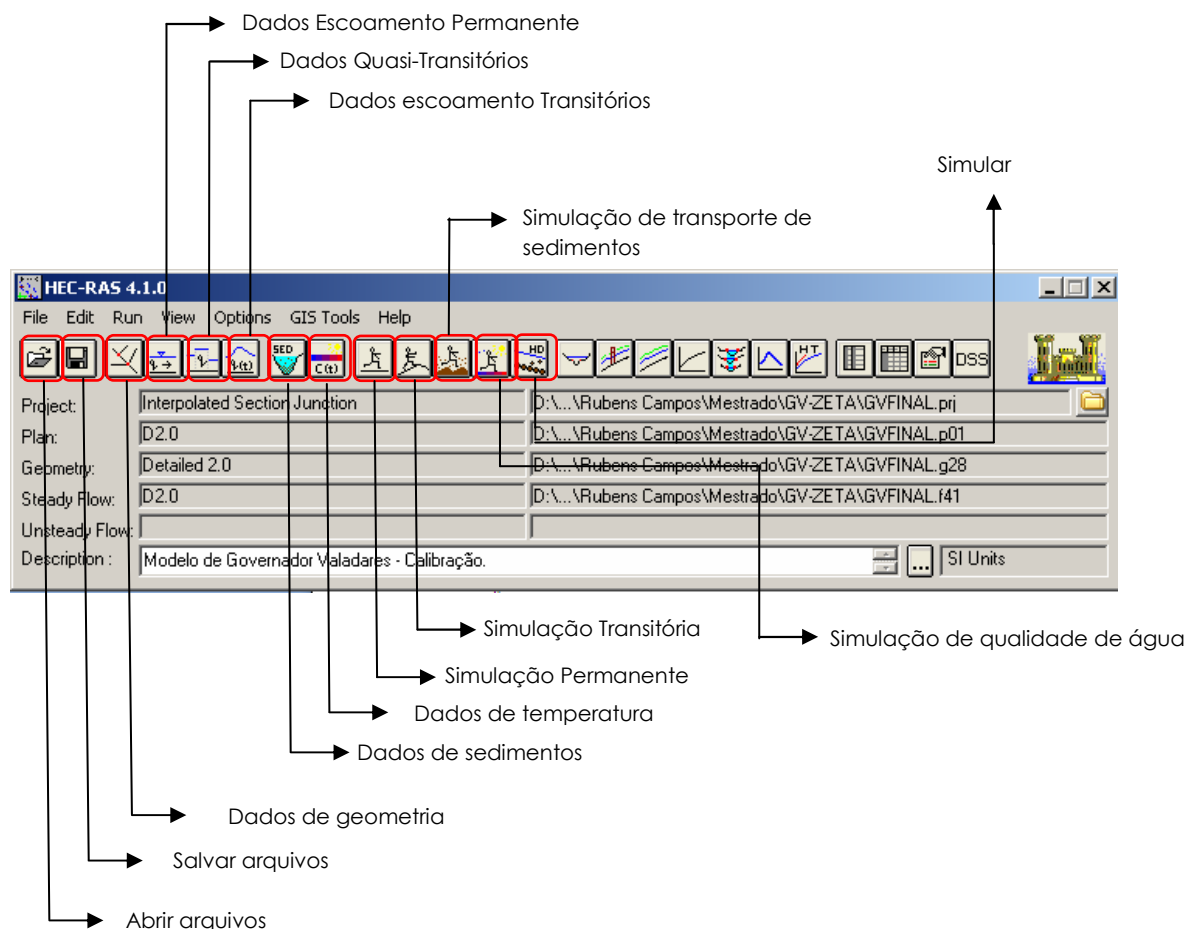


Figura 06 – Interface do HEC-RAS.

## INTERFACE PRIMÁRIA – PARTE II

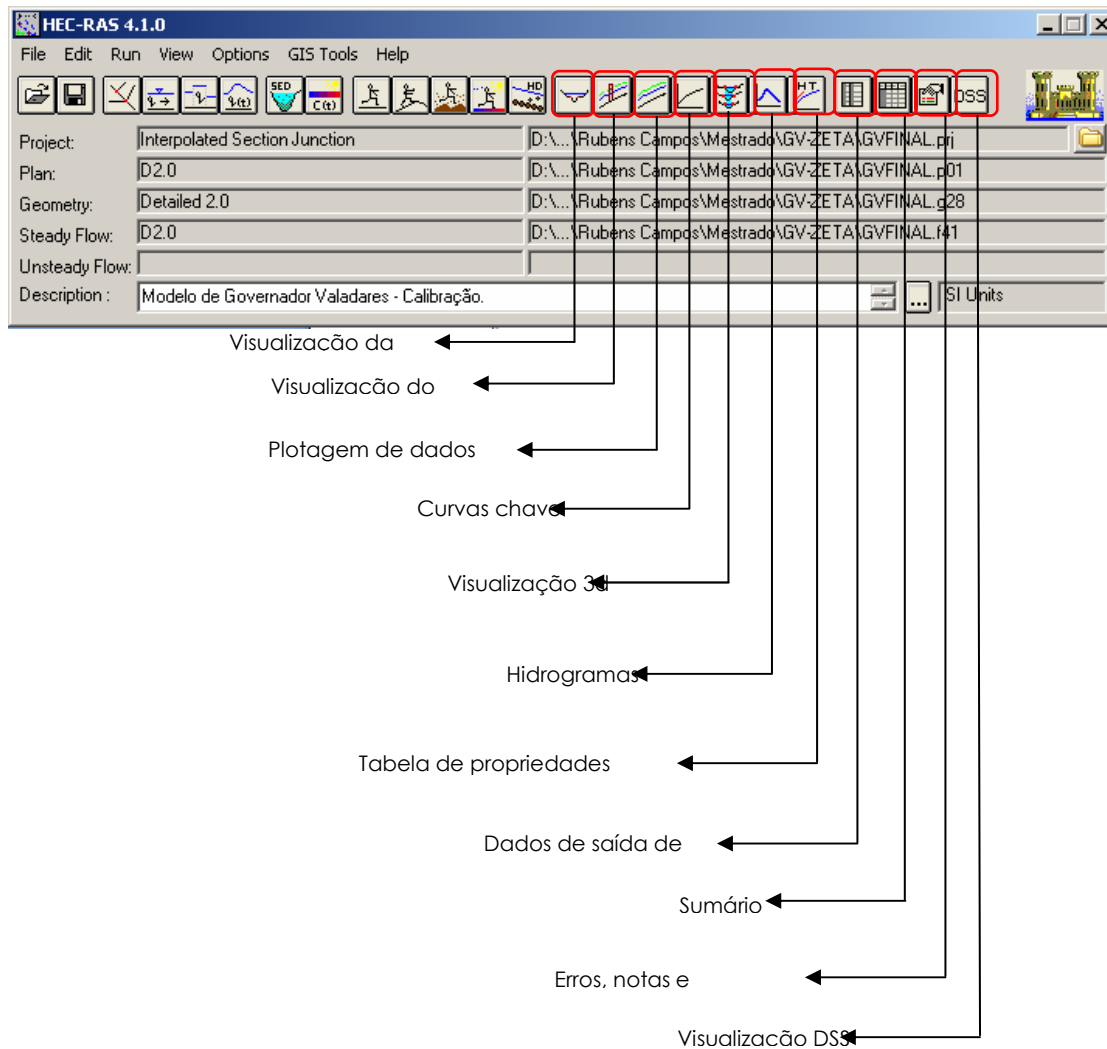


Figura 07 – Interface do HEC-RAS.

## GEOMETRIA

### INTERFACE GEOMETRIA - INTRODUÇÃO

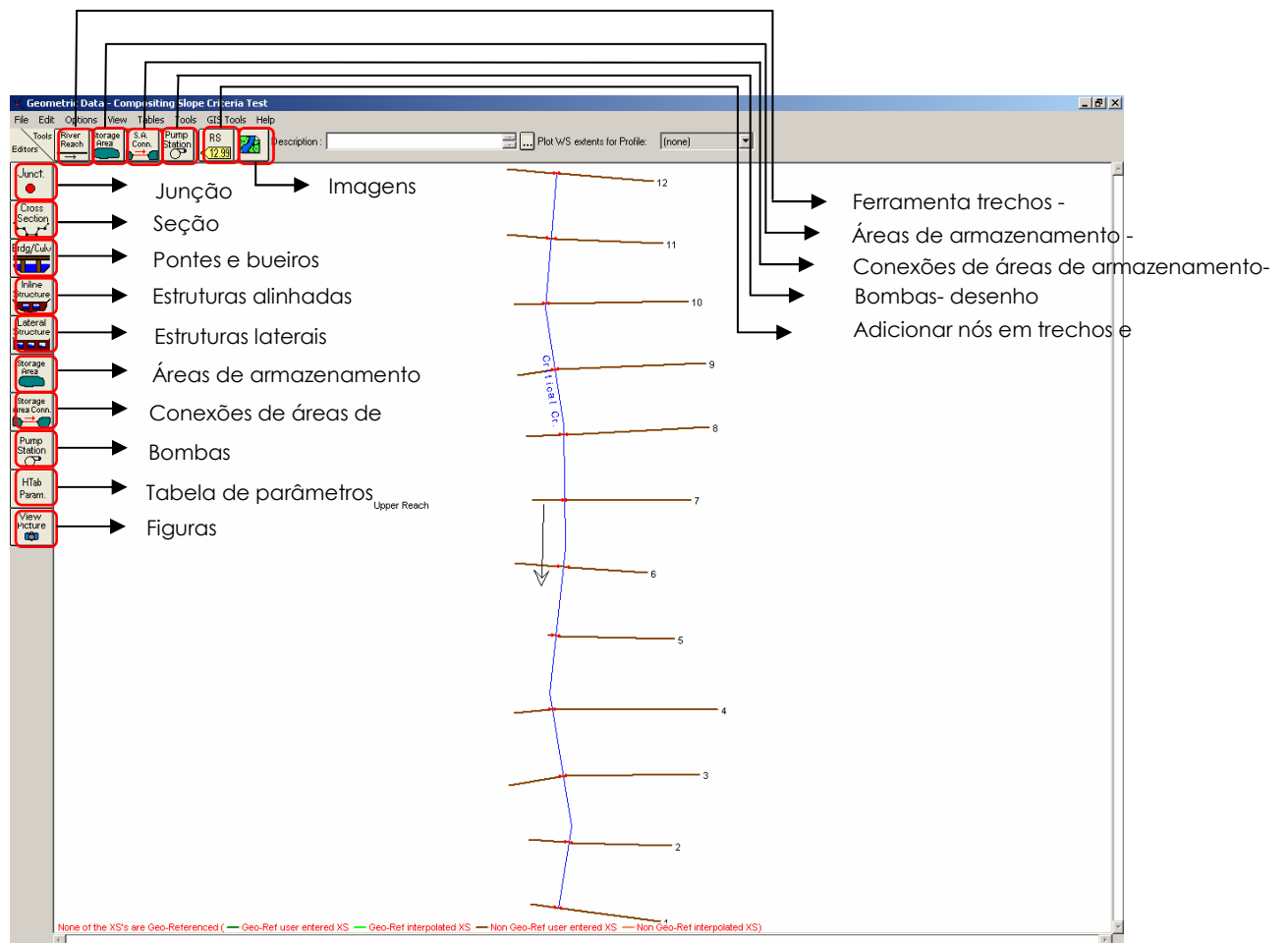


Figura 08 – Interface da geometria HEC-RAS.



## SEÇÃO GEOMÉTRICA

Os coeficientes de Manning podem ser definidos por faixas ou pelas margens.

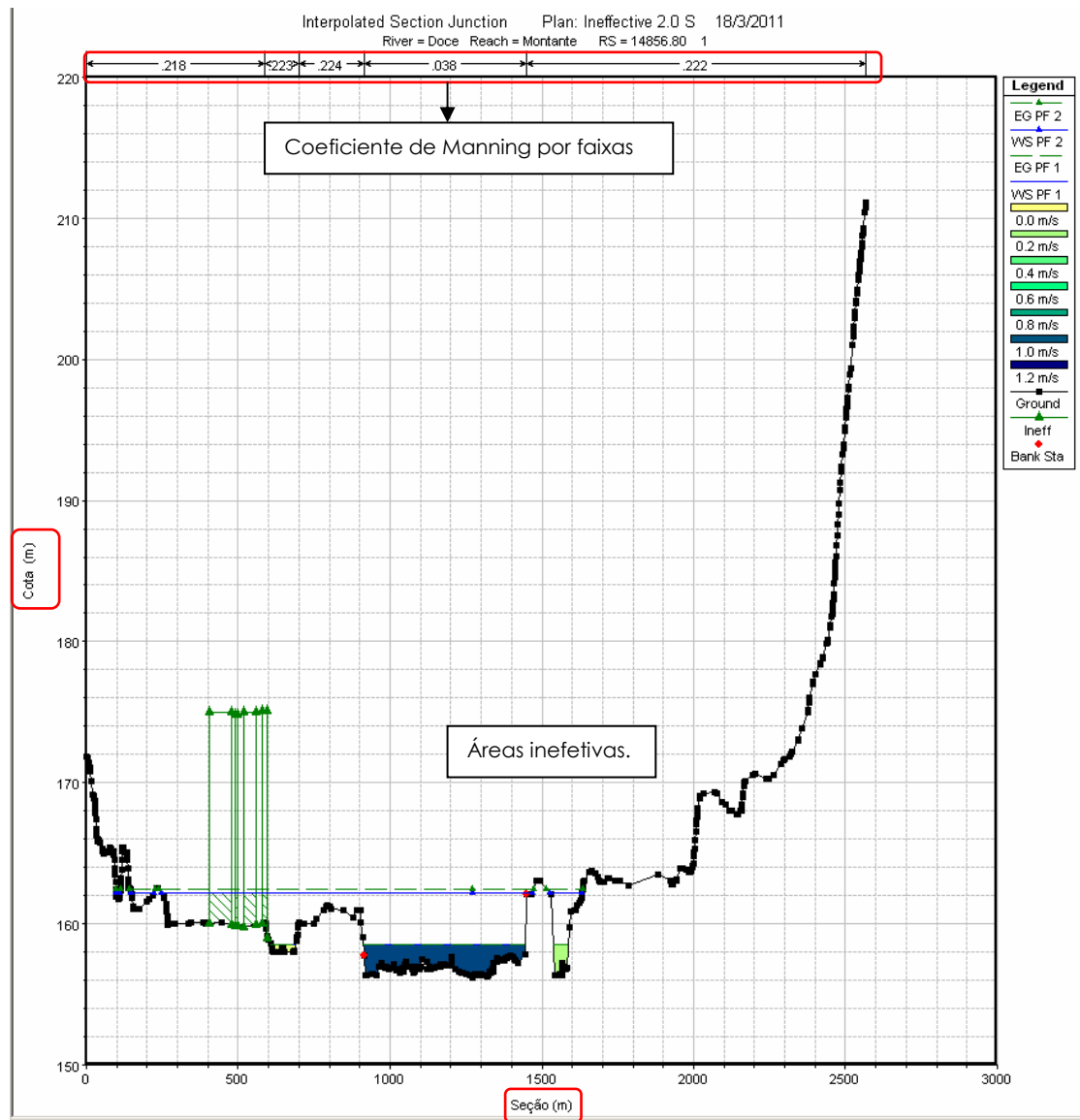


Figura 09 – Visualização das seções no HEC-RAS.

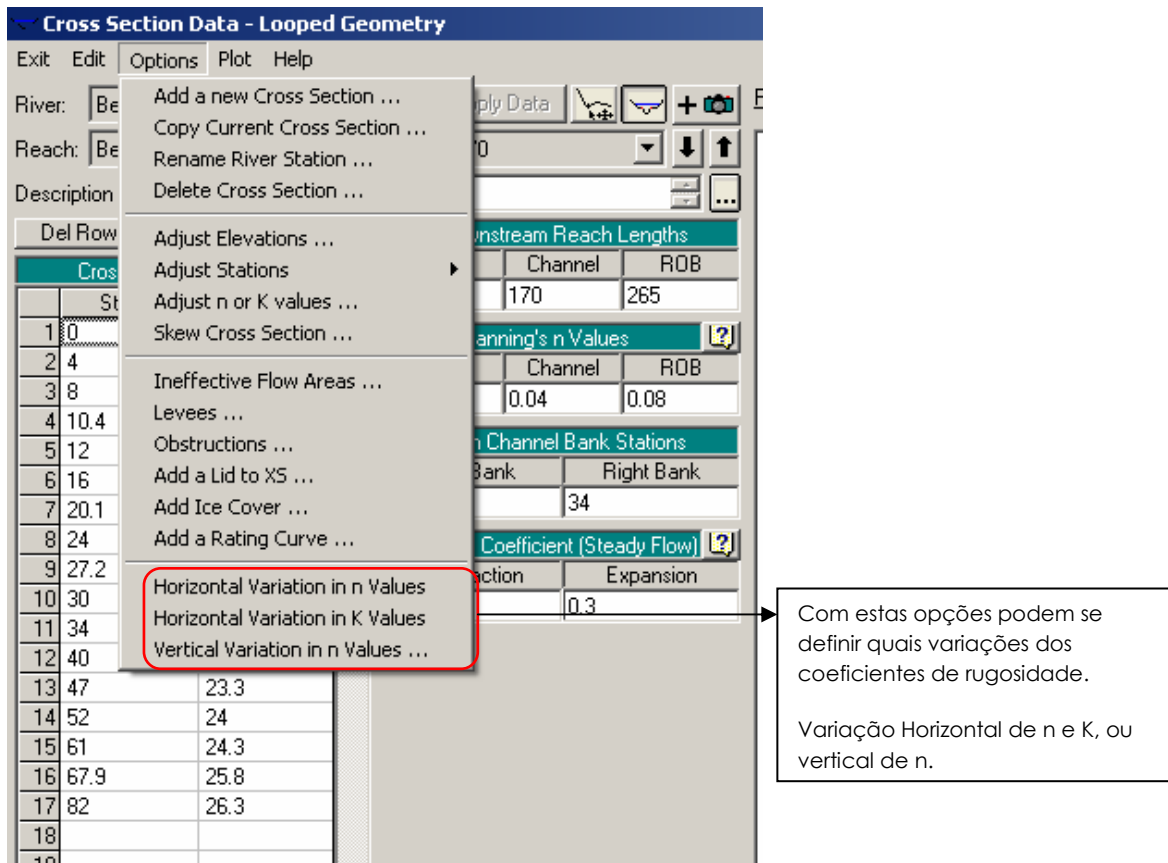


Figura 10 – Opções de variação coeficientes de rugosidade.

