

## ANÁLISE DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO AYRES DE SOUSA, CEARÁ

*Rodrigo Mendes Rodrigues<sup>1</sup> & Brennda Bezerra Braga<sup>2\*</sup> & Larissa Mendes Rodrigues<sup>3</sup> &  
Micaella da Silva Teixeira Rodrigues<sup>4</sup> & Cleiton da Silva Silveira<sup>5</sup>*

**Resumo** – O objetivo desse estudo foi analisar o assoreamento do açude Ayres de Sousa e avaliar os impactos desse processo na disponibilidade hídrica do reservatório por meio de análise de batimetria. A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Ayres de Sousa, com área de drenagem de 1.102,37 km<sup>2</sup>, a qual está inserida na região hidrográfica do Acaraú, sob coordenadas UTM WGS 84 333614 E e 9582098 N. A Batimetria do reservatório foi realizada em 2010 pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) e os resultados da curva cota x área x volume obtidos foram comparados com o do projeto original do reservatório, concebido em meados de 1936. O reservatório Ayres de Sousa teve uma redução na sua capacidade de 7,30%, em 74 anos, correspondendo a uma taxa média de assoreamento de 1% a cada década. O monitoramento do volume armazenado deverá ser praticado frequentemente por órgãos gestores, com objetivo de promover ações mitigadoras destes impactos, assim como promover a sustentabilidade das atividades instaladas na bacia hidráulica do manancial. Entre as medidas mitigadoras do processo de assoreamento estão a recomposição da mata ciliar e o manejo adequado do uso e ocupação do solo.

**Palavras-Chave** – batimetria, CAV, açude

## SILTATION ANALYSIS OF THE RESERVOIR AYRES DE SOUSA, CEARÁ

**Abstract** – The aim of this study was to analyze the siltation of the Ayres de Sousa dam and to evaluate the impacts of this process on the water availability of the reservoir by bathymetry analysis. The study area comprises the Ayres de Sousa basin, with a drainage area of 1,102.37 km<sup>2</sup>, which is located in the Acaraú hydrographic region, under coordinates UTM - 333157 ° L and 9580522 ° N. The reservoir bathymetry was performed in 2010 by the Water Resources Management Company of Ceará (COGERH) and the results of the volume-area-elevation was compared to the one from the original dam design, from 1936. The Ayres de Sousa reservoir had a capacity reduction of 7.30% in 74 years, corresponding to an average sedimentation rate of 1% per decade. The monitoring of the volume stored should be practiced frequently by management agencies, with the purpose of promoting mitigation actions of these impacts, as well as promoting the sustainability of the activities installed in the water basin of the source. Among the mitigating measures of the silting process are the restoration of riparian forest and the proper management of land use and occupation.

**Keywords** – Bathymetry, VAE, dam

<sup>1</sup> Analista em Gestão de Recursos Hídricos, Mestrando em Climatologia/UECE, [r.menndhez@gmail.com](mailto:r.menndhez@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestranda em Engenharia Agrícola/DENA-UFC, [brenndabraga94@gmail.com](mailto:brenndabraga94@gmail.com).

<sup>3</sup> Engenheira Eletricista, Mestrando em Climatologia/UECE, [larissamendesr@gmail.com](mailto:larissamendesr@gmail.com)

<sup>4</sup> Analista em Gestão de Recursos Hídricos, MSc Saneamento Ambiental/DEHA-UFC, [micaella.rodrigues@cogerh.com.br](mailto:micaella.rodrigues@cogerh.com.br).

<sup>5</sup> Professor titular da UNILAB, [cleitonsilveira@unilab.edu.br](mailto:cleitonsilveira@unilab.edu.br)

## INTRODUÇÃO

A região semiárida nordestina é caracterizada principalmente por possuir rios intermitentes. Esta característica deve-se especialmente aos tipos de solo predominantes na região (solos rasos e de baixa capacidade de retenção hídrica) e das condições de clima, caracterizada por uma alta evaporação e baixa precipitação média, com alta variabilidade espaço-temporal (Toledo; Araújo; Almeida, 2014). Diante disso, os reservatórios superficiais tornam-se as principais formas de armazenamento de água nessas regiões. Segundo Araújo *et al.* (2006) mais de 90% da água para consumo humano é ofertada por açudes superficiais no Ceará.

