



Investigação da Variação Volumétrica de Reservatório de Abastecimento de Água Mediante o Emprego de Diferentes Espaçamentos entre as Linhas Regulares de Sondagem

Investigation of Volumetric Variation from Water Supply Reservoir by using Different Spaces between the Regular Bathymetric Sections

Sérgio da Conceição Alves¹ e Cláudia Pereira Krueger²

¹ Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, Brasil. E-mail: sergioalves@ufpr.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0651-4742>

² Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, Brasil. E-mail: ckrueger@ufpr.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4839-1317>

Recebido: 03.2020 | Aceito: 05.2020

Resumo: O Levantamento Batimétrico (LB) tem como objetivo a determinação e a representação gráfica do relevo topográfico de áreas submersas. O detalhamento dessas superfícies é uma inferência da disposição dos dados batimétricos e da precisão de aquisição destes dentro dos limites especificados para cada equipamento sonar de feixe único. Por conseguinte, a precisão dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) está relacionada a esses preceitos e, consequentemente, infere na precisão volumétrica de reservação. Durante o LB, realizado no pré-reservatório do Passaúna, localizado na região metropolitana de Curitiba-PR, planejou-se o espaçamento entre as Linhas Regulares de Sondagem (LRS) de 15 metros, este, no entanto, foi aumentando de 15 em 15 m até, conforme as orientações vigentes para esses ambientes, alcançar o espaçamento de 300 metros. E para cada conjunto de dados, determinou-se o MDE utilizando os interpoladores *Kriging* (KRG) e *Inverse Distance Weighted* (IDW). Em seguida, determinou-se os resíduos a partir da comparação entre as profundidades sondadas, obtidas nas linhas de verificação, com as profundidades interpoladas, advindas dos MDEs, onde obteve-se um *Root Mean Square* médio de 0,180 m nos MDEs com as LRS espaçadas de 15 até 105 metros gerados com os dados posicionadas com o WS3910 e interpoladas com o IDW. A partir da comparação entre os volumes advindos dos MDEs com o modelo computado com os dados batimétricos com as LRS espaçadas em 15m, obteve-se uma diferença volumétrica abaixo de -4,76% nos MDEs com LRS espaçadas de 30 metros até 180 metros.

Palavras-chave: Levantamento Batimétrico. Modelo Digital de Elevação. Interpoladores.

Abstract: Bathymetry is the study of submerged areas such as lakes, rivers, reservoirs, or oceans floors. Furthermore, its main aim is to represent graphically these areas throughout of digital surface by using measured depths. The detailing of these surfaces is affected by the bathymetric data spatial-distribution and the single-beam echo-sounder standard specifications. Therefore, the Digital Elevation Model (DEM) accuracy is related to these precepts and so infers to the surface-volume precision. During the bathymetric survey, held in the pre-reservoir of Passaúna which is located in the Curitiba's metropolitan region (Brazil), we planned an offset of 15 meters between the Regular Bathymetric Sections (RBS) and, during the post-processing, this offset was increased every 15 meters until reach up to 300 meters. For each dataset, many models were determined by using interpolators such as Kriging method (KRG) and the Inverse Distance Weighted (IDW) and, from them, we computed the residuals by comparing the probed (obtained on the check lines) and the interpolated depths (from DEM). Also, the residuals Root Mean Square (RMS), an average value of 0.18 m was found on DEM generated using the RBS spaced from 15 to 105 meters and interpolated using the IDW method; its bathymetric data was positioned using the single-frequency GPS receptor (WS3910). By comparison between surface-volumes, we found a volumetric discrepancy up to -4.76% on DEM with RBS spaced from 30 meters to 180 meters; as the reference model, we used all surface model generated by using data from RBS spaced in 15 m due to its greatest accuracy.

Keywords: Bathymetry. Digital Elevation Model. Interpolators.

1 INTRODUÇÃO

Nos grandes centros urbanos, devido a sua elevada densidade populacional, exigem uma ampla quantidade de água para o seu abastecimento. A água usada nesse abastecimento normalmente é captada diretamente em rios, poços ou em reservatórios. Tratando-se destes últimos, as empresas responsáveis pela coleta e distribuição desse recurso hídrico são desafiadas a manejá-lo, evitando, de certo modo, a sua falta nas residências. No entanto, é necessário que exista um conhecimento minucioso da capacidade volumétrica do reservatório e principalmente os fatores que afetam essa capacidade de armazenamento. Nesse contexto, o assoreamento é um dos fatores mais preocupantes nesses ambientes, onde a sua origem se dá devido ao aumento da taxa de deposição das partículas em virtude da alteração e redução da velocidade do fluxo de água (CARVALHO, 2008).

Uma das formas para identificar o acúmulo de sedimentos é a realização de Levantamentos Batimétricos (LB), onde envolve técnicas de mensuração que possibilitam a obtenção de profundidades associadas a uma posição na superfície da água (KRUEGER; VEIGA; FAGGION, 2003). A obtenção das profundidades pode ser feita por meio de um sistema sonar, como por exemplo, um ecobatímetro. Este equipamento trabalha com um sistema de feixe acústico, que é transmitido verticalmente por um transdutor instalado na embarcação. O som propaga-se pela coluna d'água até atingir o fundo submerso, parte do som é refletido e outra que retornou ao sistema sonar é registrada (SILVEIRA, 2004). Um sistema que trabalha com transdutor que emite um único feixe é chamado de sistema monofeixe; no caso do transdutor que emite feixe em forma de leque, é conhecido como sistema multifeixe.

Quando o LB é realizado com um sistema monofeixe, o detalhamento da superfície topográfica submersa é uma inferência da disposição dos dados batimétricos e da precisão de aquisição destes dentro dos limites especificados para cada equipamento ecobatimétrico. Por conseguinte, a acurácia do Modelo Digital de Elevação (MDE) está relacionada a esses preceitos e, conseqüentemente, influencia na precisão volumétrica de reservação. Em outras palavras, quanto mais próximas estão as Linhas Regulares de Sondagem (LRS), maior é a acurácia do MDE. Espaçamentos pequenos, segundo Do Carmo (2014), aumentam o custo e grandes diminuem a acurácia do MDE e, conseqüentemente, a determinação volumétrica.

