

VERIFICAÇÃO DO RISCO DE ARROMBAMENTO DE PEQUENOS AÇUDES NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO: UM ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE DE SUMÉ.

Renato de Queiroz Porto¹; Alain Marie Bernard Passerat de Silans²; Vanderlan Alves de Lima Júnior³; Gerald Souza da Silva⁴; Flávia Augusta dos Santos⁵; Laudízio da Silva Diniz⁶ & Cristiano das Neves Almeida⁷

RESUMO --- Sempre que ocorrem chuvas intensas acima da média para a região nordestina, frequentemente, vários açudes de pequeno porte arrobam em diversos estados abrangidos pelo polígono das secas. Neste estudo procurou-se não focar o risco através de uma abordagem qualitativa, onde aspectos físicos da barragem geralmente são analisados, mas sim de uma forma quantitativa sob o ponto de vista hidrológico. Para tanto, calculou-se a vazão máxima de enchente secular, comparando estes resultados com a capacidade admissível de vazão de sangradouros em pequenas barragens da bacia hidrográfica do açude Sumé no estado da Paraíba. Os resultados mostram que mais de 80% dos sangradouros se encontram sub-dimensionados, números alarmantes se atentar pelo fato que mais de 40% comportavam menos de 25% da vazão de enchente.

ABSTRACT --- Whenever they happen intense rains above the average for the Northeastern area, frequently, most small dams enrapture in several states embraced by the polygons of the droughts. In this study don't search to focal the risk was sought through a qualitative approach, where physical aspects of the barrage are usually analyzed, but in a quantitative way under the point of view hydrological. For so much, the maximum runoff of inundation was calculated for a period of 100 year-old return, comparing these results with the acceptable capacity of drain runoff in small barrages of the watershed of the Sume dam in the Paraíba state. The results show that more of 80% of the drain they are under-dimensioned, alarming numbers to attempt for the fact that more of 40% they hold less than 25% of the inundation runoff.

Palavras-chave: Pequenos açudes, vazão máxima de enchente, dimensionamento de sangradouros.

1) Mestrando em Engenharia Urbana e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Rua Joaquim Galdino de Lima, 233, João Pessoa, 58063-020. E-mail: renatodequeiroz@yahoo.com.br

2) Assessor técnico da Agência Executiva de gestão das águas o estado da Paraíba - AESA. E-mail: alainsilans@yahoo.com.br

3) Aluno de graduação em Engenharia Civil pela UFPB. E-mail: vanderlan.junior@yahoo.com.br

4) Mestrando em Engenharia Urbana e Ambiental pela UFPB. E-mail: gerald-silva@gmx.de

5) Graduando em Engenharia Civil pela UFPB. E-mail: flavia_augusta2@yahoo.com.br

6) Diretor Técnico da AESA. e-mail: laudizio@terra.com.br

7) Professor Adjunto da Universidade Federal da Paraíba. e-mail: almeida74br@yahoo.com.br

1 - INTRODUÇÃO

Notadamente sempre houve preocupação com grandes barragens a respeito de sua segurança, e mesmo com uma atenção especial para estas obras, ainda ocorre o rompimento das mesmas, como aconteceu com a barragem de Camará no estado da Paraíba, e mais recentemente com a barragem Algodões no estado do Piauí. Por diversas razões, no entanto, essa preocupação não é conduzida para os pequenos reservatórios. Sendo que estes pequenos reservatórios possuem importância fundamental até mesmo para uma melhor condição de vida para a população que vive em regiões que não são favorecidas por índices pluviométricos normais e bem distribuídas ao longo do ano, como é o caso da região semi-árida nordestina. Tal fato é comprovado pela elevada densidade de pequenas barragens (açudes) em todo semi-árido nordestino, os quais muitas vezes prejudicam o grande reservatório a jusante que, geralmente foi dimensionado quando a quantidade de pequenos reservatórios a montante não era considerável. Isto implica muitas vezes uma elevada ineficiência hidráulica da bacia hidrográfica, pois a soma dos espelhos d'água dos pequenos reservatórios é muito maior que a área da bacia hidráulica do grande reservatório, provocando uma perda por evaporação significativa, sendo que a capacidade de acumulação de água dos pequenos reservatórios somados é, em regra, menor que a do grande reservatório. O impacto no comportamento hidrológico de uma bacia advindo da implantação de uma única pequena barragem pode não ser significativo, mas a influência na hidrologia da bacia devido à construção de centenas dessas pequenas barragens é algo que merece ser considerado e estudado, Rodrigues e Marioti (2008).

Além deste aspecto, outro tão relevante se refere ao arrombamento destes pequenos reservatórios, que ocorrem em elevado número durante anos em que precipitação é acima da média. O simples arrombamento de um pequeno reservatório analisado como caso isolado, não remete a um risco que possa ser considerado, mas se for levado em consideração que o arrombamento deste, poderá provocar a ruptura de outro pequeno reservatório a jusante, e desta forma, resultar num efeito em cadeia, com vários reservatórios em série arrombando, o risco aumentará consideravelmente. Este fato poderia acarretar em um risco elevado para um grande reservatório que estivesse à jusante desta série de pequenos reservatórios arrombados?

Esse questionamento justificou o estudo proposto para este artigo, que procurou não focar o risco através de uma abordagem qualitativa, onde aspectos físicos da barragem geralmente são analisados, mas sim de uma forma quantitativa sob o ponto de vista hidrológico. Para tanto, foi utilizado o método proposto por Cadier (1994), para o cálculo da vazão máxima de enchente com período de retorno secular. Além disso, calculou-se a vazão máxima admissível dos extravasores dos pequenos reservatórios. A comparação dos resultados da vazão máxima de enchente com os

resultados da vazão máxima admissível mostrará se os extravasores dos pequenos reservatórios foram ou não foram bem dimensionados, bem como caracterizar-se-á o risco de arrombamento destes pequenos reservatórios.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Área de Estudo

A bacia hidrográfica do reservatório público de Sumé (Figura1) está localizada na região do Sertão do Cariri paraibano abrangendo uma área de aproximadamente 767,3 Km², esta bacia hidrográfica está totalmente inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba, importante bacia para o estado da Paraíba. A região da bacia hidrográfica de Sumé está totalmente inserida no bioma Semi-árido, possui clima seco com pluviometria fraca e irregular, sua média anual é estimada entre 550 e 600 mm, Cadier (1994). A estação das chuvas desta região centra-se em março, iniciando em geral entre janeiro e março, terminando em maio, a temperatura média anual é de 24°C (máxima em novembro-dezembro e mínima em julho-agosto). A evaporação anual é de 2800 mm em tanque classe A. Essa bacia está totalmente situada sobre embasamento cristalino pré-cambriano. Seu subsolo é impermeável e não existe aquífero generalizado; pode-se encontrar lençóis confinados nas falhas ou nas formações aluviais superficiais, normalmente perto dos rios. A caatinga é a vegetação nativa da região.