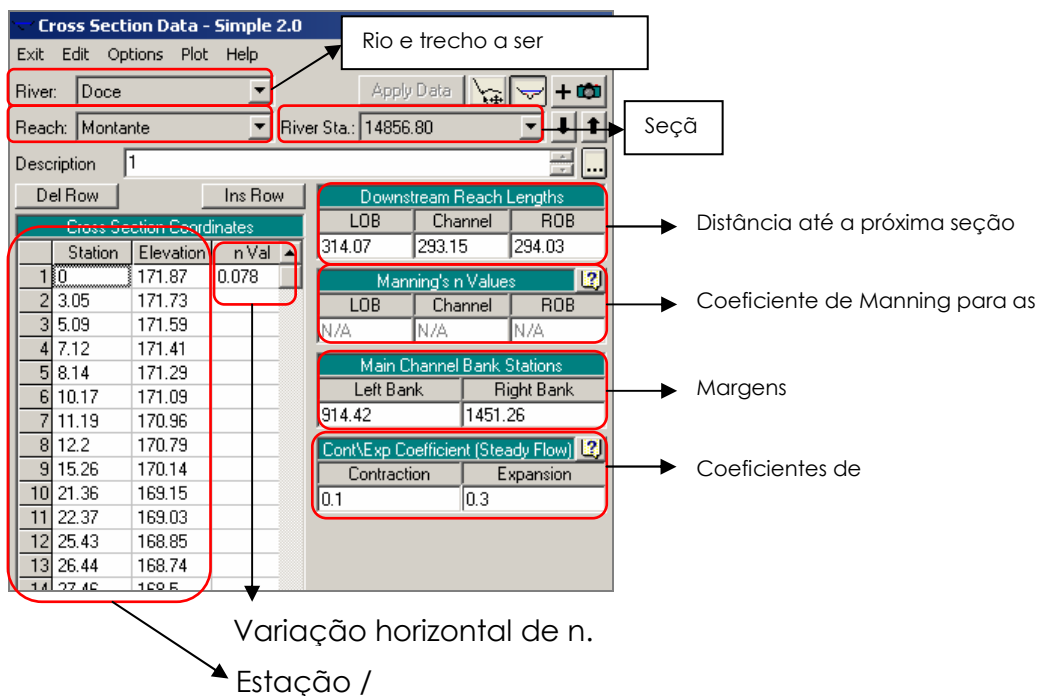


Figura 11 – Entrada de dados para as seções.

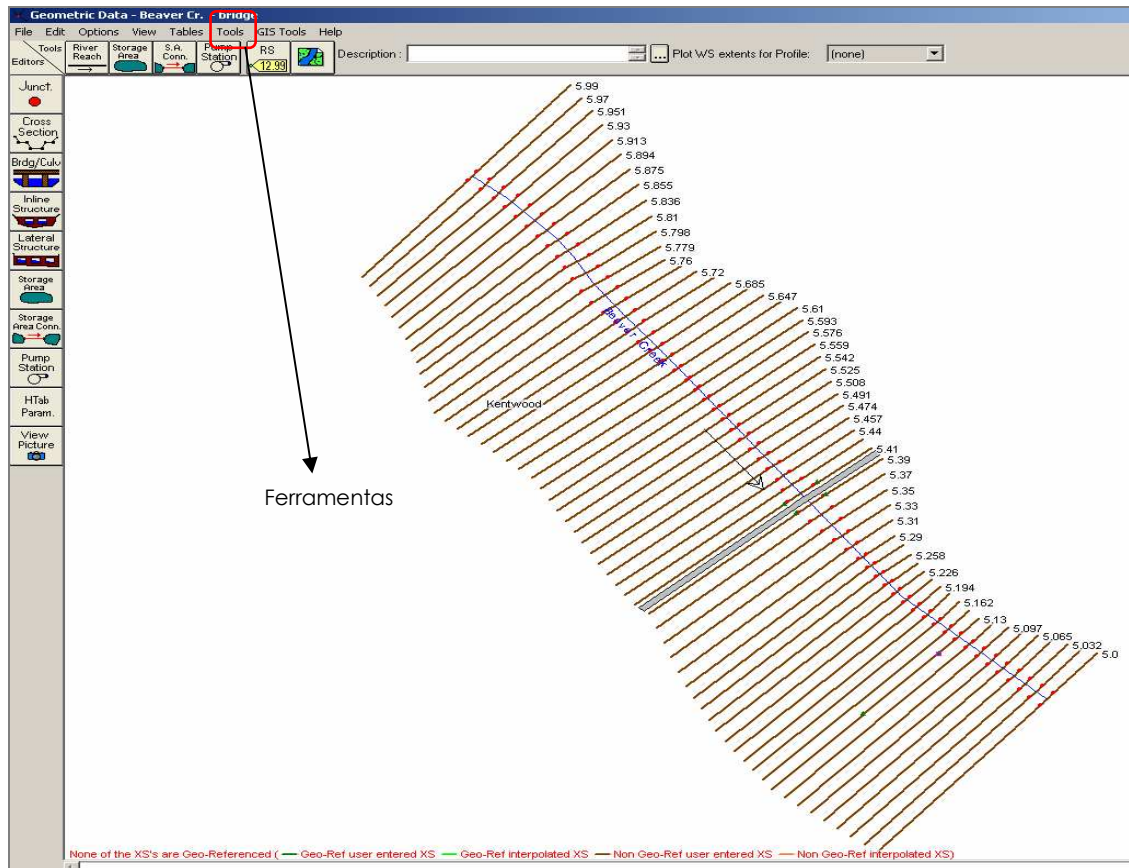


Figura 12 – Interface ferramentas.

## JUNÇÕES

Devem ser delimitadas para afluências e defluências.

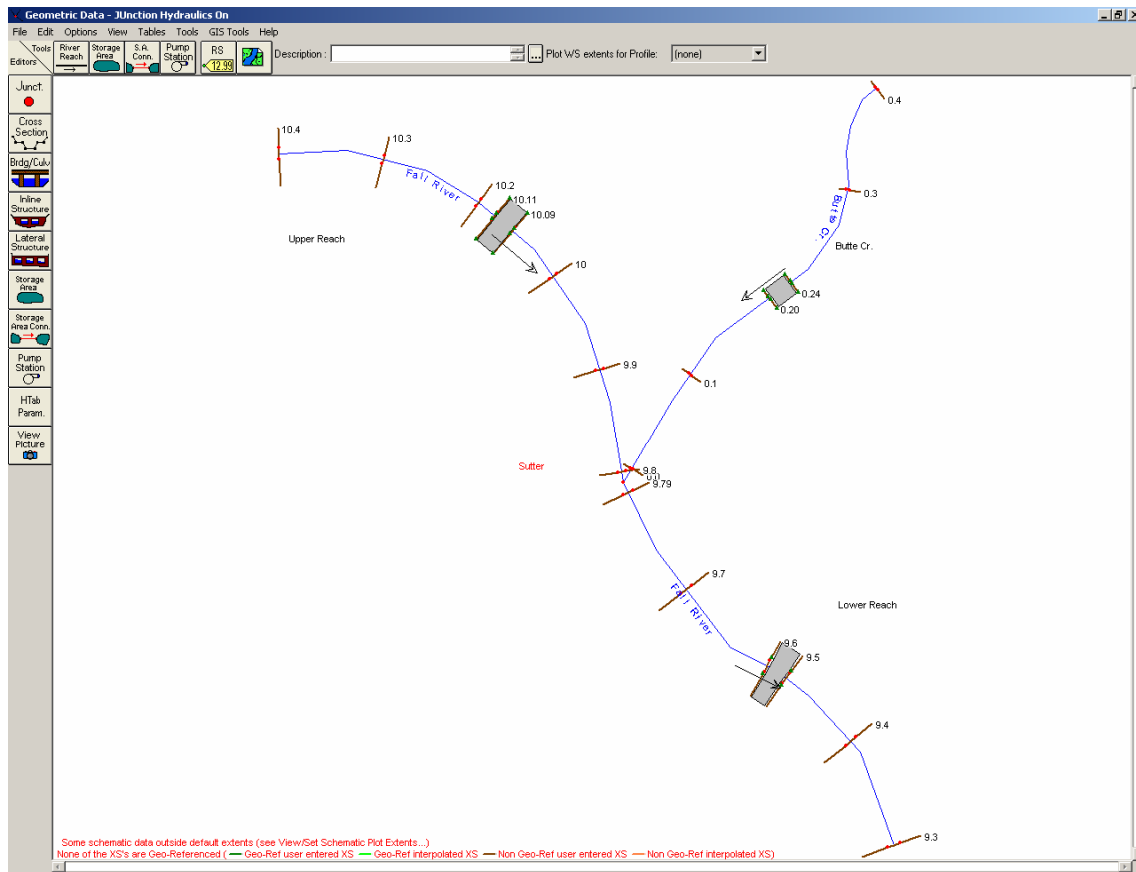


Figura 13 – Modelo com junção.

The screenshot shows the 'Junction Data - Junction Hydraulics On' dialog box. The 'Junction Name' is 'Sutter'. The 'Description' is 'Flow confluence of Yolo and Butte Creek'. The 'Steady Flow Computation Mode' is set to 'Energy'. The 'Unsteady Flow Computation Mode' is set to 'Energy Balance Method'. The 'Add Friction' and 'Add Weight' checkboxes are unchecked. The 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons are at the bottom right. The 'Select Junction to Edit' field is at the bottom left.

Length across Junction	Junction Length (ft)	Tributary Angle (Deg)
From: Fall River - Lower Reach		
To: Fall River - Upper Reach	100	
To: Butte Cr. - Butte Cr.	120	

Figura 14 – Entrada de dados para as junções.

**As seções de montante têm as distâncias para a próxima seção igual a zero. A distância deve ser inserida na junção, bem como o ângulo, se este for significativo e de acordo com o método.**

## O SISTEMA SIG E O HEC-RAS

O HEC-RAS utiliza as projeções UTM sem definir a zona de projeção, mas com definição das coordenadas dos pontos das seções.

Somente dados com definições SIG podem ser exportados, para uma posterior análise, em softwares SIG.

A Figura ilustra a idéia do sistema de projeções de Mercator (UTM).



Figura 15 – Idealização da Projeção de Mercator.

A Figura ilustra as zonas que interceptam o Brasil, e em Minas Geras. Porém, para o HEC-RAS somente são consideradas as coordenadas.

O HEC-RAS avisa sobre as condições de georreferenciamento das seções, Figura 16. Assim, podem haver seções georreferenciadas ou não, subtipos que podem ser originais ou interpoladas.



Figura 16 – Alerta sobre dados não georreferenciados.



O HEC-RAS 4.1 possui a ferramenta RAS-Mapper que necessita de arquivo .prj (com definições de projeção). No material fornecido segue o arquivo SAD\_1969\_UTM\_Zone\_23S.prj para ser utilizado com o RAS-Mapper. Obviamente outras projeções podem ser necessárias de acordo com a área de estudo.



Figura 17 – Zonas de projeção UTM sobre Brasil e Minas Gerais.

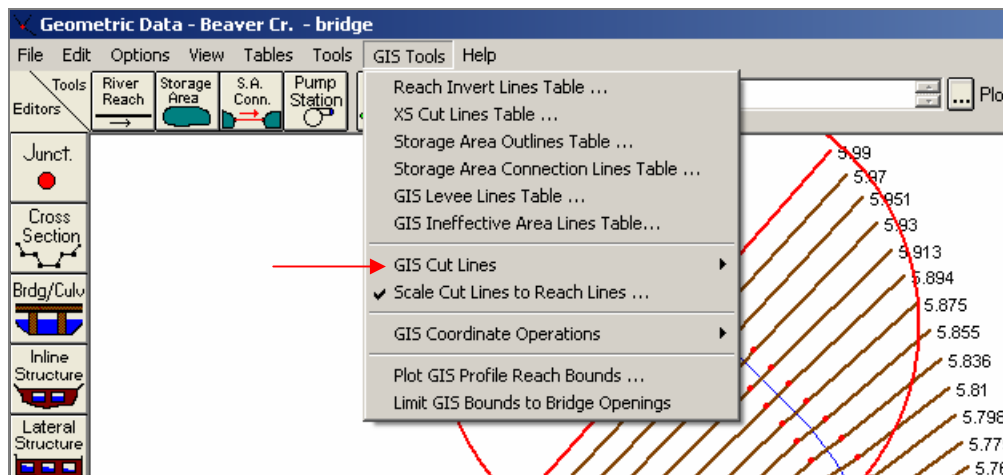


Figura 18 – Entrada da interface de coordenadas dos pontos das seções.

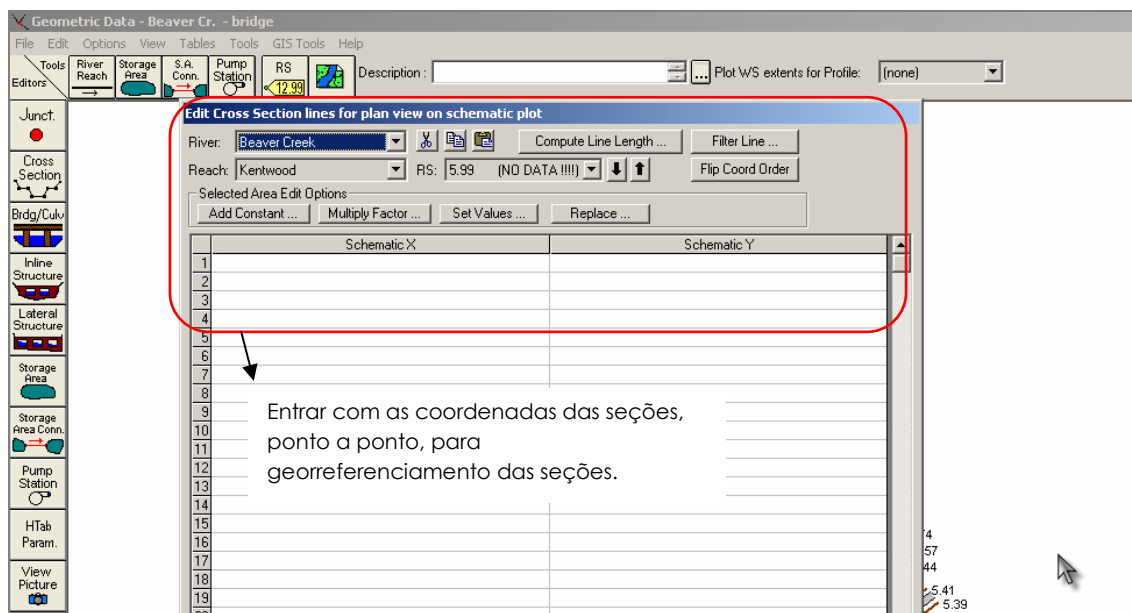


Figura 19 – Interface para inserir as coordenadas dos pontos das seções.

**OBSERVAÇÃO:** Se as seções não forem georreferenciadas os resultados não podem ser exportados para outras bases SIG, apesar de apresentarem resultados corretos hidráulicamente.

Dados que são importados de softwares de SIG, como o ArcGIS, pelo HEC-GeoRAS, já possuem dados de

**coordenadas, e podem ser exportados diretamente para geração de mapas ou figuras.**

## FERRAMENTA INTERPOLAÇÃO

### POR TRECHO

São dois tipos de interpolação; entre duas seções ou em um trecho completo e a escolha depende da qualidade dos dados, da geometria a ser interpolada e do objetivo em estudo.

Na interpolação por trecho o controle é menor. Basicamente escolhe-se a distância entre as seções, tipo de coordenadas SIG que serão adotadas, e as casas decimais.

Permite-se que sejam apagadas a qualquer momento se não forem convertidas em definitivas.