O assoreamento é um fator que afeta negativamente a qualidade da água dos açudes (Sauniti; Fernandes; Bittercourt, 2004), além de causar uma modificação da sua geometria, tornando-os mais rasos e, portanto, mais susceptíveis às perdas de água por evaporação. Esses fatores acarretam uma redução da sua capacidade de retenção hídrica (Araújo *et al.*, 2006). No Brasil, muitos reservatórios encontram-se total ou parcialmente assoreados, de acordo Cabral *et al.* (2005), principalmente os de pequeno e médio porte.

Entre os fatores que potencializam o assoreamento de corpos hídricos estão: a degradação da mata ciliar, que funcionam como estabilizadores de encostas de rios, reduzindo que o material seja carregado; e o manejo inadequado do solo, como a supressão da vegetação para abertura de área para agropecuária.

Um meio de se estimar a redução da área e volume de um reservatório existente, além das variações na sua geometria, é a realização de batimetrias e determinação das curva cota-área-volume. Todavia, o custo de realização desse procedimento depende de vários fatores, como tamanho, localização e acesso ao reservatório (Collischonn e Clarke, 2016).

Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi analisar o assoreamento do açude Ayres de Sousa e avaliar os impactos desse processo na disponibilidade hídrica do reservatório.

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Ayres de Sousa, com área de drenagem de 1.102,37 km<sup>2</sup>, a qual está inserida na região hidrográfica do Acaraú, sob coordenadas UTM datum WGS 84 - 333614 E e 95820989 N (Figura 1). O manancial atende aos municípios de Graça, Pacujá, Mucambo, Reriutaba e Sobral, estando o reservatório totalmente situado no município de Sobral. Atualmente, o volume de água armazenado no açude destina-se, principalmente ao abastecimento humano da sede de Sobral e dos distritos de Jaibaras e Aprazível, porém são verificados usos secundários, como piscicultura intensiva, dessedentação de animais, irrigação e balneabilidade via contato primário (COGERH, 2010).