O açude Sumé tem capacidade de 44.864.100 m³. Apresenta frequentemente baixo nível de acumulação de água, tendo até passado períodos totalmente secos como em 1998, e, periodicamente sangra quando está submetido a cheias que afetam toda a região, ATECEL (1993). Um dado marcante para esta bacia hidrográfica é a densidade elevada de pequenos reservatórios a montante do reservatório público de Sumé. Para esta bacia este número se aproxima de alarmantes 1,22 açudes / Km². Alarmantes no sentido de que esta elevada concentração de pequenos reservatórios interfere seriamente no regime hidrológico do reservatório de Sumé.

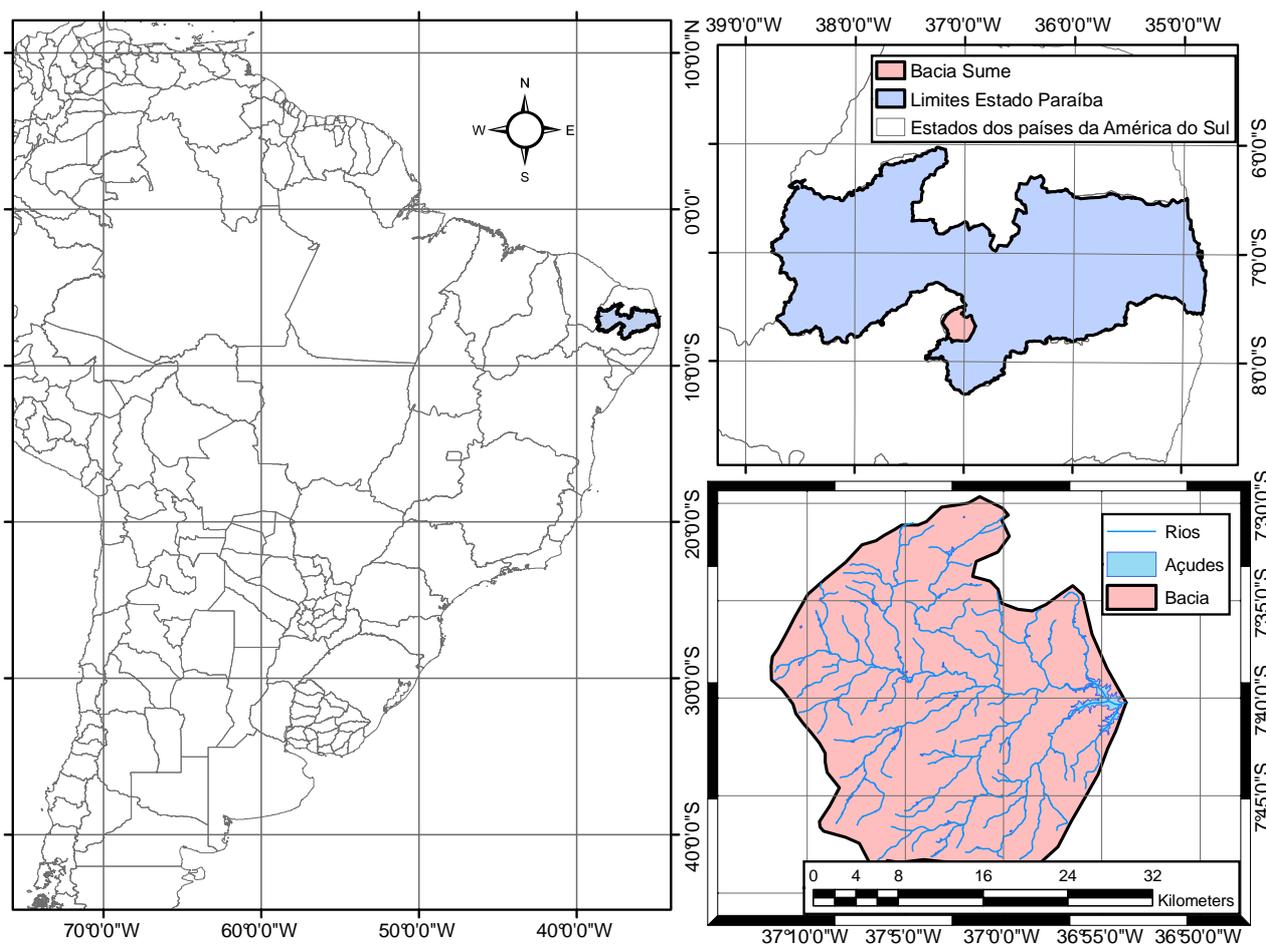


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica da barragem de Sumé

2.2 - Visita de campo

Para o trabalho de campo na bacia, inicialmente foram escolhidos 38 reservatórios com áreas de bacia hidráulica que variavam de 10000 m² a 600000 m². Destes 38 reservatórios inicialmente escolhidos, alguns foram descartados e outros incluídos no momento da visita devido a diversos fatores, como por exemplo, inacessibilidade ao reservatório. Sendo que ao final da visita, um total de 42 reservatórios foi estudado (Figura 2). Ao fim desta visita, diversas informações foram levantadas, desde informações físicas, (perímetro da bacia hidráulica, dados sobre o vertedouro (quando existentes), informações sobre a barragem, etc.) e também informações socioeconômicas.

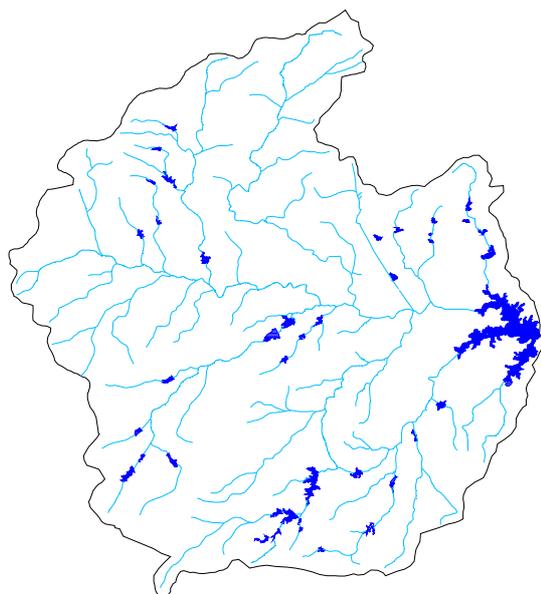


Figura 2 – Localização das pequenas barragens visitadas no estudo de campo

No enfoque deste trabalho, além dos 42 açudes visitados, mais 33 pequenos reservatórios foram analisados. Estes 33 açudes foram escolhidos por critério de tamanho da bacia hidráulica e localização, para que as informações obtidas através dos 75 açudes estudados possam ser distribuídas espacialmente sobre toda a bacia hidrográfica do açude Sumé.