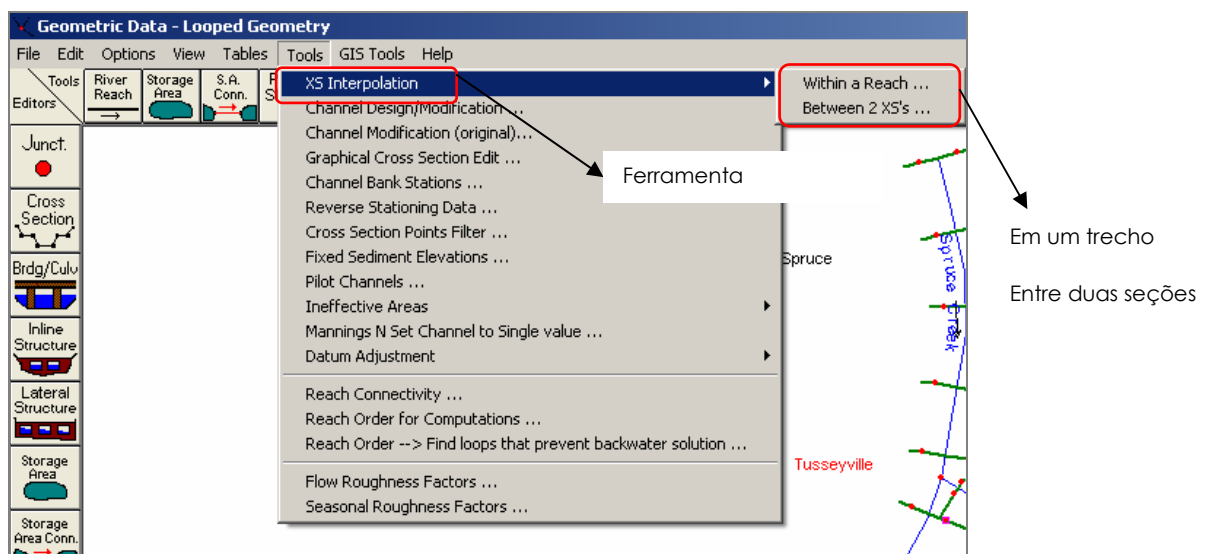


Figura 20 – Interface da ferramenta de interpolação.



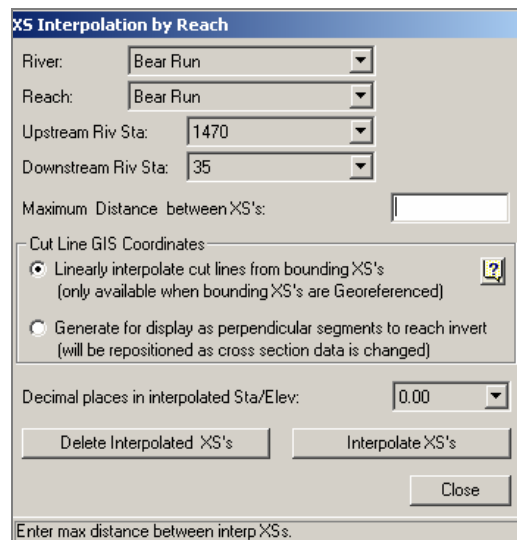


Figura 21 – Interpolação por trecho.

## POR SEÇÃO

Na interpolação por seção o controle é muito mais definido. Podem-se definir os pontos que serão ligados para direcionar a interpolação.

As condições de controle são as mesmas: Basicamente escolhe-se a distância entre as seções, tipo de coordenadas SIG que serão adotadas, e as casas decimais.

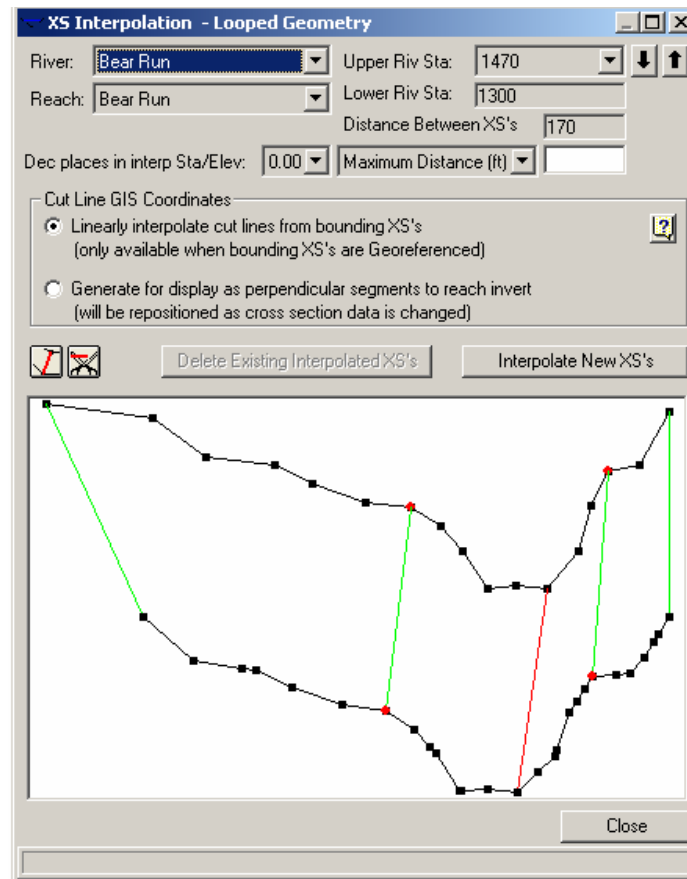


Figura 22 – Interpolação por seção.

## ENTRADA DE DADOS POR TABELAS

Uma opção muito interessante para trabalhar com um grande número de seções é o trabalho com tabelas, que permite a entrada de dados de forma massiva.

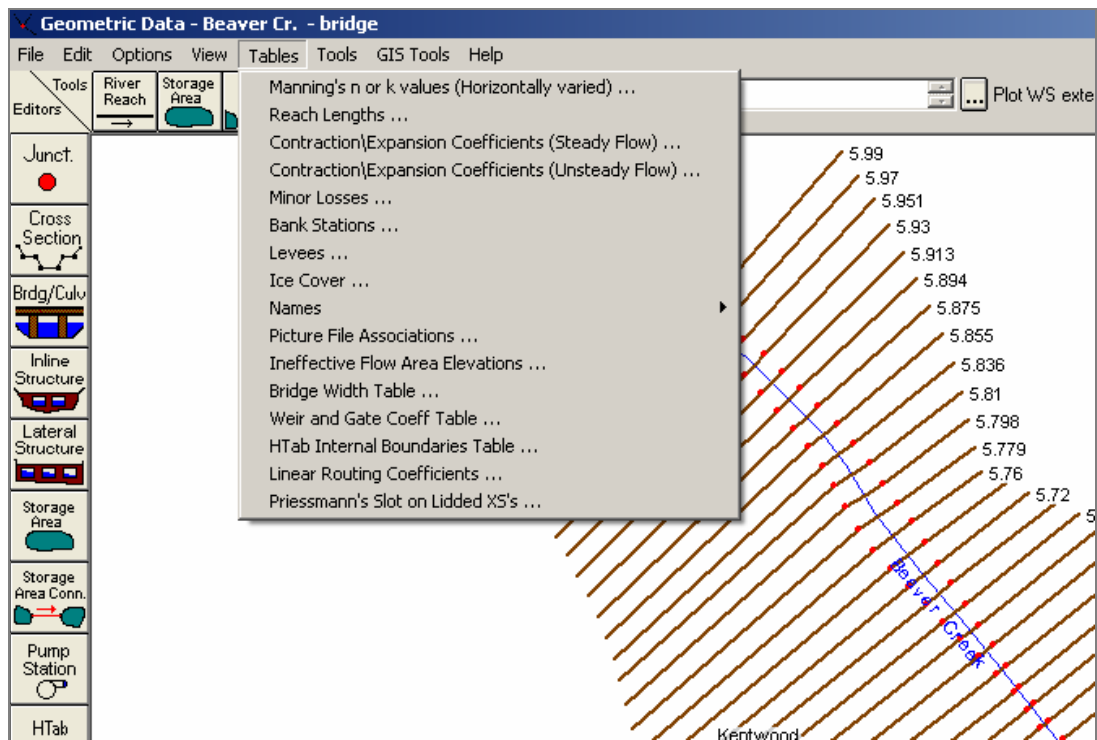


Figura 23 – Entrada de dados por tabelas.

**Edit Manning's n or k Values**

River: **Beaver Creek** ☒ Edit Interpolated X/S's Channel n Values have a light green background

Reach: **Kentwood** **All Regions**

Selected Area Edit Options:

river Statio	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3	n #4	n #5	n #6	n #7	n #8
1 5.99	n	0.1	0.14	0.04	0.14				
2 5.97	n	0.1	0.133	0.103	0.04	0.14	0.14		
3 5.951	n	0.1	0.127	0.107	0.04	0.14	0.14		
4 5.93	n	0.1	0.12	0.11	0.04	0.14	0.14		
5 5.913	n	0.1	0.113	0.113	0.04	0.14	0.14		
6 5.894	n	0.1	0.107	0.117	0.04	0.14	0.14		
7 5.875	n	0.1	0.12	0.04	0.14				
8 5.855	n	0.1	0.117	0.04	0.14	0.14			
9 5.836	n	0.1	0.113	0.04	0.14	0.14			
10 5.81	n	0.1	0.11	0.04	0.14	0.14			
11 5.798	n	0.1	0.107	0.04	0.14	0.14			
12 5.779	n	0.1	0.103	0.04	0.14	0.14			
13 5.76	n	0.1	0.04	0.14					
14 5.741	n	0.098	0.093	0.04	0.13	0.13			
15 5.72	n	0.095	0.095	0.04	0.12	0.12			
16 5.703	n	0.093	0.098	0.04	0.11	0.11			
17 5.685	n	0.09	0.1	0.04	0.1				
18 5.666	n	0.088	0.095	0.085	0.04	0.09	0.09		
19 5.647	n	0.085	0.09	0.09	0.04	0.08	0.08		
20 5.628	n	0.082	0.085	0.095	0.04	0.07	0.07		
21 5.61	n	0.08	0.1	0.04	0.06				
22 5.593	n	0.078	0.074	0.092	0.1	0.04	0.06	0.06	
23 5.576	n	0.076	0.078	0.094	0.1	0.04	0.06	0.06	
24 5.559	n	0.074	0.082	0.096	0.1	0.04	0.06	0.06	
25 5.542	n	0.072	0.086	0.098	0.1	0.04	0.06	0.06	
26 5.525	n	0.07	0.09	0.1	0.04	0.06			
27 5.508	n	0.068	0.084	0.068	0.1	0.04	0.06	0.06	
28 5.491	n	0.066	0.078	0.076	0.1	0.04	0.06	0.06	
29 5.474	n	0.064	0.072	0.084	0.1	0.04	0.06	0.06	
30 5.457	n	0.062	0.066	0.092	0.1	0.04	0.06	0.06	
31 5.44	n	0.06	0.1	0.04	0.06				
32 5.425	n	0.105	0.125	0.2	0.04	0.105	0.105		
33 5.41	n	0.15	0.25	0.04	0.15				
34 5.4	Bridge								
35 5.39	n	0.15	0.2	0.04	0.2	0.15	0.2		
36 5.37	n	0.128	0.168	0.044	0.04	0.172	0.132	0.172	0.172
37 5.35	n	0.106	0.136	0.048	0.04	0.144	0.114	0.144	0.144
38 5.33	n	0.094	0.104	0.052	0.04	0.116	0.096	0.116	0.116
39 5.31	n	0.062	0.072	0.056	0.04	0.088	0.078	0.088	0.088
40 5.29	n	0.04	0.06	0.04	0.06				
41 5.274	n	0.046	0.062	0.072	0.04	0.064	0.076	0.06	
42 5.258	n	0.052	0.064	0.074	0.04	0.068	0.072	0.06	
43 5.242	n	0.058	0.066	0.076	0.04	0.072	0.068	0.06	
44 5.226	n	0.064	0.068	0.078	0.04	0.076	0.064	0.06	

Figura 24 – Entrada de dados por tabelas – Coeficientes de Manning.

Geometric Data - Beaver Cr. - bridge

File Edit Options View Tables Tools GIS Tools Help

Tools River Reach Storage Area S.A. Pump pc

Editors

Junct. Cross Section Bridge/Cul. Inline Structure Lateral Structure Storage Area Storage Area Conn. Pump Station HTab Param. View Picture

**Edit Downstream Reach Lengths**

River: Beaver Creek Reach: Kentwood

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ...

	River Station	LOB	Channel	ROB
1	5.99	73.33	100	66.67
2	5.97	73.33	100	66.67
3	5.951	73.33	100	66.67
4	5.93	73.33	100	66.67
5	5.913	73.33	100	66.67
6	5.894	73.33	100	66.67
7	5.875	73.33	100	66.67
8	5.855	73.33	100	66.67
9	5.836	73.33	100	66.67
10	5.81	73.33	100	66.67
11	5.798	73.33	100	66.67
12	5.779	73.33	100	66.67
13	5.76	56.25	100	68.75
14	5.741	56.25	100	68.75
15	5.72	56.25	100	68.75
16	5.703	56.25	100	68.75
17	5.685	56.25	100	68.75
18	5.666	56.25	100	68.75
19	5.647	56.25	100	68.75
20	5.628	56.25	100	68.75
21	5.61	48	92	38
22	5.593	48	92	38
23	5.576	48	92	38
24	5.559	48	92	38
25	5.542	48	92	38
26	5.525	48	92	38
27	5.508	48	92	38
28	5.491	48	92	38
29	5.474	48	92	38
30	5.457	48	92	38
31	5.44	135	85	250
32	5.425	135	85	250
33	5.41	100	100	100
34	5.4	Bridge		
35	5.39	64	100	116
36	5.37	64	100	116
37	5.35	64	100	116
38	5.33	64	100	116
39	5.31	64	100	116
40	5.29	82	83.3	82
41	5.274	82	83.3	82
42	5.258	82	83.3	82
43	5.242	82	83.3	82
44	5.226	82	83.3	82

OK Cancel Help

Figura 25 – Entrada de dados por tabelas – distância para seção de jusante.

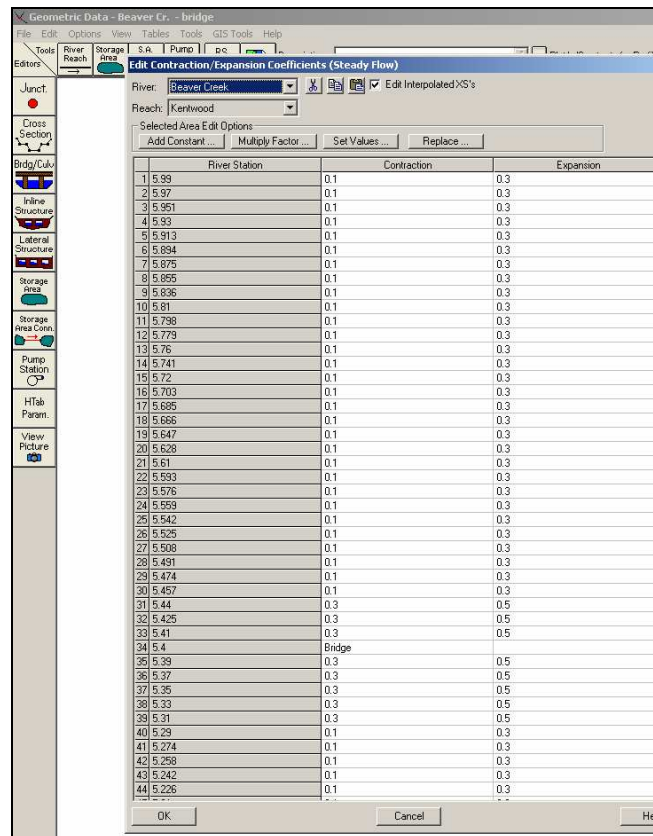


Figura 26 – Entrada de dados por tabelas – coeficientes de expansão e contração.

## DADOS DE VAZÃO E CONDIÇÕES DE CONTORNO – REGIME PERMANENTE

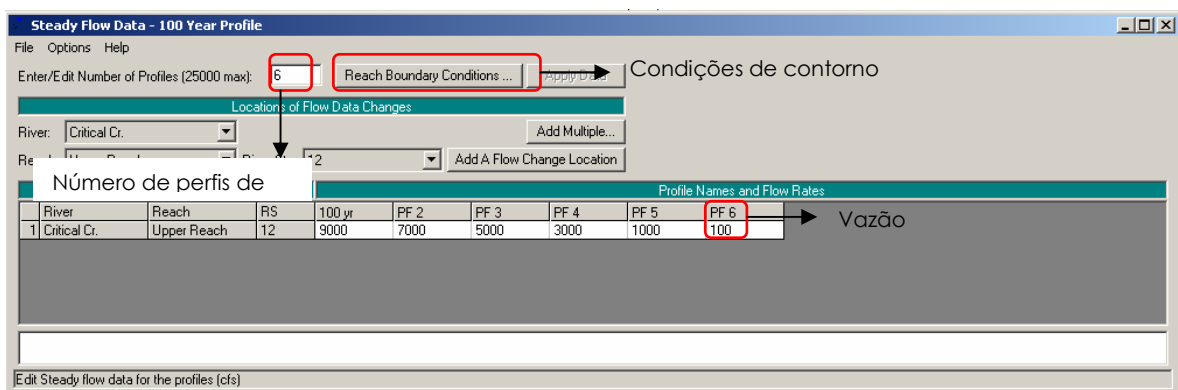


Figura 27 – Definição do número de dados e vazões e valores.