Alguns estudos já foram desenvolvidos em reservatórios usando LB com diferentes focos de investigações. Estigoni (2012), por exemplo, averiguou a influência da quantidade e disposição de dados na modelagem de terrenos aplicada a batimetria em reservatórios de Usinas Hidrelétricas de Energia. O estudo constatou que o aumento do espaçamento entre as seções batimétricas possuía menor influência na região do corpo principal do reservatório que na região dos braços e, que quanto maior o espaçamento entre as seções maior foi o erro associado ao cálculo do volume.

Em 2013, Bihalva (2013) realizou a batimetria de pequenos reservatórios através de metodologia convencional e alternativa. Sendo a convencional usando a trena e alternativa usando aparelho sonar *Garmin Fishfinder 90*. No ano seguinte, Do Carmo (2014) fez comparações entre os métodos de interpolação, o *Kriging* (KRG) e o *Topo to Raster*, para gerar os MDEs a partir da variação do espaçamento entre as LRS, que foram de 20, 40, 80, 160 e 320 metros. O autor empregou o método de posicionamento relativo cinemático em tempo real – *Real Time Kinematic* (RTK) – com um receptor de dupla frequência (L1/ L2) para posicionar a embarcação. A batimetria foi realizada com ecobatímetro de duas frequências, 33 kHz e 210 kHz, e feixes de abertura próximos à vertical. A comparação volumétrica dos MDEs se deu a partir do volume calculado no MDE com LRS espaçadas em 20 metros.

Baseando-se nos estudos anteriores, o presente trabalho procurou analisar a influência do espaçamento na distribuição dos dados batimétricos advindos de um equipamento monofeixe; verificar a influência do posicionador horizontal de frequência única (L1) e de dupla frequência (L1/L2), empregando-se o método absoluto cinemático e; analisar a eficiência dos métodos de interpolação KRG e *Inverse Distance Weighted* (IDW) para a computação dos MDEs e, conseqüentemente, a determinação volumétrica da área de estudo.

2 LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

O termo batimetria é de origem da língua inglesa *Bathmeter* (*batho* + *meter*), do Grego “*βαθύς*” (*Bathus*) + “*μέτρον*” (*metron*), que significa medir profundidade. O objetivo maior de uma batimetria, segundo Krueger; Veiga e Faggion (2003), é a determinação e a representação gráfica do relevo topográfico de áreas submersas, que pode ser expressa cartograficamente pelas linhas isobáticas, as quais são semelhantes às curvas de nível topográficas.

Atualmente a aquisição dos dados batimétricos pode ser feita por meio do método *Light Detection and Ranging* (LIDAR), e. g. Aguiar et al. (2019), ou por um sistema acústico. Este último, por exemplo, usa a velocidade propagação da onda sonora através da coluna d’água para a realização das medições.

A velocidade do som, segundo Simmonds e MacLennan (2005), descreve o movimento dos picos de pressão (frente de ondas) através do meio. Ela varia entre 1450 a 1550 m.s⁻¹ e é dependente da temperatura, pressão ambiente e da salinidade. Um grau Celsius de variação da temperatura, segundo OHI (2005), acarreta numa variação de cerca de 4,5 m.s⁻¹ na velocidade de propagação do som.

Pode-se determinar a velocidade de propagação do som através de um Perfilador de Velocidade de Som (PVS), por um *Conductivity, Temperature, and Depth* (CTD) ou por meio da técnica *bar-ckeck* (OHI, 2005). Desprovido dos equipamentos supracitados, e.g. PVS o CTD, pode-se recorrer a tabelas que correlacionam a temperatura com a salinidade. A Tabela 1 é um exemplo do equipamento *South SDE-28S* e apresenta uma matriz de valores da velocidade do som para várias combinações entre temperatura e salinidade.

Tabela 1 - Valores da Velocidade de Propagação do Som para várias Combinações de Salinidade e Temperatura.

Velocidade de Propagação do Som (m.s ⁻¹)										
Salinidade (permilagem)										
		0 ‰	5 ‰	10 ‰	15 ‰	20 ‰	25 ‰	30 ‰	35 ‰	40 ‰
Temperatura	0 °C	1400	1407	1414	1421	1481	1435	1442	1449	1445
	5 °C	1424	1431	1437	1444	1451	1457	1464	1470	1447
	10 °C	1445	1452	1458	1464	1471	1477	1483	1490	1496
	15 °C	1464	1470	1476	1482	1488	1495	1501	1507	1513
	20 °C	1481	1487	1493	1498	1504	1510	1516	1521	1527
	25 °C	1496	1502	1507	1513	1518	1523	1529	1534	1540
	30 °C	1510	1515	1520	1525	1530	1535	1540	1546	1551
	35 °C	1522	1526	1531	1536	1541	1546	1551	1555	1560
	40 °C	1532	1537	1541	1546	1551	1555	1560	1564	1569

Fonte: Adaptada de *SDE-28 Echo Sounder Operation Manual* (2016).

A velocidade do som é transmitida através da coluna d’água até atingir a superfície submersa, onde o eco refletido por essa superfície é captado pelo receptor, amplificado pelos circuitos eletrônicos e exibidos no *display* do ecobatímetro, os chamados ecogramas. Depois de algum tempo o transmissor emite outro pulso e todo o processo é repetido (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005).

Esse tempo de ida e volta do som (Δt) multiplicado pela velocidade do som (c) é usado para determinar, conforme a Eq. (1), a profundidade da superfície submersa. Observa-se que a profundidade é obtida de forma indireta através do tempo medido pelo equipamento sonar, que está correlacionado com a velocidade do som ao se propagar na coluna d’água.

$$P_{Sondada} = \left(\frac{1}{2}\right) * c * \Delta t \quad (1)$$

Essa profundidade, no entanto, é correlacionada a uma posição horizontal, que é a posição da embarcação obtida por um método de posicionamento, sendo empregado atualmente o posicionamento por satélite artificiais com um receptor/antena instalado na embarcação e levada, por meio de *offsets*, a posição onde está instalado o ecobatímetro.

