



RISCO HIDROLÓGICO ASSOCIADO ÀS INCERTEZAS NA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO – ESTUDO DE CASO: BARRAGENS NA ILHA DE SANTIAGO – CABO VERDE

Francisco Osny E. SILVA¹, Manuel Moreira FERNANDES², Manuella Romcy MELO³

1. Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental-DEHA, Av. Cel Carvalho 3078, CEP 60351-364, Fortaleza, Ceará, Brasil, Doutor em Recursos Hídricos, Professor Adjunto, e-mail: osny@deha.ufc.br

2. Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental-DEHA, Rua São Nicolau n° 08, Bairro de Palmarejo, Cidade de Praia, Ilha de Santiago-Cabo Verde, Doutorando em Recursos Hídricos, numoadelio@hotmail.com

3. Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental-DEHA, Av. Humberto Monte, s/n, Campus do Pici, Bloco 713, CEP 60455-900, Fortaleza, Ceará, Brasil, Mestre em Recursos Hídricos, manuella90romcy@hotmail.com

RESUMO

No projeto de duas barragens na Ilha de Santiago em Cabo Verde, a barragem de Saquinho e a barragem de Figueira Gorda, o tempo de concentração adotado foi calculado através da média dos valores encontrados com os métodos de Kirpich, SCS Lag, NERC, Témez e Giandotti. Por ser um método incomum e as barragens já estarem apresentando sinais de desgaste, foram refeitos os cálculos de projeto utilizando o valor encontrado pelo método de Kirpich para o tempo de concentração. Todos os demais parâmetros foram mantidos iguais ao do Projeto Executivo original para fins de comparação. Os hidrogramas de cheia foram gerados através do software HEC-HMS, tal qual no projeto executivo. Os resultados mostraram que o valor superestimado do tempo de concentração que foi adotado no projeto original acarretou em vazões de pico menores e, consequentemente, cotas de sangria menores. Assim, a folga entre a lâmina máxima de sangria para uma cheia milenar recalculada com base na adoção do tempo de concentração calculado por Kirpich, e a face inferior da ponte de rolamento que fica sobre o vertedouro das barragens, resultou num subdimensionamento, não apresentando suficiente folga para tal cheia milenar, mantida a configuração geométrica dos vertedouros conforme os respectivos projetos executivos originais.

Palavras-Chave: Risco Hidrológico; Tempo de Concentração; Kirpich; Barragens em Cabo Verde.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Ao se projetar os vertedouros para barragens de acumulação de água (albufeiras), faz-se necessário estudar o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica, geralmente realizado através do estudo da resposta hidrológica do sistema a uma precipitação calculada para determinado período de retorno, geralmente a cheia milenar ou decamilenar, utilizando-se parâmetros hidrológicos da bacia hidrográfica (Musy e Higy, 2011).

A resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica a um evento de precipitação é medida pela observação da quantidade de água que passa pela seção de controle do sistema, sendo caracterizada, principalmente, por sua velocidade e intensidade. Mas, o fluxo de água medido à seção de controle está diretamente relacionado às características físicas da bacia hidrográfica (Musy e Higy, 2011), tais como a área de drenagem, a medida linear do comprimento, o formato e a inclinação da bacia, parâmetros de tempo de escoamento, o cobrimento e o tipo de solo. A maioria dos modelos hidrológicos requer uma característica da bacia hidrográfica, um parâmetro de tempo, que reflita o tempo de escoamento da mesma. Entre os diversos parâmetros de tempo desenvolvidos por hidrólogos, o tempo de concentração (T_C) é o mais utilizado (McCuen, 1998).

Além da existência de duas definições aceitas para tempo de concentração, reconhece-se que nenhuma das duas fornece o verdadeiro valor de T_C . No entanto, muitas fórmulas empíricas foram desenvolvidas para estimar este parâmetro. Essas fórmulas foram baseadas em uma quantidade muito pequena de dados, restringindo a

aplicabilidade das mesmas. Qualquer aplicação dessas fórmulas realizada em bacias hidrográficas diferentes das que foram usadas para a concepção da fórmula, deve ser feita com cuidado (McCuen, 1998), pois a diversidade de características de cada bacia hidrográfica pode resultar em um parâmetro de tempo não representativo.