2.3 - Cálculo da vazão admissível do sangradouro

O dimensionamento do sangradouro consiste em definir sua largura L , a altura da sua lâmina máxima admissível H_v e a forma do vertedor. Para permitir a sangria das maiores cheias, o sangradouro deve, a princípio, apresentar grande comprimento e grande altura (a lâmina vertida será mais alta e mais larga, a vazão admissível maior), Molle e Cadier (1992).

Fatores geométricos do vertedouro, tais como: altura, largura, folga do vertedouro e perfil longitudinal C possuem influencia direta no dimensionamento do vertedouro. Basicamente, de acordo com os autores acima citado, para pequenas barragens há três tipos de vertedouros (sangradores) distintos:

- Vertedouro com seção retangular, dada pela equação:

$$Q_a = C \cdot L \cdot H_v^{1,5} \quad (1)$$

- Vertedouro com seção triangular calcula pela fórmula:

$$Q_a = 0,4 \cdot C \cdot L \cdot H_v^{2,5} \quad (2)$$

E ainda vertedouro com seção mista, com equação composta pela combinação das equações (1) e (2).

A figura (3) apresenta alguns tipos de vertedouros. Vale ressaltar que para pequenas barragens cujo vertedouro não possuía uma seção geometricamente bem definida, esta foi considerada como sendo uma composição de dois vertedouros do tipo triangular.

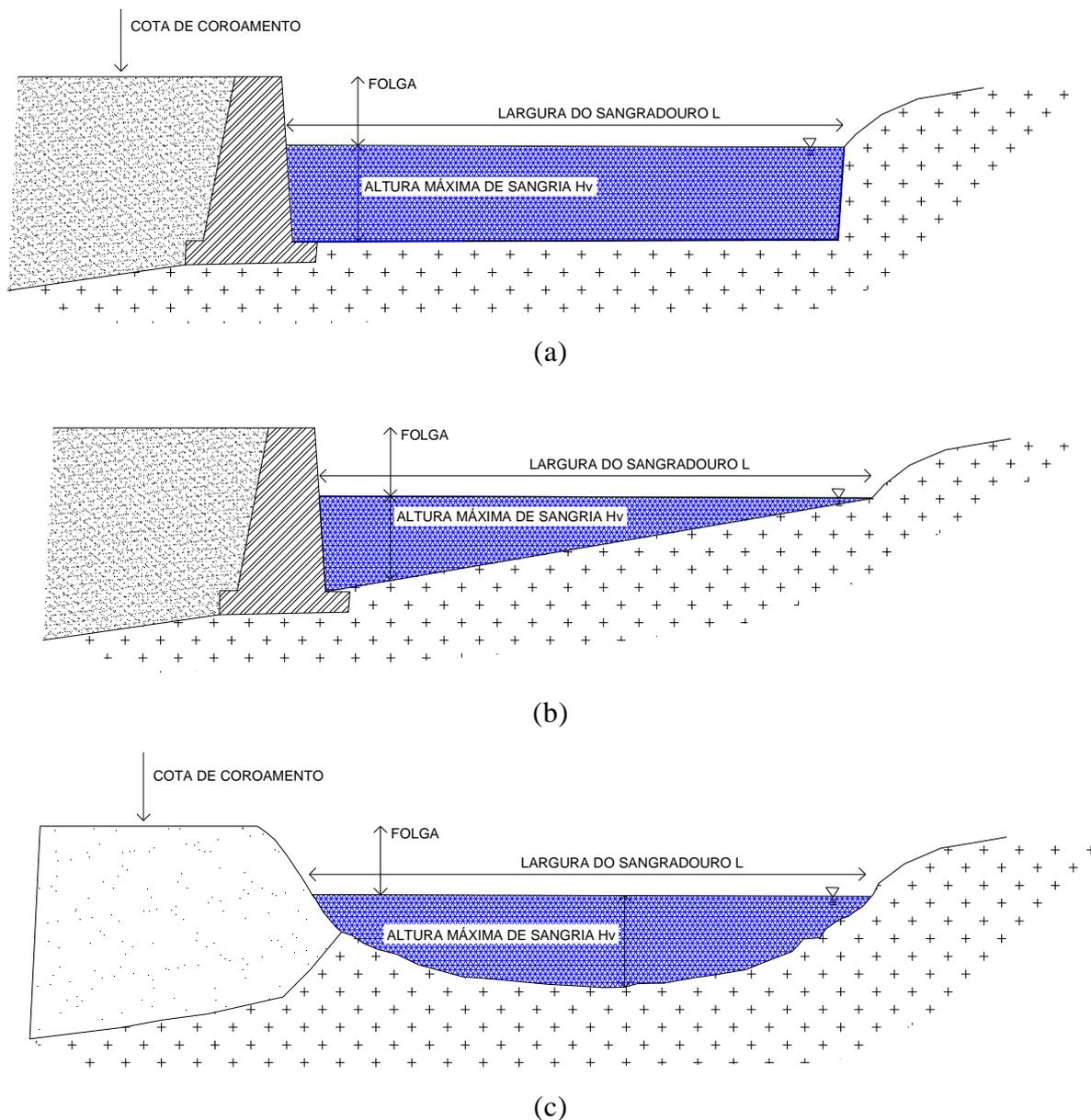


Figura 3 – Tipos de vertedouros considerados para este estudo, (a) – vertedouro do tipo retangular, (b) – vertedouro do tipo triângular e (c) – vertedouro em terreno natural.

