



1. APRESENTAÇÃO

O presente Termo de Referência fornece diretrizes para conduzir modelagens hidrológicas e hidráulicas em bacias hidrográficas, no Plano de Macrodrenagem de Pouso Alegre. O estudo hidrológico deve ser realizado no software HEC-HMS desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center (HEC) do US Army Corps of Engineers (USACE), permitindo a análise dos processos de evaporação, precipitação, infiltração e escoamento em bacias. Por sua vez, o estudo hidráulico, deverá ser conduzido no software HEC-RAS, também desenvolvido pelo HEC-USACE, utiliza os dados obtidos pelo HEC-HMS como entrada para simular o escoamento em uma superfície específica.

2. METODOLOGIA

Para realizar as simulações hidrológicas e hidráulicas é necessário caracterizar devidamente a área de estudo. Deve-se selecionar o método de transformação chuva-vazão que mais se adequa as proporções e características da bacia hidrográfica delimitada e calcular todos os devidos parâmetros. O software HEC-HMS pode ser utilizado para realizar a modelagem hidrológica.

Para realizar a modelagem hidráulica é necessário definir os coeficientes de rugosidade de escoamento (Manning) – através de consulta em materiais técnicos (como relatórios da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA). Além disso, a topografia utilizada deve possuir qualidade suficiente para representar o comportamento do terreno e a calha do canal.

Com os dados de inserção do modelo devidamente calculados é possível realizar a simulação do escoamento hidráulico utilizando o software HEC-RAS. A sequência de ações apresentadas pode ser visualizada na Figura 1.