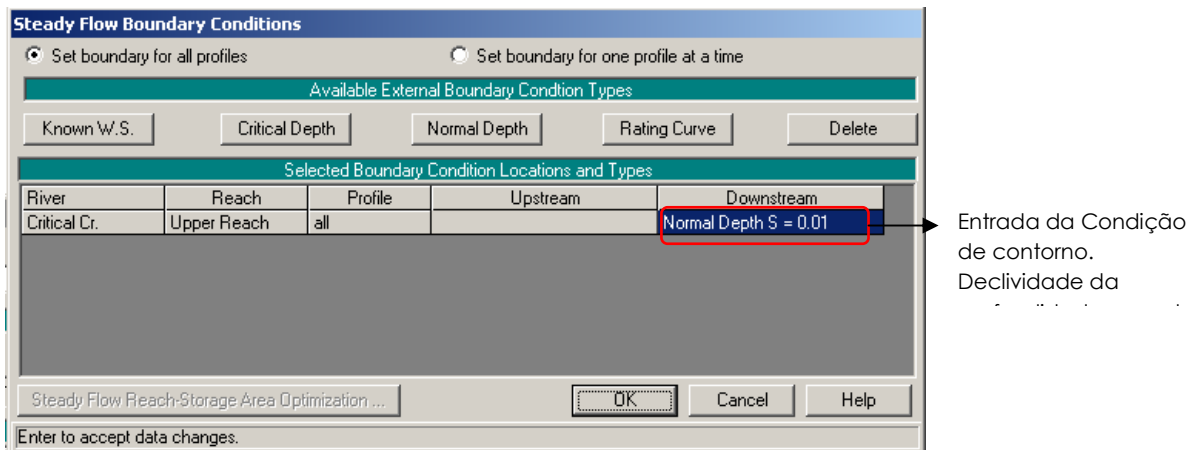


Figura 28 – Condições de contorno para os dados de vazões definidos.

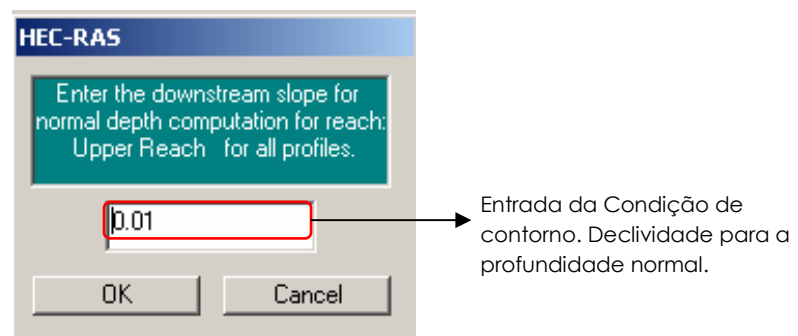


Figura 29 – Condições de contorno para os dados de vazões definidos.

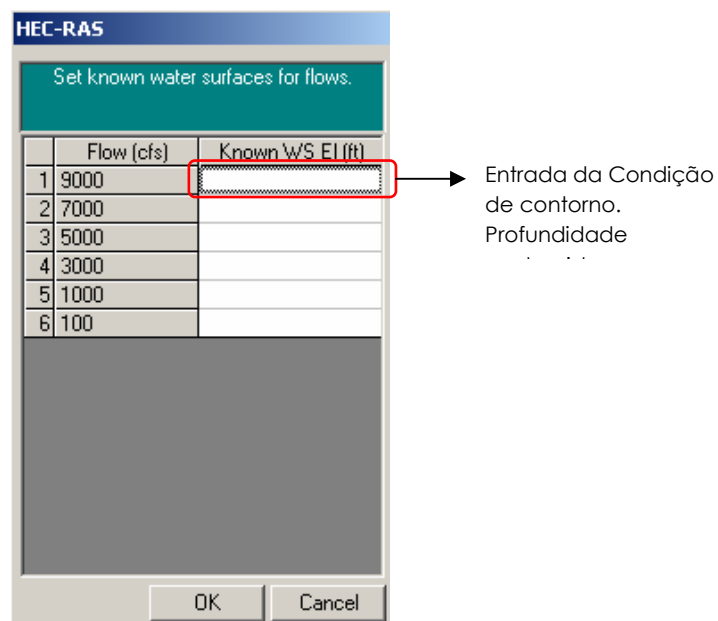


Figura 30 – Condições de contorno para os dados de vazões definidos.

## ANÁLISE PERMANENTE

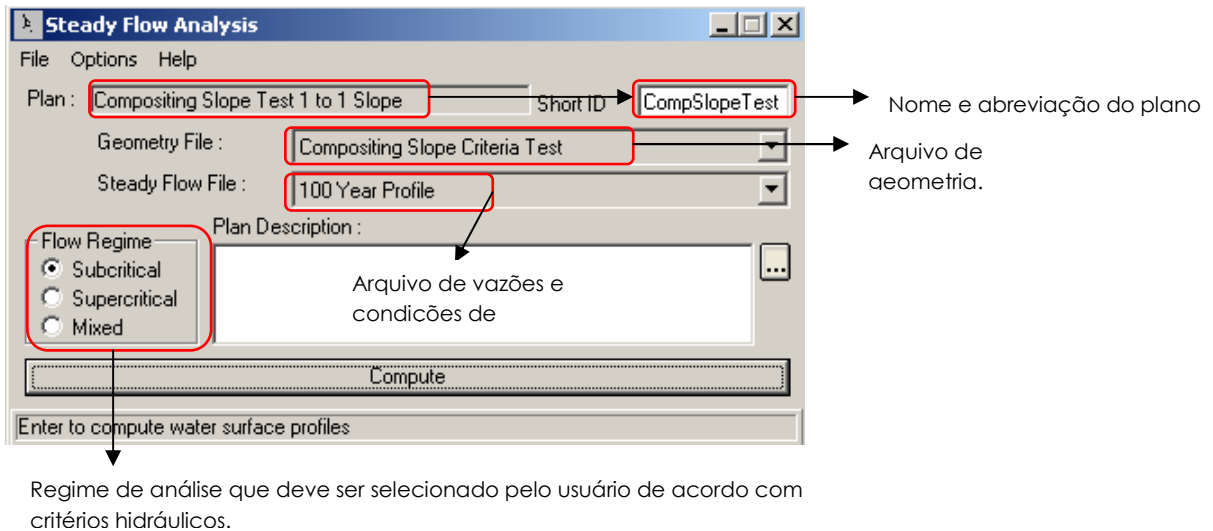


Figura 31 – Interface para análise permanente.



## DADOS DE VAZÃO E CONDIÇÕES DE CONTORNO – REGIME TRANSITÓRIO

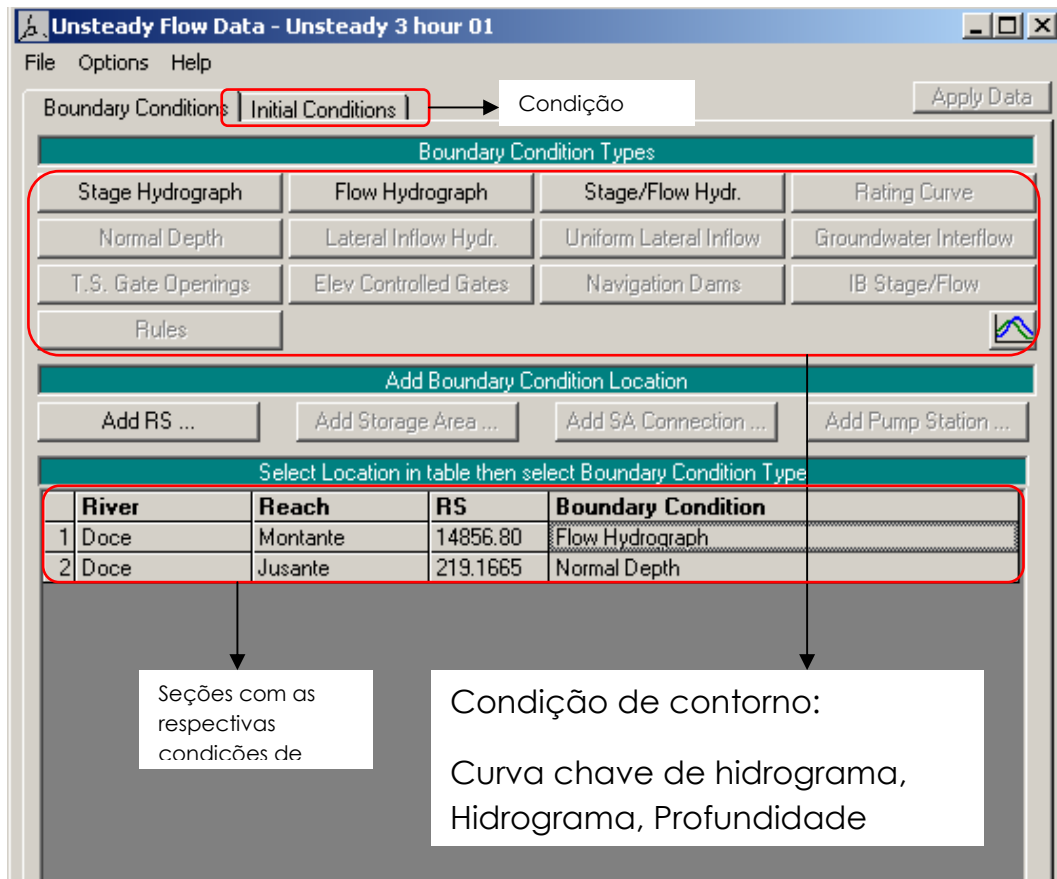


Figura 32 – Condições de contorno para análise transitória.

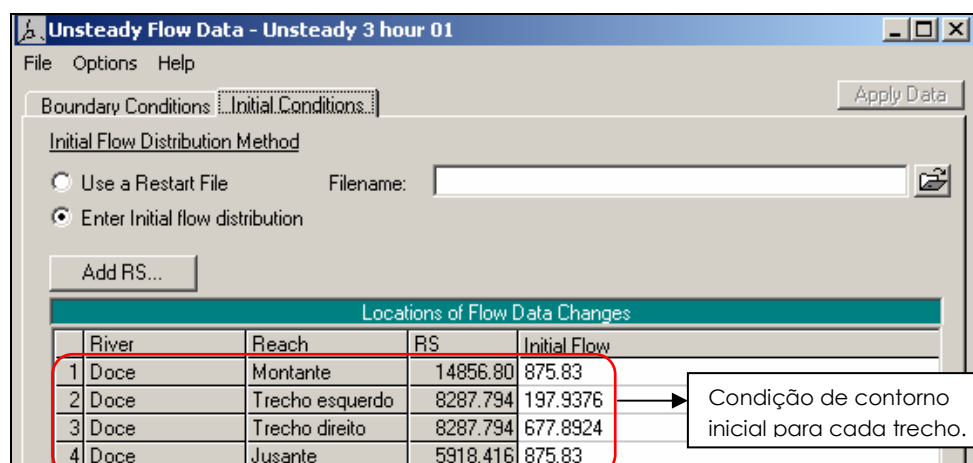


Figura 33 – Condições iniciais para análise transitória.

**Flow Hydrograph**

River: Doce Reach: Montante RS: 14856.80

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☒ Use Simulation Time: Date: 24JUN1997 Time: 03:00

☐ Fixed Start Time: Date:  Time:

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time	Flow
		(hours)	(m3/s)
1	24jun1997 0300	00:00	2024.948
2	24jun1997 0400	01:00	2024.95
3	24jun1997 0500	02:00	2024.95
4	24jun1997 0600	03:00	2024.95
5	24jun1997 0700	04:00	2024.95
6	24jun1997 0800	05:00	2024.95
7	24jun1997 0900	06:00	2024.948

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow: 1703.15 Multiplier:

Plot Data OK Cancel

Dados dos hidrogramas.

Figura 34 – Definição do hidrograma para análise transitória.

## ANÁLISE TRANSITÓRIO

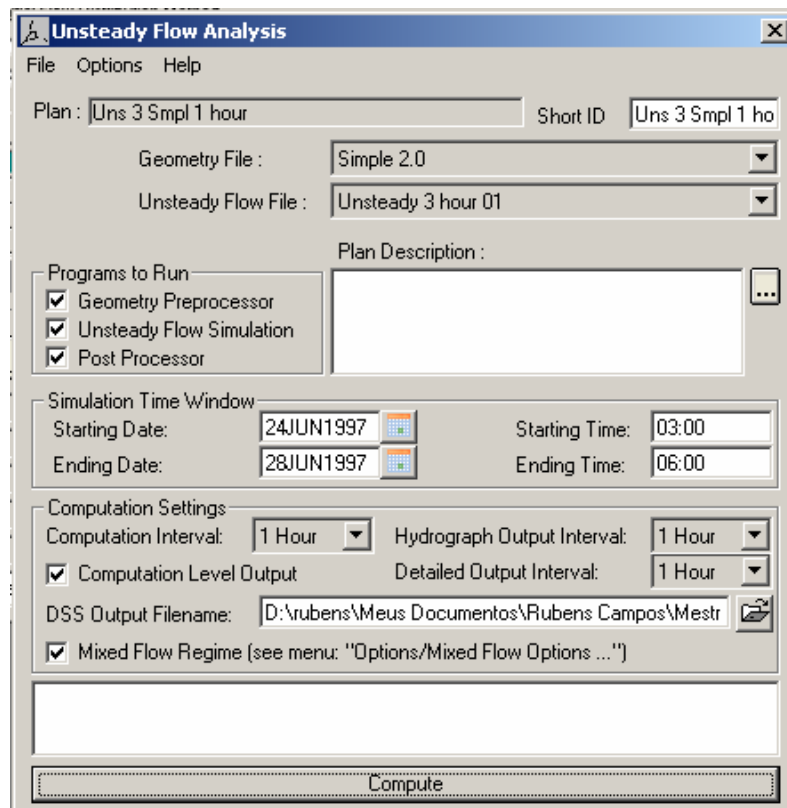


Figura 35 – Interface para análise transitória.

## ERROS, ADVERTÊNCIAS E NOTAS

Ao final de uma simulação em regimes permanentes ou transitório deve-se procurar avaliar possíveis erros, advertências ou notas que o HEC-RAS verifica durante os cálculos, como por exemplo, a distância entre as seções.

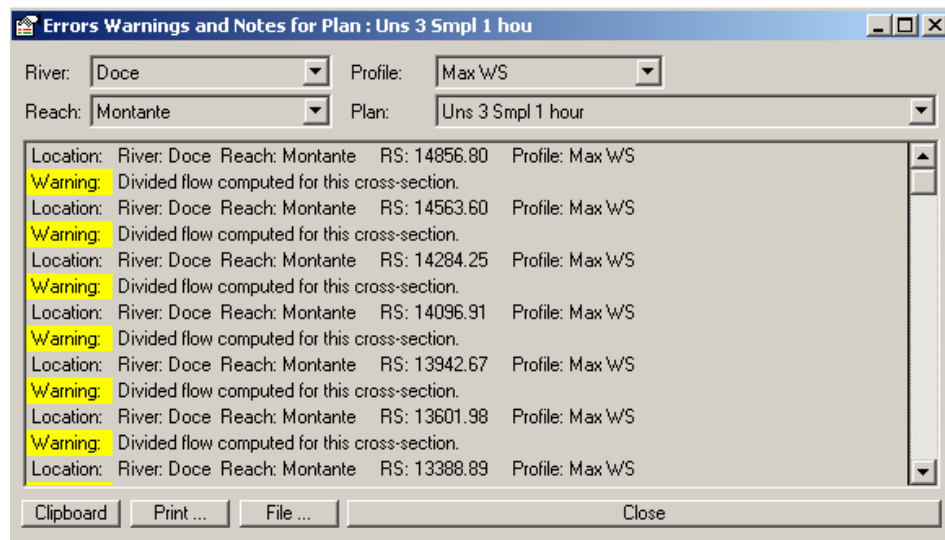


Figura 36 – Interface de erros, advertências e notas.

## GEOMETRIA - FERRAMENTA PONTES E BUEIROS

Interface para entrada de dados de bueiros e pontes.