Na República de Cabo Verde, mais precisamente na Ilha de Santiago, a maior das ilhas, foram construídas em torno de uma dezena de barragens há menos de dez anos, algumas das quais vêm apresentando problemas de percolação e fuga de água pelas ombreiras na interface do maciço de concreto com a rocha, sendo alvo de preocupação do Governo e da imprensa Caboverdiana, pois são obras de porte com elevado potencial de risco associado. Cabo Verde ainda não possui uma lei nacional sobre segurança de barragens, fato este que torna mais preocupante a situação no caso de um colapso (*dam break*).

No projeto executivo da maioria dessas barragens, incluindo-se aqui as de Saquinho e Figueira Gorda que foram adotadas para este estudo de caso, para a obtenção do tempo de concentração de projeto T_C foi utilizada a média dos valores obtidos pela aplicação de cinco fórmulas de tempo de concentração, contrariando a praxe de engenharia de se adotar o menor dos tempos de concentração para maximização da cheia hidrológica de projeto, que normalmente resulta da aplicação da fórmula de Kirpich, tal como foi confirmado pelos cálculos de estimativa do T_C empregando-se as cinco fórmulas utilizadas (Kirpich, SCS Lag, NERC, Témez e Giandotti).

O valor de T_C tem grande importância na concepção final do projeto do vertedouro de uma barragem, pois ele influencia diretamente o hidrograma da cheia de projeto com a qual são dimensionadas as obras hidráulicas do vertedouro. Erros nesta avaliação tem repercussão negativa para a segurança e vida útil das estruturas. Em se tratando de barragens de porte, com a existência de cidades e comunidades urbanas e rurais a jusante das mesmas, eleva-se o potencial de risco associado. Assim, o aspecto de maximização da segurança na elaboração do projeto, adquire uma maior importância do que a eventual economia estrutural no projeto que possa ser feita com o emprego de parâmetros menos conservadores.

O objetivo do presente artigo foi o de questionar a validade e estimar o risco associado ao fato de se ter adotado a média dos tempos de concentração calculados por cinco fórmulas diferentes, incluindo Kirpich, ao invés de se ter adotado a própria fórmula de Kirpich que conduz sempre a valores menores para o T_C nas condições dos projetos estudados e, conseqüentemente, caso tivesse sido empregada, conduziria a uma maximização do hidrograma de projeto da cheia milenar que deveria ser adotada para dimensionamento das estruturas hidráulicas dos vertedouros das barragens de Saquinho e Figueira Gorda.

2. ÁREA DE ESTUDO DE CASO

O território da República de Cabo Verde é composto por nove ilhas principais, ilhotas e ilhéus, formando um arquipélago. As ilhas se situam a 455 km da Costa Africana, se estendendo por aproximadamente 4033 km². Foram formadas pela acumulação de rochas resultado de erupções vulcânicas sobre as plataformas submarinas, conferindo-lhes um relevo acidentado (Cabo Verde, 2007). As duas barragens estudadas estão localizadas na Ilha de Santiago, a maior do arquipélago, com quase 1000 km² e mais de 300 mil habitantes.

A bacia hidrográfica dominada pela barragem do Saquinho localiza-se na vertente noroeste da Ilha de Santiago e possui forma quase arredondada. A Tabela 1 traz as características da bacia hidrográfica de Saquinho relevantes aos cálculos.

Tabela 1. Características da bacia hidrográfica da barragem de Saquinho

Características da bacia hidrográfica de Saquinho	
Área (km ²)	13,76
Perímetro (km)	16,55
Comprimento da linha de água principal (m)	5742,00
Altitude mínima (m)	290,00
Altitude máxima (m)	700,00
Altitude média (m)	465,20
Declive médio da bacia (%)	175,20
Declive médio da linha de água principal (m/m)	0,07
Declive entre 10 e 85% do comprimento da linha de água principal (m/km)	64,79

A bacia hidrográfica dominada pela barragem de Figueira Gorda situa-se na vertente nordeste da Ilha de Santiago e possui uma forma alongada na direção SW-NE. A Tabela 2 contém as características da bacia hidrográfica de Figueira Gorda relevantes aos cálculos.

Tabela 2. Características da bacia hidrográfica da barragem de Figueira Gorda

Características da bacia hidrográfica de Figueira Gorda	
Área (km ²)	20,20
Perímetro (km)	29,22
Comprimento da linha de água principal (m)	15291,51
Altitude mínima (m)	65,00
Altitude máxima (m)	700,00
Altitude média (m)	342,69
Declive médio da bacia (%)	277,69
Declive médio da linha de água principal (m/m)	0,033
Declive entre 10 e 85% do comprimento da linha de água principal (m/km)	59,73

3. METODOLOGIA

Os valores de precipitação máxima utilizados para o cálculo da vazão de pico dos hidrogramas foram os mesmos utilizados nos projetos executivos originais das barragens, para garantir a comparação dos métodos adotados, onde o único dado que sofreu alteração foi o tempo de concentração. Assim, os valores de precipitação máxima adotados para os respectivos períodos de retorno, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Precipitações máximas para os períodos de retorno de 5, 10, 20, 100 e 1000 anos.

