

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE COMPARATIVA DAS FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO PE3D E SRTM NA AVALIAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE PERNAMBUCO

*Thaise Suanne Guimarães Ferreira¹; Maria Alice Britto Feitoza²; Hellen Xavier Tavares
Vasconcelos³; José Almir Cirilo⁴ & Sabrina da Silva Corrêa⁵.*

RESUMO – O processo de assoreamento é o principal problema que afeta os reservatórios implicando na diminuição do volume de água utilizável. Além disso, são frequentes os erros de referenciamento altimétrico nos dados oficiais das curvas cota-área-volume. Diante dessa problemática, é importante a reavaliação da real capacidade dos reservatórios, através da utilização de dados atuais, para o melhor planejamento dos recursos hídricos. O presente artigo atualizou as curvas cota-área-volume dos mais importantes reservatórios pernambucanos, utilizando os produtos espaciais de alta resolução disponibilizados pelo Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) em paralelo com o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), de modo a comparar as respectivas ferramentas de geoprocessamento. Quatorze reservatórios foram analisados, sendo o de Serro Azul aquele que apresentou o resultado mais fidedigno. As cotas de referência das barragens de Algodões e Saco II não coincidem com as encontradas a partir dos dados espaciais. Jucazinho apresentou diferença de cerca de 126 e 182 milhões com o PE3D e SRTM, respectivamente, incompatível com apenas a hipótese de assoreamento. Está evidente a redução da capacidade de armazenamento dos reservatórios e a existência de erros nos dados oficiais, e assim a atualização das curvas de acumulação é essencial para o desenvolvimento de planos operacionais mais realistas.

ABSTRACT– The sedimentation process is the main problem that affects the reservoirs implying in the decrease of usable water volume. In addition, altimetric reference errors are frequent in the official data of the height-area-volume curves. Faced with this problem, it is important to re-evaluate the actual capacity of the reservoirs, through the use of current data, for better planning of water resources. The present article updated the height-area-volume curves of the most important *Pernambuco* reservoirs, using the high-resolution spatial products made available by the *Pernambuco Three-Dimensional Program* (PE3D) in parallel with the *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). geoprocessing tools. Fourteen reservoirs were analyzed, the *Serro Azul* one being the one that presented the most reliable result. The reference heights of the dams of *Algodões* and *Saco II* do not coincide with those found from the spatial data. *Jucazinho* presented a difference of about 126 and 182 million with PE3D and SRTM, respectively, incompatible with only the sedimentation hypothesis. The reduction of storage capacity of reservoirs and the existence of errors in official data is evident, and thus updating the accumulation curves is essential for the development of more realistic operational plans.

Palavras-Chave – Reservatórios; CAV; Sensoriamento Remoto.

1)Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental na UFPE, (81) 99666-8002, thaisesuanne14@gmail.com

2)Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental na UFPE, (81) 99689-9475, alicebrittof@gmail.com

3)Graduanda em Engenharia Civil na UFPE, (81) 99939-6935, hellen.xtv@gmail.com

4)Professor Titular da UFPE, (81) 2103-9156, almir.cirilo@gmail.com

5) Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental na UFPE, (81) 99740-3800, sabrinna_s.c@hotmail.com

1 - INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural escasso, vital em nosso planeta, e tem sido nas últimas décadas alvo de preocupação global. A precipitação, um constituinte do ciclo hidrológico, possui natureza aleatória, uma vez que manifesta alternância de períodos chuvosos e períodos secos de maneira intensificada, principalmente devido as mudanças climáticas. Estiagens, secas, enxurradas e inundações representam a grande maioria dos desastres naturais ocorridos no Brasil.

Segundo a Agência Nacional de Água (ANA, 2018), dos 5.570 municípios brasileiros, 2.680 (48%) decretaram Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) devido a cheias pelo menos uma vez de 2003 a 2017. Cerca de 89% (2.375) desses municípios localizam-se nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste. Em Pernambuco, na tentativa de controlar tais eventos, foram implantadas diversas barragens (CIRILO *et al.*, 2011).

Além disso, ficou evidente aos órgãos responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos a necessidade de um monitoramento mais aprimorado, eficiente, fácil e barato, como o uso do sensoriamento remoto. As cheias de 2010 e 2011 que atingiram Pernambuco evidenciaram ainda mais essa necessidade para o estado, que resultou no produto Pernambuco Tridimensional (PE3D), consequência do recobrimento e aerofotogramétrico e perfilamento a laser de todo o território, gerando os Modelos Digitais do Terreno e de Elevação (MDT e MDE) e as ortoimagens.