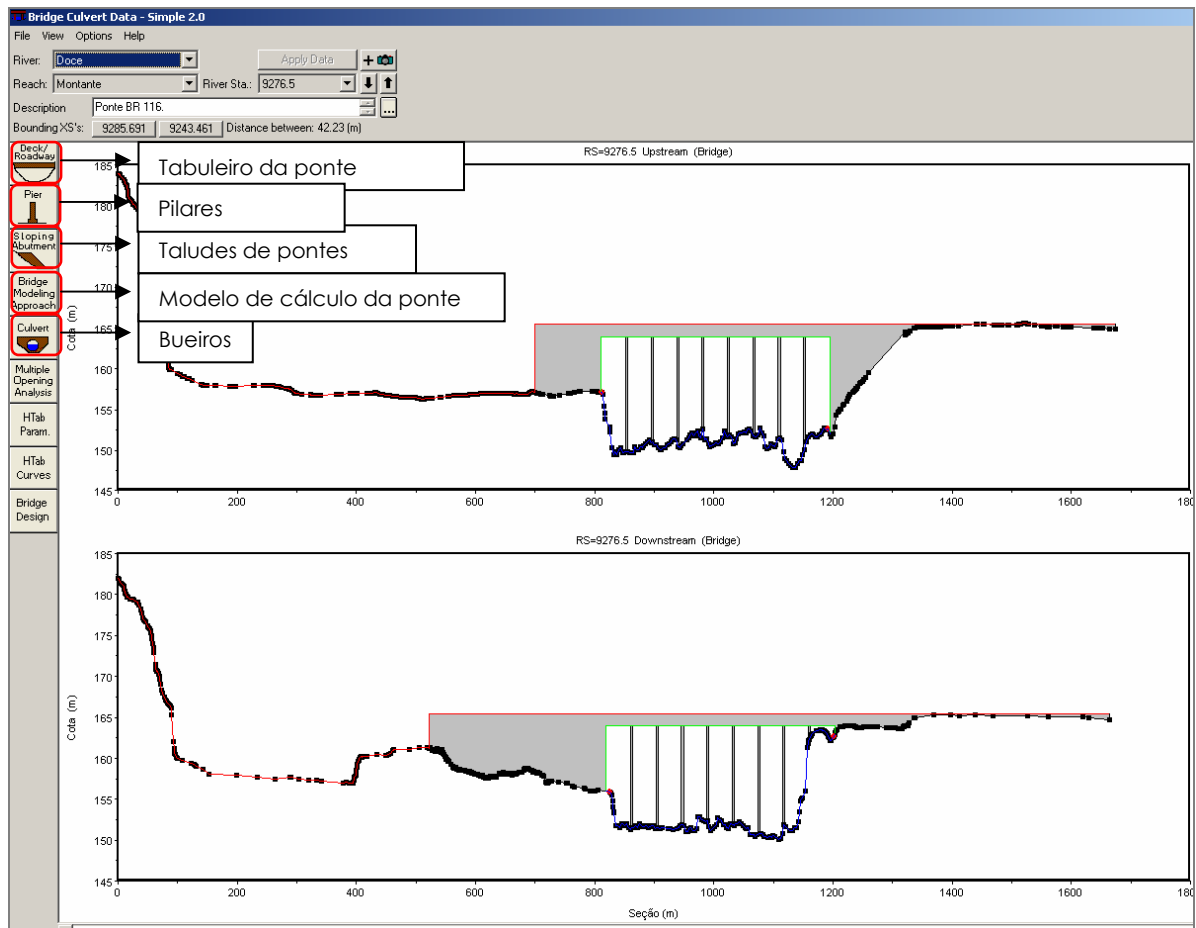


Figura 37 – Interface de pontes e bueiros.

Utilize os campos Station, low chord e high chord para definir os tabuleiros das pontes e bueiros.

Deck/Roadway Data Editor

Distance: 8.5      Width: 10      Weir Coef: 2.6

Clear   Del Row   Ins Row   Copy US to DS

Upstream				Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	700.	165.428	147.904	522.	165.428	147.114
2	811.03	165.428	147.904	819.2	165.428	147.114
3	811.03	165.428	163.928	819.2	165.428	163.928
4	1195.03	165.428	163.928	1203.2	165.428	163.928
5	1195.03	165.428	151.	1203.2	165.428	149.114
6	2100.	165.428	151.	1922.	165.428	149.114
7						
8						

U.S Embankment SS: 0      D.S Embankment SS: 0

Weir Data  
 Max Submergence: 0.95      Min Weir Flow El: 0

Weir Crest Shape  
☒ Broad Crested  
☐ Ogee

OK   Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Largura da ponte

Distância até a seção de montante.

Figura 38 – Interface para entrada de dados das pontes.

Pier Data Editor

Add   Copy   Delete   Pier #: 1   ↓   ↑

Del Row   Centerline Station Upstream: 853.697

Ins Row   Centerline Station Downstream: 861.867

Floating Pier Debris  
☐ Apply floating debris to this pier  
 Set Wd/Ht for all ...   Debris Width:   Debris Height:

Upstream		Downstream		
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1	3.4	147.904	3.4	147.904
2	3.4	163.928	3.4	163.928
3				
4				
5				
6				

OK   Cancel   Help   Copy Up to Down

Select the Pier to Edit

Figura 39 - Interface para entrada de dados dos pilares das pontes.

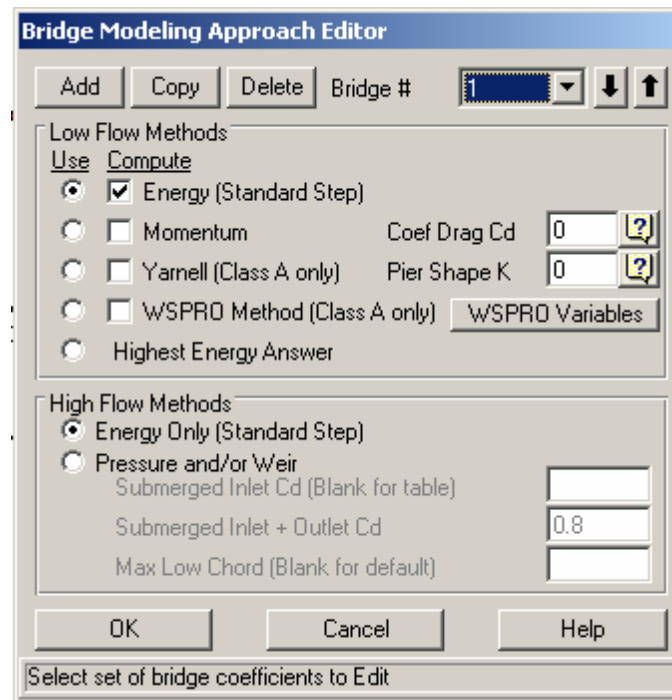


Figura 40 – Interface para tipo de modelagem das pontes.

**Culvert Data Editor**

Add ... Copy Delete ... Culvert ID: Culvert #1

Solution Criteria: Highest U.S. EG Rename ...

Shape: Circular Span: Diameter:

Chart #: 1 - Concrete Pipe Culvert

Scale #: 1 - Square edge entrance with headwall

Distance to Upstrm XS: Upstream Invert Elev:

Culvert Length: Downstream Invert Elev:

Entrance Loss Coeff: # identical barrels: 0

Exit Loss Coeff: 1

Manning's n for Top: Centerline Stations

Manning's n for Bottom:

Depth to use Bottom n: 0

Depth Blocked: 0

	Upstream	Downstream
1		
2		
3		
4		

OK Cancel Help

Select culvert to edit

Figura 41 – Interface para entrada de dados de Bueiros.



## LEVEES

Levees não são os diques, como sugere a tradução literal, mas sim um recurso para que não ocorra o extravasamento para regiões da geometria que esteja fora de análise. NÃO CONFUNDIR COM DIQUES (TRADUÇÃO).

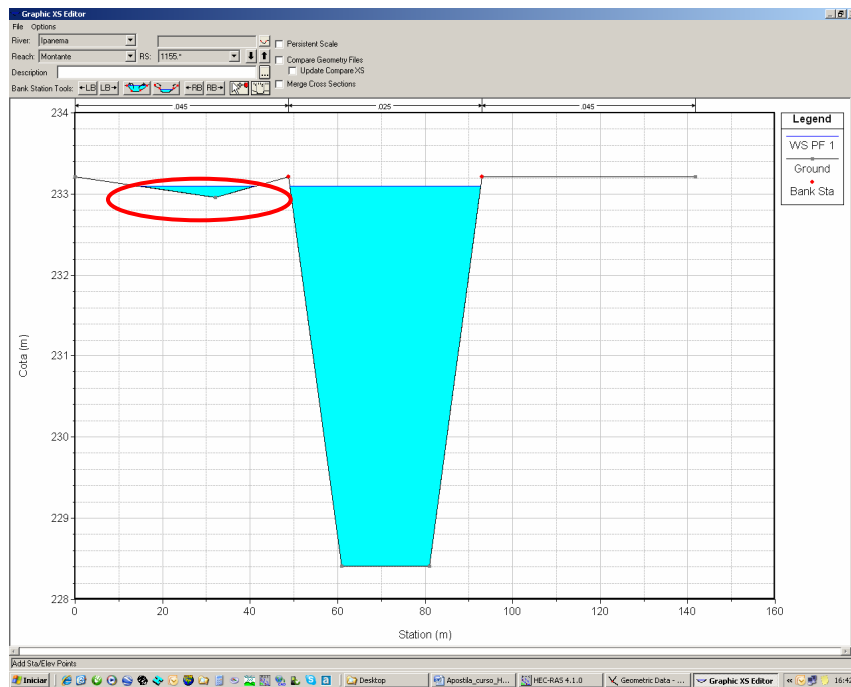


Figura 42 – Resultado sem o uso da ferramenta Levee.

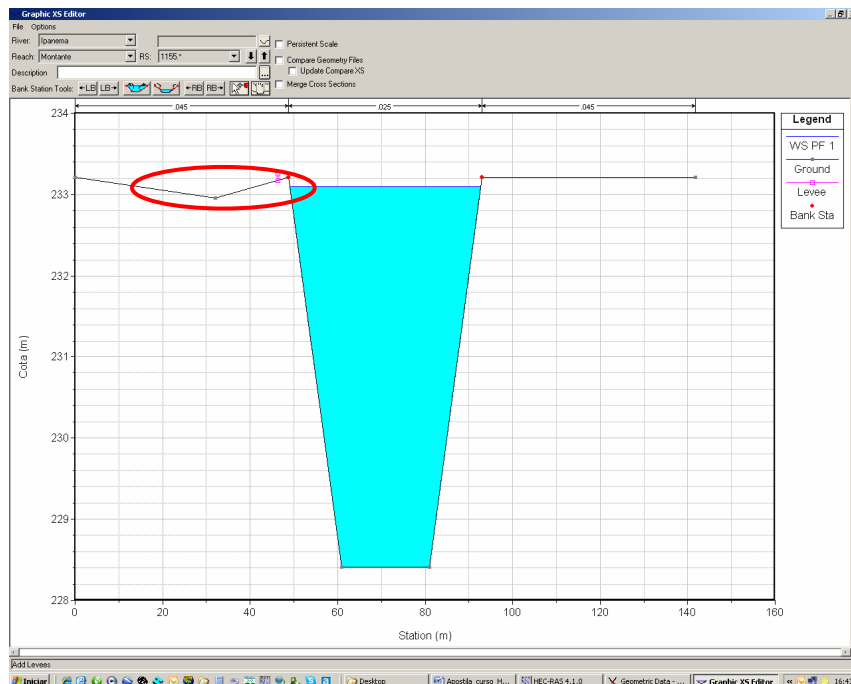


Figura 43 – Resultado com o uso da ferramenta Levee.

## RESULTADOS GRÁFICOS

Existem várias formas gráficas de visualização dos resultados. A seguir segue como operar para esta visualização.

### PERFIS DOS TRECHOS DOS MODELOS

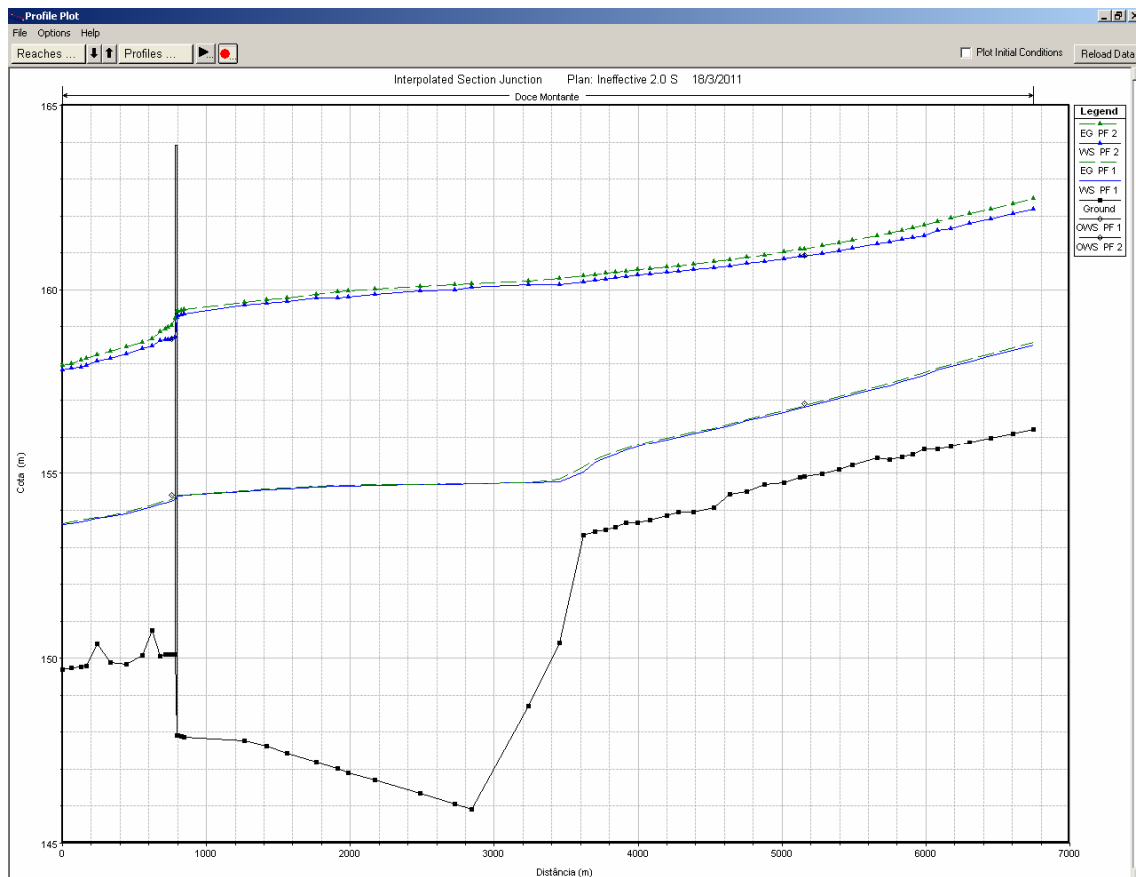


Figura 44 – Visualização dos perfis de superfície líquida e dados correlatos.

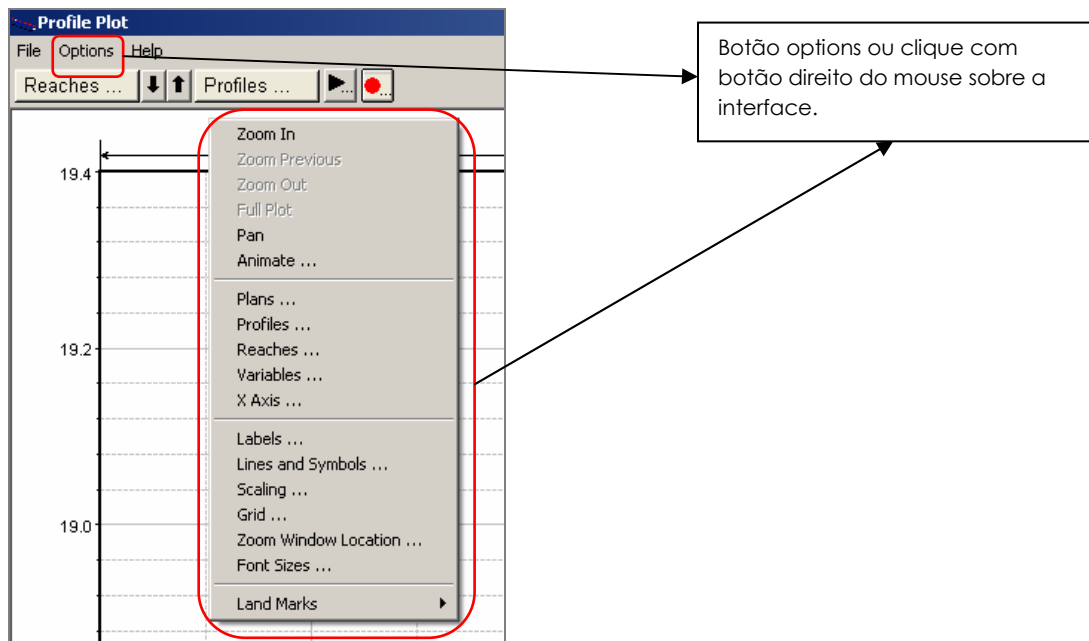


Figura 45 – Opções de interface.

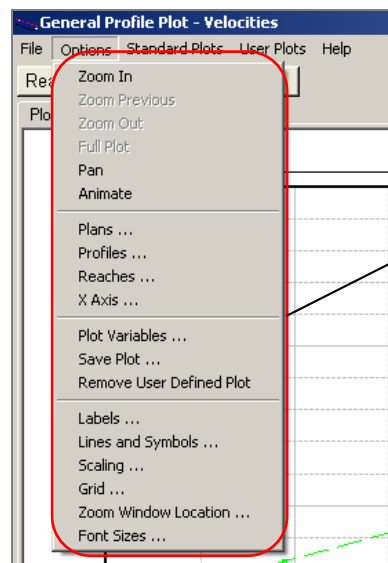
## GRÁFICOS DE DADOS HIDRÁULICOS

Avalia os dados, como por exemplo; velocidade, profundidade, em forma gráfica, ao longo de um trecho.