2.4 - Cálculo da vazão máxima de enchente

A vazão de enchente foi estimada de acordo com a metodologia proposta por Molle e Cadier (1992), sendo o cálculo da mesma efetuada de acordo com a superfície de contribuição da bacia hidrográfica S_c , sendo o calculo desta variável a primeira etapa da estimativa da vazão máxima de enchente para um período de retorno de 100 anos. Para a determinação do S_c é necessário conhecer

o(s) tipo(s) de solo existentes na bacia hidrográfica em estudo. A caracterização hidrológica dos tipos de solos define o coeficiente L600, que representa a quantidade de lâmina escoada para uma precipitação média de 600 mm para um determinado tipo de solo. Uma vez determinado o valor de L600, S_c é calculado pela seguinte fórmula:

$$S_c = 0,1 \cdot S_1 + 0,5 \cdot S_2 + S_3 \quad (3)$$

No qual:

S1: superfície ocupada por solos com $L600 < 4,0$ mm, com a unidade em Km^2 ;

S2: superfície ocupada por solos com $4,0 < L600 < 30,0$ mm (Km^2);

S3: superfície ocupada por solos com $L600 > 30,0$ mm (Km^2).

Conhecida a superfície de contribuição S_c parte-se agora para o cálculo da vazão máxima de enchente dada pelas seguintes equações:

- Caso $S_c < 5,0$ Km^2 :

$$Q_x = 17 \cdot S_c^{0,8} \cdot Fc \quad (4)$$

- Caso $S_c > 5,0$ Km^2 :

$$Q_x = 25 \cdot S_c^{0,8} \cdot Fc \quad (5)$$

Onde:

Q_x : vazão de enchente em m^3/s ;

Fc : fator corretivo que no caso geral vale 1.

O coeficiente Fc pode ainda ser estimado através da seguinte equação:

$$Fc = C_{form} \cdot C_{dren} \cdot C_{rel} \cdot C_{degr} \cdot C_{clim} \quad (6)$$

Onde:

C_{form} correção segundo a forma da bacia;

C_{dren} : correção de acordo com o tipo de rede de drenagem;

C_{rel} : correção de acordo com o relevo da bacia hidrográfica;

C_{degr} : correção de acordo com o tamanho da área degradada;

C_{clim} correção de acordo com a região climática.

Devido a certa redundância entre os coeficientes C_{form} e C_{dren} , para este estudo foi proposto um limite mínimo para o produto destes dois fatores. Desta forma adotou-se como valor mínimo para o produto destes dois coeficientes, 0,6. O fator corretivo Fc deve obedecer a valores entre $0,5 \cdot C_{clim}$ e $1,5 \cdot C_{clim}$.

Devido a quantidade elevada de pequenos reservatórios na bacia em estudo, era de se esperar que este fato fosse levado em consideração, pois sabe-se que os mesmos interferem, amortecendo ou diminuindo a vazão de pico da cheia, no regime hidrológico de uma bacia hidrográfica.

Para calcular o amortecimento das cheias, isto é, corrigir a vazão Q_x devido a presença de pequenos reservatórios a montante da bacia considerada no cálculo, precisa-se conhecer os seguintes valores:

H_v = Altura máxima da lâmina d'água no sangradouro;

S = Superfície da bacia hidrográfica de drenagem;

S_{amort} = Superfície dos espelhos d'água que podem amortecer as cheias.

S_{amort} é calculado a partir da superfície máxima da bacia hidráulica S_x da pequena barragem e do somatório da área dos espelhos d'água de outros açudes a montante S_{lag} . A variável S_x pode ser calculada por uma das três equações que se segue:

- Quando os outros pequenos reservatórios se encontram distantes do reservatório em estudo:

$$S_{amort} = S_x \quad (7)$$

- Quando os outros pequenos reservatórios se encontram distribuídos homogeneamente dentro da bacia hidrográfica em estudo:

$$S_{amort} = S_x + 0,3 \cdot S_{lag} \quad (8)$$

- Quando há um reservatório exatamente a montante do reservatório em estudo com aproximadamente o mesmo porte deste:

$$S_{amort} = S_x + 0,8 \cdot S_{lag} \quad (9)$$

Conhecido o valor de S_{amort} , parte-se agora para a determinação do coeficiente intermediário X_0 :

$$X_0 = S / (H_v \cdot S_{amort}) \quad (10)$$

Quando X_0 é superior a 100, o amortecimento das cheias é desprezível, não havendo necessidade de aplicar correção. Quando X_0 é inferior a 100, deve-se proceder da seguinte maneira:

- para as BHD de superfície S superior a 50 km², multiplicar X_0 por 0.66.

- Calcular o fator de amortecimento das cheias K_{amort} e corrigir a vazão da cheia de projeto pela fórmula:

$$Q_{x_{amort}} = Q_x \cdot K_{amort} \quad (11)$$

Maiores detalhes sobre a metodologia para a estimativa da vazão máxima de enchente encontra-se em Cadier (1994).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - Vazão admissível do sangradouro

Após a visita de campo às pequenas barragens, foi possível calcular a vazão admissível dos sangradouros através das equações (1) e (2) ou a combinação entre elas. A tabela 1 apresenta um resumo estatístico dos valores encontrados para os 42 sangradouros visitados em campo. Na figura 4 são apresentados os valores encontrados para a capacidade de vertimento dos sangradouros dividindo-os em classes.

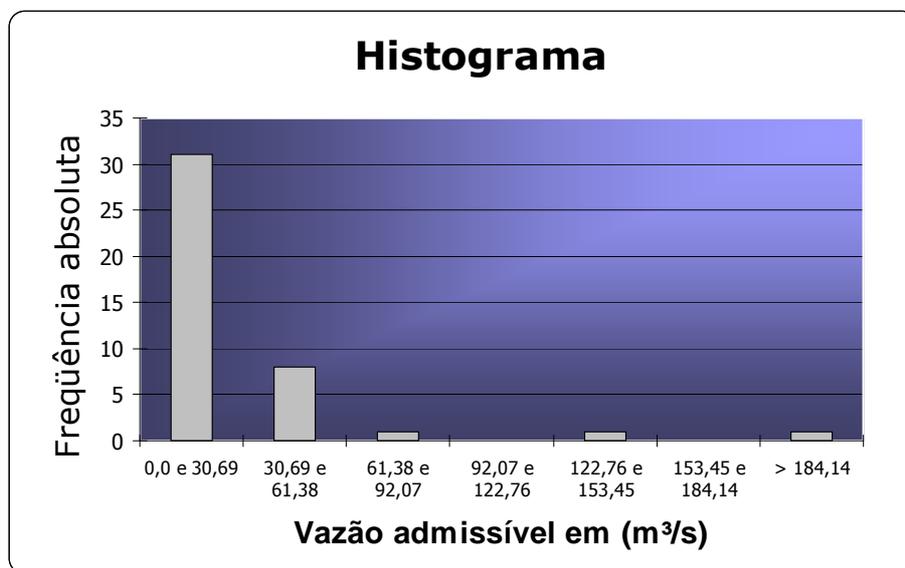


Figura 4 – Vazão admissível dos 42 açudes visitados em campo.