Todos os reservatórios, qualquer que seja sua finalidade, destinação, tamanho e características de operação, estão sujeitos a ter a sua capacidade de armazenamento parcial ou total, tomada pelos sedimentos, proporcionando o processo de assoreamento. Esse fenômeno é o principal problema que afeta os reservatórios, implicando na diminuição do volume de água utilizável (CABRAL, 2005). Em estudo para a bacia do rio Pajeú, em Pernambuco, foi identificada a ocorrência de assoreamento (NASCIMENTO, 2017).

Logo, seja pelo tempo transcorrido desde a sua construção, pelo mau uso do solo ou mesmo pela dificuldade à época de se realizar levantamentos topográficos em grandes extensões, é importante reavaliar, com base nas informações atuais, a real capacidade dos reservatórios, visto que se trata de informação essencial para o planejamento hídrico.

Frente ao panorama exposto, este estudo teve como objetivo a atualização das curvas cota-área-volume dos quatorze maiores reservatórios de Pernambuco (Algodões, Barra do Juá, Carpina, Chapéu, Engenheiro Francisco Sabóia, Entremontes, Goitá, Jucazinho, Pirapama, Prata, Saco II, Serrinha II, Serro Azul e Tapacurá), utilizando dados espaciais de alta resolução, produtos do perfilamento a laser do Pernambuco Tridimensional em comparação com o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Avaliou-se a precisão dos resultados encontrados com utilização dos

Modelos Digitais do Terreno para tais fins ao comparar com as curvas cedidas pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) geradas durante o projeto das barragens, levando em consideração o processo de assoreamento sofrido ao longo do tempo e os possíveis erros existentes nos dados de projeto.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Descrição do local de estudo

Os reservatórios de Algodões, Barra do Juá, Carpina, Chapéu, Engenheiro Francisco Sabóia, Entremontes, Goitá, Jucazinho, Pirapama, Prata, Saco II, Serrinha II, Serro Azul e Tapacurá são os quatorze maiores de Pernambuco em capacidade de armazenamento, sua localização dentro do estado é mostrada na Figura 1. Com capacidades de acumulação variando de 42 a 504 milhões de metros cúbicos de água, nos casos de Engenheiro Francisco Sabóia e Prata, respectivamente, possuem enorme importância para o estado que frequentemente se depara com problemas decorrentes dos fenômenos de secas e cheias. O conjunto de barragens possui usos como irrigação e abastecimento, mostram-se essenciais para o desenvolvimento social e econômico de Pernambuco.