Figura 46 – Variação dos dados em forma gráfica.

Os controles são; opções, gráficos padrões, e gráficos definidos pelo usuário.



Botão options ou clique com botão direito do mouse sobre a interface.

Figura 47 – Opções de interface.

## TABELA DE PROPRIEDADES HIDRÁULICAS

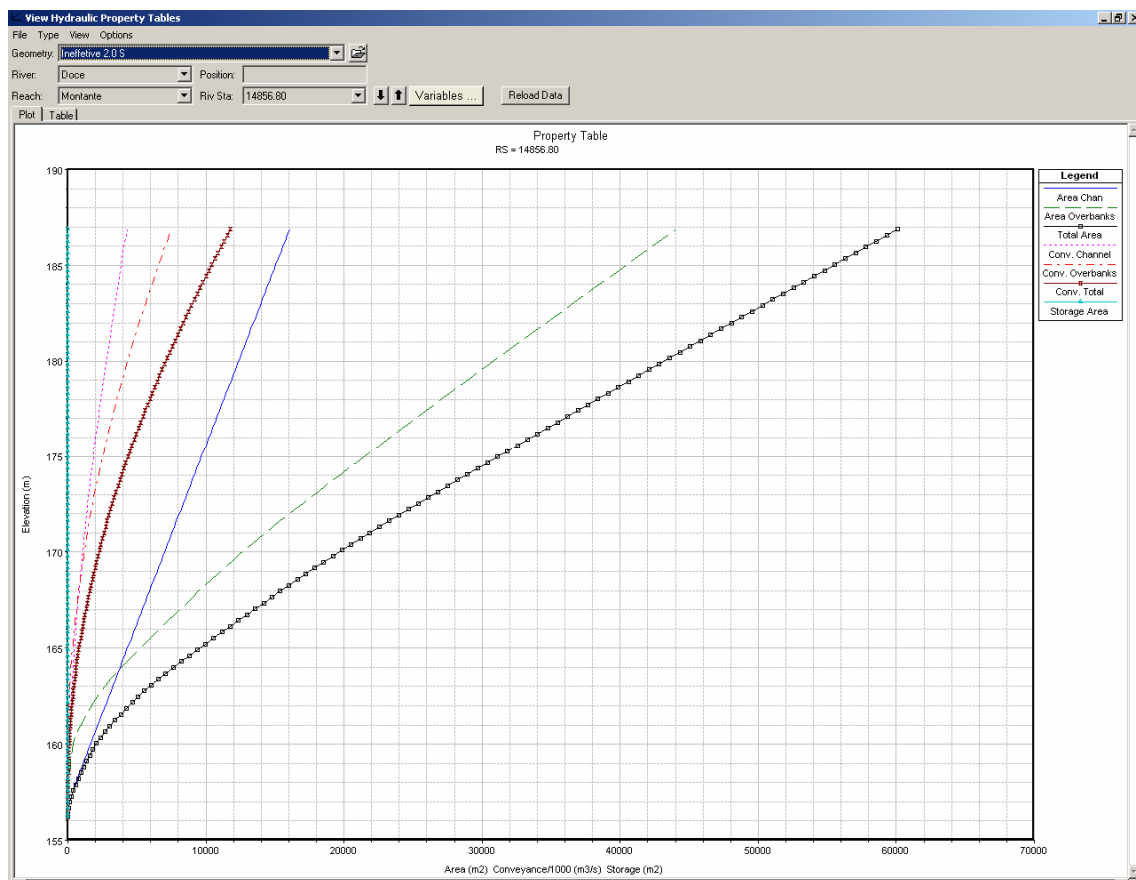


Figura 48 – Variação das propriedades por seção.

## CURVA CHAVE

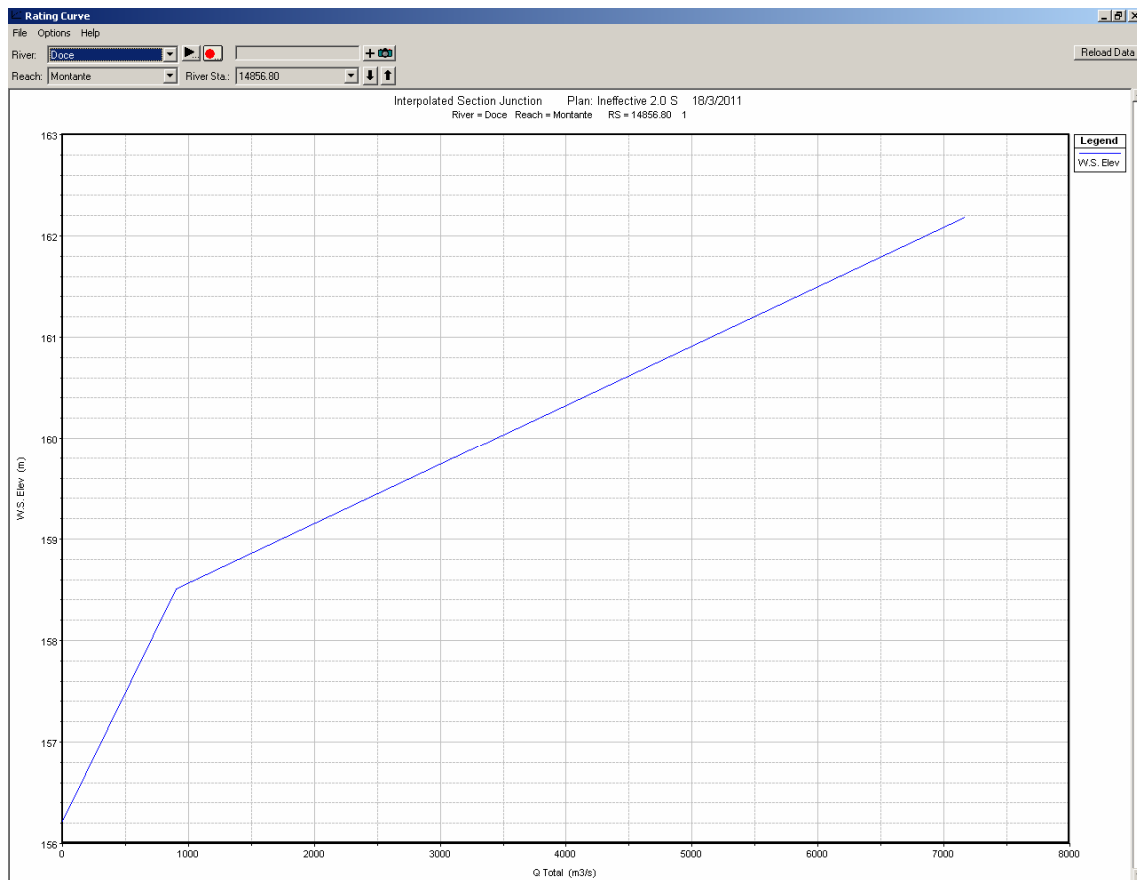


Figura 49 – Curvas chaves.

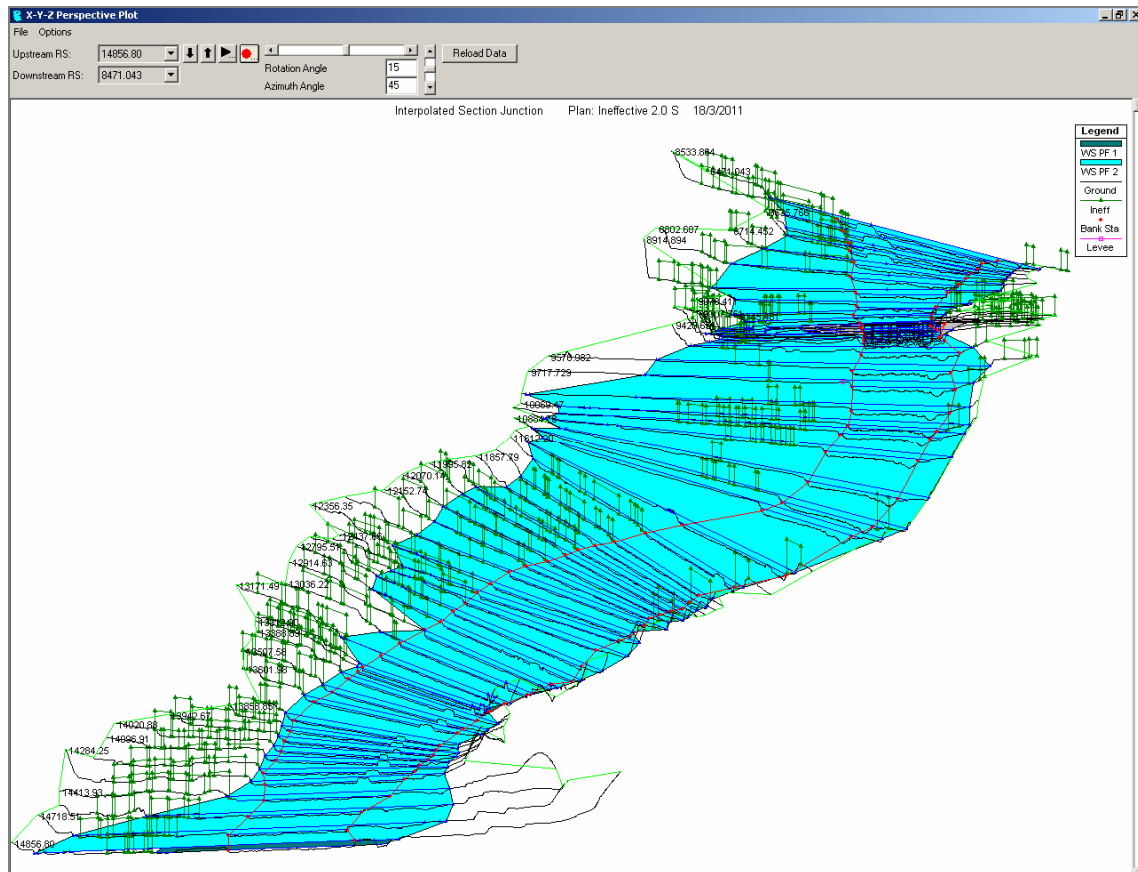
## TABELA DE DADOS DE SAÍDA

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables User Tables Locations Help												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Montante	14856.80	PF 1	900.00	156.22	158.51	157.53	158.56	0.000841	1.04	968.05	663.46	0.26
Montante	14856.80	PF 2	7168.00	156.22	162.19	159.51	162.47	0.000924	2.41	4386.66	1416.59	0.34
Montante	14718.51	PF 1	900.00	156.10	158.37		158.43	0.001046	1.11	829.90	633.13	0.29
Montante	14718.51	PF 2	7168.00	156.10	162.06		162.34	0.000930	2.40	4554.29	1620.98	0.34
Montante	14563.60	PF 1	900.00	155.97	158.20		158.27	0.001080	1.12	829.93	731.92	0.29
Montante	14563.60	PF 2	7168.00	155.97	161.92		162.19	0.000917	2.38	4628.95	1445.08	0.33
Montante	14413.93	PF 1	900.00	155.84	158.05		158.11	0.000975	1.07	856.54	701.08	0.28
Montante	14413.93	PF 2	7168.00	155.84	161.79		162.05	0.000851	2.31	4174.82	1000.44	0.32
Montante	14284.25	PF 1	900.00	155.73	157.92		157.98	0.001003	1.09	828.33	552.43	0.28
Montante	14284.25	PF 2	7168.00	155.73	161.66		161.93	0.000973	2.35	3567.60	845.72	0.34
Montante	14193.08	PF 1	900.00	155.66	157.83		157.89	0.001101	1.08	832.79	598.60	0.29
Montante	14193.08	PF 2	7168.00	155.66	161.60		161.84	0.000843	2.20	3485.84	817.97	0.32
Montante	14096.91	PF 1	900.00	155.66	157.69		157.76	0.001546	1.22	750.93	614.15	0.34
Montante	14096.91	PF 2	7168.00	155.66	161.47		161.75	0.001027	2.38	3411.15	792.72	0.35
Montante	14020.88	PF 1	900.00	155.51	157.59		157.66	0.001178	1.11	827.31	634.31	0.30
Montante	14020.88	PF 2	7168.00	155.51	161.41		161.67	0.000863	2.25	3538.15	772.58	0.32
Montante	13942.67	PF 1	900.00	155.44	157.51		157.57	0.001085	1.06	852.26	640.71	0.29
Montante	13942.67	PF 2	7168.00	155.44	161.37		161.60	0.000763	2.14	3660.51	785.79	0.30
Montante	13858.85	PF 1	900.00	155.37	157.40		157.46	0.001348	1.15	791.29	627.71	0.32
Montante	13858.85	PF 2	7168.00	155.37	161.29		161.53	0.000826	2.18	3612.03	788.16	0.31
Montante	13775.47	PF 1	900.00	155.41	157.32		157.37	0.000870	0.99	926.15	656.26	0.26
Montante	13775.47	PF 2	7168.00	155.41	161.25		161.46	0.000662	2.02	3803.08	801.35	0.28
Montante	13601.98	PF 1	900.00	155.22	157.15		157.21	0.000978	1.04	872.35	637.07	0.28
Montante	13601.98	PF 2	7168.00	155.22	161.13		161.34	0.000685	2.05	3886.86	827.16	0.29
Montante	13507.58	PF 1	900.00	155.12	157.05		157.11	0.001042	1.06	854.10	636.53	0.29
Montante	13507.58	PF 2	7168.00	155.12	161.06		161.28	0.000704	2.09	3895.32	818.03	0.29
Montante	13388.89	PF 1	900.00	154.99	156.93		156.99	0.001073	1.07	840.84	605.98	0.29
Montante	13388.89	PF 2	7168.00	154.99	160.98		161.19	0.000687	2.06	3845.94	812.70	0.29
Montante	13312.90	PF 1	900.00	154.91	156.81		156.86	0.001017	1.01	891.45	673.54	0.28
Montante	13312.90	PF 2	7168.00	154.91	160.92		161.11	0.000593	1.94	3706.64	702.37	0.27
Montante	13282.44	PF 1	900.00	154.88	156.78		156.83	0.000870	0.96	942.03	686.41	0.26
Montante	13282.44	PF 2	7168.00	154.88	160.91		161.09	0.000546	1.89	3799.24	711.99	0.26
Montante	13171.49	PF 1	900.00	154.75	156.66		156.72	0.001083	1.04	866.18	656.22	0.29
Montante	13171.49	PF 2	7168.00	154.75	160.83		161.02	0.000594	1.96	3784.99	922.97	0.27
Montante	13036.22	PF 1	900.00	154.70	156.54		156.59	0.000839	0.94	956.14	693.44	0.26
Montante	13036.22	PF 2	7168.00	154.70	160.77		160.94	0.000496	1.83	3997.25	840.94	0.25

Figura 50 – Saída de dados em forma de Tabela.

## VISUALIZAÇÃO 3D

Esta interface permite a exposição em perspectiva do modelo UNIDIMENSIONAL. Não confundir com modelos bi e tridimensionais.



## FIGURAS DE FUNDO

Uma ferramenta muito útil para trabalhar com informações georreferenciadas é a locação de figuras de fundo.

Estas podem auxiliar para as seguintes definições:

- Distância entre seções topobatimétricas;
- Valores de coeficientes de Manning;

A Figura 52 ilustra a colocação de figuras de fundo.

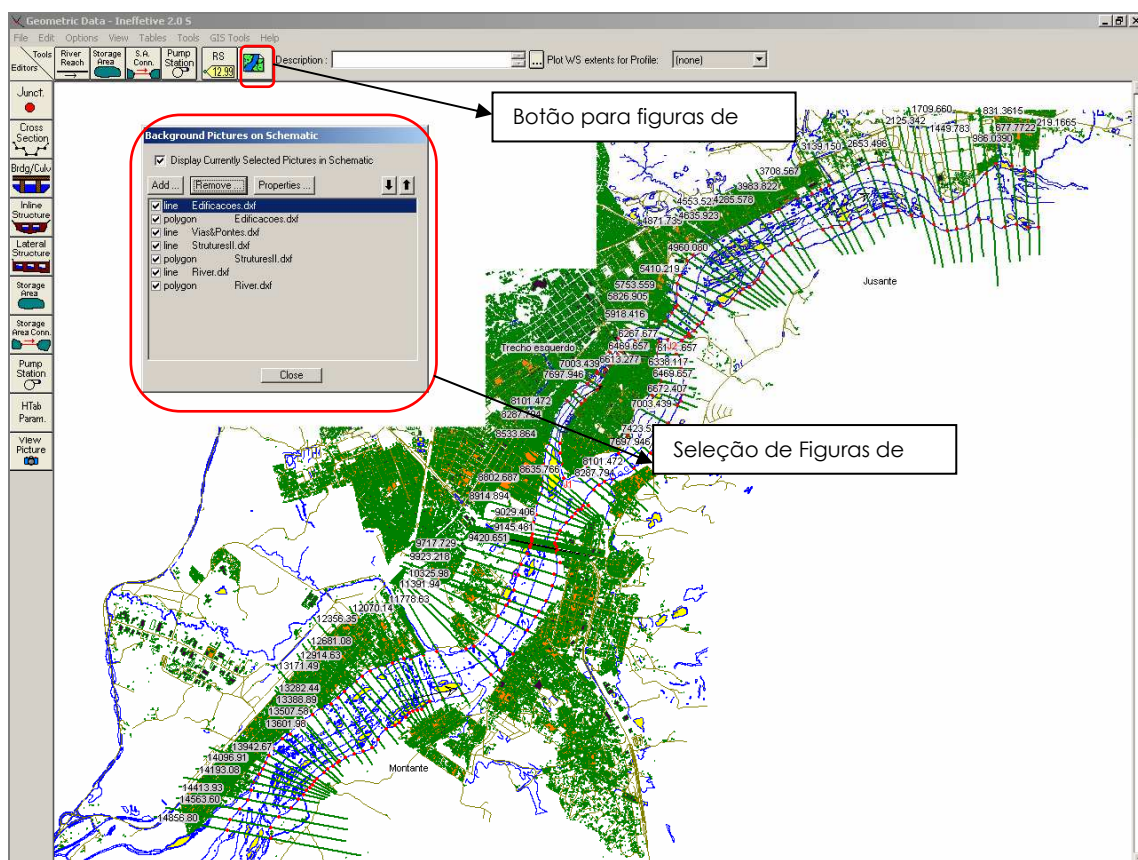


Figura 52 – Figuras de fundo.