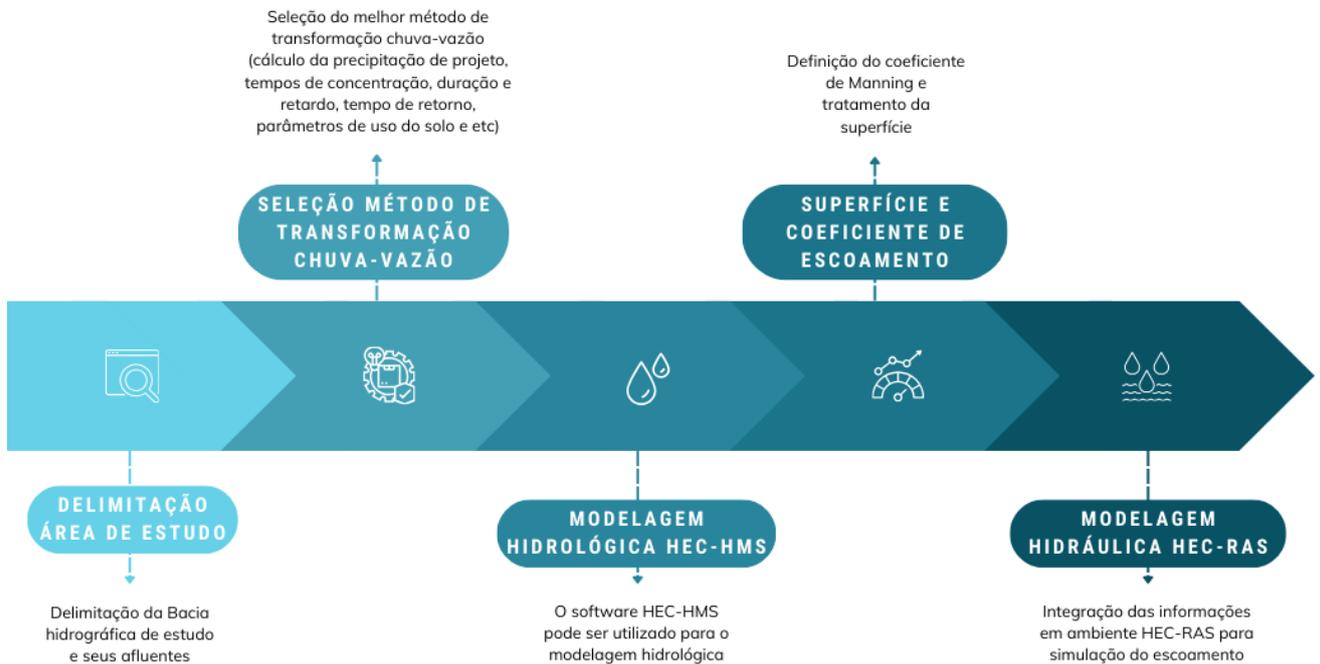


Figura 1 – Sequência de ações do estudo hidrológico/hidráulico

2.1 DELIMITAÇÃO ÁREA DE ESTUDO

As simulações hidrológicas/hidráulicas devem ser realizadas a nível de bacias hidrográficas, delimitadas através de modelos digitais de superfície com qualidade superior, ou igual, a 12,5 X 12,5 metros por pixel.

Com a bacia hidrográfica delimitada deve-se calcular seus principais parâmetros morfométricos: área, comprimento do talvegue principal, perímetro e declividade média. Para bacias extensas que apresentam variação de declividade deve-se realizar uma análise trecho a trecho, de forma a encontrar a declividade equivalente que de fato orienta a performance do escoamento superficial.

2.2 SELEÇÃO MÉTODO DE TRANSFORMAÇÃO CHUVA-VAZÃO

A precipitação de projeto pode ser calculada de duas maneiras: através do método sintético ou pelo método estatístico. No caso do método sintético, a equação Intensidade Duração Frequência – IDF de cada região fornece a intensidade da chuva para uma certa duração e período de retorno (também chamado de Tempo de Retorno – TR, sendo comumente adotado valores de 5, 10, 25, 50 e 100 anos) utilizando os tempos de concentração e duração. Nesse método, a chuva deve ser desagregada através do método dos blocos alternados.

Para o método estatístico, devem ser utilizados dados observados e medidos por estações pluviométricas inseridas no local de análise, que apresente série de dados concisos com pelo menos trinta anos de medição. Nesse caso o método de estimativa de chuvas máximas da distribuição Log-Normal pode ser empregado, onde sua desagregação deve ser feita através de



métodos como as curvas de Huff ou pela adaptação do método dos blocos alternados. Apesar de mais complexo, esse método apresenta melhores resultados, uma vez que é baseado em eventos reais, portanto seu uso é o mais indicado, salvo o caso em que não existam dados observados/medidos na região de interesse.

A modelagem hidrológica inclui o cálculo da precipitação de projeto e a parametrização da vazão de projeto através de métodos de transformação chuva-vazão. As estimativas das vazões podem ser realizadas por meio de métodos estatísticos diretos e indiretos, recomenda-se que a escolha dessas abordagens seja influenciada pelas dimensões das áreas de drenagem, conforme a seguir:

- Sub-bacias com áreas de até 5 km²: utiliza-se o método Racional;
- Sub-bacias com áreas entre 5 km² e 10 km²: utiliza-se o método Racional Corrigido;
- Sub-bacias com área acima de 10 km²: utiliza-se o método do Hidrograma Unitário (HU).

Quando se utiliza o Método Racional, presume-se que a vazão máxima resultante de um evento de precipitação uniforme constante ocorre no instante em que todos os pontos da bacia contribuem simultaneamente para o escoamento na seção de deságue, durante o intervalo denominado tempo de concentração (UFRRJ, [online]). Já o método Racional Corrigido trata-se de uma correção do primeiro método, uma vez que ele tende a superestimar a vazão máxima (SCHLICKMANN e BACK, 2019). Por fim, Sherman (1932) apud Andrade (2007) define o Hidrograma Unitário como um Hidrograma de Escoamento Superficial Direto (ESD) que resulta de uma chuva com duração e intensidades unitárias. Os dois primeiros métodos apresentam como resultado uma vazão de pico máxima, enquanto o terceiro gera um hidrograma de vazões variando no tempo.

Os métodos Racional e Racional Corrigido utilizam um coeficiente de escoamento denominado de runoff, enquanto o método do hidrograma de vazões utiliza um coeficiente conhecido como Curve Number do método desenvolvido pelo Soil Conservation Service – SCS Curve Number – CN. Esses parâmetros devem ser calculados através dos dados de uso e ocupação do solo e pedologia do local, sendo utilizados para determinar a parcela de precipitação que infiltra ou escoar e, assim, determinar o hidrograma de projeto.

