

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO CEARENSE EM ESCALA DE PLANEJAMENTO

*Itamara Mary Leite de Menezes Taveira¹ ; Luísa Ciríaco Silva de Oliveira² ; Iran Eduardo Lima
Neto³ & Alexandre Cunha Costa⁴*

RESUMO – O semiárido cearense (SC) é marcado pela escassez de recursos hídricos subterrâneos e pela alta variabilidade interanual e sazonal das chuvas. Dessa forma, estabeleceu-se na região uma cultura de construção de reservatórios para garantir o abastecimento d'água. Assim, estudar os processos que comprometem a eficiência dos reservatórios, como o processo de assoreamento, se faz necessário. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar os gráficos cota vs. volume de reservatórios do estado do Ceará, de forma a verificar a perda de volume destes pelo processo de assoreamento. Os resultados apontam para uma taxa média de perda da capacidade de armazenamento de 1,33% ao ano para 66 reservatórios. A mesma não possui relação direta com o tamanho e o tempo de operação dos reservatórios, embora é provável que tenha se intensificado nas décadas recentes e que se concentre nas cotas mais baixas dos reservatórios. Conclui-se que o assoreamento de reservatórios no SC contribui significativamente para a redução da vida útil da barragem em escala de planejamento de recursos hídricos.

ABSTRACT – The Brazilian semiarid region is marked by scarcity of water resources and high spatial and temporal variability of rainfall. Due to these characteristics, the building of superficial reservoirs was established as a way of transporting water in the time and guarantee the supply for the population. The dams have strategic importance for the water resources system so it is necessary to study the processes that compromise their efficiency, such as the silting process. In this context, this work aims to analyze the graphs elevation vs. volume of reservoirs in the state of Ceará, in order to verify the losses of volume by the silting process. It came with the conclusion that the average loss of storage capacity in the lakes is 1.33% per year. Considering that this decrease is caused by sediment retention in the reservoir, this process contributes significantly to the reduction of the useful life of the dam in semi-arid regions.

Palavras-Chave – Assoreamento; reservatórios; semiárido

1) Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Fortaleza (CE), Brasil. itamara.taveira@cogerh.com.br

2) Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – Fortaleza (CE), Brasil. luisa.ciriaco@cogerh.com.br

3) Universidade Federal do Ceará – Fortaleza (CE), Brasil. iran@deha.ufc.br

4) Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – Redenção (CE), Brasil. cunhacos@gmail.com

INTRODUÇÃO

O Estado do Ceará, localizado na região semiárida brasileira, apresenta grande variabilidade espaço-temporal das precipitações, além da ocorrência, de forma predominante, de um déficit hídrico, devido, dentre outros fatores, às altas temperaturas da região. Dessa forma, por estar sujeito à estiagem durante a maior parte do ano, estabeleceu-se uma cultura de construção de reservatórios superficiais como forma de transportar água no tempo e garantir o abastecimento da população. (Campos *et al.*, 2016; Campos *et al.*, 2018).

A construção de reservatórios superficiais gera diversas alterações no regime de vazões e de transporte de sedimentos dos rios. Tais alterações favorecem a acumulação destes sedimentos nos reservatórios, fazendo com que estes, ao passar do tempo, vão diminuindo sua capacidade de acumulação e de regularização de vazão devido ao processo de assoreamento (Estigoni, 2016).

Atualmente, grande parte dos reservatórios do Brasil se encontram total ou parcialmente assoreados, principalmente os de pequeno e médio portes. Esse processo vem apresentando uma acentuação, devido ao uso insustentável do solo e dos recursos naturais. Na região semiárida, por exemplo, o assoreamento dos reservatórios vem se intensificando devido à deterioração do meio ambiente por meio de manejo inadequado dos solos, destruição das matas ciliares, abertura de estradas nas zonas rurais sem estruturas de contenção de sedimentos, desmatamento, dentre outros fatores (Cabral, 2005).