## PLANOS

O HEC-RAS possui em sua interface os botões de planos permanente e transitório, que permitem que possam avaliados diferentes arquivos de geometria por diferentes arquivos de dados de vazão ou de hidrogramas, como apresentado na Figura 6.

## REGIME PERMANENTE

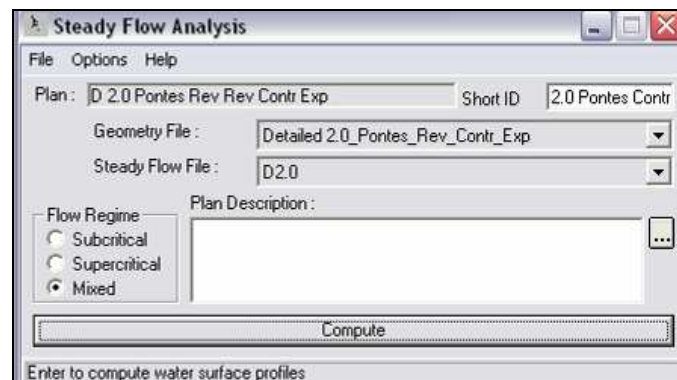


Figura 53 – Plano para escoamento permanente.

## REGIME TRANSITÓRIO

Para a propagação de hidrogramas o ajuste da data e horas deve ser procedido após entrada de dados.

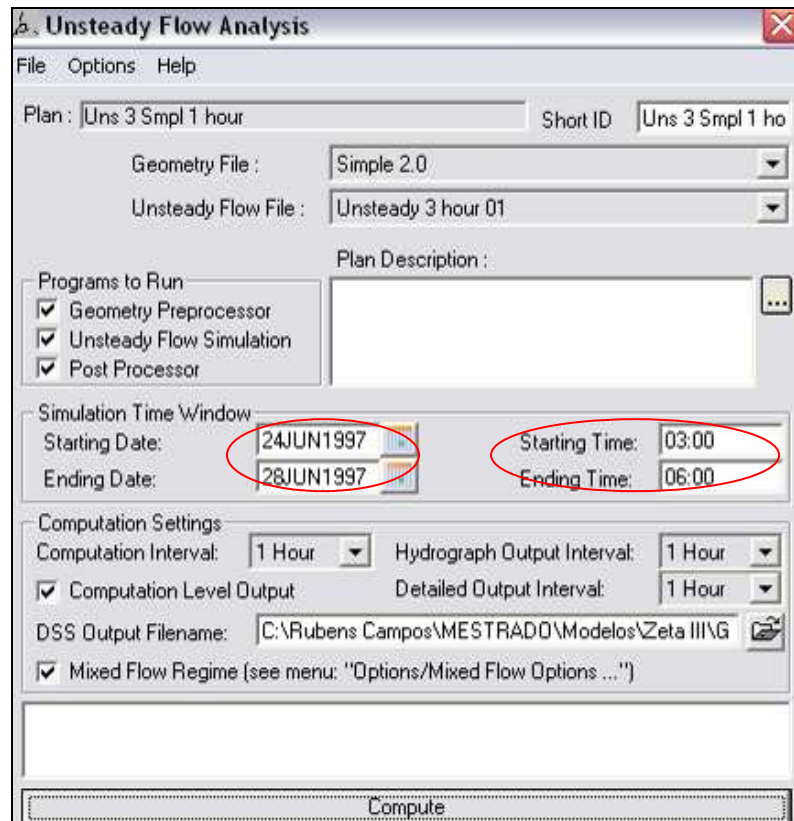


Figura 54 – Plano para escoamento transitório.

A utilização da propagação em regime transitório deve ser mais cautelosa. Em uma primeira rodada processa a geometria, para em uma segunda propagar o hidrograma e pós-processar.

**Este método pode apresentar INSTABILIDADE devido aos recursos do método numérico adotado pelo software.**

## APLICAÇÕES

Após a introdução sobre a interface básica será dirigida à aplicação de exemplos práticos para utilizando os recursos aprendidos.

## ENTRADA DE DADOS

As seções devem ser entradas em ordem decrescente. As distâncias entre as seções devem ser tomadas em três pontos característicos:

- Margens esquerda, direita e canal principal, como demonstrado na Figura 53.

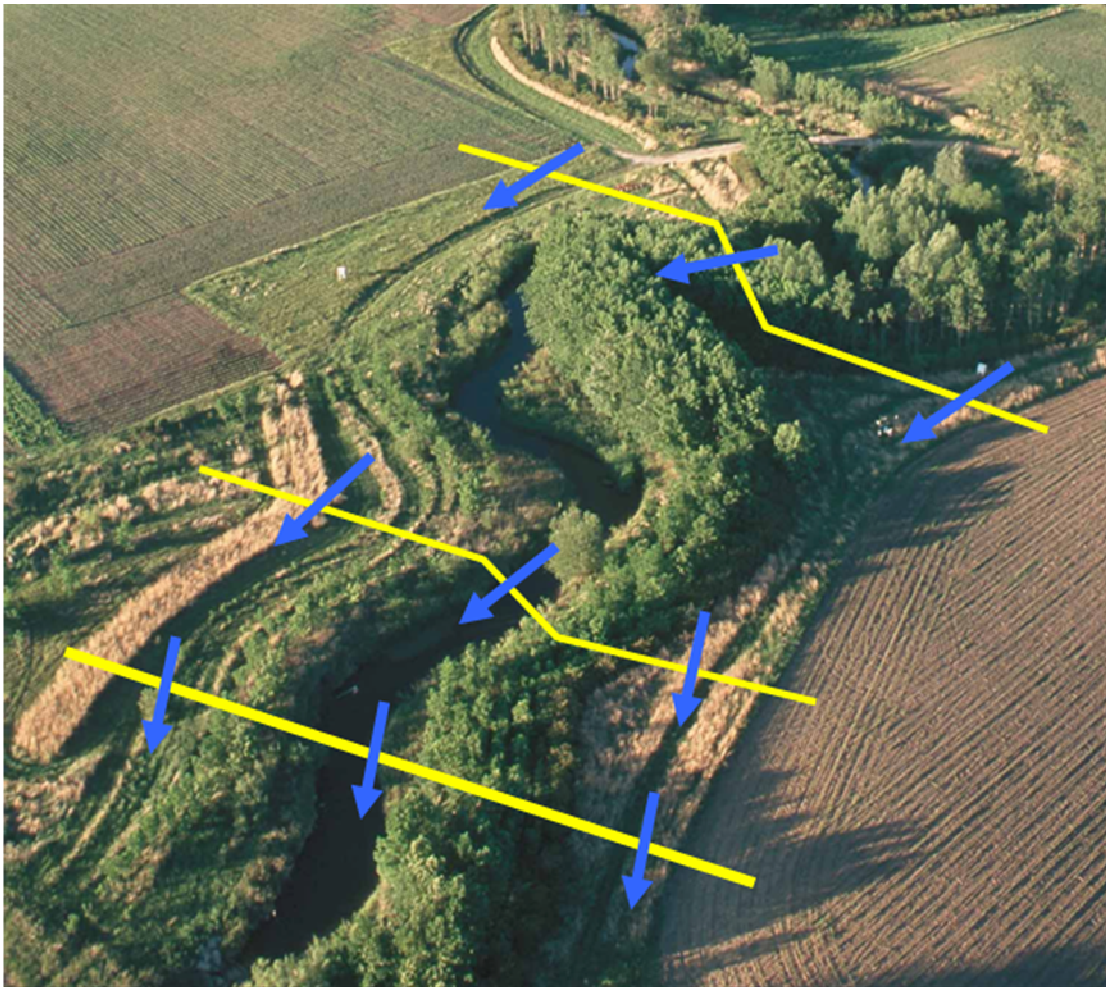


Figura 55 – Figuras de fundo.

Principais informações que devem ser levantadas:

- Distância entre as seções;
- Coeficientes de Manning;
- Limite das margens;
- Estações e cotas (forma do canal);
- Outras informações pertinentes serão abordadas dependendo da característica geométrica que está se estudando.

## SUPERFÍCIE LÍQUIDA

Exemplo prático desenvolvido no curso.

Utiliza um arquivo de geometria, um de vazão e um arquivo de Plano Permanente.

## BUEIROS

A representação dos bueiros é bem similar a da ponte. Porém para pontes para qualquer característica geométrica pode ser aceita, porém para bueiros existem tipos pré-definidos que devem ser selecionados.

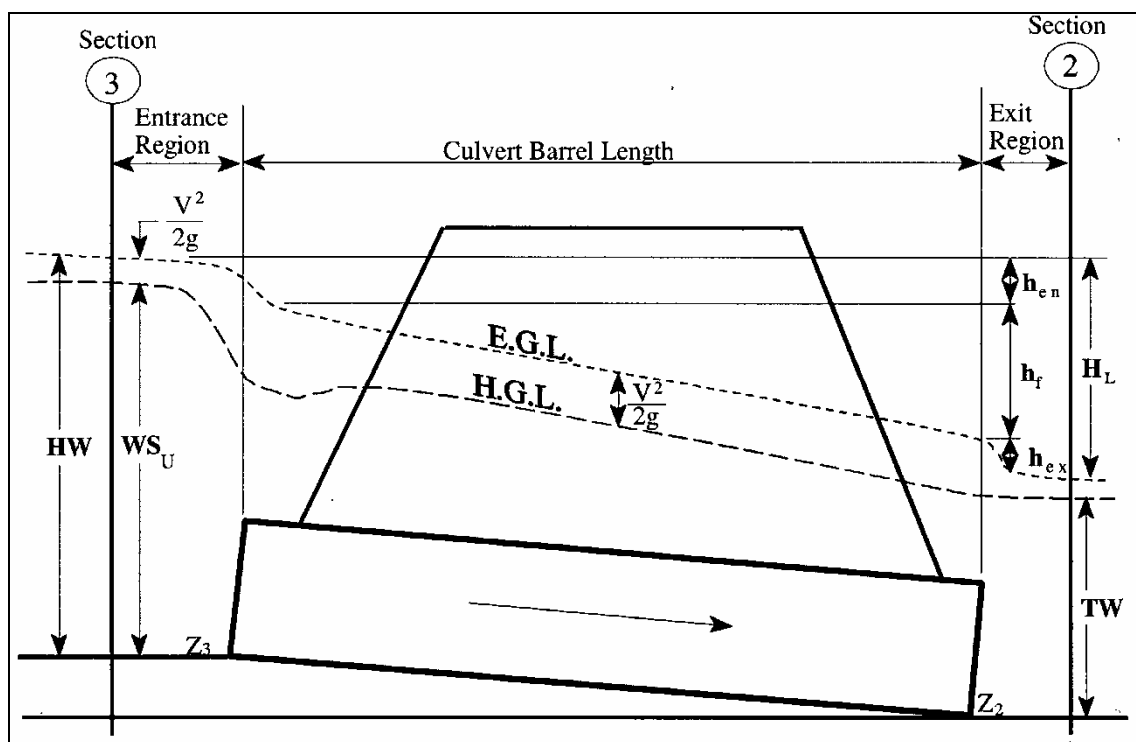


Figura 56 – Condições de funcionamento dos bueiros.

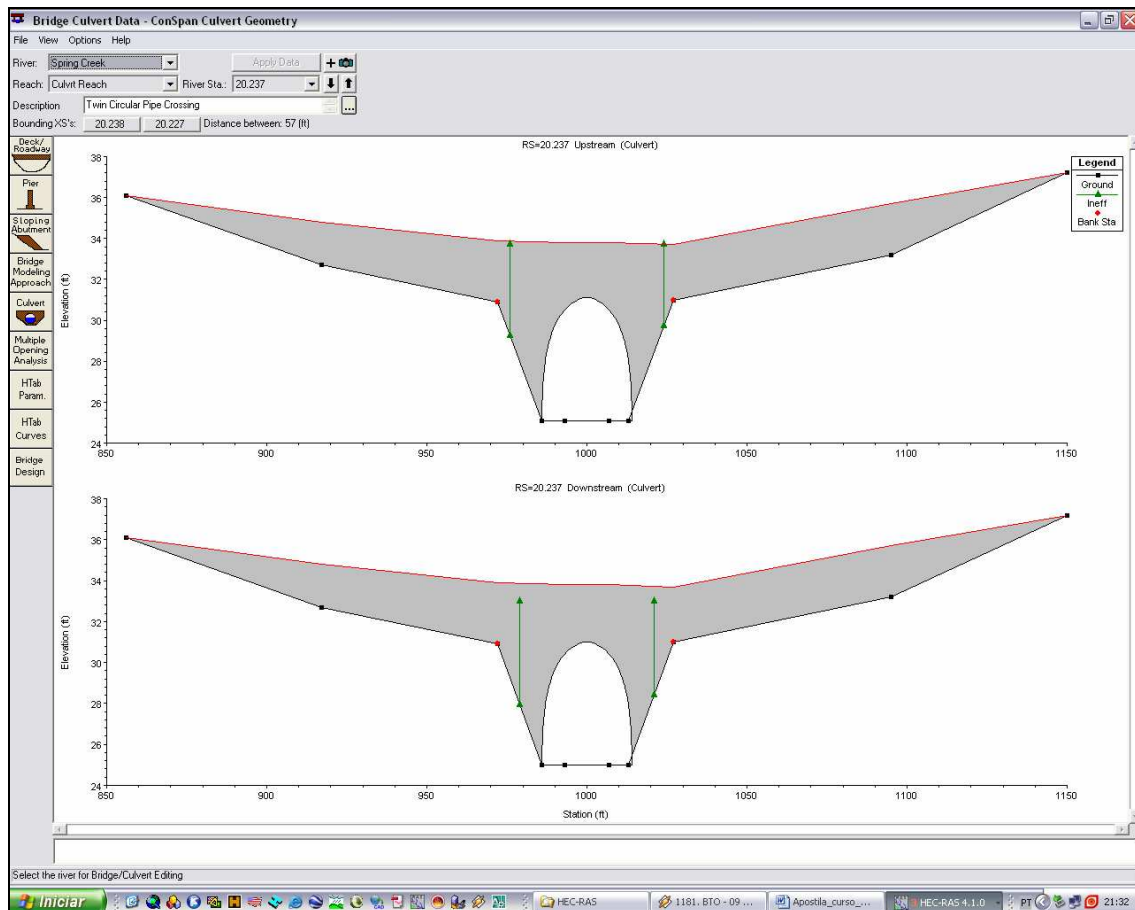


Figura 57 - Interface de entrada de dados dos bueiros.

## PONTES

Para a representação de pontes deve-se entrar com os seguintes dados, de acordo com as Figuras 37 e 58.

São as principais características geométricas das pontes para entrada no HEC-RAS:

- Distância de montante (upstream distance);
- Largura da ponte (Width);
- Pilares;
- Tipo de cálculo.