Período de retorno T_R (anos) –	Precipitação máxima (mm)	
	Barragem Saquinho	Barragem Figueira Gorda
5	160,81	138,53
10	192,77	173,75
20	220,42	207,53
100	275,37	284,01
1000	353,97	392,28

Gerou-se então os hidrogramas para o período de retorno de 1000 anos, correspondentes aos hietogramas já calculados no projeto executivo original da barragem, por convolução dos hietogramas com o hidrograma unitário sintético do Soil Conservation Service, utilizando o modelo HEC-HMS, desenvolvido pelo U.S. Army Corp of Engineers. Os hidrogramas das cheias milenares foram propagados sobre os vertedouros das barragens e determinadas as lâminas de sangria sobre as soleiras dos respectivos vertedouros. Em seguida, foi calculada a folga resultante entre o nível máximo da cheia milenar e a cota da longarina inferior do tablado das pontes construídas sobre os vertedouros de cada barragem.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos em termos de cota máxima da cheia milenar e as folgas resultantes, tanto os valores relativos ao projeto executivo original, cujos hidrogramas foram calculados com base na média de cinco fórmulas de tempo de concentração, quanto os valores recalculados com base nos hidrogramas obtidos pelo emprego único do T_C de Kirpich, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Cotas de projeto e cotas calculadas.

Dados	Barragem Saquinho	Barragem Figueira Gorda
Cota máxima de cheia projetada (m)	315,25	94,20
Cota máxima de cheia calculada (m)	316,10	94,70
Cota inferior da ponte (m)	316,52	94,72
Folga projetada (m)	1,27	0,52
Folga calculada (m)	0,42	0,02

5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados na Tabela 4 demonstraram, para a cheia milenar, uma diferença de 70,13 % e 54,45% a mais nas vazões de pico encontradas utilizando o T_C de Kirpich em comparação com o T_C adotado nos projetos executivos das barragens de Saquinho e Figueira Gorda, respectivamente. Este fato influiu diretamente na determinação da folga entre a cota de soleira e a cota inferior da longarina do tablado das pontes construídas sobre os vertedoures de ambas barragens. No Brasil, a folga mínima adotada em projeto costuma ser de 1,00 m. Para os projetos executivos aqui selecionados neste estudo de caso, a folga de projeto da barragem de Saquinho foi de 1,27 m, enquanto que a da barragem de Figueira Gorda foi de apenas 0,52 m. No entanto, para as novas cotas de sangria correspondentes às novas cheias milenares calculadas com base no emprego do T_C de Kirpich, a folga da barragem de Saquinho ficou em 0,42 m, enquanto que a folga da barragem de Figueira Gorda foi de apenas 0,02 m.

Dessa forma, constata-se que o emprego do tempo de concentração obtido pela média de cinco fórmulas diferentes para obtenção de T_C , para geração dos hidrogramas das cheias milenares de projeto, conduziu a um possível subdimensionamento da folga nos vertedoures das barragens de Saquinho e Figueira Gorda, implicando numa majoração do risco hidrológico para ambas barragens.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES/BRASIL pelas bolsas concedidas aos alunos de pós-graduação que participaram deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kirpich, Z. P. (1940) Time of concentration of small agricultural watersheds. *Journal of Civil Engineering*, **40**(6).
- MDR, Ministério do Desenvolvimento Rural (2013) Lote I - Estudos e Construção da barragem de Figueira Gorda e da rede de adução, 1. Ilha de Santiago, Cabo Verde.
- MDR, Ministério do Desenvolvimento Rural (2013) Lote II - Barragem de Saquinho e rede de adução. Ilha de Santiago, Cabo Verde
- Mccuen, R. H. (1998) *Hydrologic analysis and design*. 2ª. ed. Prentice-Hall.
- Musy, A.; Higy, C. (2011) *Hydrology: a science of nature*. CRC Press.

REFERÊNCIAS INTERNET

- Cabo Verde, Governo de (2013). Cabo Verde: Uma Breve Apresentação. Disponível em: <www.governo.cv/dados_gerais>. Acesso em 02 de novembro de 2018.