Tabela 1 – Resumo estatístico sobre a vazão admissível dos sangradouros.

| Parâmetro estatístico | Vazão adm. (m³/s) |
|--------------------------|-------------------|
| Média | 28.42 |
| Máximo | 276.70 |
| Mínimo | 0.49 |
| Desvio-padrão | 47.46 |
| Coefficiente de Variação | 59.89% |

Nota-se que os sangradouros estudados das pequenas barragens não possuem um padrão bem definido, o que pode ser confirmado pelo alto valor do coeficiente de variação e a grande diferença entre os valores máximos e mínimos. Por isso, com apenas estes dados não seria possível estimar uma capacidade de vazão dos sangradouros dos outros 33 açudes que não foram visitados em campo, porém incluídos neste estudo. A vazão admissível dos sangradouros depende essencialmente de fatores geométricos, logo se buscou alguma relação entre algum fator conhecido dos 33 açudes, tal como: área da bacia hidráulica (S), área da bacia hidrográfica (Sx), comprimento do riacho principal (R) e somatório da área da bacia hidráulica dos pequenos reservatórios a montante do reservatório estudado (Slag). A tabela 2 apresenta os resultados encontrados analisando as correlações entre a altura do sangradouro, largura e área com os demais fatores já explicitados anteriormente.

Tabela 2 – Correlações entre as características da bacia hidrográfica

| Correlação | Largura L | Altura Hv | Área |
|------------|-----------|-----------|-------------|
| S | 0.61 | 0.12 | 0.68 |
| Sx | 0.64 | 0.43 | 0.81 |
| R | 0.58 | 0.06 | 0.64 |
| Slag | -0.13 | 0.14 | 0.62 |

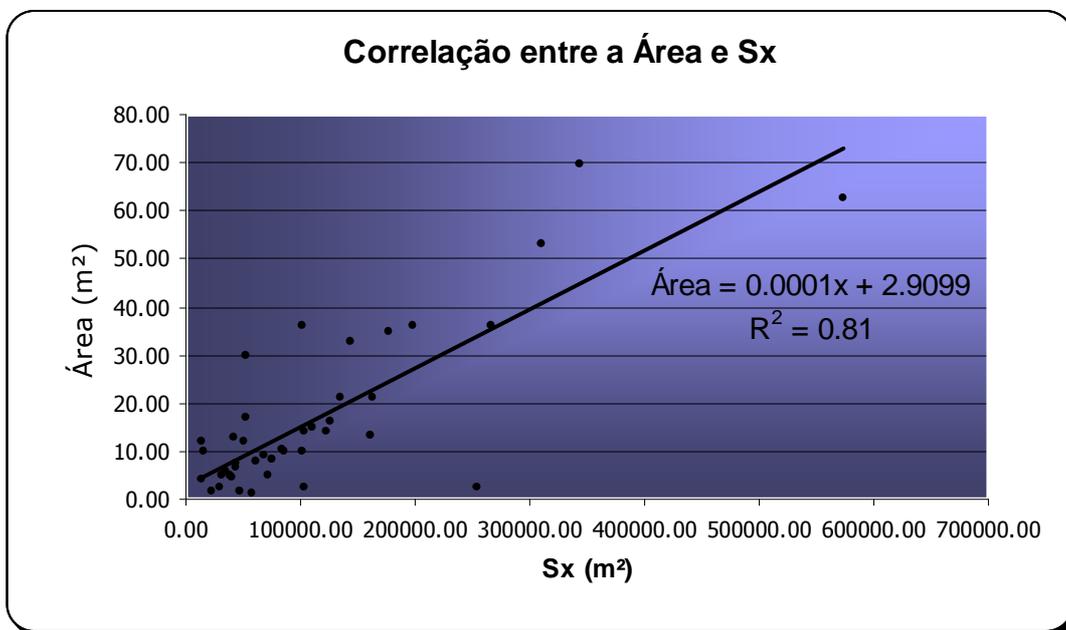


Figura 5 – Equação de regressão linear entre a área do sangradouro e a área da bacia hidráulica

A boa correlação encontrada entre a área do sangradouro e a área da bacia hidráulica pode ser remetida a uma simples lógica que pode ser muito realista na construção de pequenas barragens, na qual, quanto maior a área do espelho d'água maior deverá ser a área do vertedouro. Vale ressaltar

que devido à alta variação dos resultados encontrados para a vazão admissível dos 42 pequenos açudes visitados, não há nível de confiança significativo para que, com esta correlação fossem extrapolados os resultados para os outros 33 açudes. Entretanto, para a finalidade deste estudo, o que se torna relevante deste resultado, é que através dele e com a obtenção da largura do sangradouro através de imagens de satélite com alta precisão, torna-se possível estimar, mesmo de forma grosseira, a altura de sangria, que é um dos fatores que influencia no amortecimento das cheias.

3.2 - Vazão máxima de enchente

Para o cálculo da vazão de enchente notou-se que a maioria das pequenas barragens estudadas apresenta valores relativamente pequenos, pois a maioria das pequenas barragens estudadas possuía uma pequena área de bacia hidrográfica, que é o fator que mais influencia no valor da vazão máxima de enchente. A figura 6 apresenta um resumo dos valores encontrados.

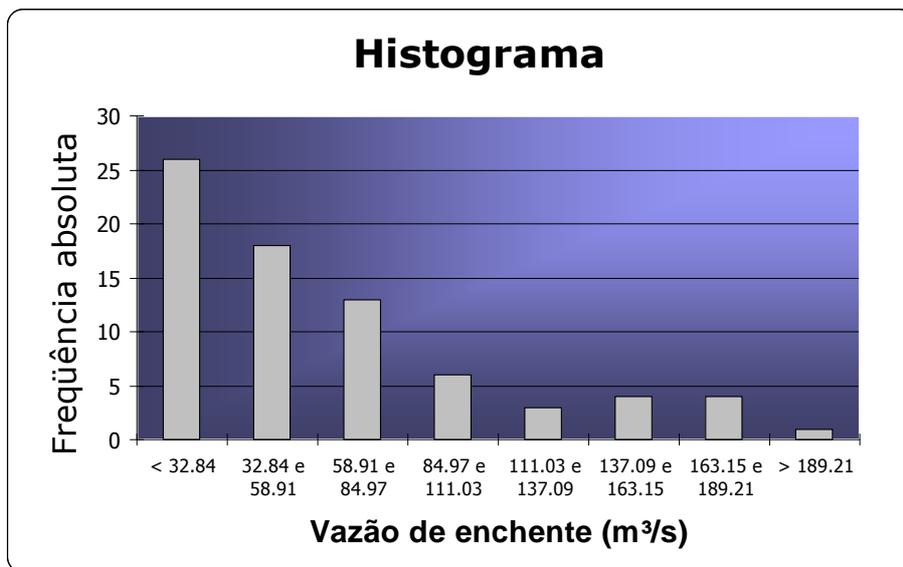


Figura 6 – Histograma com os valores da vazão máxima de enchente para os 76 açudes.