Os métodos usados para posicionar são diversos e podem ser divididos principalmente em três: método

absoluto, método relativo e método em tempo real (diferencial). O método absoluto pode ser estático e cinemático; o relativo classifica-se em estático, estático rápido, *stop and go* e cinemático; e o diferencial por meio do código ou código suavizado pela onda portadora (e.g. DGPS) ou por meio da fase da onda portadora (RTK). Também se pode ainda considerar esse método de posicionamento em linha de base ou em rede (KRUEGER, 1996).

No LB, no qual a embarcação está em movimento, pode-se empregar o método absoluto cinemático para determinar a sua posição em diferentes instantes. Ou, também, posicioná-la através das correções diferenciais geradas pela estação de referência, que são enviadas em tempo real – no formato RTCM – por meio de um sistema de comunicação, e aplicadas na estação móvel utilizando-se os métodos diferenciais.

2.1 Métodos para a Definição do Afastamento entre Linhas Batimétricas

Inicia-se o planejamento do LB definindo o espaçamento e o posicionamento das LRS. Segundo ANA (2013), estas devem estar dispostas de forma transversal e longitudinal às curvas isobatimétricas do local onde será realizado o LB. As Linhas de Verificação (LV), segundo a mesma norma, devem ter um afastamento recomendado de três vezes o adotado para as LRS. Para definir o afastamento das LRS, Carvalho et al. (2000) sugerem um modelo em função da capacidade de acumulação de água conforme o tipo de reservatório, como exemplificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Afastamento entre as LRS conforme a Escala do Mapa.

Escala do Mapa	Distâncias entre as LRS (m)	Tipo de Reservatório	Observações
1:2000	20	Pequeno - P	Permite o desenho de seções a cada 1,0 cm no mapa
1:5000	50	Médio - M	
1:10000	100	Médio a Grande - MG	
1:20000	200	Grande - G	
1:25000	250	Extra – Grande - EG	

Fonte: Adaptada de Carvalho et al. (2000).

A ANA (2013) apresenta a Eq. (2) para determinar o afastamento entre as LRS para trabalhos com ecobatímetros monofeixe em usinas hidrelétricas. E para os trabalhos em Pequenas Centrais Hidrelétricas a equidistância entre as LRS, no corpo principal do reservatório, deverá ser obtida pela Eq. (3).

$$E_{LRS} = \frac{0,35 A^{0,35}}{D} \tag{2}$$

$$E_{LRS} = \frac{0,1 A^{0,25}}{D} \tag{3}$$

com E_{LRS} a equidistância entre as LRS, em quilômetros; A a área do reservatório em seu nível operacional normal, em hectares; D a extensão do reservatório (corpo principal), em nível operacional normal, em quilômetros.

As equações estabelecidas pela ANA (2013) e o modelo sugerido por Carvalho et al. (2000) dão um valor para o afastamento entre as LRS. Logo, é possível saber o número de LRS ou Número de Seções Topobatimétricas (N_{ST}) a serem executadas no projeto. Nesse sentido, Morris e Fan (1998) apresentam um método, baseado em estudos em 57 reservatórios com áreas entre 30 e 15000 hectares, que permite calcular N_{ST} em função da área do reservatório conforme a Eq. (4).

$$N_{ST} = 2,942A^{0,3652} \tag{4}$$

sendo A a Área do reservatório em hectares.

Logo, dividindo a Eq. (4) pela extensão do corpo principal do reservatório em quilômetros (D), obtém-se o espaçamento entre as LRS, que pode ser observado na Eq. (5).

$$E_{LRS} = \frac{N_{ST}}{D} \tag{5}$$

3 INTERPOLAÇÃO DOS DADOS BATIMÉTRICOS

Batimetria com um sistema monofeixe corrobora na impossibilidade de medição das profundidades de forma contínua para toda a superfície, o qual obriga a utilização de métodos de interpolação para gerar os MDEs. No entanto, estes métodos podem ser determinísticos ou probabilísticos e, segundo Mesquita (2009), os modelos determinísticos fazem previsões a partir de funções matemáticas. Já os modelos probabilísticos, além das funções matemáticas, recorrem também a métodos estatísticos, podendo assim, além de criar superfícies espacialmente contínuas, estimar a incerteza das previsões. O método IDW é um exemplo de um interpolador determinístico, e o método KRG é um interpolador probabilístico.

O método IDW considera que os dados pontuais são ponderados durante a interpolação, pressupondo que os fenômenos mais próximos serão provavelmente mais parecidos do que os mais distantes. Para prever um valor para uma localização sem medição, o IDW usa os valores medidos na vizinhança desse local, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta. De acordo com Mesquita (2009), a superfície interpolada usando o interpolador IDW depende da seleção do expoente (*Power*) e da estratégia de pesquisa da vizinhança.

O KRG é um interpolador relativamente rápido que pode ser exato ou aproximado dependendo do modelo associado à análise do erro relativo à medição. O método depende de modelos matemáticos e estatísticos, assim como da noção de autocorrelação. Esta por sua vez, está relacionada com as relações entre as variáveis – quando não há correlação, é dito que as observações são independentes. Na geoestatística a informação dos locais espaciais permite o cálculo das distâncias entre as observações e modelar a autocorrelação como uma função da distância, essa função é conhecida como semivariograma (JAKOB; YOUNG, 2006)

4 CÁLCULO DO VOLUME

A determinação volumétrica, a partir de um MDE, pode ser feita através de métodos de integração numérica. De acordo com Tanajura (2008), esses métodos consistem em determinar o valor de uma integral definida sob uma função, que nesse caso é definida pela superfície topográfica submersa.