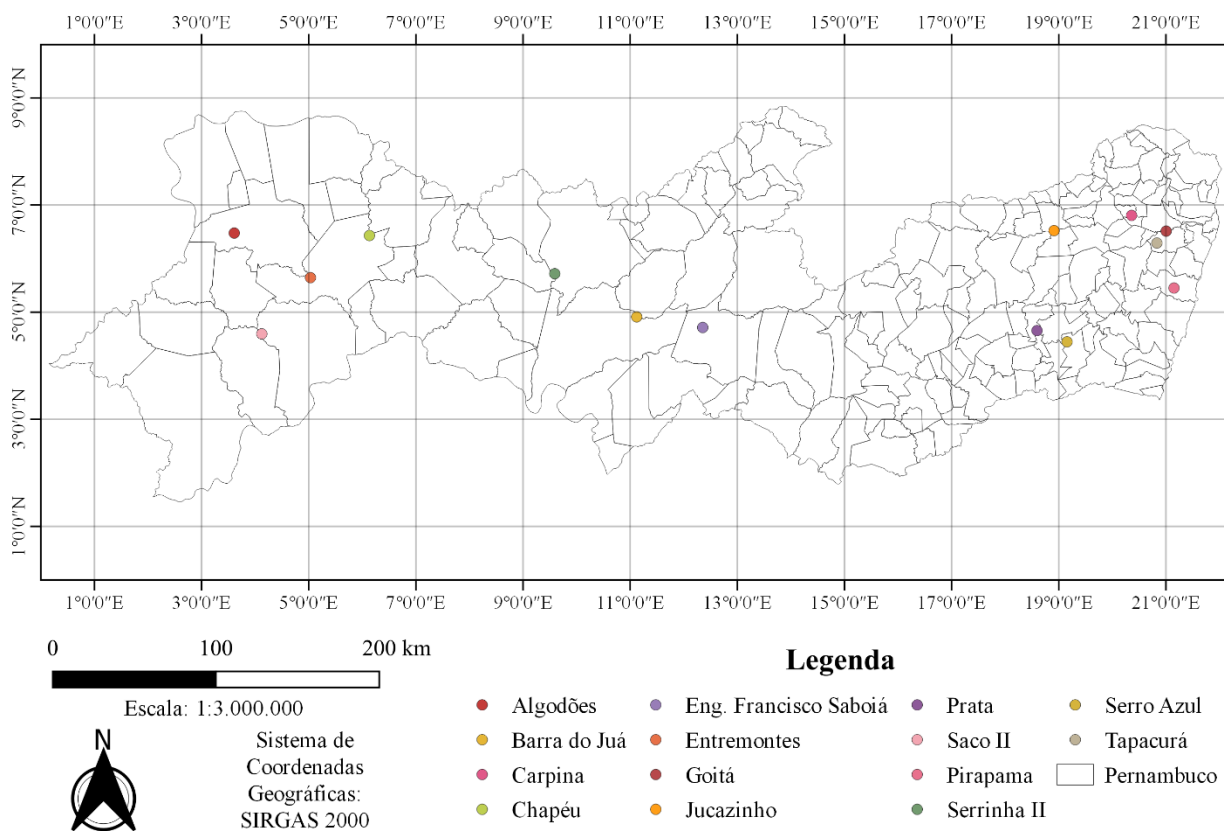


Figura 1 – Mapa de localização das barragens no estado de Pernambuco.

2.2 - Dados espaciais do Pernambuco Tridimensional (PE3D)

O projeto Pernambuco Tridimensional teve seu início a partir da necessidade de informações topográficas das áreas atingidas pelas cheias de 2010 e 2011. Em 2014 foi ampliado para todo o estado, realizando o perfilamento a laser e recobrimento aerofotogramétrico de 98.149 km². Os produtos desse mapeamento são os Modelos Digitais do Terreno (MDT), Modelos Digitais de Elevação (MDE) e as ortoimagens de todo território.

As escalas dos MDT's e MDE's são de 1:5000 em todo estado e 1:1000 nos seus 26 principais municípios, com erros associados de 25 e 10 centímetros, respectivamente. De acordo com o PE3D (2018), o projeto tem enorme potencial de utilização para as intervenções que requerem detalhamento preciso do terreno, como estradas, ferrovias, barragens, sistemas de irrigação, redes de água, esgotos, energia, gás, serviços de mineração e toda a gama de empreendimentos públicos e privados de maior porte.

Os MDT's e as ortoimagens oriundos do PE3D foram utilizados no presente estudo para geração das curvas cota-área-volume dos reservatórios e correção das mesmas baseadas nas lâminas d'água existentes na época do perfilamento, respectivamente.

2.3 - Dados espaciais do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM)

A *Shuttle Radar Topography Mission* foi o resultado da cooperação entre dois órgãos do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*). Surgiu da necessidade de uma base altimétrica global confiável (CIRILO *et al.*, 2014). A missão percorreu a órbita da terra entre os dias 11 e 22 de fevereiro de 2000, coletando os dados de 80% da superfície contida entre as coordenadas de latitude 60° norte e 56° sul.

Os dados disponibilizados pelo governo americano possuem um ponto cotado a cada 90m. E foram estes os dados aplicados no presente estudo.

2.4 - Geração e correção das curvas cota-área-volume

A partir dos modelos digitais do PE3D e SRTM através do Quantum GIS (QGIS) foram geradas as curvas cota-área-volume.

Dentro desse *software* o complemento curvas hipsométricas foi utilizado. Esse complemento utiliza o *raster* do relevo e o *shapefile* da delimitação da área de interesse para calcular o valor da área abrangente para cada cota do *raster*, gerando os resultados de acordo com o intervalo indicado pelo usuário. Os resultados são gerados em uma planilha em uma pasta também indicada. Com os valores de área foi calculado o volume nos intervalos de cada cota. Considerou-se um reservatório

seccionado pelos intervalos de cotas, calculando-se o volume de cada seção considerada como uma superfície trapezoidal. O volume total em cada cota correspondia a soma dos volumes das seções anteriores.