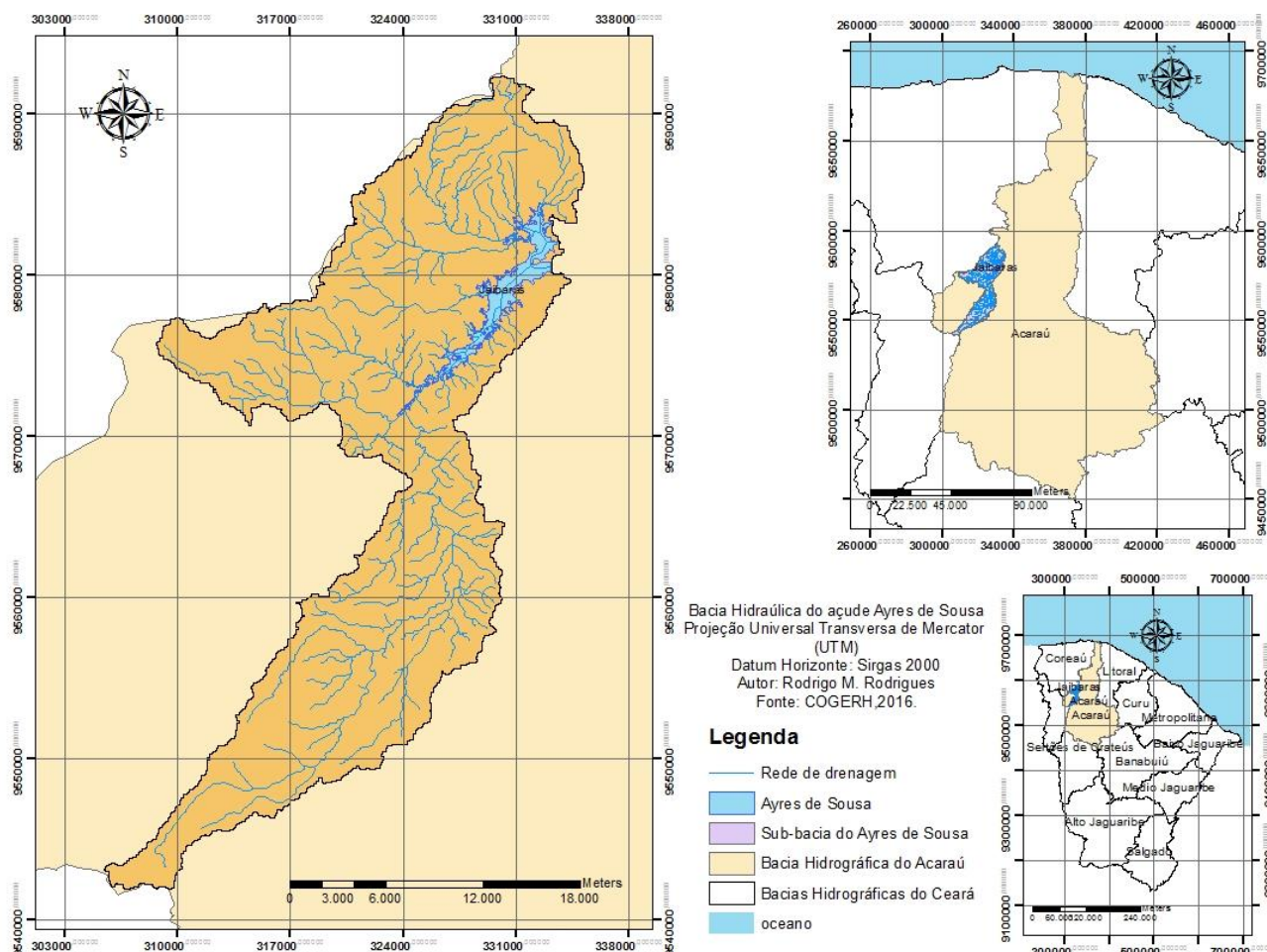


Figura 1 – Mapa de localização do reservatório Ayres de Sousa

A açude Ayres de Sousa foi construído em 1936 e possui estrutura da barragem do tipo Terra com cortina impermeável. A capacidade de armazenamento do reservatório é de 104.430.000 m<sup>3</sup> (volume de projeto), com vazão regularizada de 1,92 m<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup>.

A área de estudo, conforme classificação de Köppen, enquadra-se no clima do tipo BSw'h', tropical semiárido quente, com temperatura média de 26 a 28°C. A pluviosidade média anual é de 821,6 mm, caracterizada por uma alta variabilidade espaço-temporal, com chuvas concentradas de janeiro a maio. Os solos encontrados na bacia hidrográfica do Jaibaras são os Solos Aluviais, Bruno não Cálculo, Solos Litólicos, Planossolo Solódico, Podzólico Vermelho-Amarelo e Regossolo; sua geofeições são do tipo Planície Fluvial, Depressão Sertaneja e Maciços Residuais. A vegetação predominante é a caatinga arbustiva aberta (CEARÁ, 2016).

### Batimetria do açude Ayres de Sousa

A Batimetria do reservatório foi realizada em 2010 pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH). O levantamento batimétrico consiste na aquisição de dados simultâneos da topografia do leito do reservatório por meio de um ecobatímetro acoplado a um sistema de DGPS gerando dados em tempo real e gravados em um computador portátil, obtendo-se para cada ponto as coordenadas e sua profundidade. A batimetria tem como objetivo a aquisição de dados para composição da relação Cota x Área x Volume do reservatório. O traçado superficial foi planejado de modo que o curso do levantamento fosse contínuo e especializado, com o objetivo de se

cobrir toda a superfície do reservatório. Para finalizar o levantamento, foram levantados pontos perpendiculares ao talvegue do rio. No total, foram levantados 32.804 pontos dentro da bacia hidráulica do Jaibas.