No *software* SURFER, segundo o SURFER (2019), o cálculo do volume se dá através de uma aproximação linear por meio de três métodos principais (Eq. 6 a 11):

- a) Regra do Trapézio

$$A_i = \frac{\Delta x}{2} [G_{i,1} + 2G_{i,2} + 2G_{i,3} + \dots + 2G_{i,col-1} + G_{i,nCol}] \quad (6)$$

$$Volume \approx \frac{\Delta y}{2} [A_1 + 2A_2 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (7)$$

- b) Regra de Simpson

$$A_i = \frac{\Delta x}{3} [G_{i,1} + 4G_{i,2} + 2G_{i,3} + 4G_{i,4} + \dots + 2G_{i,col-1} + G_{i,nCol}] \quad (8)$$

$$Volume \approx \frac{\Delta y}{3} [A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 4A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (9)$$

- c) Regra 3/8 de Simpson

$$A_i = \frac{3\Delta x}{8} [G_{i,1} + 3G_{i,2} + 3G_{i,3} + 4G_{i,4} + \dots + 2G_{i,col-1} + G_{i,nCol}] \quad (10)$$

$$Volume \approx \frac{3\Delta y}{8} [A_1 + 3A_2 + 3A_3 + 2A_3 + \dots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}] \quad (11)$$

com Δx o espaçamento do *grid* entre colunas; Δy o espaçamento do *grid* entre linhas e; $G_{i,1}$ o valor do *grid* na linha i e coluna j .

5 ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS

A diferença entre as profundidades interpolada ($P_{Interpolada}$), que no caso são as profundidades que compõem os MDEs, e as profundidades sondadas ($P_{Sondada}$), que provém do LB por meio das LV, calcula-se as discrepâncias (d_i) e, conseqüentemente, a sua média (\bar{d}) a partir das Eq. (12) e (13), respectivamente.

$$d_i = P_{Interpolada} - P_{Sondada} \quad (12)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad (13)$$

sendo n o número de discrepâncias da amostra.

A Raiz da Média dos Quadrados (ingl. *Root Mean Square* - RMS) é uma quantidade que indica como um conjunto de observações desvia-se da média e pode ser calculada, conforme o *Federal Geographical Data Committee* (1998), através da Eq. (14).

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i)^2}{n}} \quad (14)$$

A análise \bar{d} pode ser estabelecida através de testes de hipóteses, que usualmente trabalham com duas alternativas: uma nula e a outra não. Sendo estas:

$$H_0: \bar{d} = 0, \text{ nula;} \\ H_1: \bar{d} \neq 0, \text{ não nula.}$$

Observações com comportamento não-paramétricos, aplica-se o teste de Wilcoxon. Esse teste de Wilcoxon substitui o teste *t-student* quando as amostras não satisfazem as exigências deste último. A tomada de decisão se aceita a hipótese nula ou não, se deu por meio do valor-P (*P-value*) em relação a um nível de significância α .

- a) se $P \leq \alpha$: A diferença entre as médias é significativamente diferente (rejeitar H_0) e;
- b) se $P > \alpha$: A diferença entre as médias não é significativamente diferente (não deve rejeitar H_0).

O entendimento do Teste de Wilcoxon pode ser visto em detalhes nos trabalhos de Wilcoxon (1945) e Gibbons e Chakraborti (1991).

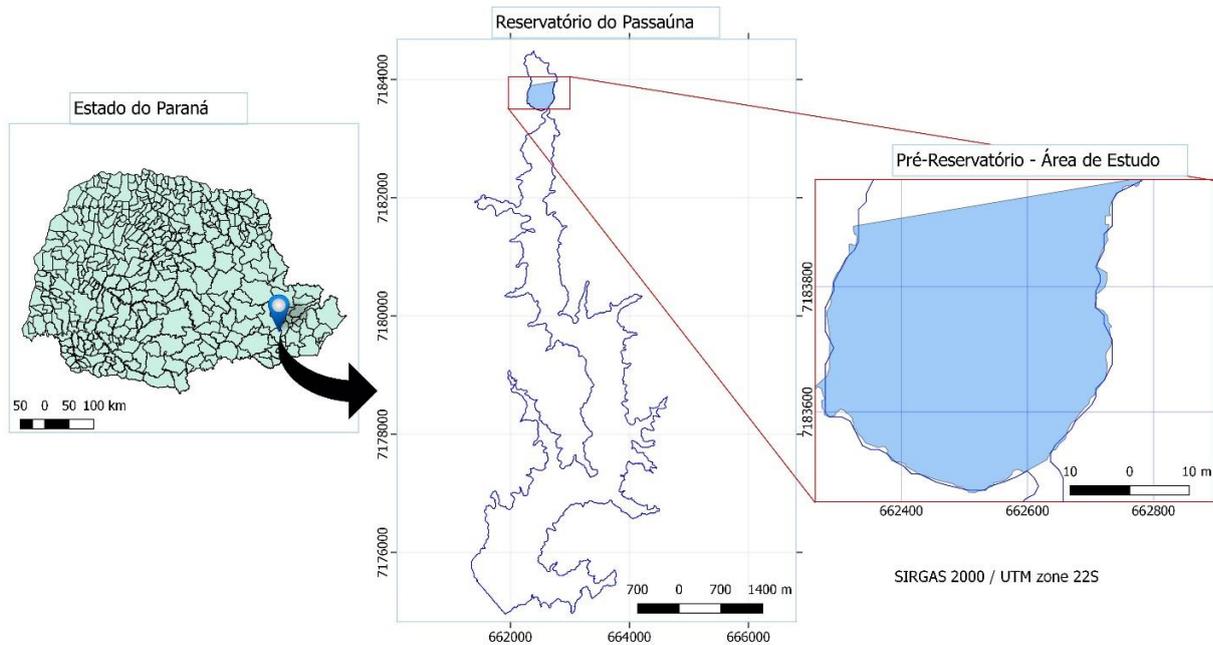
6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Área de Estudo

O LB foi realizado em uma área localizada no pré-reservatório do reservatório do Passaúna, que se encontra dentro da bacia hidrográfica do rio Passaúna, localizado no município de Araucária - PR, próximo ao encontro com o rio Iguaçu. De acordo com Filho (2010), a lâmina da área alagada corresponde a 11 km², com o nível operacional normal a uma cota de 890 m. O nível médio de profundidade do reservatório é de 9,4 m, alcançando até 16 metros em determinados locais; o tempo de residência da água é de aproximadamente dois anos considerando uma vazão de saída de 1,49 m³.s⁻¹.

