
Capítulo 7

SÍNTESE E CONCLUSÕES

PROPOSTAS FINAIS

7.1 – SÍNTESE E CONCLUSÕES

Tal como é referido no Capítulo 1, analisou-se, na presente dissertação, o dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens hidráulicas, visando essencialmente:

- o cálculo do caudal de ponta de cheia nas bacias hidrográficas interceptadas pelas vias de comunicação a construir;
- o dimensionamento hidráulico de aquedutos;
- a avaliação da necessidade de obras de dissipação de energia;
- a elaboração de estimativas de custo;
- a elaboração de um programa de cálculo automático (HIDROPAS), que permita o dimensionamento hidrológico e hidráulico e obter estimativas de custo de passagens hidráulicas;
- a análise de projectos de passagens hidráulicas, comparando os valores obtidos através do programa HIDROPAS com os valores de projecto;
- a apresentação de elementos que facilitem o pré-dimensionamento hidrológico e hidráulico e a elaboração de estimativas de custo ao nível de estudo prévio.

A análise bibliográfica relativa ao dimensionamento hidrológico (capítulo 2) permitiu verificar que:

- as fórmulas empíricas para calcular o caudal de ponta de cheia de bacias hidrográficas de passagens hidráulicas são pouco utilizadas por não associarem aos resultados uma probabilidade de ocorrência;
- os métodos estatísticos para o cálculo do caudal de ponta de cheia em bacias hidrográficas de passagens hidráulicas não são geralmente aplicáveis porque raramente se dispõe de registos de caudais em bacias hidrográficas destas dimensões;
- são de aplicação corrente em Portugal diversos métodos cinemáticos para a determinação de caudais de ponta de cheia em bacias hidrográficas de passagens hidráulicas, sendo o de maior divulgação o baseado na fórmula racional;
- deve ser corrigido o coeficiente de escoamento da fórmula racional, definido para um período de retorno compreendido entre 5 e 10 anos, através de um coeficiente de ajustamento para períodos de retorno de 50 e 100 anos (**Wright-McLaughlin, 1969**);
- os métodos do Soil Conservation Service, de Mockus, de David e a fórmula de Temez também são frequentemente utilizados no cálculo do caudal de ponta de cheia em bacias hidrográficas de passagens hidráulicas;
- os resultados dos diferentes métodos nem sempre são similares, pelo que, uma análise comparativa dos diversos métodos apresentados se julga necessária;
- a utilização de métodos cinemáticos para cálculo do caudal de ponta de cheia, implica o cálculo da intensidade de precipitação, do tempo de concentração da bacia, do coeficiente de escoamento e do período de retorno;
- as fórmulas de utilização mais frequente para cálculo do tempo de concentração são as de Kirpich (Pickering e David), SCS e Temez, entre outras;
- o cálculo da intensidade de precipitação é, geralmente, efectuado através das curvas IDF definidas por **Matos e Silva (1986)** para as diferentes regiões pluviométricas do país;
- existem curvas IDF mais recentes e obtidas com base em informação udométrica mais vasta (**Brandão, 1995 e Brandão e Rodrigues, 2000**) cuja aplicação não está ainda suficientemente divulgada;

- o período de retorno a utilizar em passagens hidráulicas deve ser estabelecido de acordo com a importância da via de comunicação e de acordo com os possíveis prejuízos na própria via e em terceiros;
- o coeficiente de escoamento a utilizar deve ser quantificado tendo em consideração o tipo de solo da bacia e a sua utilização ou cobertura, bem como o período de retorno;
- o cálculo do caudal de ponta de cheia definido em bacias hidrográficas de passagens hidráulicas deve ter em consideração a possível redução da capacidade de retenção superficial, ao longo da vida útil da obra, em resultado de fogos florestais no caso de bacias rurais e o aumento de zonas impermeáveis no caso de bacias urbanas.

A análise bibliográfica relativa ao dimensionamento hidráulico (capítulo 3) permitiu verificar que:

- o funcionamento hidráulico de aquedutos depende essencialmente do modo como o escoamento é controlado;
- são definidos seis tipos diferentes de escoamentos em aquedutos, de acordo com as alturas de água a montante e a jusante e as características geométricas das passagens hidráulicas;
- os tipos de escoamentos mais utilizados no dimensionamento hidráulico de aquedutos são os escoamentos com controlo à entrada, pois nestes casos o caudal admitido apenas é condicionado pelo tipo de estrutura de entrada e inclinação do aqueduto;
- por questões ambientais (atravessamento de espécies animais) e hidráulicas são impostos diâmetros e inclinações mínimas para os aquedutos;
- o dimensionamento hidráulico é frequentemente efectuado por intermédio de ábacos, sendo os mais divulgados, e recomendados pela BRISA e pela JAE, os do U.S. Bureau of Public Roads;
- sempre que possível, por questões económicas, deve procurar-se que a velocidade a jusante da estrutura de saída seja inferior a 4,50 m/s, evitando assim o recurso a estruturas de dissipação de energia;
- para velocidades de escoamento à saída dos aquedutos superiores a 4,50 m/s não é aconselhável a utilização de enrocamentos de protecção, devido às dimensões do enrocamento a utilizar, pelo que se recorre a estruturas de dissipação de energia das

quais se destacam, pela sua simplicidade, as estruturas do tipo PWD (Public Works Department) e WES (Waterways Experiment Station) e as estruturas de queda.