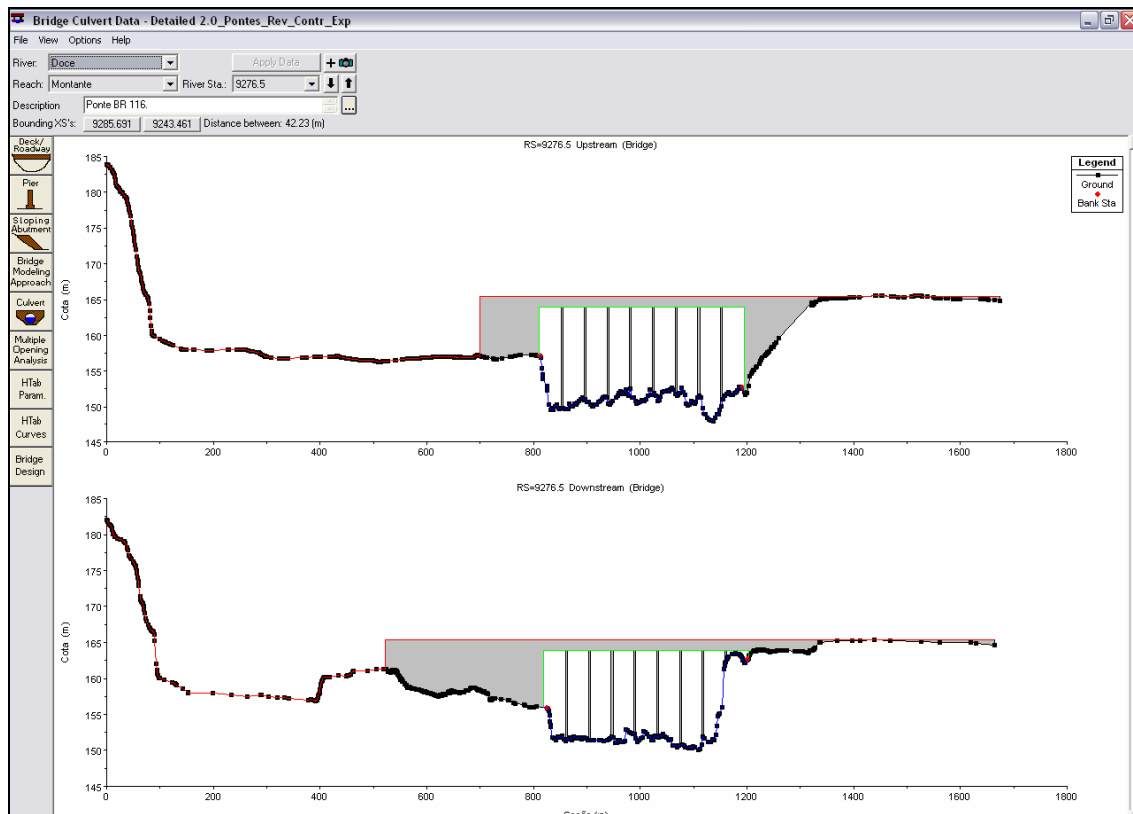


Figura 58 – Interface de entrada de dados das pontes.

Nota-se, pela figura 59 que algumas aproximações sobre o funcionamento das pontes devem ser abordadas.

Assim, exige-se o uso de áreas inefetivas.

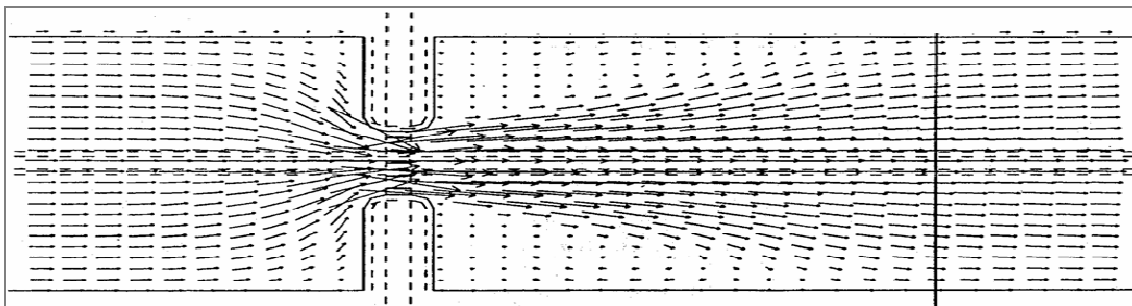


Figura 59 – Áreas inefetivas próximas às pontes.



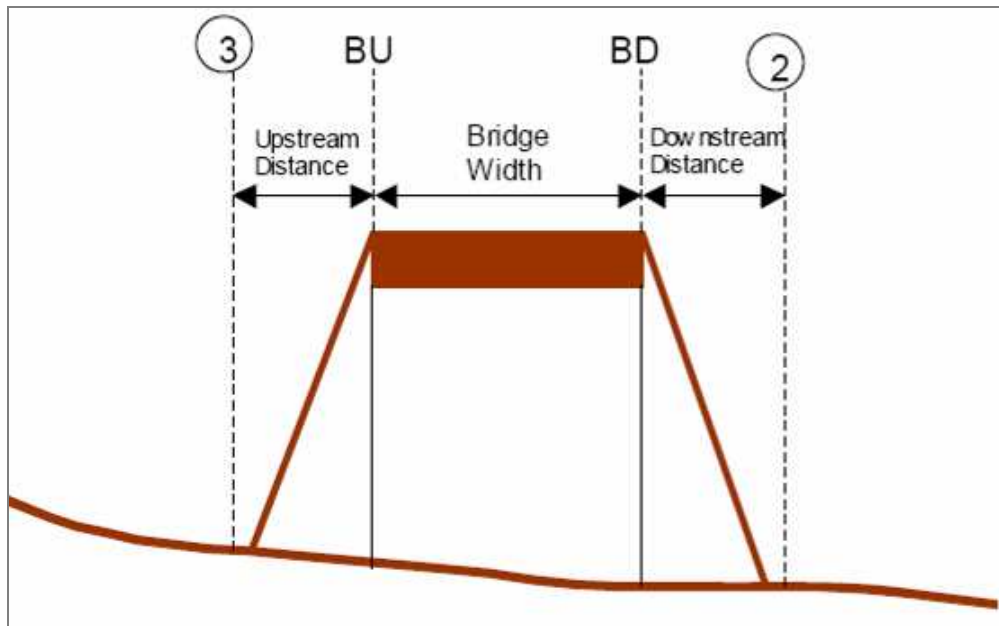


Figura 60 – Definições da geometria da ponte.

Coeficientes de contração e expansão para pontes e bueiros são valores mais altos devido ao direcionamento do fluxo, Figura 61.

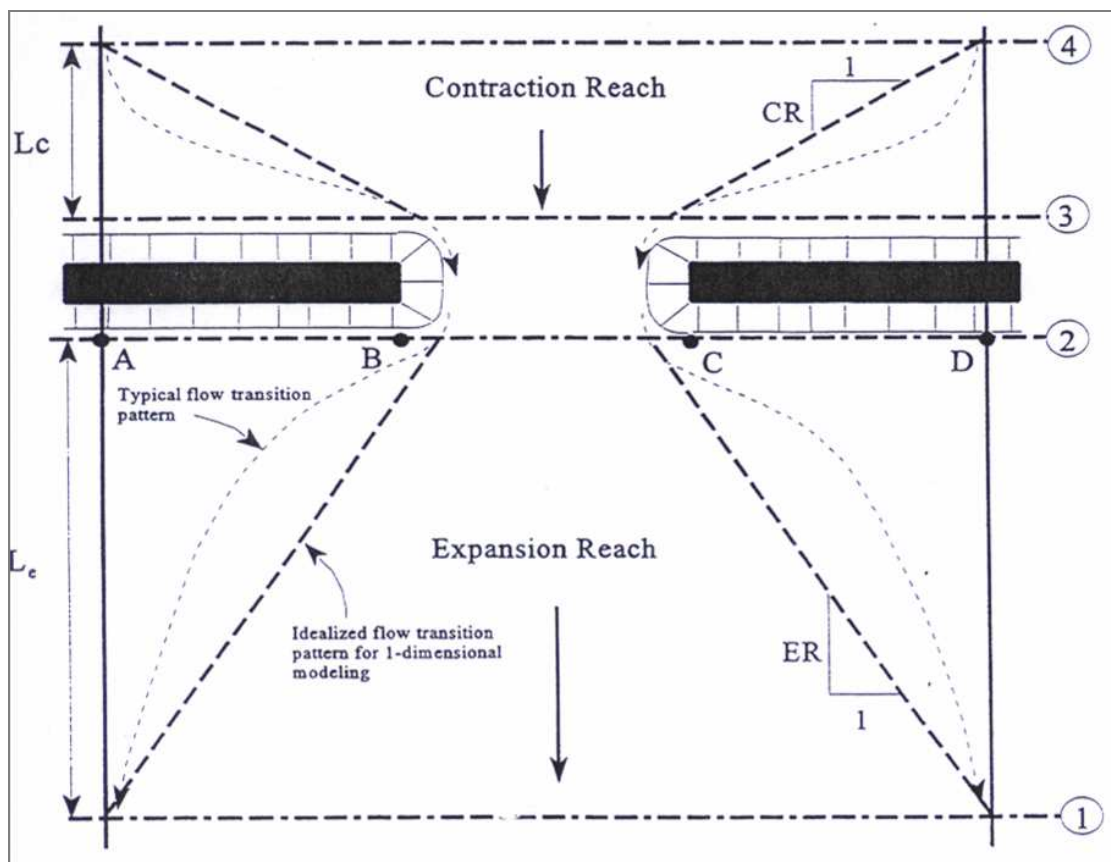


Figura 61 – Definições da geometria da ponte.

## ÁREAS BLOQUEADAS E ÁREAS INEFETIVAS

O uso das áreas inefetivas permite definir locais onde a água não está sendo efetivamente conduzida. São áreas onde ocorrerá o armazenamento, mas a velocidade da água, na direção de jusante, será próxima de zero. Esta porção líquida está incluída nos cálculos de armazenamento e outros parâmetros da área molhada da seção, mas, não está incluída como parte da área de escoamento efetivo.

A área bloqueada considera regiões funcionando como uma área que não tem condutância, e não armazena água.

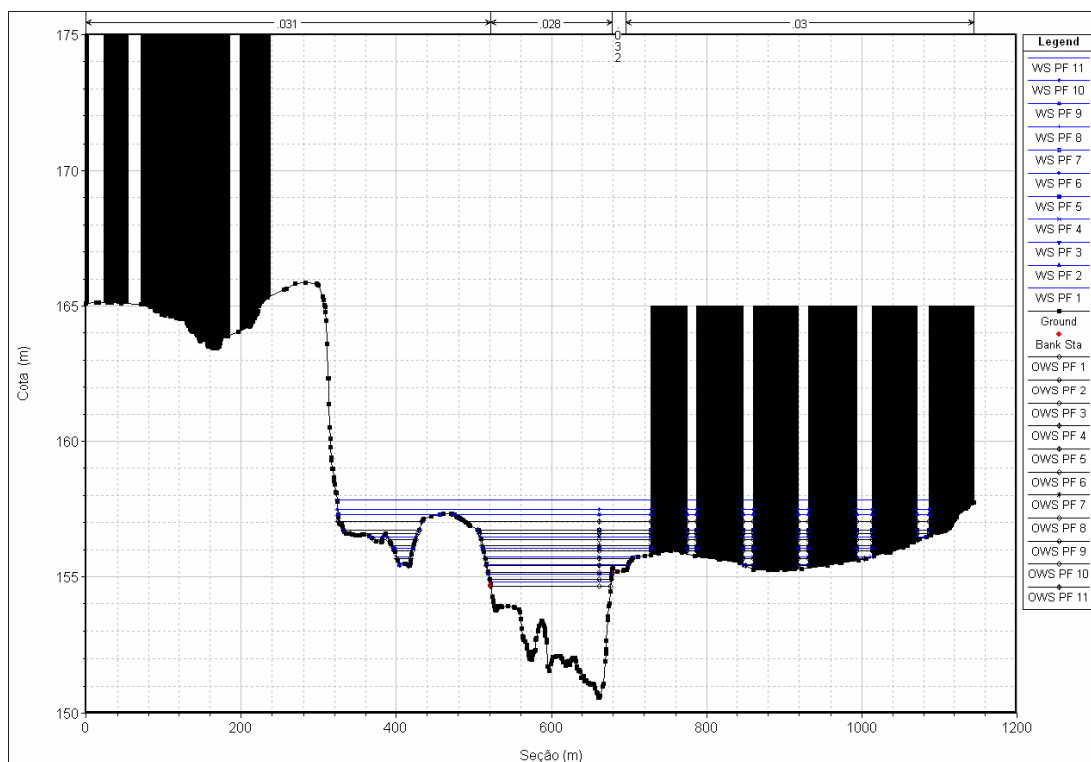


Figura 62 - Áreas bloqueadas.



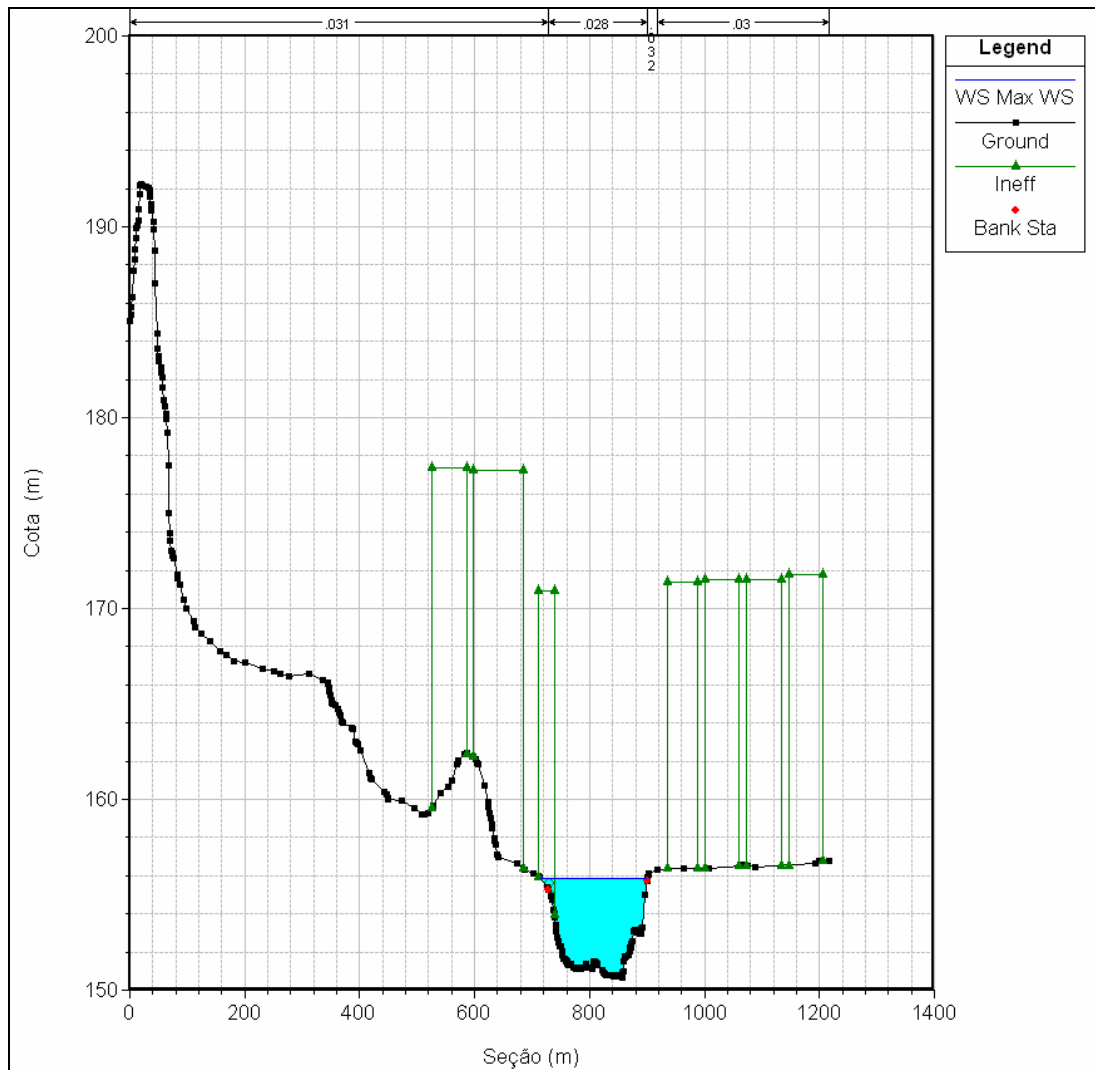


Figura 63 - Áreas inefetivas.

## LIMITAÇÕES DO SOFTWARE

A principal limitação do software, a respeito de recursos gráficos, é o número de pontos que podem ser inseridos por seção, com um máximo de 500 pontos, inclusive pontos de recursos gráficos adicionais, como áreas bloqueadas e inefetivas.

O software é unidimensional, ou seja, é considerada a velocidade de fluxo somente em uma direção e sentido. Assim, a representação da velocidade é definida em somente uma direção, e, conseqüentemente, o cálculo das propriedades hidráulicas. Na prática vários tipos de estruturas hidráulicas apresentam, preponderantemente, o escoamento em uma direção. Contudo, algumas estruturas hidráulicas apresentam escoamento caracterizado por escoamento em mais de uma direção.

## BIBLIOGRAFIA

USACE a - U.S. Army Corps of Engineers. *HEC-RAS River Analysis System – User’s Manual. Version 4.0.* 2008. p. 411.

USACE a - U.S. Army Corps of Engineers. *HEC-RAS River Analysis System – Hydraulic Reference Manual. Version 4.0.* 2008. p. 411.

USACE b - U.S. Army Corps of Engineers. *HEC-RAS River Analysis System – Application Guide. Version 4.0.* 2008. p. 351.

CAMPOS, R.G.D. *Análise da Representatividade de Diferentes Hipóteses de Modelagem Matemática para Definição de Manchas de Inundações em Áreas Urbanas - Estudo de Caso da Cidade de Governador Valadares – MG.* UFMG. 2011. *No prelo.*