## Modelo Digital do Terreno e Curva Cota-Área-Volume

A partir dos dados obtidos no levantamento batimétrico, foram elaborados o Modelo Digital de Terreno ou o Mapa com Curvas de Nível (Figura 2). Para elaboração da Curva Cota X Área X Volume (CAV) da bacia hidráulica do reservatório Ayres de Sousa, foram determinadas cotas com espaçamento de 0,5 metro desde a cota mínima (70,11) até a cota de sangria (95,00). Os valores das cotas 90,50 a 95,00 foram extrapoladas por meio das equações de regressão (Eq.1 e Eq.2). Também foram levantados valores da CAV de projeto de construção do reservatório (1936).

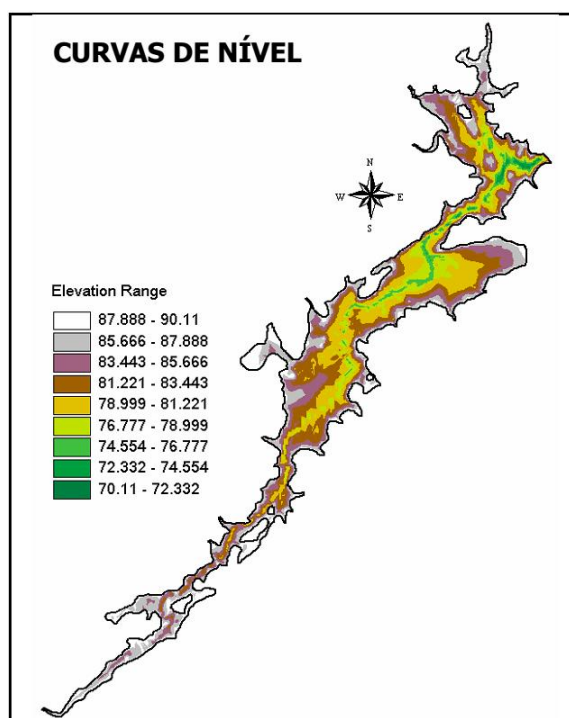


Figura 02 - Mapa das Curvas de Nível do açude Ayres de Sousa.  
Fonte: COGERH, 2010.

Para permitir a integração, a área inundada ( $A$ ) é expressa como uma função do nível d'água ( $h$ ), ou seja  $A = f(h)$ , por meio de uma equação de regressão. A equação adotada apresenta um comportamento potencial, visto que a regressão deste tipo é adequada para representar a relação entre níveis e áreas inundadas em um reservatório (Molle e Cadier, 1992). Assim:

$$A = a \cdot h^b \quad \text{Eq.1}$$

Para obtenção dos parâmetros  $a$  e  $b$ , a Equação 1 é linearizada por meio de transformação logarítmica. Os valores dos parâmetros, bem como sua matriz de covariâncias, são obtidos por uma regressão não-linear disponível em Matlab®, que utiliza o algoritmo de mínimos quadrados de Levenberg-Marquardt (Seber e Wild, 2003). Mesmo procedimento foi utilizado para integrar o volume do reservatório, seguindo a equação potencial abaixo:

$$V = c \cdot h^d \quad \text{Eq.2}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da batimetria realizada em 2010 e os valores da CAV de projeto estão dispostos na Figura 3. Posteriormente, os dados foram inseridos em uma planilha para geração do gráfico da CAV (Figura 4).