Além disso, outro aspecto que vem acentuando o processo de assoreamento nas últimas décadas são as mudanças climáticas resultantes das ações antrópicas. A intensificação de fenômenos naturais, com a ocorrência de eventos extremos relacionados à temperatura e à precipitação, apresenta consequências diretas em áreas como suprimento de água e agravamento dos processos erosivos (Lelis, 2011). Um levantamento do risco climático para a erosividade nas regiões brasileiras, realizado por Almagro *et al.* (2017), sugere que até 2099 a região Nordeste do Brasil será uma das mais afetadas, com um aumento de até 109% na erosividade.

Nesse contexto, a análise do processo de assoreamento e da perda de capacidade de armazenamento dos reservatórios se apresenta com grande relevância para estudos de segurança hídrica. Este trabalho, portanto, tem como objetivo analisar os gráficos cota vs. volume de reservatórios do Ceará, de forma a verificar a perda de volume destes pelo processo de assoreamento ao longo de seu tempo de operação, avaliando tal processo numa escala de planejamento, de forma a contribuir na gestão eficiente dos recursos hídricos.

Neste trabalho foram analisados 66 reservatórios do Ceará, com capacidades de 0,97 hm³ e até 6.700 hm³ e tempos de operação de 7 até 119 anos (Figura 1). Batimetrias recentes

disponibilizadas pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COEGERH) fornecem as primeiras medidas de assoreamento dos açudes de pequeno, médio e grande porte do Ceará. Até então, apenas dados pontuais eram disponíveis, o que limita a generalização dos resultados encontrados nos trabalhos já desenvolvidos sobre o tema (e.g. Araújo, 2003).

ÁREA DE ESTUDO

O Ceará está localizado a baixas latitudes e apresenta clima do tipo tropical quente semiárido, o qual se caracteriza por altas temperaturas e baixas precipitações, sendo a média pluviométrica anual em torno de 600 mm e evaporação potencial 2.200 mm. O aporte médio anual para os reservatórios do Ceará é de um bilhão de metros cúbicos, aproximadamente (Cortez *et al.*, 2017).

No Ceará, existe um predomínio de superfícies mais aplainadas em cotas moderadas, que foram resultados de intensos processos erosivos. Porém, vale ressaltar, a existência de Inselbergs, que se configuram em relevos residuais, devido à existência de rochas mais resistentes ao intemperismo. Os solos são rasos e pedregosos (Brandão e Freitas, 2014). A vegetação predominante é do tipo caatinga arbustiva densa ou aberta.

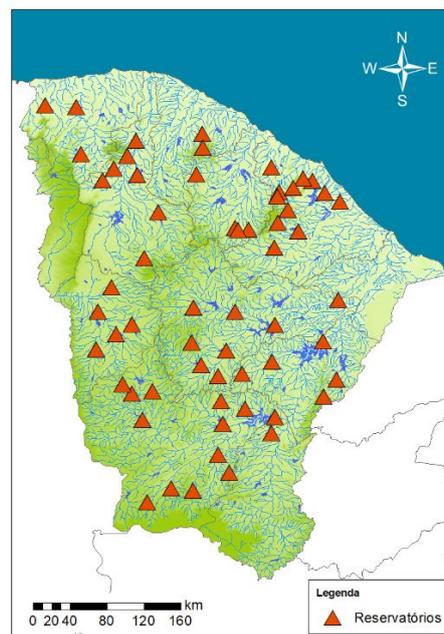


Figura 1 – Reservatórios analisados no estudo

METODOLOGIA

As barragens em estudo foram classificadas quanto a sua capacidade máxima de armazenamento de acordo com os critérios estabelecidos na Resolução do CNRH N° 143, de 10 de julho de 2012 (Tabela 1).

Tabela 1- Classificação das barragens quanto à capacidade de armazenamento

| Classe | Volume total do reservatório |
|--------------|--------------------------------|
| Pequena | Menor que 5 hm ³ |
| Média | Entre 5 e 75 hm ³ |
| Grande | Entre 75 e 200 hm ³ |
| Muito Grande | Maior que 200 hm ³ |

1

Para avaliar o processo de assoreamento nos reservatórios por meio da variação da capacidade de armazenamento, foram utilizados dados de 66 levantamentos batimétricos de campanhas realizadas pela COGERH entre os anos de 2007 e 2017. A batimetria consiste no mensuramento da profundidade das massas de água com o intuito de determinar a topografia do seu leito.