Com o auxílio das ortoimagens obteve-se a cota da lâmina d'água existente no reservatório na época, logo a correção da curva cota-área-volume deu-se a partir dela, já que o perfilamento abaixo desse nível sobre interferência da água e consequentemente não apresenta resultados confiáveis.

Ao final, em todos os reservatórios obteve-se para as duas bases de dados as curvas cota-área-volume em intervalos de 1 metro.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

De posse dos dados obtidos, constatou-se que o reservatório que apresentou os resultados mais fidedignos quanto à capacidade oficial divulgada pela APAC e a calculada pelo PE3D foi o reservatório de Serro Azul, apresentando uma diferença de cerca de 11 milhões de m³. Em contraste, o reservatório de Algodões apresentou uma discrepância de aproximadamente 77 milhões de m³, caracterizando-se como a ajuste menos satisfatório dentre todos, como discutido a posteriori.

A Tabela 1 abaixo indica os quatorze reservatórios que foram pauta do presente estudo, bem como as informações sobre suas respectivas capacidades. Os dados informados pela APAC são os obtidos dos projetos de cada reservatório.

Tabela 1 – Informações de cota, capacidade e municípios dos reservatórios

Reservatório	Capacidade máxima (10 ⁶ m ³)			Relação (%)		
	APAC	PE3D	SRTM	APAC/PE3D	APAC/SRTM	PE3D/SRTM
Algodões	58,48	135,20	94,40	-131%	-61%	30%
Barra do Juá	71,47	38,51	6,77	46%	91%	82%
Carpina	270,00	214,64	206,07	21%	24%	4%
Chapéu	188,00	166,96	75,14	11%	60%	55%
Engenheiro Francisco Saboia	504,00	432,29	266,86	14%	47%	38%
Entremontes	339,33	258,40	193,26	24%	43%	25%
Goitá	52,54	55,62	39,69	-6%	24%	29%
Jucazinho	327,04	201,68	145,03	38%	56%	28%
Pirapama	60,94	*	24,20	-	60%	-
Prata	42,15	47,89	45,98	-14%	-9%	4%
Saco II	123,52	267,78	205,12	-117%	-66%	23%
Serrinha II	311,08	269,79	219,69	13%	29%	19%
Serro Azul	303,12	292,45	263,21	4%	13%	10%
Tapacurá	94,20	86,70	64,65	8%	31%	25%

*O reservatório encontrava-se com volume significativo de água na época do perfilamento.

Para o reservatório de Algodões o primeiro problema verificado é a não coincidência das cotas de referência. Identificado o erro, foi feita correção dos dados oficiais estimando-se a cota mais baixa a partir da base da barragem, por meio da superposição da ortoimagem do PE3D (Figura 2) sobre o relevo gerado pela mesma base. A diferença da cota inicial foi de 41m a menos.

Figura 2 – Ortoimagem do produto PE3D para o reservatório de Algodões



Com a correção da cota mínima a curva cota-volume de Algodões se aproximou daquela gerada com os dados do SRTM, porém com capacidade de acumulação bem inferior aos resultados obtidos com o PE3D (Figura 3).