COTA	BATIMETRIA		PROJETO		DIFERENÇA (%)	
	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	ÁREA (m <sup>2</sup> )	VOLUME (m <sup>3</sup> )	ÁREA	VOLUME
70,11	0	0	---	---	---	---
70,50	29	4	---	---	---	---
71,00	130	42	---	---	---	---
71,50	266	139	---	---	---	---
72,00	1.380	451	---	---	---	---
72,50	6.788	2.302	---	---	---	---
73,00	14.755	7.525	---	---	---	---
73,50	25.296	17.498	---	---	---	---
74,00	38.284	33.226	0	0	---	---
74,50	57.622	56.945	75.000	110.000	23,17%	48,23%
75,00	83.256	91.854	150.000	220.000	44,50%	58,25%
75,50	122.041	142.896	225.000	330.000	45,76%	56,70%
76,00	170.293	215.445	300.000	440.000	43,24%	51,04%
76,50	237.209	317.230	437.500	727.500	45,78%	56,39%
77,00	325.991	457.688	575.000	1.015.000	43,31%	54,91%
77,50	439.016	648.048	712.500	1.302.500	38,38%	50,25%
78,00	597.407	902.924	850.000	1.590.000	29,72%	43,21%
78,50	785.649	1.251.872	1.087.500	2.252.500	27,76%	44,42%
79,00	996.959	1.703.196	1.325.000	2.915.000	24,76%	41,57%
79,50	1.248.932	2.265.118	1.562.500	3.577.500	20,07%	36,68%
80,00	1.547.852	2.967.691	1.800.000	4.240.000	14,01%	30,01%
80,50	1.882.235	3.832.218	2.162.500	5.502.500	12,96%	30,35%
81,00	2.210.786	4.861.276	2.525.000	6.765.000	12,44%	28,14%
81,50	2.552.062	6.056.576	2.887.500	8.027.500	11,62%	24,55%
82,00	2.884.179	7.419.856	3.250.000	9.290.000	11,26%	20,13%
82,50	3.216.657	8.948.893	3.537.500	11.202.500	9,07%	20,12%
83,00	3.539.679	10.644.130	3.825.000	13.115.000	7,46%	18,84%
83,50	3.839.680	12.492.266	4.112.500	15.027.500	6,63%	16,87%
84,00	4.131.582	14.486.369	4.400.000	16.940.000	6,10%	14,48%
84,50	4.428.226	16.629.233	4.705.000	19.445.000	5,88%	14,48%
85,00	4.743.063	18.925.025	5.010.000	21.950.000	5,33%	13,78%
85,50	5.056.324	21.390.115	5.315.000	24.455.000	4,87%	12,53%
86,00	5.357.069	23.986.228	5.620.000	26.960.000	4,68%	11,03%
86,50	5.673.474	26.742.334	5.915.000	30.067.500	4,08%	11,06%
87,00	6.004.637	29.664.094	6.210.000	33.175.000	3,31%	10,58%
87,50	6.347.273	32.754.697	6.505.000	36.282.500	2,42%	9,72%
88,00	6.697.912	36.027.166	6.800.000	39.390.000	1,50%	8,54%
88,50	6.997.302	39.459.667	7.137.500	43.127.500	1,96%	8,50%
89,00	7.330.138	43.044.449	7.475.000	46.865.000	1,94%	8,15%
89,50	7.581.497	46.773.798	7.812.500	50.602.500	2,96%	7,57%
90,00	7.826.457	50.625.833	8.150.000	54.340.000	3,97%	6,84%
90,11	7.880.199	51.489.700	8.224.251	55.310.756	4,18%	6,91%
90,50	8.220.000	54.700.000	8.487.500	58.752.500	3,15%	6,90%
91,00	8.500.000	59.000.000	8.825.000	63.165.000	3,68%	6,59%
91,50	8.800.000	63.300.000	9.162.500	67.577.504	3,96%	6,33%
92,00	9.070.000	67.700.000	9.500.000	71.990.000	4,53%	5,96%
92,50	9.350.000	72.200.000	9.875.000	77.115.000	5,32%	6,37%
93,00	9.600.000	77.000.000	10.250.000	82.240.000	6,34%	6,37%
93,50	9.850.000	82.000.000	10.625.000	87.365.000	7,29%	6,14%
94,00	10.080.000	86.700.000	11.000.000	92.490.000	8,36%	6,26%
94,50	10.280.000	91.900.000	11.940.000	98.460.000	13,90%	6,66%
95,00	10.490.000	96.800.000	12.880.000	104.430.000	18,56%	7,31%

Figura 03 - Variação entre os valores de área (m<sup>2</sup>) e volume de água (m<sup>3</sup>) aferidos na batimetria e valores contidos na CAV de projeto do reservatório.

Fonte: COGERH, 2010.