As batimetrias realizadas pela COGERH têm por objetivo a determinação da relação da cota, área e volume dos reservatórios, utilizando para tanto um ecobatímetro. Cabe ressaltar que, o levantamento batimétrico é realizado apenas na área molhada do reservatório na data da campanha, ou seja, não é levantado a área seca da bacia hidráulica através de topografia. Desta forma, a capacidade máxima de armazenamento da barragem é obtida através da extrapolação da CAV obtida na batimetria.

Para os 66 reservatórios alvo deste estudo foram obtidas as CAVs de projeto através de pesquisa documental nas fichas técnicas das barragens, projeto executivo ou “as built”. A variação relativa do volume dos reservatórios em função do assoreamento foi obtida através da equação:

$$\Delta V_R = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (1)$$

Onde, ΔV_R é a variação relativa do volume dos reservatórios, V_0 é o volume máximo de armazenamento no início da operação do reservatório e V é o volume máximo de armazenamento obtido na batimetria, ou seja, nas condições atuais dos reservatórios estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação quanto a capacidade de armazenamento dos 66 reservatórios analisados apresenta-se na Figura 2. Observa-se que a maioria, 40 reservatórios, são considerados de médio porte. A Figura 3 apresenta a variação relativa do volume dos reservatórios por ano em função do volume inicial. Observou-se que não há tendência com a variação relativa do volume, uma vez que, reservatórios muito grandes, grandes, médios e de pequeno porte têm valor médio de redução do volume de 1,10%, 1,76%, 1,38% e 0,84% ao ano respectivamente. Além disso, não há tendência em relação ao tempo operação do reservatório (não apresentado em Figura). O valor médio da variação relativa do volume dos reservatórios encontrado foi de 1,33% ao ano. Resultado semelhante foi obtido no estudo realizado por Lima Neto *et al.* (2011), no qual foi analisada a taxa de retenção de sedimentos

em função do armazenamento inicial dos reservatórios. No entanto, a variação relativa do volume dos reservatórios encontrada pelos referidos autores foi cerca de cinco vezes menor.

O trabalho realizado por Araújo (2003), que apresenta uma metodologia para estimar assoreamento em reservatórios do semiárido a partir de dados topográficos, pluviométricos, pedológicos e de cobertura vegetal da bacia hidrográfica, teve por resultado que a taxa de assoreamento é de aproximadamente $2,7 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, o que corresponde a uma perda média de volume de 1,85% a cada década. A partir do resultado apresentado neste trabalho a perda média de volume por década foi de 13%, ou seja, muito superior ao encontrado por Araújo (2003).

Cabe ressaltar que, no trabalho de Araújo (2003) foi utilizada uma amostra com sete reservatórios. Um destes reservatórios, a barragem Acarape do Meio, apresentou variação do volume de 7,83 % em 74 anos, considerando uma batimetria realizada em 1997. Neste trabalho, foi utilizado um levantamento batimétrico realizado em 2010, o qual apresentou uma redução da capacidade de armazenamento de 22,87% em 86 anos. Ou seja, apenas entre os anos de 1997 e 2010 o reservatório diminuiu 15,04% de sua capacidade de acumulação. O que pode significar que a bacia hidrográfica da barragem Acarape do Meio vem sofrendo um intenso processo de degradação nas últimas décadas.

Entretanto, o estudo realizado por Morris *et al.* (2008), para diversas barragens no mundo, resultou em uma perda da capacidade inicial de armazenamento por ano de aproximadamente 1%, ou seja, muito próximo da taxa média encontrada neste trabalho. O que demonstra que o assoreamento nos reservatórios impacta diretamente na disponibilidade hídrica e não pode ser desprezado, inclusive no semiárido cearense.