Do capítulo 4 – *Programa de cálculo automático*, destacam-se:

- a implementação no módulo QPONTA dos procedimentos de cálculo de diferentes métodos para calcular o caudal de ponta de cheia em bacias hidrográficas de passagens hidráulicas; este módulo, para além de permitir o cálculo do caudal de ponta de cheia pelo método que o utilizador julgue mais conveniente, permite também efectuar uma análise comparativa com os valores dos diferentes métodos implementados no programa;
- a implementação dos procedimentos de cálculo do dimensionamento hidráulico que permite analisar diversas soluções (módulo HIDCALC);
- a possibilidade de elaborar estimativas de custo de passagens hidráulicas (módulo ESTIMA); as quantidades de trabalho são avaliadas com base nas características da secção transversal, no comprimento, nas condições de implantação, nas estruturas de entrada e de saída e na obra de dissipação de energia;

No Capítulo 5 – *Aplicação da metodologia proposta a casos de estudo*, efectuou-se uma análise comparativa do dimensionamento hidrológico e hidráulico de projectos executados por diferentes projectistas para a BRISA e para a JAE, com os resultados obtidos por aplicação da metodologia de dimensionamento considerada no programa HIDROPAS.

Os resultados obtidos e as análises comparativas efectuadas conduzem às seguintes considerações e conclusões:

- em Portugal, na maioria dos projectos de drenagem transversal de vias de comunicação, para calcular o caudal de ponta de cheia das bacias hidrográficas interceptadas, é utilizada a fórmula racional;
- entre as análises efectuadas, os valores dos caudais de ponta cheia obtidos pelos métodos do SCS (Soil Conservation Service), de Mockus e de Temez são da mesma ordem de grandeza;
- para bacias hidrográficas com área inferiores a cerca de 5 ha, em que o tempo de concentração é inferior a 5 min, os caudais de pontas de cheia são frequentemente sobreavaliados devido às elevadas intensidades médias de precipitação que resultam da extrapolação das curvas IDF disponíveis, pelo que se sugere que o

- tempo de concentração mínimo de bacias hidrográficas em passagens hidráulicas seja limitado a 5 min;
- a utilização de períodos de retorno inferiores a 50 anos, em alguns casos de estudo, é em nosso entender desaconselhável;
 - o dimensionamento hidráulico de aquedutos é frequentemente efectuado pela metodologia proposta pelo U.S. Bureau of Public Roads;
 - os resultados da aplicação da metodologia proposta para o dimensionamento hidráulico são, na generalidade, semelhantes aos obtidos nos diferentes casos de estudo considerados;
 - no dimensionamento hidráulico é habitual evitarem-se velocidades à saída dos aquedutos superiores a 4,5 m/s, uma vez que implicariam a adopção de estruturas de dissipação de energia em betão, normalmente mais caras que o enrocamento de protecção;
 - nos projectos executados para a BRISA e para a JAE considera-se, em geral, um valor máximo de 1,35 para a relação entre a altura de água a montante e o diâmetro ou altura do aqueduto (H_w/D), no sentido de evitar alturas de água a montante tais que possam causar prejuízos quer na via (danificação ou destruição de pavimentos e bermas) quer em terceiros (inundações de áreas circundantes);
 - por razões técnico-económicas, as passagens hidráulicas mais comuns em Portugal são de secção circular com estrutura de entrada em recipiente, ou com muros de ala, estrutura de saída com muros de ala e enrocamento de protecção a jusante da estrutura de saída.

No capítulo 6, através da utilização sistemática de programa HIDROPAS aos diferentes casos de estudo analisados no capítulo 5 e pela análise de diversos orçamentos de obras de drenagem transversal em curso (Ligação IP3-IP5), apresentam-se elementos de dimensionamento hidrológico, hidráulico e de estimativa de custos, para utilização no pré-dimensionamento de passagens hidráulicas.

Os elementos gráficos que se apresentam para o dimensionamento de passagens hidráulicas referem-se:

- ao cálculo do tempo de concentração de bacias hidrográficas em função da área;

- ao cálculo do caudal de ponta de cheia, para as regiões pluviométricas propostas por **Matos e Silva (1986)** e para diferentes números de escoamento, em função da sua área;
- ao dimensionamento hidráulico de aquedutos de secção circular e controlo a montante, em função do caudal de ponta de cheia e da altura de água a montante;
- a estimativas de custo de passagens hidráulicas com estruturas de entrada em recipiente ou com muros de ala, com aquedutos de secção circular e assentamento em areia ou betão, estruturas de saída com muros de ala e com enrocamento de protecção a jusante.

7.2 – PROPOSTAS FINAIS

Referem-se seguidamente os tópicos ou acções que se julgam mais relevantes para a continuação do estudo sobre o dimensionamento hidrológico, hidráulico e técnico-económico de passagens hidráulicas:

- aperfeiçoamento do programa de cálculo automático desenvolvido, nomeadamente na interface gráfica, de modo a tornar possível a sua utilização em conjunto com programas de desenho assistido por computador;
- inclusão no programa HIDROPAS de rotinas de dimensionamento hidráulico de aquedutos de secções diferentes das circulares e rectangulares;
- inclusão no programa HIDROPAS de mais tipos de estruturas de dissipação de energia;
- inclusão no programa HIDROPAS de critérios técnico-económicos de selecção da estrutura de dissipação de energia;
- melhoramento do módulo ESTIMA de forma a ser possível determinar a solução de menor custo para diferentes secções transversais do aqueduto;
- estudo em modelo físico de estruturas de entrada e de saída, que, para além de permitirem o estudo das perdas de carga localizadas, permitam averiguar a sua influência no escoamento ao longo do aqueduto;
- estudo do escoamento num aqueduto com degraus.