

A UTILIZAÇÃO DO HEC-RAS DETERMINAR COTA DE INUNDAÇÃO NA RAPTURA HIPOTÉTICA DE UMA BARRAGEM - ESTUDO DE CASO DA PCH SALTO BURITI

Thaís Tonelli Marangoni ^{1*}; Mauricio Antônio Santini Junior²; Jefferson Nascimento de Oliveira ³

Resumo – Existem no mundo milhares de barragens de acumulação de água, as quais se não bem projetadas, construídas e mantidas podem vir à ruína. A onda de ruptura propagada a jusante pode causar prejuízos financeiros e mortes. O objetivo do trabalho foi definir as cotas máximas que a lamina d'água irá atingir, com a ruptura hipotética da barragem PCH Salto Buriti, tendo como foco a altura que a água atingirá em duas seções de interesse, (ponte e casa de força). Foram determinados três cenários emergenciais: para a vazão máxima observada (110,05 m³/s), milenar (573 m³/s) e de *dam break* (1785,36 m³/s). Foi utilizado o programa HEC-RAS para a propagação das vazões. O risco da ruptura em cascata da barragem a jusante na vazão milenar, e de *dam break* é iminente, visto a capacidade do vertedor da PCH Salto Curuá. Além disso, para essas vazões, deve-se impedir o trânsito de pessoas na ponte e na casa de força. A partir dos dados estudados foi possível determinar a vazão máxima em que a ponte pode operar (100 m³/s) e a vazão em que a casa de força deve ser evacuada (50 m³/s).

Palavras-Chave – Modelagem Hidráulica, HEC-RAS, Segurança de Barragens.

THE USE OF HEC-RAS TO DETERMINE FLOOD CUTTING IN THE HYPOTHETIC RAPTURE OF A DAM - CASE STUDY OF THE SALTO BURITI SHP

Abstract – There are thousands of water accumulation dams in the world, which if not well designed, built and maintained can be ruined. The wave downstream propagation can cause financial loss and death. The aim was to define the maximum quotas where the water depth will reach with the propagation of waves and the hypothetical disruption of PCH Salto Buriti dam, focusing on how high the water will reach the bridge and the power house. Three emergency scenarios were determined: for the maximum observed flow (110,05 m³/s), millenarian (573 m³/s) and dam break (1785,36 m³/s). The HEC-RAS program was used for flow propagation. The risk of cascaded rupture downstream of the dam in the milenar flow, and dam break is imminent, as the spillway capacity of PCH Salto Curuá. Furthermore, to these flows, the traffic of people on the bridge and in the powerhouse should be prevented. From the data studied, it was possible to determine the maximum flow rate at which the bridge can operate (100 m³/s) and the flow rate at which the powerhouse should be evacuated (50 m³/s).

Keywords – Hydraulic modeling, HEC -RAS, Dam Safety.

¹ LH² - FEIS UNESP. tha_marangoni@hotmail.com

² LH² - FEIS UNESP. mauriciosantinijr@gmail.com

³ LH² - FEIS UNESP.: jeffno@dec.feis.unesp.br

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Defesa Civil (PNDC) classifica os desastres quanto à causa primária do agente causador em: naturais, provocados por fenômenos e desequilíbrios da natureza; humanos, provocados pelas ações ou omissões humanas; e mistos, quando as ações e/ou omissões humanas contribuem para intensificar, complicar ou agravar os desastres naturais.

A construção e exploração de barragens, seja para controle de cheias, geração de energia, lazer, abastecimento ou irrigação, constituem um fator de risco humano e tecnológico principalmente às comunidades que passam a viver a jusante delas.

Acidentes com ruptura em barragens, em geral, provocam uma onda a jusante com características distintas das ondas de cheia naturais (NETO, 2009). As ondas de cheia possuem um volume transportado em um tempo maior, com variações suaves nas características de vazão, no entanto quando ocorre a ruptura de uma barragem esse volume é liberado de acordo com as condições do evento, principalmente, do tempo de formação da brecha. Dessa forma a vazão liberada em um evento de ruptura tem um maior gradiente de transporte de massa do que em relação à uma onda de cheia. O intervalo de tempo que a onda de cheia demora para atingir uma área em relação a onda de ruptura é maior.