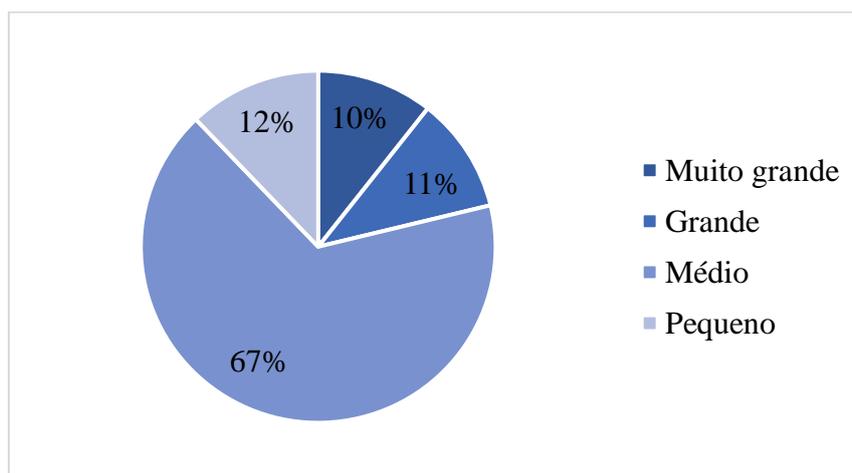


Figura 2 - Classificação dos reservatórios quanto à capacidade de acumulação

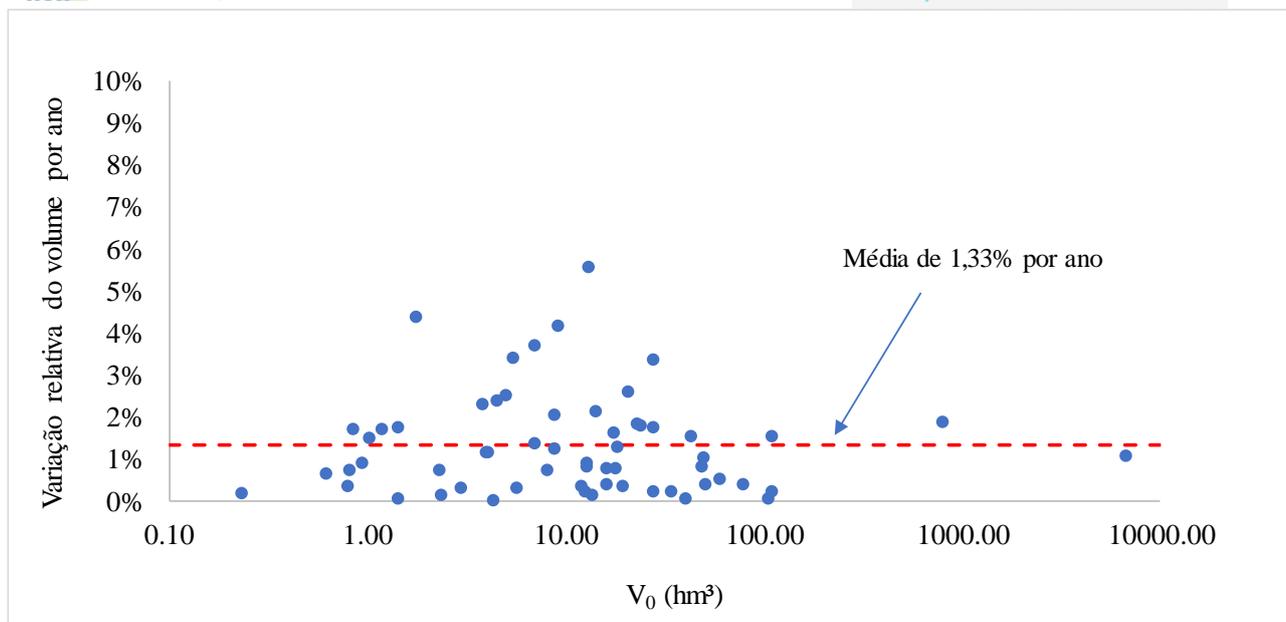


Figura 3 - Variação relativa do volume por ano em função do volume inicial

As Figuras 4 e 5 apresentam gráficos da relação cota – volume para os reservatórios Acarape do Meio e Arneiroz II, respectivamente. Para a barragem Acarape do Meio (Figura 4) observa-se a relação cota – volume nos anos de 1924, ano de construção, e 2010, ano da batimetria. Como relatado, após 86 anos de operação observou-se uma redução no volume do reservatório de 7,7 hm^3 . Além disso, ocorreu uma diminuição na profundidade máxima do lago de 2 m, em 1924 a cota inferior do lago era 104 m e passou para 106 m em 2010.