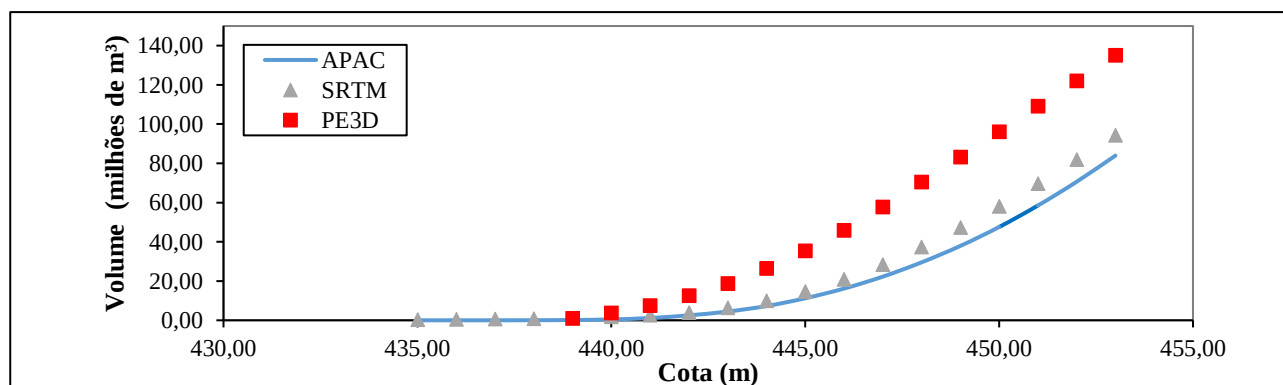


Figura 3 – Curva Cota-Volume para o reservatório de Algodões

De modo análogo, as cotas encontradas pelo MDT para o reservatório de Saco II apresentaram comportamento semelhante ao observado no reservatório de Algodões, gerando uma discordância entre as capacidades oficial e calculada, caracterizando provável erro de avaliação à época do projeto.

Como citado anteriormente, dentre todas as análises comparativas entre as curvas geradas pelo PE3D e SRTM e as curvas da APAC foi o do reservatório de Serro Azul (Figura 4) que apresentou

melhor resultado. Isso se deve ao fato de, na época do perfilamento, a barragem se encontrar em construção, ou seja, com ausência de água no local. Além disso, durante o projeto foram utilizados levantamento com a tecnologia LiDAR anterior ao desenvolvimento do PE3D, justificando, assim, essa aproximação entre os valores calculados e os oficiais fornecidos pela APAC. Os dados SRTM levaram a volumes 10% abaixo dos obtidos a partir do PE3D.

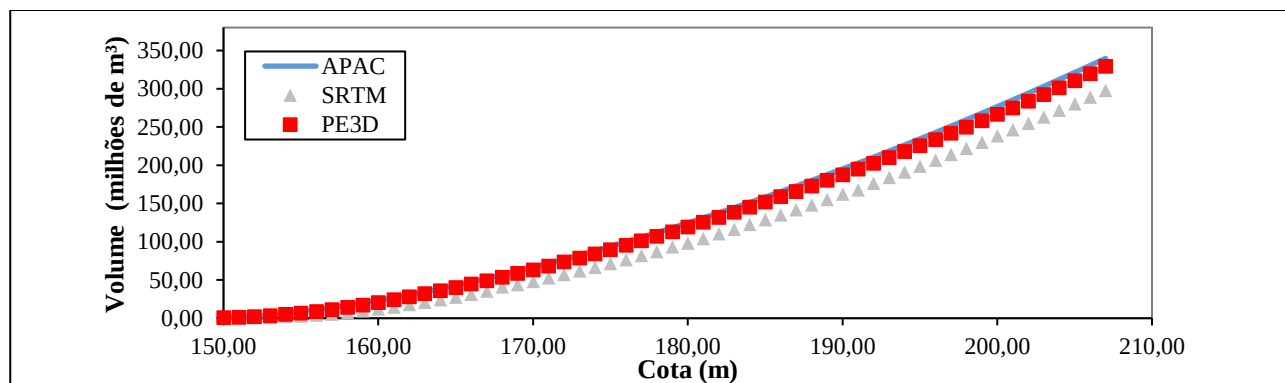


Figura 4 – Curva Cota-Volume para o reservatório de Serro Azul

Por outro lado, para o caso do reservatórios de Pirapama não se conseguiu levantamento consistente a partir dos dados do PE3D para realizar a comparação com o levantamento feito à época do projeto. Nesse caso, a barragem estava com acumulação significativa de água na época do voo (Figuras 50) e assim os resultados não são confiáveis.