A Lei nº 12.334 de 20/09/2010 estabeleceu a criação do PAE (Plano de Ação Emergencial) em função da categoria de risco e do dano potencial associado a barragem, colocando Brasil ao lado de países com tradição em segurança de barragem. O PAE, dentre outras exigências, obriga os gestores de barragem a realizar mapas de inundação, com objetivo de enviar à Defesa Civil, para que a mesma possa definir as atitudes a serem tomadas após a ruptura da barragem. A Defesa Civil ainda pode definir quais as áreas que podem ser ocupadas pela população, impedindo-a de habitar áreas de risco.

O HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis Systems) realiza cálculos unidimensionais de escoamento em regime permanente e não permanente, transporte de sedimentos, modelagem de cabeceiras e análise da temperatura da água. O software trabalha com uma rede inteira de canais, sistemas dendríticos ou um único rio. As equações de escoamento são baseadas unicamente na fórmula da resistência de Manning, dispensando a aplicação de teorias mais complexas.

No rompimento de uma barragem a onda de inundação se propaga rapidamente, causando inundações de áreas a jusante, colocando em risco a população e afetando economicamente a região. A modelagem hidráulica se torna uma ferramenta importante para verificar os efeitos da onda de inundação, antecipando as áreas que serão atingidas e a velocidade, tanto de propagação quanto da

água, no caso de ruptura hipotética da barragem ou defluências maiores que as normalmente observadas.

OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo determinar a cota de inundação devido ao colapso da PCH Salto Buriti, utilizando o HEC-RAS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A Pequena Central Hidroelétrica (PCH) Salto Buriti está localizada no estado do Pará, no rio Curuá, município de Altamira, Figura 1. Está implantada nas coordenadas latitude: $8^{\circ}46'29,18''S$, longitude: $54^{\circ}57'1,62''W$, na Sub-Bacia do Rio Xingu, bacia do Rio Amazonas. O acesso se dá pela rodovia BR 163, distante 156 Km da cidade de Guarantã do Norte no estado de Mato Grosso. Sua operação teve início em 2007 e como descrição de projeto a barragem opera com 11,60 MW de potência útil, possui altura máxima de 20,00 m e comprimento de 1.170,00 m.

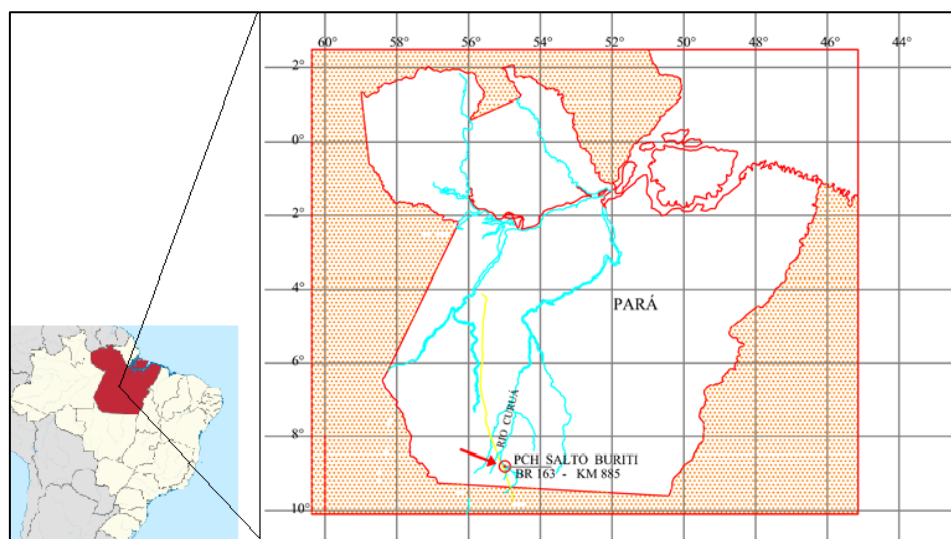


Figura 1 – Localização da PCH Salto Buriti

Compilação dos Dados

Primeiramente foi criado o Modelo Digital do Terreno (MDT). Para isso foram utilizados os dados topobatimétricos fornecidos pela PCH e imagens de satélite. As curvas de níveis foram interpoladas no software CivilCad-3D para gerar a superfície do terreno no formato de *Triangulated Irregular Network* (TIN) [INSERIR BREVE DESCRIÇÃO DO QUE É TIN].