Para a barragem Arneiroz II (Figura 5) as relações cota-volume foram obtidas nos anos de 2004, ano de construção, e 2014 ano de realização da batimetria. Observa-se que a capacidade total de acumulação do reservatório foi alterada de 27,74 hm^3 para 18,38 hm^3 , o que representa uma diminuição de 33,09% em uma década. Este valor é 2,5 vezes maior que perda média de volume por década para os reservatórios deste estudo.

A distribuição do assoreamento com a profundidade do reservatório para as barragens Acarape do Meio e Arneiroz II pode ser observada nas Figuras 6 e 7. Observa-se que o maior percentual de assoreamento ocorre nas cotas mais baixas do reservatório, em ambos os reservatórios. Como pode ser observado, no reservatório da barragem Acarape do Meio em cotas até de 50% da profundidade total do lago ocorrem aproximadamente 84% do assoreamento total. Já para a barragem Arneiroz II em cotas até de 50% da profundidade total do lago ocorrem aproximadamente 84% do assoreamento total.

Por último, na Figura 8 é apresentado a variação

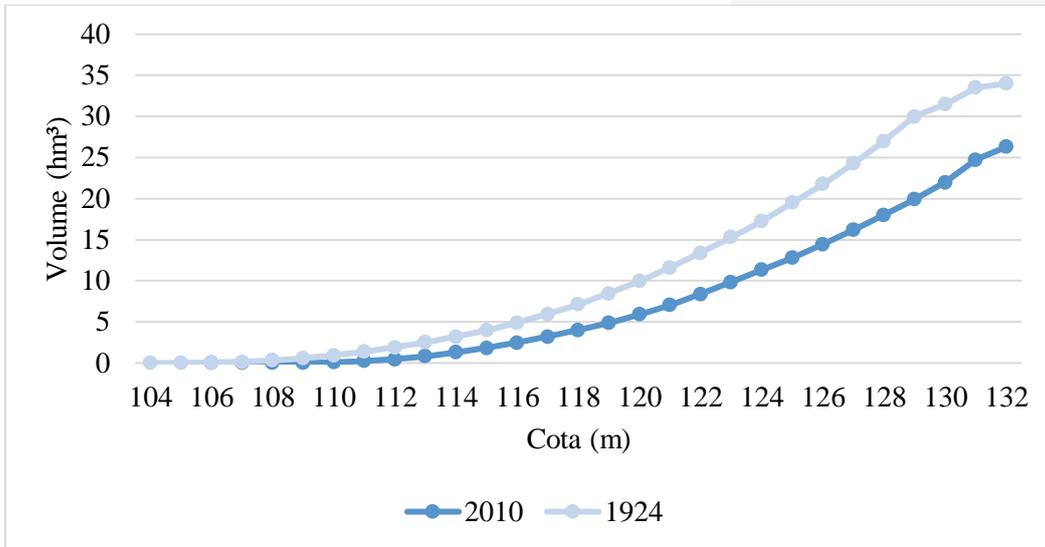


Figura 4 - Comparação da relação cota-volume para o reservatório Acarape do Meio

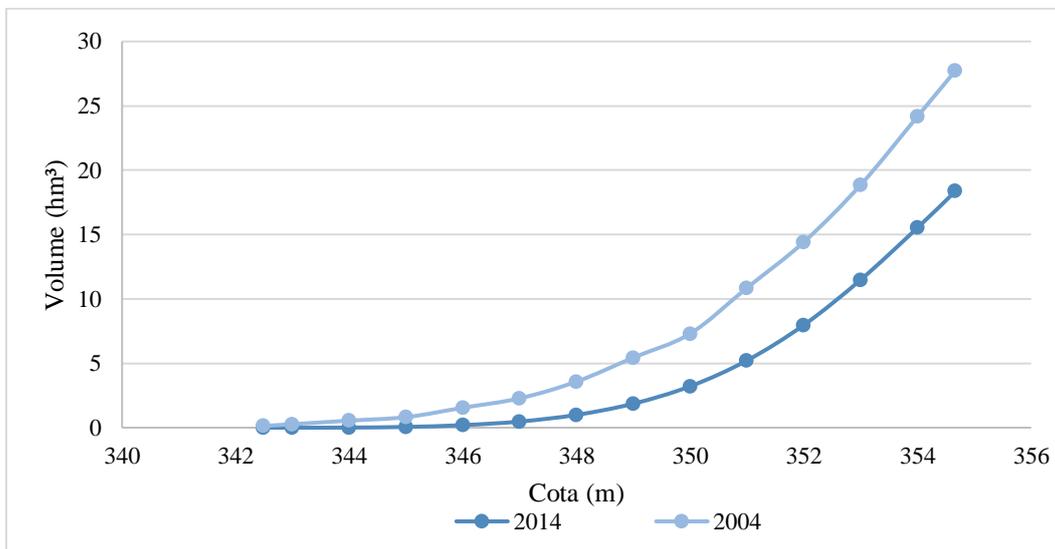


Figura 5 - Comparação da relação cota-volume para o reservatório Arneiroz II

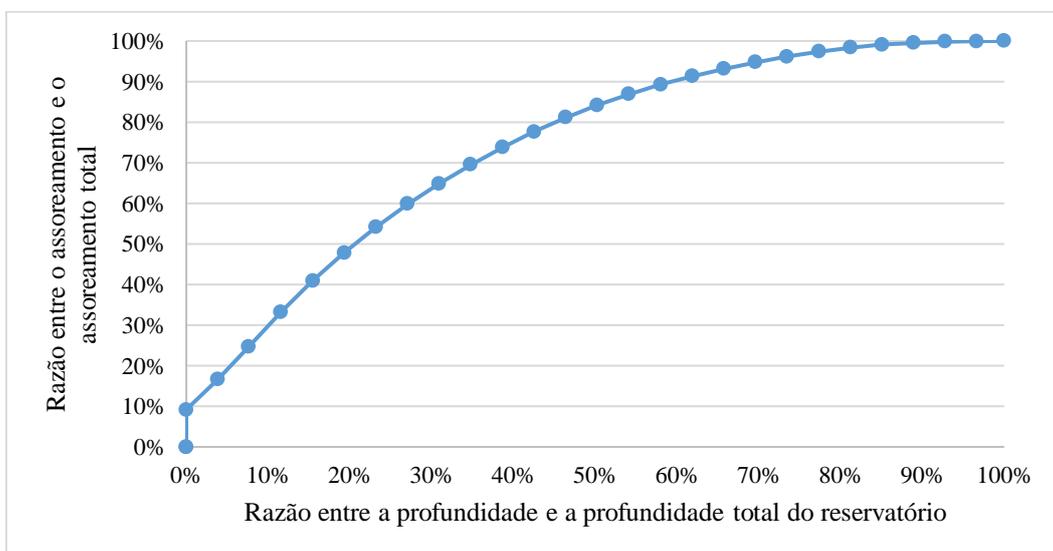


Figura 6 - Distribuição do assoreamento no reservatório Acarape do Meio

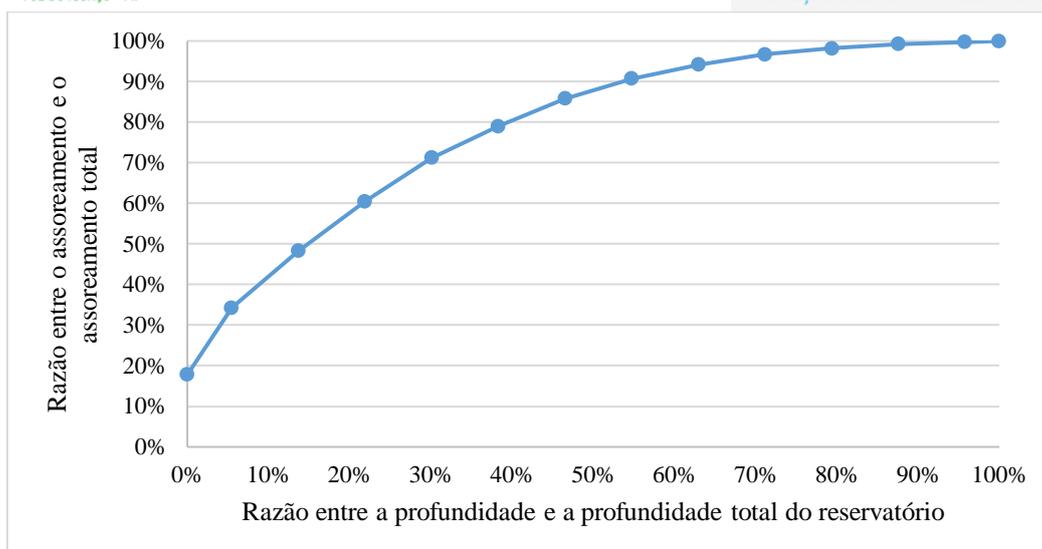


Figura 7 - Distribuição do assoreamento no reservatório Arneiroz II

CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisados 66 reservatórios de pequeno, médio e grande porte, localizados no estado do Ceará, com idade de operação entre 7 e 119 anos. Para avaliar o processo de assoreamento nos reservatórios através da variação da capacidade de armazenamento foram utilizados dados das curvas cota-área-volume de projeto das barragens e de levantamentos batimétricos dos reservatórios após operação.

Pode-se concluir que a taxa média de perda da capacidade de armazenamento no lago é de 1,33% ao ano. A mesma não possui relação direta com o tamanho e o tempo de operação dos reservatórios. Considerando que esta diminuição se deve a retenção de sedimentos no reservatório, o assoreamento em regiões semiáridas contribui significativamente para a redução da vida útil da barragem. Além disso, pode-se verificar também que, quanto à distribuição do assoreamento no reservatório, a maior deposição de sedimentos ocorre nas cotas mais baixas, o que pode ocorrer devido a uma redução significativa da velocidade do fluxo.

É necessário estudar o processo de assoreamento em reservatórios, principalmente as formas de previsão e controle com o intuito de garantir a disponibilidade hídrica na região semiárida.

AGRADECIMENTOS

À Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará pela disponibilização dos dados utilizados nesta pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e

Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa de Pós-Doutorado Júnior ao quarto autor (155814/2018-4).

REFERÊNCIAS

- ALMAGRO, A. (2017) *Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil*. Nature, Londres, 15 ago.
- BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. (2014). *Geodiversidade do Estado do Ceará*. Fortaleza: CPRM.
- CABRAL, J. B. P.(2005). *Estudo do processo de assoreamento em reservatórios*. Caminhos de Geografia, p.62-69.