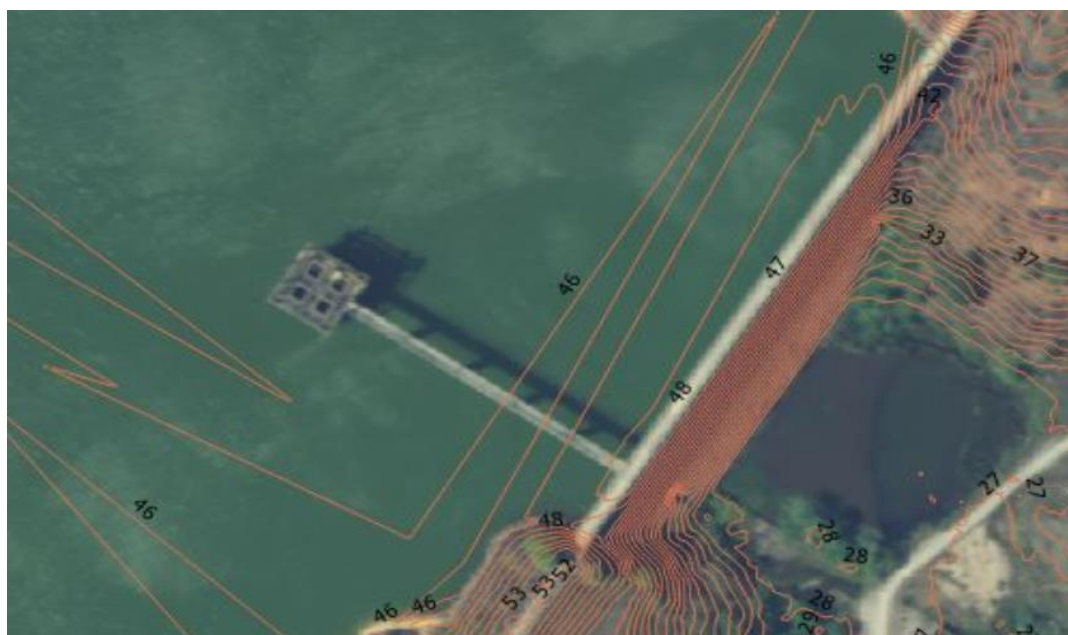


Figura 5 – Ortoimagem do produto PE3D para o reservatório de Pirapama

O caso do reservatório de Jucazinho é emblemático do ponto de vista de erro de informação ou avaliação. Essa barragem, construída pelo DNOCS e que entrou em operação em 1998, tinha registro de capacidade de acumulação de 327 milhões de m³, sendo as curvas referentes a essa

capacidade utilizadas na operação do sistema hídrico por 20 anos. O uso do PE3D a partir de 2017 já registrava grande diferença a menor: verificou-se uma diferença na capacidade de armazenamento de mais de 126 milhões de m³ (Figuras 6 e 7). Atualmente a curva cota-área-volume informada pela APAC registra capacidade da barragem de 204 milhões de m³.