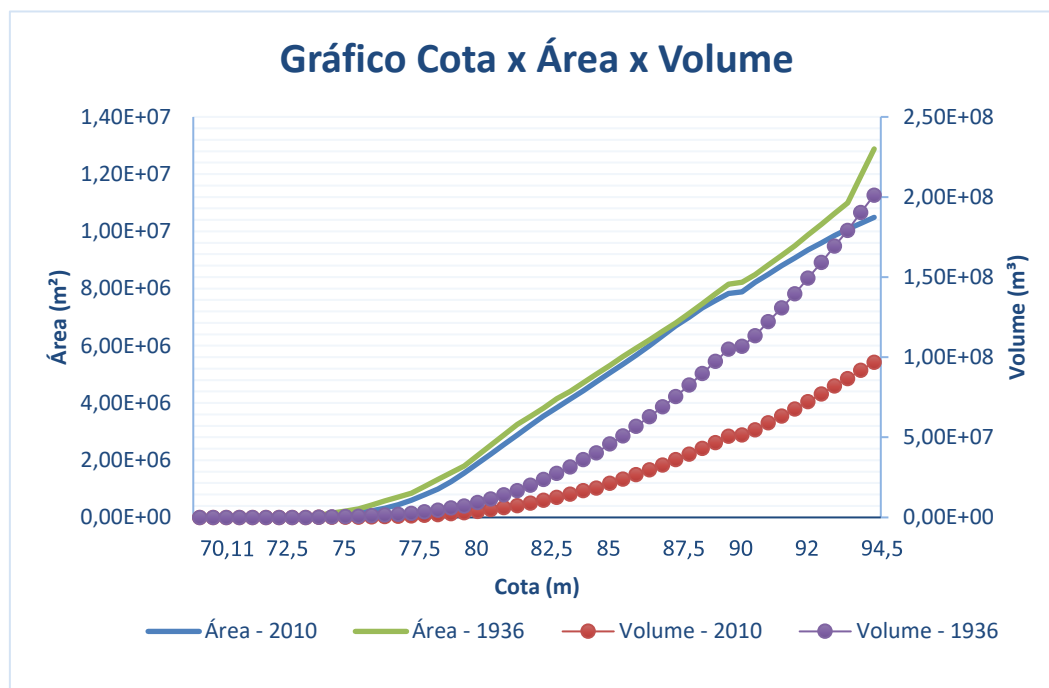


Figura 04. Gráfico Cota x Área x Volume.

O reservatório Ayres de Sousa, conforme batimetria, recebeu o aporte de material transportado reduzindo sua capacidade de armazenamento de 104.430.000 m<sup>3</sup> para 96.800.000 m<sup>3</sup>, ou seja, houve uma redução de 7,30% da sua capacidade, em 74 anos, correspondendo a uma taxa média de assoreamento de 1% a cada década.

Tais dados divergem dos resultados observados por Araújo e Medeiros (2013), que apontam uma taxa média de 2% de redução na capacidade de armazenamento de água dos reservatórios cearenses a cada 10 anos. Lima (2010) avaliando o assoreamento do açude Boqueirão na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, Ceará verificou uma redução de 4,5% da capacidade de retenção hídrica desde a construção do açude (1934), equivalendo a uma taxa média de assoreamento de 0,6% por década.

A taxa de assoreamento na bacia hidráulica do reservatório está relacionada com a intensidade e quantidade de precipitações e uso e ocupação dos solos na área. Os dados da curva cota x área demonstram que a concentração de sedimentos está localizada no talvegue e nas margens do reservatório. As maiores reduções do volume do açude foram encontradas nas áreas mais profundas do reservatório, entre as cotas 74,5 e 79 m.

Os resultados das equações de curva cota x área e cota x volume da batimetria de 2010 e do projeto de concepção do açude em 1936 estão dispostos na Tabela 01.

Tabela 01. Parâmetros das curvas cota x área e cota x volume da batimetria de 2010 e do projeto de concepção do açude em 1936.

	1936	2010		1936	2010
<b>Parâmetros</b>	<b>área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>volume (m<sup>3</sup>)</b>
<b>a</b>	157974,11	165634,57	<b>c</b>	2000,00	1000,00
<b>b</b>	1,4253	1,3824	<b>d</b>	3,6151	3,8254

Analisando a Tabela 01, percebeu-se que o assoreamento procurou mudanças significativas nos parâmetros das curvas. Para a equação da curva cota x área, houve um aumento de 4,85% no parâmetro a e uma redução de 3% no parâmetro b. Já para a equação da curva cota x volume, houve uma redução do parâmetro c de 50% e um aumento de 5,8% do parâmetro d. Isso significa que o assoreamento acarretou a variações mais drásticas na equação da curva cota x volume do que na equação curva cota x área.