Para uma melhor visualização destes resultados na figura 7 foram plotados os valores encontrados para a vazão máxima de enchente para cada pequeno reservatório estudado.

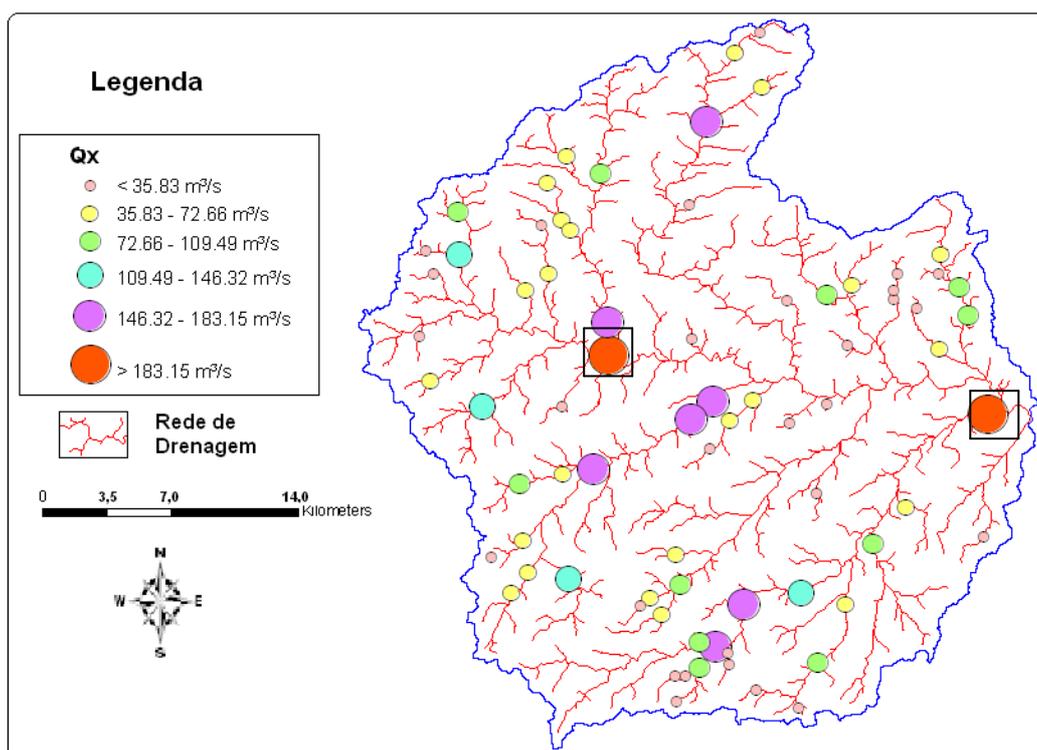


Figura 7 – Distribuição espacial dos valores calculados para a vazão máxima de enchente.

Pela figura acima nota-se que quanto mais próximos das cabeceiras, menor será a vazão máxima de enchente, pois a área da bacia hidrográfica é um dos fatores preponderantes no valor da vazão máxima de enchente. Outro fator que possui forte influência sobre o valor da vazão de enchente é a forma da bacia, quanto mais radial for a mesma, maior será o valor da vazão de enchente. Merecem destaque os açudes destacados com retângulo na figura 7. Os dois açudes que apresentaram os maiores valores de vazão de enchente são exatamente os dois maiores açudes da bacia hidrográfica de Sumé, o próprio açude Sumé e o açude São Paulo, que juntos acumulam mais de 50 milhões de m^3 (açudes com destaque em vermelho).

3.3 - Amortecimento das cheias

Como foi dito anteriormente, a bacia hidrográfica do açude de Sumé possui uma densidade de aproximadamente 1 açude/ Km^2 . Alguns fatores negativos são atribuídos a esta alta densidade, no entanto, como fator positivo, a elevada açudagem nesta região contribui para o amortecimento das cheias, isto é, uma redução que pode ser significativa ou não dependendo da quantidade de açudes a montante do açude em estudo, reduzindo o risco de arrombamento dos pequenos açudes. A tabela a seguir apresenta uma simples frequência com a quantidade de açudes e com a redução média da vazão máxima de enchente.

Tabela 3 – Curva de permanência para o posto pluviográfico 1.

| Redução da vazão máxima de enchente (amortecimento) | Nº de reservatórios |
|---|---------------------|
| Igual a 0,0% | 19 |
| Menor que 15,1% | 12 |
| Entre 15,1% e 22,1% | 15 |
| Entre 22,1% e 29,5% | 16 |
| Entre 29,5% e 42,8% | 10 |
| Maior que 42,8% | 4 |

Pela tabela 3 houve 57 açudes que sofreram redução da vazão máxima de enchente, comprovando que mesmo açudes que acumulam pequenos volumes de água, amortecem a vazão máxima de enchente. A figura 8 apresenta a distribuição espacial da redução média para cada um dos açudes estudados.