O Pré-Reservatório do rio do Passaúna tem coordenada central aproximada, no sistema *Universal Transverse Mercator* (UTM), de 662600 E e 7083800 N. A escolha dessa área se deu pelas suas dimensões, visto que foi possível fazer o LB com uma distribuição das linhas batimétricas mais próximas. A área se encontra a montante do reservatório do Passaúna (Figura 1), com uma de extensão de 476,6 m, largura média de 460 m e área aproximada de 17,4 ha.

Figura 1 - Localização da Área onde foi Realizado o Levantamento Batimétrico.



Fonte: Adaptada de SUDERHSA (2002).

6.2 Materiais Utilizados

Os equipamentos usados para o desenvolvimento desta pesquisa foram:

- O ecobatímetro monofeixe, *South* modelo SDE28S, é composto por um transdutor que trabalha na frequência de 200kHz com alcance de 30 cm até 300 metros e abertura angular de sete graus. A precisão para a determinação da profundidade é de $\pm 1\text{cm} \pm 0,1\%$ conforme a altura da lâmina d'água (SOUTH SDE-28S, 2016);
- Um CTD constituído de 6 células para realizar medições de propagação da velocidade do som em colunas d'água de até 100 metros (CASTAWAY-CTD, 2019);
- Um receptor e antena GPS WS3910 de frequência única de 1575,42 MHz, que trabalha no modo absoluto de posicionamento. Equipamento de baixo custo e com capacidade de receber observáveis apenas do GPS. O manual do usuário Wi-Sys Communication Inc. (2019) não especifica a acurácia do equipamento, logo, nos testes realizados no modo estático, obteve-se um RMS no eixo *East* (E) de 1,99 m; 3,361 no eixo *North* (N) e; 0,927 m na altitude geométrica (h). Com isso obteve-se um RMS-2D de 3,906 m e um RMS-3D de 4,015 m;
- O receptor GLONASS+GPS Leica 1200 de dupla frequência (L1/L2) com precisão horizontal de 10 mm+1 ppm e vertical de 20 mm+1 ppm, no modo relativo estático (LEICA GEOSYSTEMS, 2007);
- Uma embarcação *LeveFort Marfim 6* de 6 metros de comprimento, boca máxima de 1,68 m e calado de 0,18 m (CENTRO NÁUTICO, 2019);
- O software QGIS para o planejamento das LRS através do complemento QAD;
- O programa *PowerNav*, programa que acompanha o sistema do ecobatímetro *South SDE 28S*, para sincronizar os dados de profundidade com as informações horizontais do receptor GNSS. Permite acompanhar a navegação e orientação durante o LB e o pós-processamento dos dados batimétricos;
- Uma versão *trial* do software *Surfer 16 Golden Software In.* para gerar o MDE por meio dos interpoladores KRG e IDW;
- E a extensão *Action Stat* (2019) para a realização das análises de normalidade das discrepâncias e testes de hipóteses.

6.3 Metodologia

O desenvolvimento desta pesquisa se deu em três principais etapas: sendo a primeira foi responsável pelo planejamento do LB; a segunda focou-se na aquisição dos dados batimétricos e; a terceira, no processamento dos dados batimétricos.

O planejamento do LB baseou-se, a priori, nas orientações da ANA (2013), pois não há uma norma específica para reservatórios de captação de água. De acordo com Carvalho et al. (2000), sumarizado na Tabela 2, a área de estudo se enquadra melhor como reservatório do tipo pequeno. Partindo desse pressuposto, calculou-se o afastamento entre as LRS empregando-se a Eq. (3). Aplicou-se, também, o método de Morris e Fan (1998) por meio da Eq. (4) para determinar o N_{ST} e, conseqüentemente, o espaçamento entre estas através da Eq. (5).

A Tabela 3 sumariza os valores encontrados para cada método aplicado. Nota-se que o método Carvalho et al. (2000) resultou em um espaçamento de 20 m entre as LRS, 428 m com a ANA (2013) e 57 m usando o método Morris e Fan (1998). No entanto, visando um espaçamento menor que o especificado por Carvalho et al. (2000), optou-se por planejar o LB com um espaçamento de 15 metros. As questões de logística também contribuíram com a escolha deste valor de espaçamento, sendo que, espaçamentos menores, exigiria mais tempo para realizar o LB e seria mais custoso no quesito econômico. Destaca-se que foram realizadas duas batimetrias na mesma área.

Tabela 3 - Espaçamento entre as LRS e o Número de Seções Batimétricas.

Método	Equidistância entre as LRS (m)	Número de Seções Batimétricas
Carvalho et al. (2000)	20	24
ANA (2013)	428	1
Morris e Fan (1998)	57	9
Os autores (2020)	15	32

Fonte: Os autores (2020).

Em relação a equidistância entre as LV, foi definido um fator cinco vezes maior do que o valor adotado para as LRS, cujo espaçamento entre estas ficou com um valor de 75 metros o qual resultou quatro seções batimétricas distribuídas nas regiões laterais e central da área de estudo. A ANA (2013), preconiza que o espaçamento entre as LV seja três vezes maior do que o valor adotado para as LRS. Seguindo esta orientação – como obteve-se um espaçamento de 428 entre as LRS (Tabela 3) – multiplicando-se este valor por três, obteve-se um afastamento de 1284 metros. No entanto, a área de estudo apresenta uma largura menor que esse valor (valor médio de 460 metros), seria possível realizar apenas uma seção batimétrica. Por outro lado, considerando o afastamento das LRS de 15 metros, triplicando esse valor, obteve-se um afastamento de 45 metros entre as LV. Dividindo este valor pela largura do pré-reservatório encontrou-se um valor aproximado de 12 seções batimétricas. Logo, baseando-se nas orientações da ANA (2013) e levando em consideração os critérios logísticos e custo, optou-se por um fator cinco vezes maior do que o valor adotado para as LRS.