2.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA HEC-HMS

O software HEC-HMS é capaz de realizar a modelagem hidrológica de um determinado local utilizando as informações apresentadas nos itens 2.1 e 2.2. Tal software é capaz de entender os inputs de área de drenagem, precipitação de projeto, coeficiente de infiltração/escoamento (CN) além de outras configurações do sistema e, assim, gerar os hidrogramas de projeto de cada bacia. O estudo deve ser feito na versão 6.4.1 do HEC-RAS.



2.4 SUPERFÍCIE DE ANÁLISE E DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO

A superfície de análise (Modelo Digital de Elevação – MDE) a ser utilizada na simulação deve possuir qualidade suficientemente boa para reproduzir fielmente o escoamento superficial do local. Nesse caso, o ideal seria utilizar imagens de drone ou avião (com qualidade superior a 2 x 2 metros), porém no caso de ausência dessas imagens podem ser utilizadas outras com qualidade superior a 12,5 x 12,5 metros por pixel (como as imagens advindas do Satélite Alos Palsar), nesse caso o terreno deve ser tratado para que o canal em estudo seja reconhecido pelo software de análise hidráulica.

Além disso, o coeficiente de rugosidade conhecido como Manning deve ser parametrizado com base em referências bibliográficas técnicas e aclamadas, como os relatórios da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA.

2.5 MODELAGEM HIDRÁULICA HEC-RAS

A modelagem hidráulica deve utilizar como input os dados advindos das simulações hidrológicas (precipitação e/ou vazão de projeto, podendo empregar também curvas-chave) para analisar o escoamento superficial dessas águas considerando obstáculos, declividades e rugosidades.

Para realizar o mapeamento de áreas inundáveis, o software HEC-RAS utiliza os resultados provenientes de simulações hidráulicas para delinear a extensão da inundação e suas cotas. As condições de contorno e fluxos são especificadas dentro do próprio software, onde os parâmetros de escoamento, vazão e precipitação de projeto, profundidade e declividade devem ser inseridos conforme as características de cada situação.

As manchas de inundação (estudo hidráulico) devem ser feitas em simulação em 2D (2 dimensões), em regime não permanente, utilizando a equação da onda difusa, para maior estabilidade dos modelos. As configurações adotadas em todas as simulações hidráulicas estão apresentadas nas Figuras 2 e 3.

HEC-RAS Unsteady Computation Options and Tolerances

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

1D Unsteady Flow Options

Theta [implicit weighting factor] (0.6-1.0):	1.
Theta for warm up [implicit weighting factor] (0.6-1.0):	1.
Water surface calculation tolerance [max=0.06](m):	0.006
Storage Area elevation tolerance [max=0.06](m):	0.006
Flow calculation tolerance [optional] (m3/s):	
Max error in water surface solution (Abort Tolerance)(m):	30.
Maximum number of iterations (0-40):	20
Maximum iterations without improvement (0-40):	

1D/2D Unsteady Flow Options

Number of warm up time steps (0 - 100,000):	0
Time step during warm up period (hrs):	0.0
Minimum time step for time slicing (hrs):	0.0
Maximum number of time slices:	20
Lateral Structure flow stability factor (1.0-3.0):	2.
Inline Structure flow stability factor (1.0-3.0):	1.
Weir flow submergence decay exponent (1.0-3.0):	1.
Gate flow submergence decay exponent (1.0-3.0):	1.
Gravity (m/s ²):	9.80665

Wind Forces

Reference Frame: Eulerian

Drag Formulation: Hsu (1988)

1D Numerical Solution

Finite Difference (classic HEC-RAS methodology)

Finite Difference Matrix Solver

- Skyline/Gaussian (Default: faster for dendritic systems)
- Pardiso (Optional: may be faster for large interconnected systems)

Finite Volume (Beta)