A geometria das seções foi então inserida no HEC-RAS e para aumentar a precisão do resultados, as seções topobatimétricas provenientes do CivilCad-3D, distantes 150m uma das outras, foram interpoladas, obtendo-se seções a cada 20 metros. Com as seções interpoladas, foram inseridas

as estruturas hidráulicas a jusantes da PCH Salto Buriti; uma ponte e o reservatório, da PCH Salto Curuá. A ponte não possui pilares dentro do leito do rio, não apresentando estreitamento da seção útil.

A vazão a ser propagada depende das causas que potencialmente podem levar a barragem ao colapso; da forma e do tempo de formação da brecha. A propagação das ondas de cheia depende das condições da calha e laterais do rio e da resistência ao escoamento. Devido às incertezas encontradas na determinação da vazão de ruptura, Viseu (2006) sugere que ao menos três cenários sejam verificados, sendo dois de ruptura hipotética da barragem e um de operação extrema (condição de cheia extrema), associados a uma cheia natural. Desta maneira foram estabelecidos três cenários emergenciais:

Máxima Vazão observada: para o primeiro cenário foi utilizado a vazão máxima observada, de acordo com as réguas de jusante da PCH Salto Buriti e montante da PCH Salto do Curuá, fornecida pela operadora, além das vazões registradas. A vazão fornecida pela PCH Salto Buriti foi 110 m³/s. Esse cenário permite calibrar o modelo, encontrando o valor do coeficiente de macrorugosidade do canal. Além disso permite verificar a operação extrema da barragem sem o seu colapso.

Vazão milenar: no segundo cenário será simulado com a vazão milenar utilizada no projeto e dimensionamento dos vertedores.

Vazão Dam Break: no terceiro cenário foi adotada a vazão calculada pelo modelo de *dam break*. Os dois últimos cenários permitem verificar a inundação causada pela barragem na sua ruptura hipotética e determinar a área que será alagada. A Tabela 1 resume as vazões utilizadas em cada um dos modelos adotados.

Observa-se que para o cenário I e II não há rompimento, então a vazão de vertimento é constante até que se normalize o volume do reservatório. Para o cenário III o tempo de pico é igual ao tempo de formação da brecha. Comparando-se o pico da vazão máxima, com o volume a ser vertido, na vazão sanitária (23,5 m³/s), ele tem um aumento de 76 vezes, ou 130 %.

Na simulação das vazões máximas foi adotado o regime de escoamento permanente.

Tabela 1 - Cenários da modelação

| | Cenário | Vazão(m ³ /s) |
|-----|------------------------|--------------------------|
| I | Máxima Vazão Observada | 110,05 |
| II | Milenar | 570,00 |
| III | <i>Dam break</i> | 1785,36 |