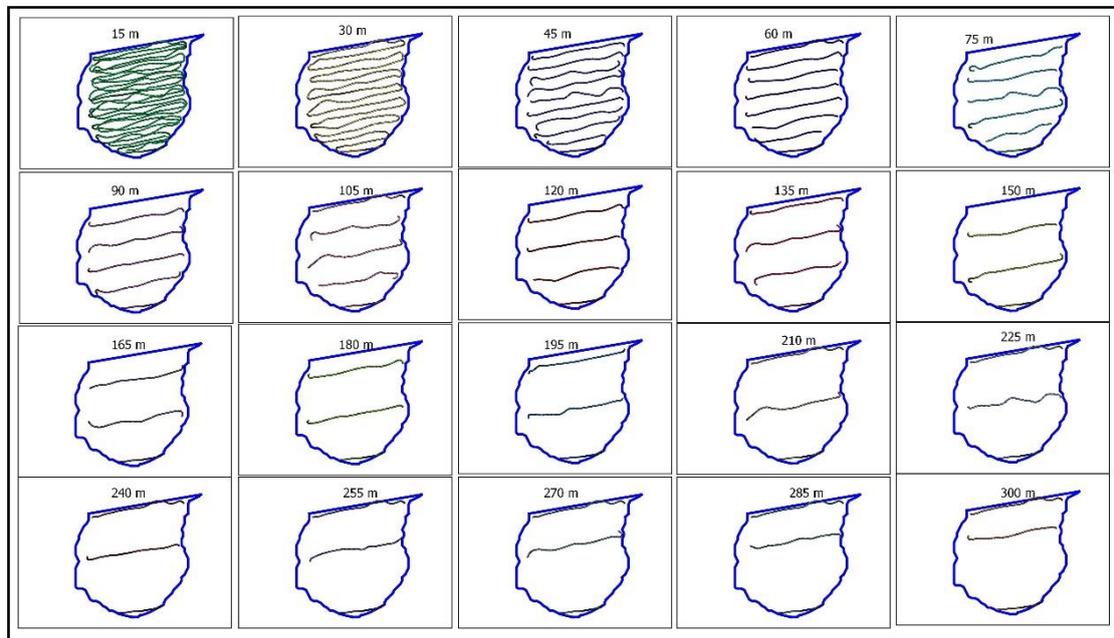
O planejamento e o arranjo das seções batimétricas foram realizados no *software* QGIS por meio do complemento QAD, que tem uma similaridade com as ferramentas de desenho presentes em programas CAD (*Computer-Aided Design*). Essas seções foram lidas no programa *PowerNav*, onde serviram para navegação e orientação durante a aquisição dos dados batimétricos.

A aquisição dos dados batimétricos se deu em duas campanhas: empregando-se o ecobatímetro *South SDE 28S* sincronizado, no primeiro instante, com o receptor GPS WS3910, e, por último, o Leica 1200, acoplados na embarcação *LeveFort Marfim 6.9*. O Leica 1200 é um equipamento RTK, porém, durante a realização da batimetria, teve-se um problema no *link* de comunicação e, infelizmente, não foi possível obter as correções em tempo real. No entanto, para não perder os dados obtidos, o estudo focou-se na análise do posicionamento da embarcação por meio do método cinemático absoluto, empregando-se dois equipamentos: sendo um de frequência única (WS3910) e o outro de dupla frequência (Leica 1200).

A calibragem do ecobatímetro foi feita utilizando o CTD para determinar a velocidade média da propagação do som na coluna d'água do pré-reservatório.

A etapa de processamento iniciou-se no programa *PowerNav*, onde fez-se as correções dos dados batimétricos através da edição dos ecogramas, retirando-se os falsos ecos que foram causados por objetos em suspensão. Em seguida, estes dados foram exportados e reorganizados com espaçamentos múltiplos de 15 metros até alcançar uma distância de 300 metros (Figura 2). Para cada conjunto de dados, tanto quanto os dados posicionados com o WS3910 e o Leica 1200, foi gerado modelos digitais do pré-reservatório empregando-se os interpoladores IDW e o KRG.

Figura 2 - Espaçamento entre as LRS e a Distribuição Espacial dos Dados Batimétricos.



Fonte: Os autores (2020).

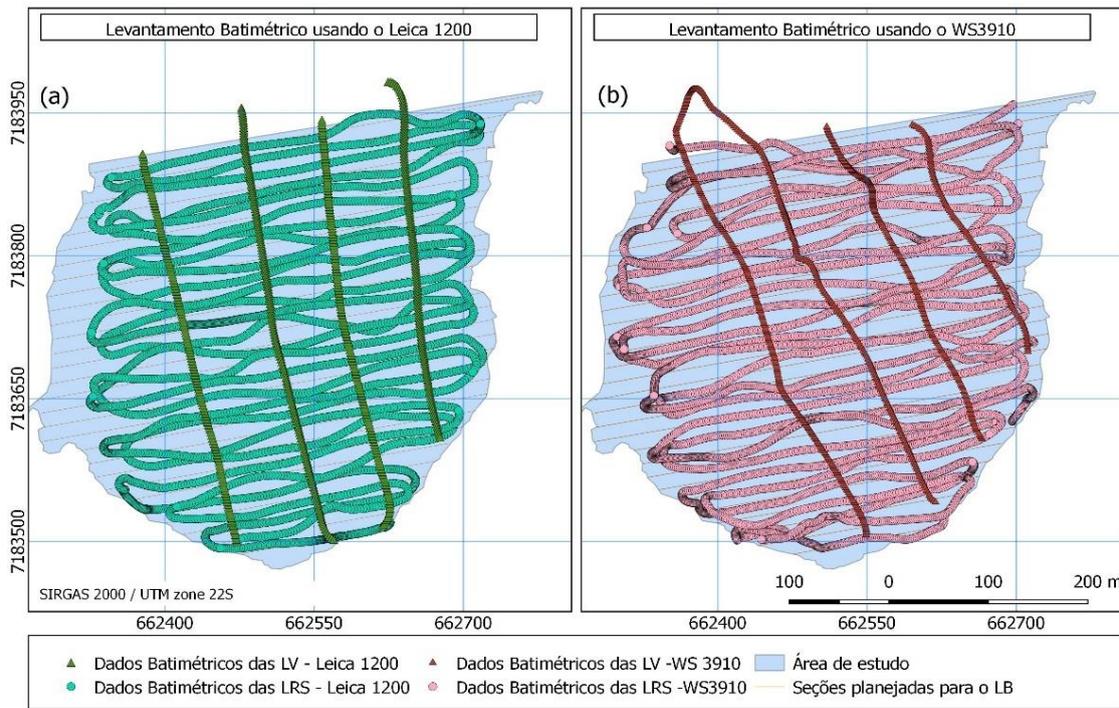
Para cada MDE foi determinado a discrepância (Eq. 12), que permitiu o cálculo dos RMS (Eq. 14) e a variação da média destes por meio dos testes estatísticos, os quais foram escolhidos conforme o seu comportamento de normalidade – *t-student*, caso fosse paramétrico, ao contrário, o teste de Wilcoxon (1945). Empregou-se a extensão *Action Stat* para realizar os testes normalidade das discrepâncias por meio dos testes de hipóteses.