## CONCLUSÃO

A CAV gerada na batimetria mostrou que o reservatório modificou a sua geometria, principalmente nas regiões mais profundas. Essa mudança pode trazer impactos no balanço hídrico do manancial, intensificando assim os valores de perdas naturais de água, como o da evaporação. O principal impacto causado pela alteração no balanço hídrico é a redução na disponibilidade de água para as demandas instaladas no reservatório. Outra, consequência em termos de qualidade de água, é o aumento da turbidez, que poderá afetar a distribuição da luminosidade na coluna d'água, acarretando distúrbios limnológicos.

Há fortes indícios de que a degradação da vegetação no entorno da bacia hidráulica do reservatório para o estabelecimento da agropecuária, seja um dos principais fatores responsáveis pela descarga de sedimentos no açude.

Em termos operacionais, a batimetria se mostrou uma ferramenta indispensável na avaliação do processo de assoreamento em reservatórios. Deste modo, o monitoramento do volume armazenado deverá ser praticado frequentemente por órgãos gestores de recursos hídricos, com objetivo de promover ações mitigadoras destes impactos, assim como promover a sustentabilidade das atividades instaladas na bacia hidráulica do manancial.

A taxa de assoreamento na bacia hidráulica do reservatório está relacionada com a intensidade e quantidade de precipitações e uso e ocupação dos solos na área. Os dados da cota x volume demonstram que a concentração de sedimentos está localizada no talvegue e margens do reservatório. Neste caso, uma das medidas mitigadoras a serem tomadas para atenuar os efeitos na descarga de sedimento seria a recomposição da mata ciliar e o disciplinamento do uso e ocupação do solo, de modo a promover o manejo adequado do solo na região.

## AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), pelo fornecimento dos dados batimétricos do reservatório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABRAL, JOÃO BATISTA PEREIRA et al. Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos-Goiás/Brasil para o período de 1971 a 2000. **GeoFocus**, v. 5, p. 1-18, 2005.

CEARÁ. Josefa Marciana B. de França. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Org.). **INVENTÁRIO AMBIENTAL DO AÇUDE AYRES DE SOUZA: Fatores Condicionantes da Qualidade das Águas**. Fortaleza: Cogeh, 2010. 48 p.

COLLISCHONN, Bruno; CLARKE, Robin Thomas. Estimation and uncertainty of remote-sensing-based Depth-Area-Volume (DAV) relationships. **RBRH**, v. 21, n. 4, p. 719-727, 2016.

DE ARAÚJO, JOSÉ CARLOS; GÜNTNER, ANDREAS; BRONSTERT, Axel. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006.

DE ARAÚJO, J. C.; MEDEIROS, P. H. A. Impact of dense reservoir networks on water resources in semiarid environments. **Australian Journal of Water Resources**, v. 17, n. 1, p. 87-100, 2013.

IPECE. **PERFIL BÁSICO MUNICIPAL 2016 SOBRAL**. 2016. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 15 jun. 2017.

LIMA, Yuri Castro Ponciano (2010). Análise do assoreamento de um pequeno reservatório. Estudo de caso do Açude Boqueirão, Aiuaba, Ceará. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MOLLE, F.; CADIER, E. Manual do pequeno açude. Recife: SUDENEDPG-PRN,DPP-WR, 1992. 525 p. Anexos.

SAUNITI, R.M.; FERNANDES, L.A.; BITTENCOURT, A.D.L. Estudo do assoreamento do reservatório da Barragem do rio Passaúna - Curitiba – PR. *Boletim Paranaense de Geociências*, vol. 54, p. 65-82, 2014.

SEBER, G.; WILD, C. Nonlinear regression. Hoboken: WileyInterscience, 2003.

TOLEDO, C. E.; ARAÚJO, J. C.; ALMEIDA, C. L. The use of remote-sensing techniques to monitor dense reservoir networks in the Brazilian semiarid region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 10, p. 3683-3699, 2014. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2014.915593>.