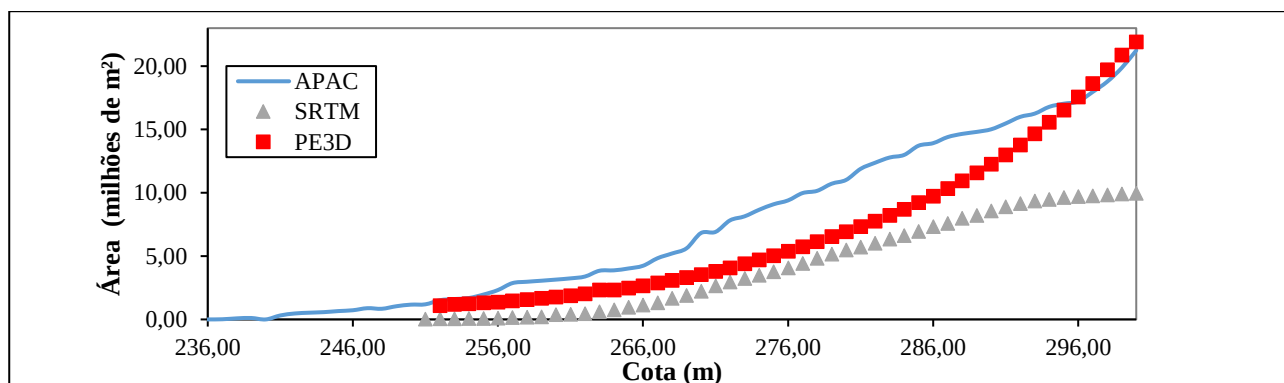


Figura 6 – Curva Cota-Área para o reservatório de Jucazinho

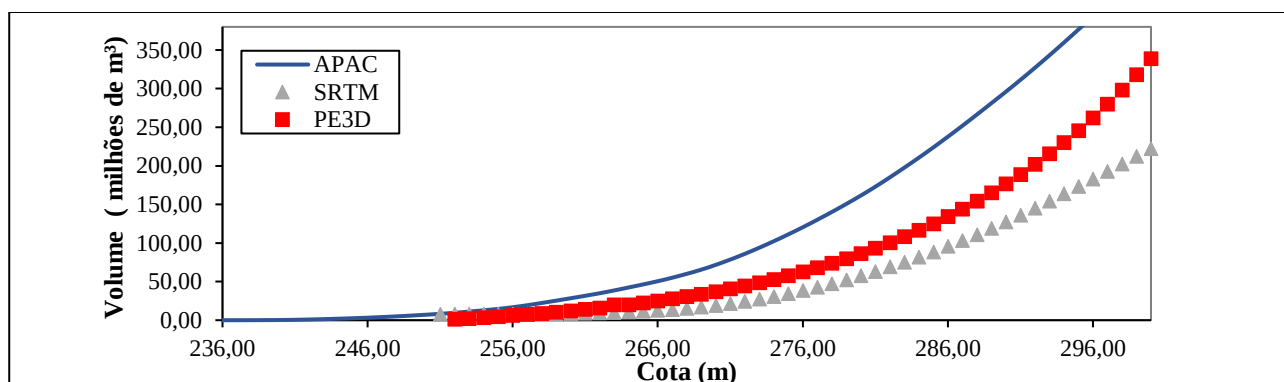


Figura 7 – Curva Cota-Volume para o reservatório de Jucazinho

Para o restante das barragens, onde houve diminuição da capacidade se poderia em princípio creditar as diferenças a possível assoreamento desses reservatórios. No entanto, como em outras se verifica aumento da capacidade de acumulação, é mais provável que as diferenças sejam devidas às técnicas de avaliação das áreas e volumes com as tecnologias utilizadas. De forma geral os resultados obtidos com a base de dados SRTM levaram a capacidades de acumulação menores que as obtidas com os dados LiDAR.

4 - CONCLUSÕES

Das análises realizadas, são percebidas diferenças significativas entre os dados oficiais sobre a capacidade de acumulação de água nos reservatórios em grande parte dos sistemas hídricos. Isso ocorre em parte por erros na base altimétrica, em função provavelmente da menor qualidade das informações espaciais geradas na época dos projetos ou processamento e divulgação desses

resultados. De forma geral, o uso da base de dados SRTM levou a capacidades de acumulação menores que as obtidas com os dados LiDAR. Os dados obtidos em ambas as bases falharam em alguns casos por conta da acumulação de água nos reservatórios na época dos vãos (SRTM em 2000, LiDAR entre 2013 e 2016), nesses casos não permitindo a comparação com os dados oficiais. Os autores buscam atualmente agregar outras informações, como imagens de satélites, para completar o levantamento nesses reservatórios.

A qualidade do ajuste obtido para o reservatório de Serro Azul, já com tecnologia apropriada, demonstra a importância do PE3D para projetos de infraestrutura no estado de Pernambuco. No caso de reservatórios essa qualidade dos dados é essencial, visto que toda a operação dos mananciais depende dessas informações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FACEPE, CAPES, PROPESQ e FADE pelo apoio à realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANA, Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. (2018). Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos_hidricos/informe_conjuntura_2018.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2019.
- CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ASFORA, M. C.; TORRES FILHO, C. D. O. “Control and flood forecasting in the state of Pernambuco, Brazil: hidrological aspects and actions for reconstruction”. XIVth IWRA World Water Congress, Porto de Galinhas-PE, 2011, pp. 100.
- CIRILO, J. A.; ALVES, F.H.B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. (2014). “Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial”. Revista Brasileira de Geografia Física, 2004, v. 7, pp. 755-763.
- CABRAL, J. B. P. (2005). “ESTUDO DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO EM RESERVATÓRIOS”. Departamento de Geografia da Fundação Educacional de Jataí. Caminhos de Geografia, Fev. 2005.
- PERNAMBUCO. Pernambuco Tridimensional (PE3D). Disponível em: <<http://www.pe3d.pe.gov.br/>>. Acesso em: Out. 2018.
- NASCIMENTO, V. F.; RIBEIRO NETO, A. (2017). “Characterization of reservoirs for water supply in Northeast Brazil using high resolution remote sensing”. RBRH, Porto Alegre , v. 22, e50, 2017 .