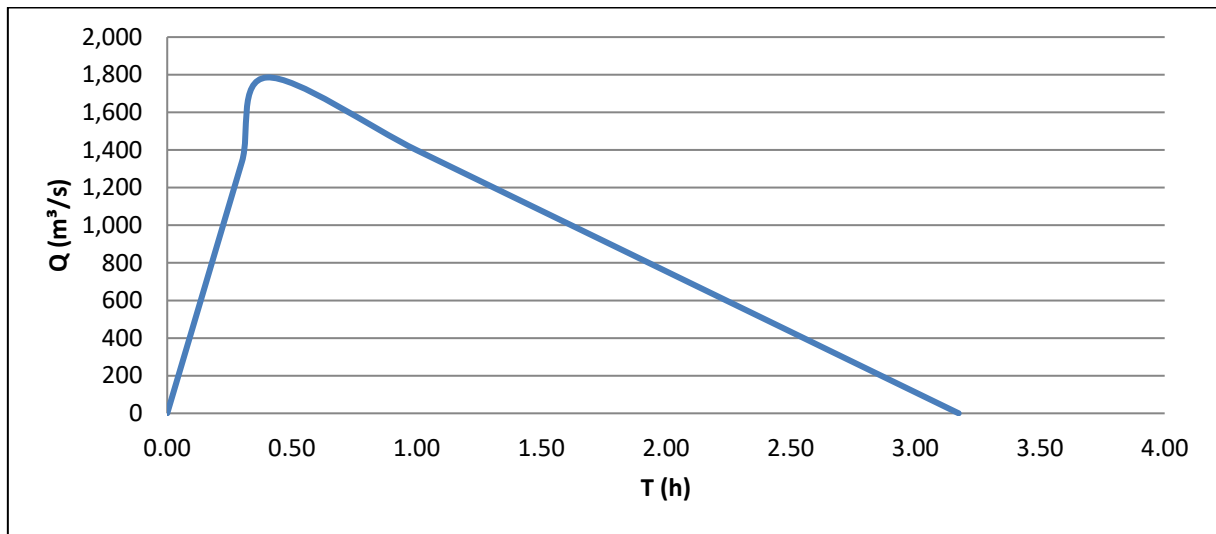


Figura 2 - Hidrograma de vertimento do terceiro cenário

A calibração é a fase de identificar os parâmetros avaliados. No estudo foi necessário encontrar o Manning (n), o qual foi realizado por tentativa, utilizando os dados observados por moradores da região ou dos próprios funcionários da usina, régua de montante e jusante e vazão registrada. Para margens foram adotados n segundo a literatura. CHOW (1959) diz que para locais com árvores e fileira densa, com nível de inundação abaixo dos galhos o coeficiente varia de 0,080 a 0,120; essa suposição foi feita com base nas observações locais. Assim, a modelação foi realizada com n das margens direita e esquerda de 0,100. As simulações foram feitas até que o valor da lamina d'água se aproximasse do observado no primeiro cenário.

O coeficiente de Manning foi obtido utilizando a maior vazão observada e variando-o até se obter uma lamina d'água aproximadamente igual a 397,52m na seção da ponte. Este foi o valor registrado pelos moradores quando a vazão de 110,05 m³/s ocorreu.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o trecho do rio modelado no software HEC-RAS, com as seções interpoladas linearmente. As seções em verde claro representam as seções interpoladas, os traços mais espessos são as seções provenientes do CivilCAD-3D e os pontos vermelhos as *Bank Stations* que são a divisão entre da calha principal e margem, ponto de mudança do coeficiente de rugosidade. A flecha indica o sentido do rio. O sentido é da seção 4212,33 para 10,8. Na seção denominada de 4212,33 está na seção da barragem Salto do Buriti, a 4029,46 está a casa de força da mesma; a 3725 está a da ponte e a 10,80 está a barragem Salto do Curuá. Destaca-se que, no estudo da área inundável, a ponte é interessante, uma vez que ela pode interferir na evacuação da população. Além dela, a seção

da casa de força deve ser vista com cuidados, já que a mesma encontra-se na área de auto salvamento e por ela ser a sala de comandos, sala de administração, há risco de pessoas estarem trabalhando no local na hora do acidente.

Nesse trecho do rio não há população ribeirinha, não sendo necessário o estudo mais específico de uma só área.

Para o coeficiente de Manning igual a 0,031 a lâmina d'água na ponte é 397,55m. O erro em relação ao real é de apenas 3 cm, o que em porcentagem é equivalente a 0,01% da lâmina líquida. O valor encontrado do coeficiente de Manning está acima dos valores encontrados por Chow (1959), a mesma sugere que para leitos móveis o coeficiente não deve ultrapassar 0,028.

O nível d'água na ponte e na casa de força para o primeiro cenário é 397,55 m e 399,29 m respectivamente. Na ponte, a água atingiu o tabuleiro e inundou a casa de força. A Figura 4 apresenta o esquema do nível d'água nas seções acima citadas.

Para o cenário II o nível d'água já ultrapassou a ponte, atingindo 401,78 m. A casa de força também é alagada. A Figura 5 apresenta a ponte e a casa de força na vazão milenar.

A Figura 6 mostra a ponte e a casa de força na vazão de DAM BREAK. O nível d'água já ultrapassou a ponte, atingindo 407,00 m. A casa de força também é alagada, com uma lâmina d'água de aproximadamente 10,0 m.