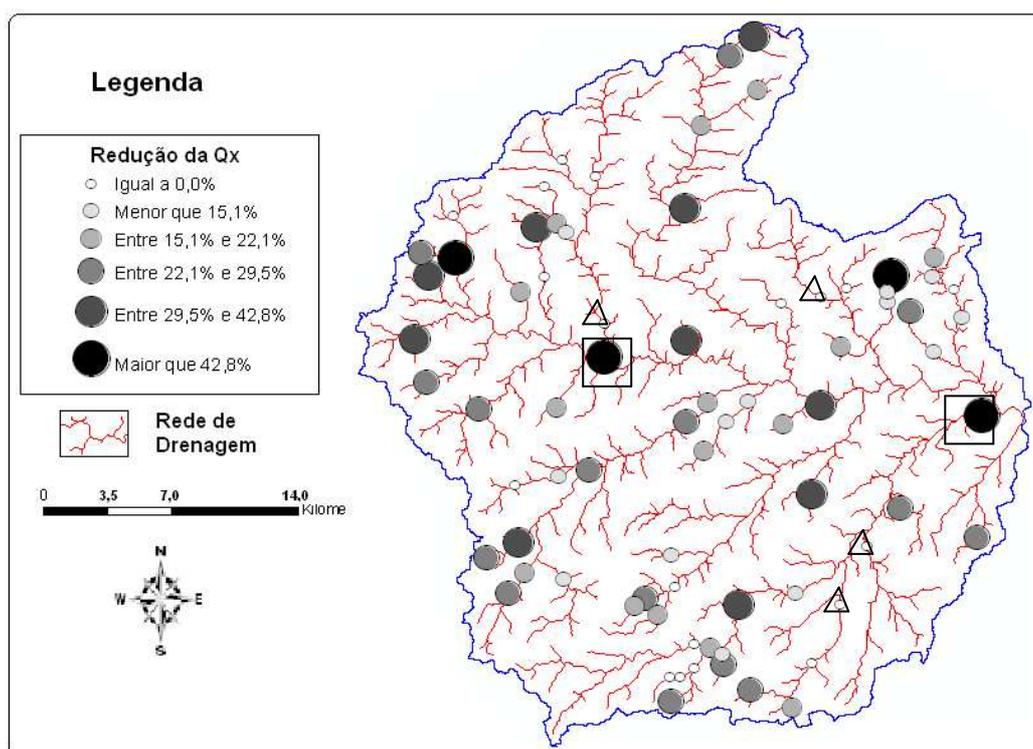


Figura 8 – Distribuição espacial dos valores da redução da máxima vazão de enchente

Algumas informações importantes podem ser extraídas da figura acima:

- Os dois maiores açudes, Sumé e São Paulo, sofreram grande impacto no que se refere à redução da vazão máxima de enchente, devido ao fato de que os mesmos possuem quantidade elevada de açudes a montante de suas bacias hidrográficas;

- Nota-se que não houve um padrão para a redução da vazão máxima de enchente, isto é, não foi encontrada uma boa correlação entre a redução da vazão e os seguintes fatores: ordem do riacho, S, Sx e Slag;
- Os açudes destacado com triângulo, não sofreram ou sofreram pequena redução da vazão máxima de enchente, sendo que suas bacias hidrográficas são relativamente grandes se comparadas com o tamanho médio das bacias. Provavelmente nestes açudes, uma atenção especial será dada, visto que os mesmos apresentaram, em geral, uma alta vazão máxima de enchente e praticamente não houve amortecimento das mesmas, representando um risco que pode ser considerado mais elevado do que para os outros açudes em estudo, a princípio.

3.4 - Verificação do dimensionamento dos sangradouros

Pelo fato de haver necessidade de informações de campo, os outros 34 açudes considerados neste estudo, especificamente neste item dos resultados, serão descartados por falta de informações precisas. Como última análise, buscou-se averiguar o dimensionamento dos sangradouros dos 42 açudes visitados em campo. A figura 9 apresenta um percentual de acordo com o dimensionamento dos sangradouros dos açudes.

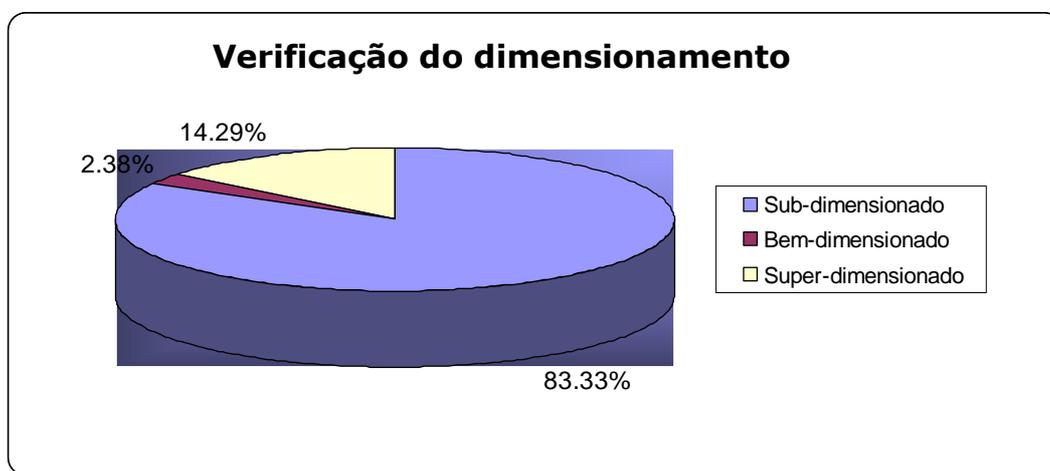


Figura 9 – Frequência relativa sobre o dimensionamento dos sangradouros

Apenas um dos açudes estudados possuía um sangradouro bem-dimensionado, considerando que a relação para o bom dimensionamento do sangradouro encontra-se na faixa $0,9 < (Q_{adm}/Q_x) < 1,1$. A porcentagem encontrada é bem próxima da encontrada por Molle(1992), que tinha mostrado que 88% do total de açudes estudados tinham seus sangradouros sub-dimensionados.

No entanto, cabe investigar com mais profundidade os valores encontrados para este sub-dimensionamento, visto que os sangradouros de alguns açudes sequer suportam 5,0% da vazão

máxima de enchente. A figura 10 apresenta a relação Q_{adm}/Q_x em porcentagem para os 42 açudes visitados.