As Eq. (9), (10) e (11) permitiram o cálculo do volume de cada MDE, onde o volume resultante foi média dos três valores. No entanto, a variação volumétrica dos MDEs se deu a partir da comparação dos modelos com o MDE gerado com LRS espaçadas em 15 metros, pois foi o modelo que considerou todas as observações batimétricas.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 mostra o resultado da distribuição espacial dos dados batimétricos obtidos durante as duas campanhas. A Figura 3(a) representa a distribuição dos dados ao longo das LRS e das LV sendo estes geoposicionados com o receptor GNSS Leica 1200, a segunda, Figura 3(b), com o receptor GPS WS3910. Por meio destas figuras pode-se visualizar que se buscou percorrer as mesmas LRS planejadas nos dois LB, no entanto, nota-se que as diferenças entre as linhas planejadas e as executas estão diretamente associadas a imprecisão dos equipamentos empregados no posicionamento, conforme exposto na seção 6.2.

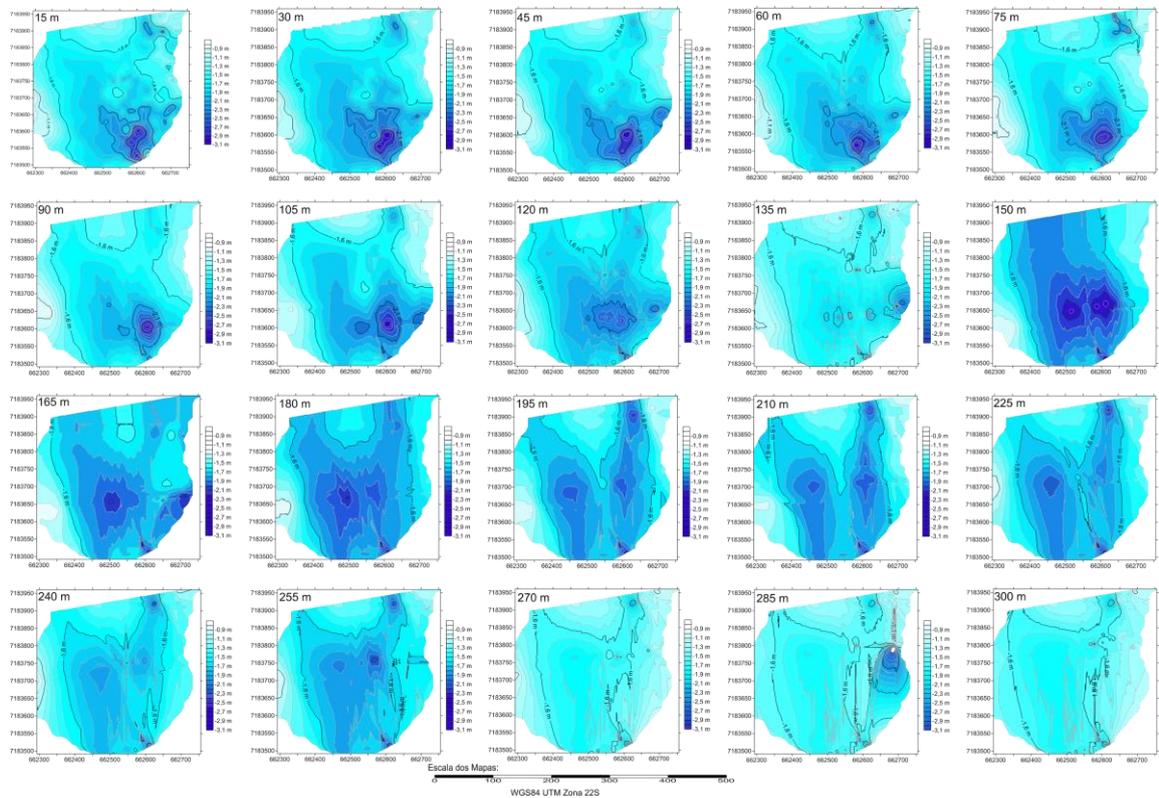
Figura 3 - Distribuição Espacial dos Dados Batimétricos ao Longo das LRS e das LV.



Fonte: Os autores (2020).