Assim posto, os gráficos da Figura 7 estimam as vazões máximas que a Casa de Força deve ser evacuada ($50,00 \text{ m}^3/\text{s}$) e que a ponte deve ser impedida de ser transitada ($100,00 \text{ m}^3/\text{s}$). Na ponte, sugere-se a implantação de um semáforo controlado pela PCH Salto Buriti. Quando a vazão estiver próxima de $100,00 \text{ m}^3/\text{s}$ ele acende a luz vermelha, determinando a interdição da ponte. No caso da casa de força, quando a vazão se aproximar de $50,00 \text{ m}^3/\text{s}$ a sirene deverá tocar, avisando da possibilidade de um alagamento e alertando para a evacuação do local.

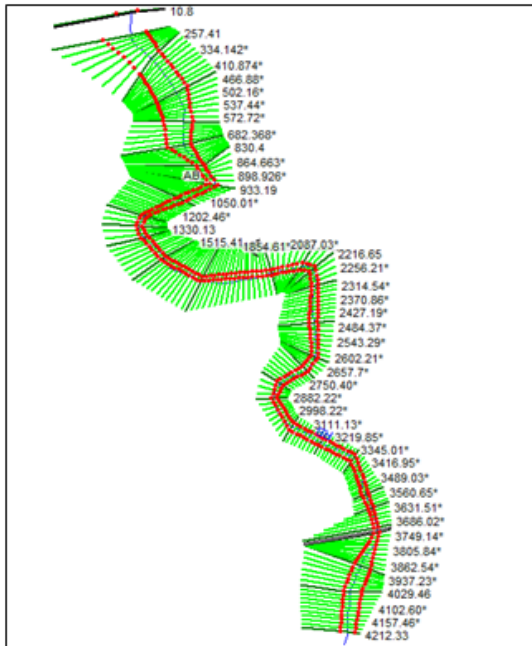


Figura 3 - Trecho modelado no HEC-RAS

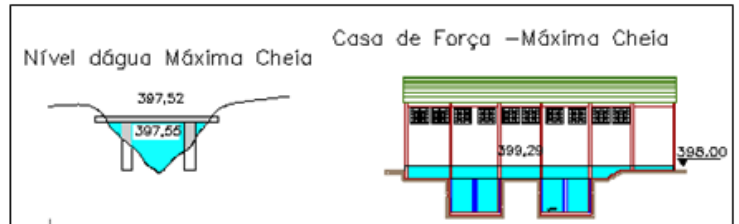


Figura 4 - Nível da água nas ponte e casa de força para o cenário I (110 m³/s) (sem escala)

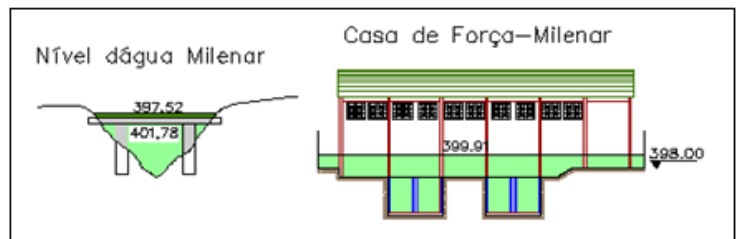


Figura 5 - Nível d'água na ponte e na casa de força para o cenário II (570m³/s) (sem escala)

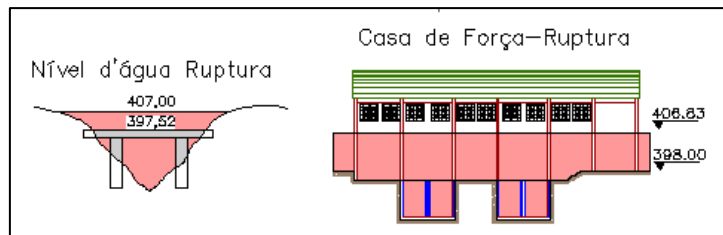


Figura 3 - Nível da água para a vazão de DAM BREAK (1785,36 m³/s) (sem escala)