Number of cores to use with Pardiso solver: All Available

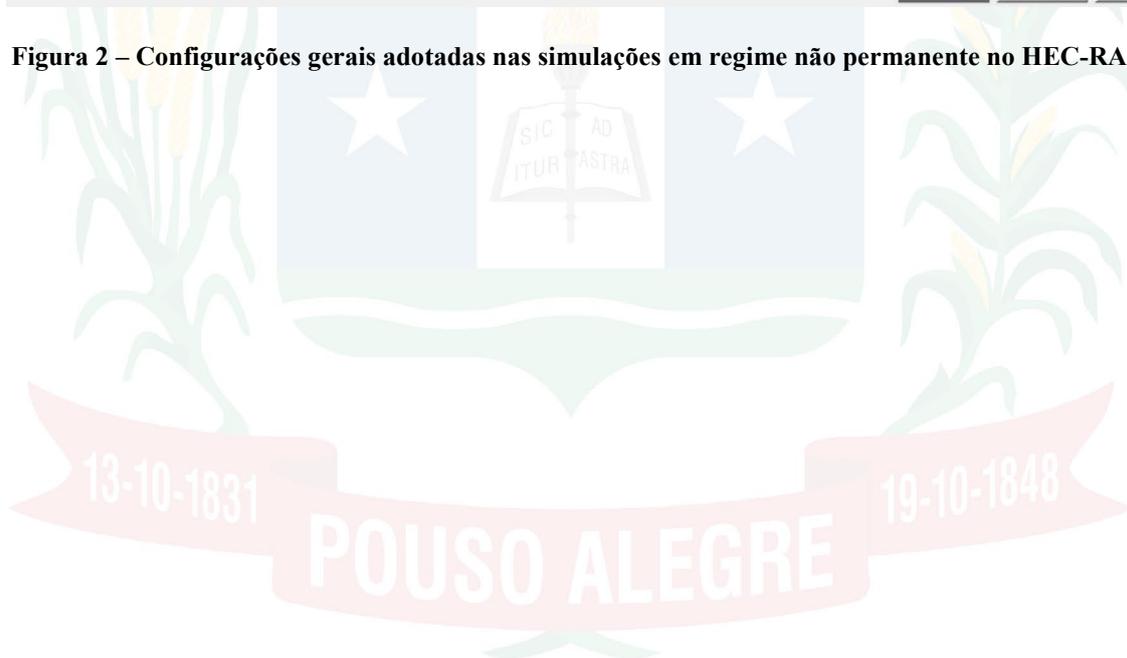
Geometry Preprocessor Options

Family of Rating Curves for Internal Boundaries

- Use existing internal boundary tables when possible.
- Recompute at all internal boundaries

OK Cancel Defaults ...

Figura 2 – Configurações gerais adotadas nas simulações em regime não permanente no HEC-RAS