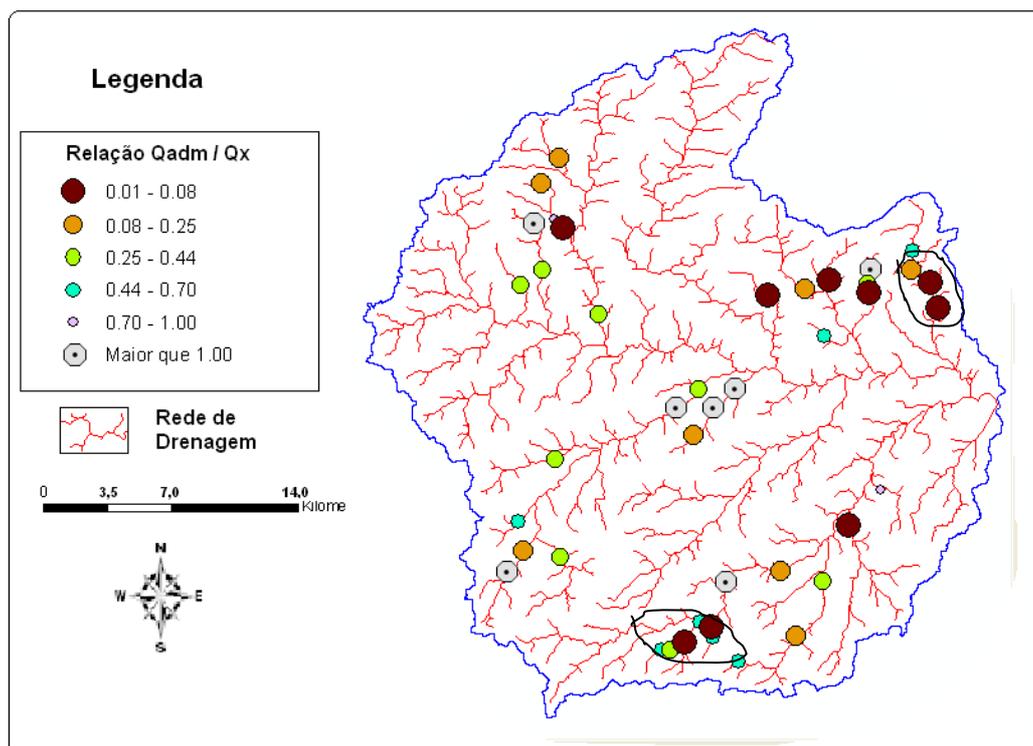


Figura 10 – Distribuição espacial da relação Q_{adm} / Q_x

Foi verificado que mais de 40% dos açudes possuíam sangradouros que suportavam no máximo 1/4 da vazão máxima de enchente. Nota-se também pela figura 10 (em destaque) que há duas regiões com pelo menos três pequenos reservatórios em cascata com sangradouros subdimensionados.

4 - CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, algumas conclusões importantes puderam ser extraídas:

- A maioria dos sangradouros possui pequena capacidade de vazão e também não apresentam um padrão bem definido, sendo construídos sem nenhum critério de dimensionamento. Devido a este fato não houve possibilidade de estabelecer alguma correlação suficientemente adequada entre a vazão admissível do mesmo com qualquer parâmetro já comentado anteriormente nos resultados, com exceção da área da bacia hidráulica, que apresentou uma correlação de mais de 80% com relação à área do sangradouro.
- No cálculo da vazão de enchente, notou-se que nem sempre uma grande área de bacia hidrográfica significava um alto valor de vazão de enchente, visto que este é também fortemente influenciado pela forma da rede de drenagem e também pelo coeficiente

L600. Ainda assim, os dois maiores valores encontrados para a vazão de enchente recaíram sobre os dois maiores açudes da bacia hidrográfica de Sumé. Ao contrário dos resultados encontrados para a vazão admissível dos sangradouros, os resultados encontrados para a vazão máxima de enchente apresentaram um padrão mais bem definido.

- No cálculo do amortecimento das cheias, averiguou-se que os açudes com maiores bacias hidrográficas apresentaram maior amortecimento das cheias, isto é, uma redução mais significativa do que para açudes com bacias hidrográficas menores, entretanto, houve açudes que por praticamente não haver outros pequenos reservatórios em sua bacia hidrográfica, não apresentaram amortecimento no valor da vazão máxima de enchente.
- Quando foram comparados os resultados encontrados para os 42 açudes no qual era conhecida a vazão máxima admissível, foi verificado que mais de 80% dos mesmos são sub-dimensionados, e que apenas um único açude está bem-dimensionado. Foi verificado que mais de 40 % dos sangradouros comportavam no máximo 25% da vazão máxima de enchente.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Para uma abordagem mais completa sobre o risco do ponto de vista hidrológico, sem levar em conta o estado de conservação das barragens, recomenda-se que alguns temas sejam levados em consideração, entre os quais:

- Verificação do dimensionamento da capacidade de armazenamento de água do açude. Se o açude for sub-dimensionado do ponto de vista de sua capacidade de armazenamento, o mesmo sangrará com boa frequência, fazendo com que o correto dimensionamento do sangradouro seja mais importante no intuito de diminuir o risco de arrombamento
- Uma análise do risco de forma espacializada não-discretizada, isto é, considerando o risco de um açude qualquer levando em questão o risco que possa existir em outros açudes a montante, pois no caso deste estudo, o risco foi analisado pontualmente para cada açude
- Um estudo sobre o período de retorno da vazão máxima de enchente para poder estimar a probabilidade de um sangradouro de um açude qualquer ter sua capacidade superada em um ano qualquer.

AGRADECIMENTOS

À FINEP/CTHIDRO, pelo financiamento do projeto DISPAB, do qual este trabalho é fruto, ao CNPq pela bolsa PIBIC do primeiro autor, e à AESA – Agência Estadual de Gestão de Águas do Estado da Paraíba e a Universidade Federal da Paraíba, pelo suporte técnico e logístico dado à pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

- ATECEL. (1993). *Estudo Técnico Integrado sobre o Uso Múltiplo dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sucurú*, Sumé, Brasil.
- CADIER, E. (1994). *Hidrologia das Pequenas Bacias do Nordeste Semi-Árido: Transposição Hidrológica*. Recife – PE, SUDENE, 448p.
- FILHO, A. G. (2008). “Risco de superação da lâmina d’água de projeto do vertedouro do açude Banabuiú por excesso de vazão afluente” in Anais do 1º Encontro Nacional de Hidroinformática, Fortaleza, 15 p.
- FONTENELLE, A. S. (2007). *Proposta Metodológica de Avaliação de Riscos em Barragens do Nordeste Brasileiro - Estudo de caso: Barragens do Estado do Ceará*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, .
- MOLLE, F. & CADIER, E. (1992). *Manual do Pequeno Açude*. Recife - PE, SUDENE, 529p.
- MUFUTE, N. L. (2007). *The Development of a Risk-of-Failure Evaluation Tool for Small Dams in Mzingwane Catchment*, Master Thesis, Department of Civil Engineering, University of Zimbabwe, Zimbabwe.
- RODRIGUES, L. R. & MARIOTI, J. (2008). *Relações Cota-Área-Volume para Pequenas Barragens de Terra na Bacia Do Rio Preto*. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, Brasil.