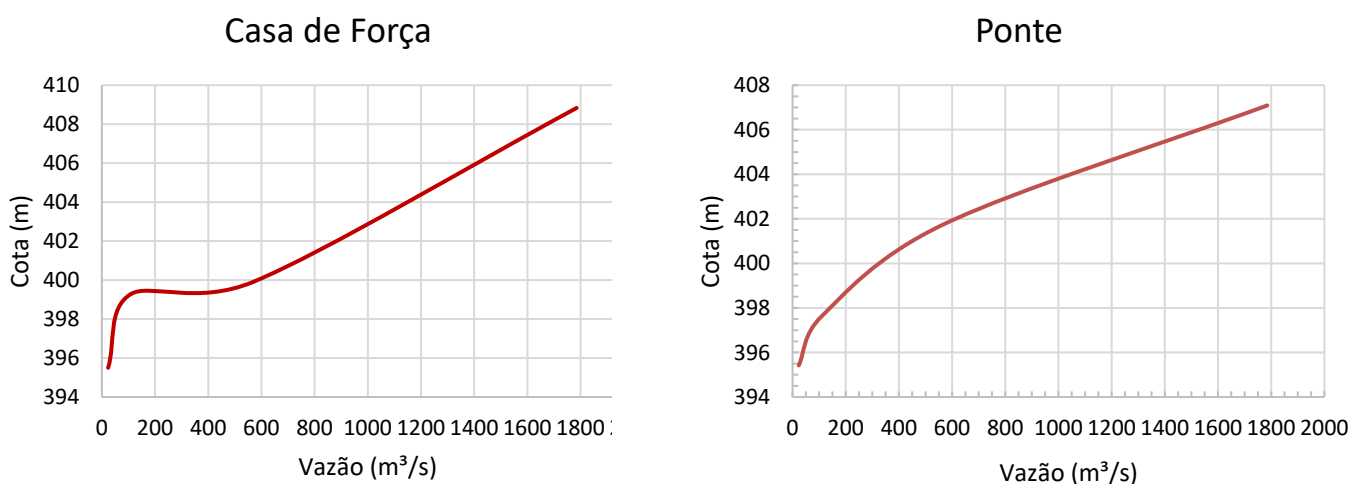


Figura 7 - -- Gráfico Cota-Vazão da Casa de Força e da Ponte

CONCLUSÃO

Observa-se que, na sub-bacia do rio Xingu, existem aproximadamente 125 postos pluviométricos e 140 fluviométricos desde a nascente até a foz do rio Xingu e seus afluentes, que

poderiam ser utilizados para estudo de previsão de vazões e alerta da quantidade de água que chegará aos reservatórios. Para isso é necessário a elaboração de um estudo hidrológico da bacia e pode-se criar um sistema de telemetria dos dados para facilitar a integração dos mesmos. Além disso, é necessário a constante aferição do perfil transversal do rio para adequação da curva-chave, principalmente no caso do rio Xingu, que transporta muito sedimento.

A barragem da PCH Salto Curuá a jusante da PCH Salto Buriti possui um vertedouro com capacidade de 573 m³/s. Essa vazão é insuficiente se ocorrer uma ruptura no cenário III (DAM BREAK) da PCH Salto Buriti, o volume defluente é quase três vezes maior que a capacidade do vertedouro de Curuá, podendo causar a ruptura em cascata das barragens.

Portanto, diante do exposto, sugere-se um estudo hidrológico do local para determinar a operação dos reservatórios, além de Investimento em um sistema de previsão de precipitação para que, na possibilidade de ocorrer uma grande chuva, as PCH Salto Buriti e Salto Curuá possam verter e deixar seus reservatórios com capacidade para receber e amortecer a precipitação. Apesar do entorno não possuir aglomerados de pessoas existe o dano material que também deve e pode ser evitado.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei 131 nº 9.984, de 17 de julho de 2000. República Federativa do Brasil. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1025242/lei-12334-10#art0>>. Acesso em Março 2015.

CHOW, V. T. *Open-channel hydraulics*. McGraw- Hill Book Co. Nova York, 1959, 680 p.

NETO, J. A. C., Gestão de riscos induzidos por rompimento de barramento, estudo do caso da barragem olho d'água – várzea alegre, estado do Ceará. Dissertação apresentada a Universidade Federal do Ceará, 2009.

VISEU, T., Segurança dos vales a jusante de barragens: metodologias de apoio à gestão dos riscos. 2006. 482 f. Tese (Doutorado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.