- CAMPOS, J. (2018) *Influence of sediment distribution on the relationships among reservoir yield, spill, and evaporation losses*. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 23, n. 5, p.849-856.
- CAMPOS, J. N. B. (2016). *Trade-off between reservoir yield and evaporation losses as a function of lake morphology in semi-arid Brazil*. Annals Of The Brazilian Academy Of Science.
- CNRH (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS) 2012. Resolução CNRH Nº 143, de 10 de julho de 2012.
- CORTEZ, H.; LIMA, G. P. ; SAKAMOTO, M. S.(2017). *A seca 2010-2016 e as medidas do Estado do Ceará para mitigar seus efeitos*. A Seca nos Estados. Brasília, v. 22, n. 44, p.83-118, jan. 2017.
- ESTIGONI, M. V. *Uso de modelagem de transporte de sedimentos e técnicas de hidrologia estatística para redução de incertezas nos estudos de assoreamento de reservatórios: Estudo de caso do reservatório da PCH Mogi-Guaçu/SP*. 2016. 239 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- ARAÚJO, J. C. (2003) *Assoreamento em Reservatórios do Semi-árido: Modelagem e Validação*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 8, n.2 Abr/Jun 2003, 39–56.
- LELIS, T. A. (2011) *Impactos causados pelas mudanças climáticas nos processos erosivos de uma bacia hidrográfica: Simulação de cenários*. Ambi-Agua, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 282-294.
- LIMA NETO, I. E.; WIEGAND. M.C.; ARAÚJO, J. C. (2011) *Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semiarid Brazilian basin*. Hydrological Sciences Journal, 56:2, P 319-333.
- MORRIS, G. L.; ANNANDALE, G.; HOTCHKISS, R. (2008) *Reservoir sedimentation*. Chapter 12 in: *Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice* (M. H. García, ed.). Reston, VA: American Society of Civil Engineers, ASCE Manual of practice 110.