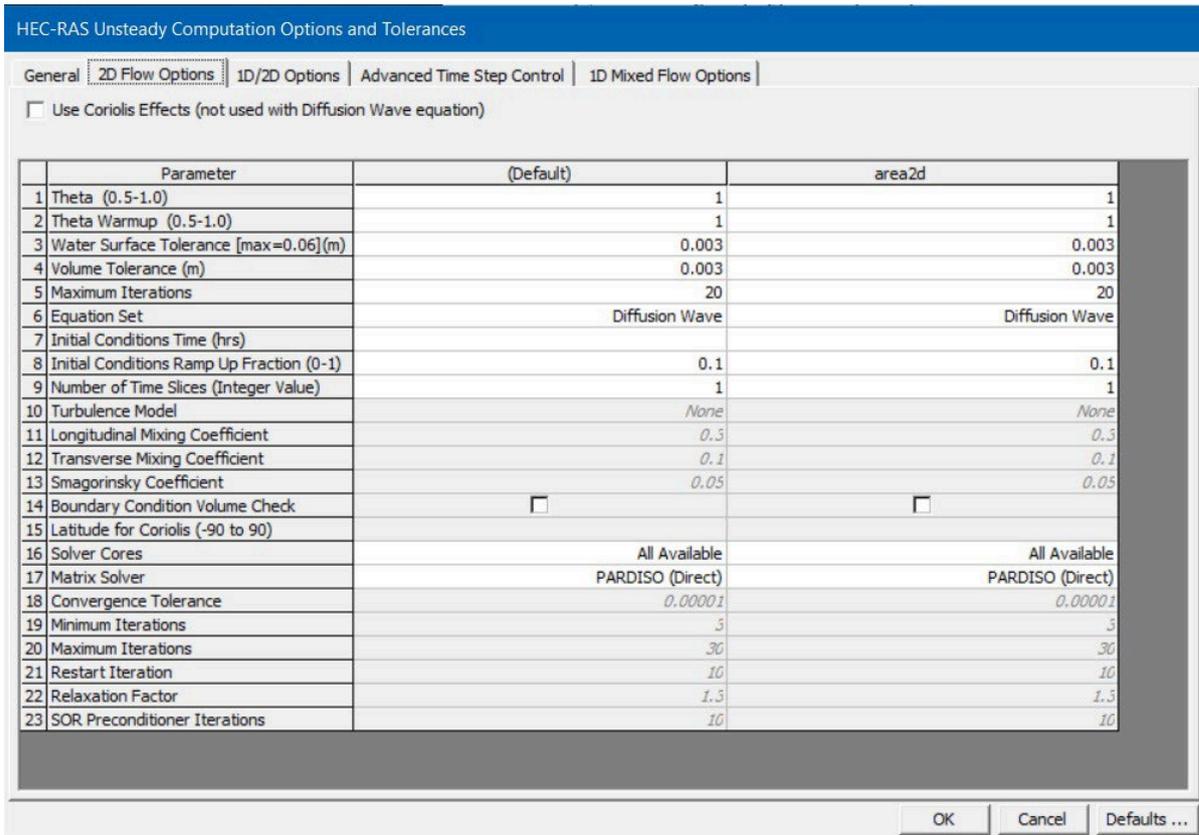


Figura 3 – Opções adotadas de computação e tolerância das simulações em regime não permanente no HEC-RAS

Os limites municipais devem ser obtidos no site oficial do IBGE e os *shapefiles* com informações de cursos hídricos devem ser obtidos na ANA.

2.6 PROFISSIONAL HABILITADO

O estudo detalhado neste Termo de Referência somente pode ser realizado por profissional habilitado perante o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia – CONFEA, apresentados pela Decisão Normativa do CONFEA N° 047, de 16 de dezembro de 1992, alterada pelas Decisões Normativas N° 104, de 29 de outubro de 2014, e N° 107, de 29 de maio de 2015, que estabelece a formação dos profissionais aptos para realização de estudo hidrológico/hidráulico de um determinado local através de laudo definindo se o terreno é alagadiço e sujeito a inundações. As normativas definem os seguintes profissionais, juntamente com a indicação de suas atribuições:

- Engenheiro Civil (atribuições: Decreto n° 23.569/33 – Art. 28° e Resolução n° 218/73 – Art. 7°);
- Engenheiro Agrimensor (atribuições: Resolução n° 145/64 – Art. 2° e Resolução 218/73 – Art. 4°);
- Engenheiro de Fortificação e Construção (atribuições: Decreto n° 23.569/33 – Art. 28° e Resolução n° 218/73 – Art. 7°);



- Engenheiro Sanitarista (atribuições: Resolução n° 132/61 – Art. 4°, Resolução 218/73 – Art. 18° e Resolução n° 310/86 – Art. 1°);
- Geólogo ou Engenheiro Geólogo (Lei n° 4.076/62 – Art. 6°).

2.7 ENVIO DOS ESTUDOS

Para análise do estudo hidráulico-hidrológico, deve ser enviado no e-mail relatório contendo os resultados (manchas de inundação), com a definição de todos os itens da metodologia, anotação de responsabilidade técnica (ART) do responsável técnico e arquivo executável do HEC-RAS do projeto que gerou a mancha de inundação nos TRs 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

As manchas de inundação geradas devem ser entregues em pasta com todos os arquivos do projeto, a fim de que a Administração Pública consiga recompilar o modelo, e os arquivos da mancha em formato “.tif” e “.vrt”. É importante enviar o executável do HEC-RAS do projeto que gerou a mancha de inundação, contendo arquivos do terreno (MDE), geometria, regime não permanente, plano de execução.

Caso os arquivos sejam superiores ao limite máximo de envio no e-mail, gentileza criar pasta no Google Drive, com acesso a todos que possuem o link, com o seguinte nome [Macrodrenagem] Estudo hidráulico-hidrológico área x (inserir local do estudo).