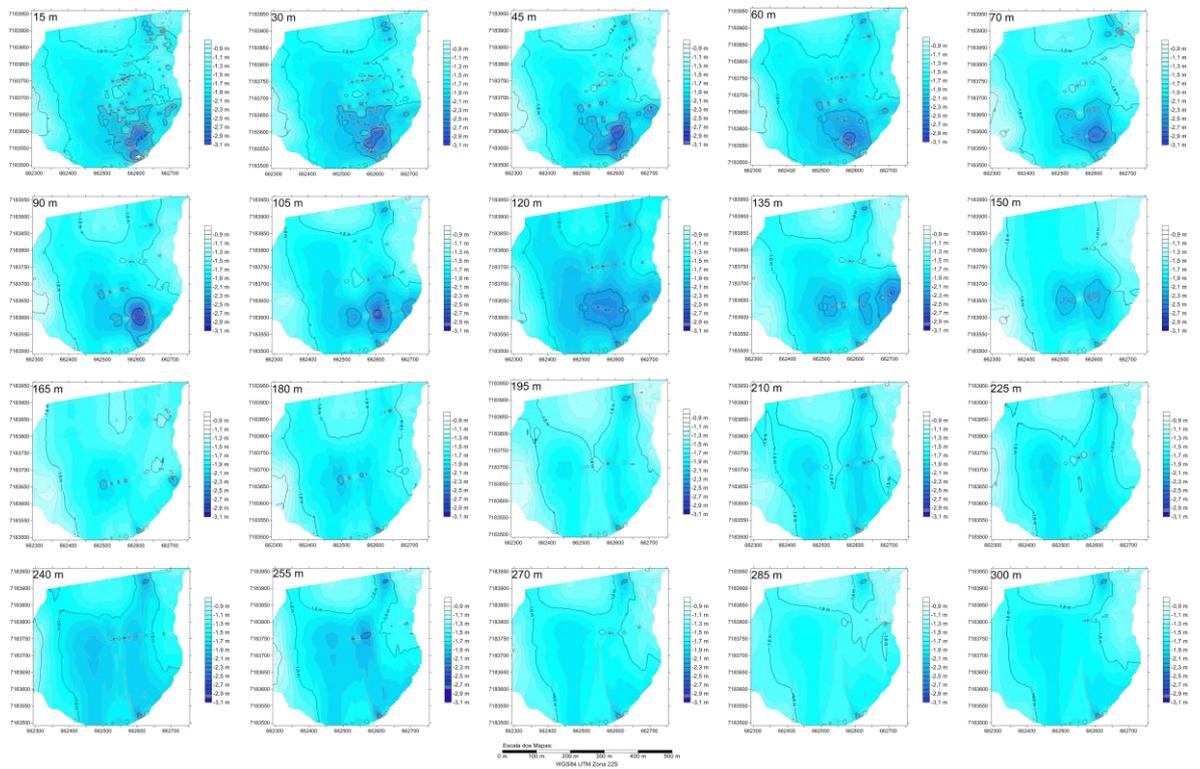
Os dados batimétricos adquiridos nos LB foram pré-processados no *software PowerNav* e, depois, computou-se os 80 MDEs da área em estudo. A Figura 4 exhibe os MDEs gerados com os dados batimétricos posicionados com o WS3910 e interpolados com o KGR e; a Figura 5 apresenta os MDEs interpolados com IDW. Já as Figuras 6 e 7 mostram os MDEs gerados com os dados batimétricos sincronizados com o receptor Leica 1200, a primeira usando o interpolador KRG e a última o IDW.

Figura 4 - MDEs Gerados com os Dados Batimétricos Posicionados com o WS3910 e Interpolados com o KRG.



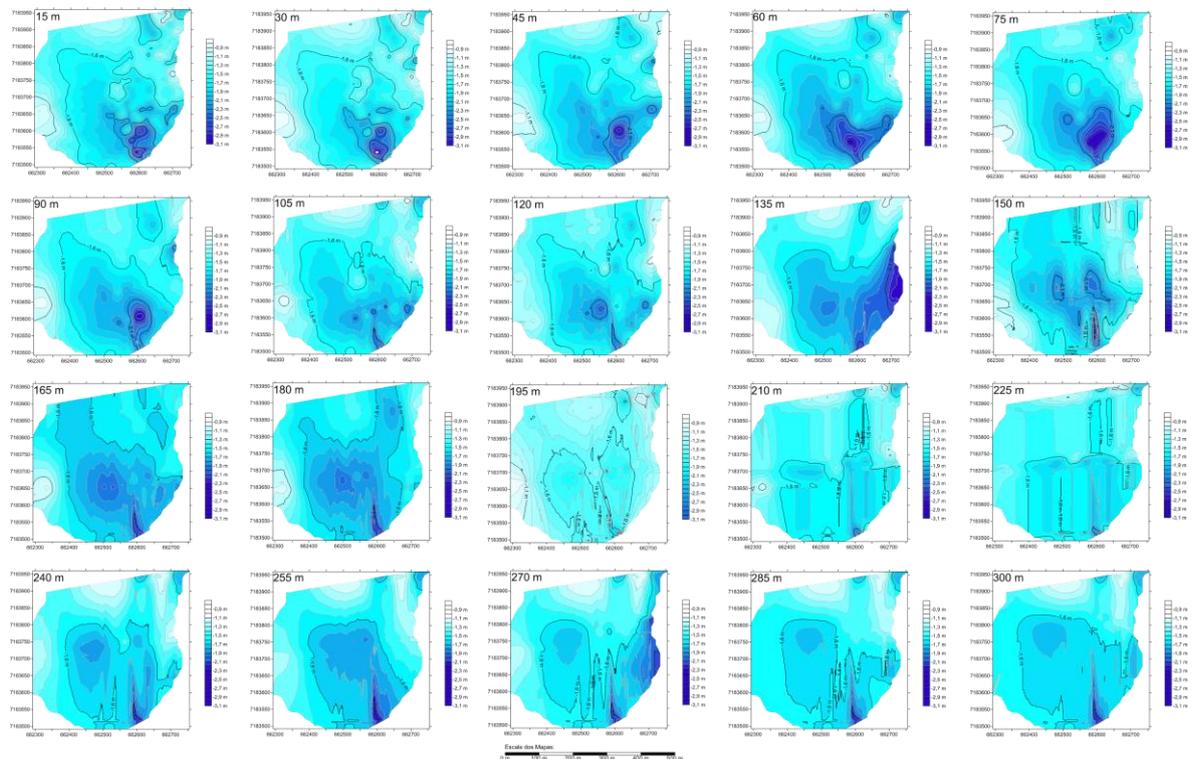
Fonte: Os autores (2020).

Figura 5 - MDEs Gerados com os Dados Batimétricos Posicionados com o WS3910 e Interpolados com o IDW.



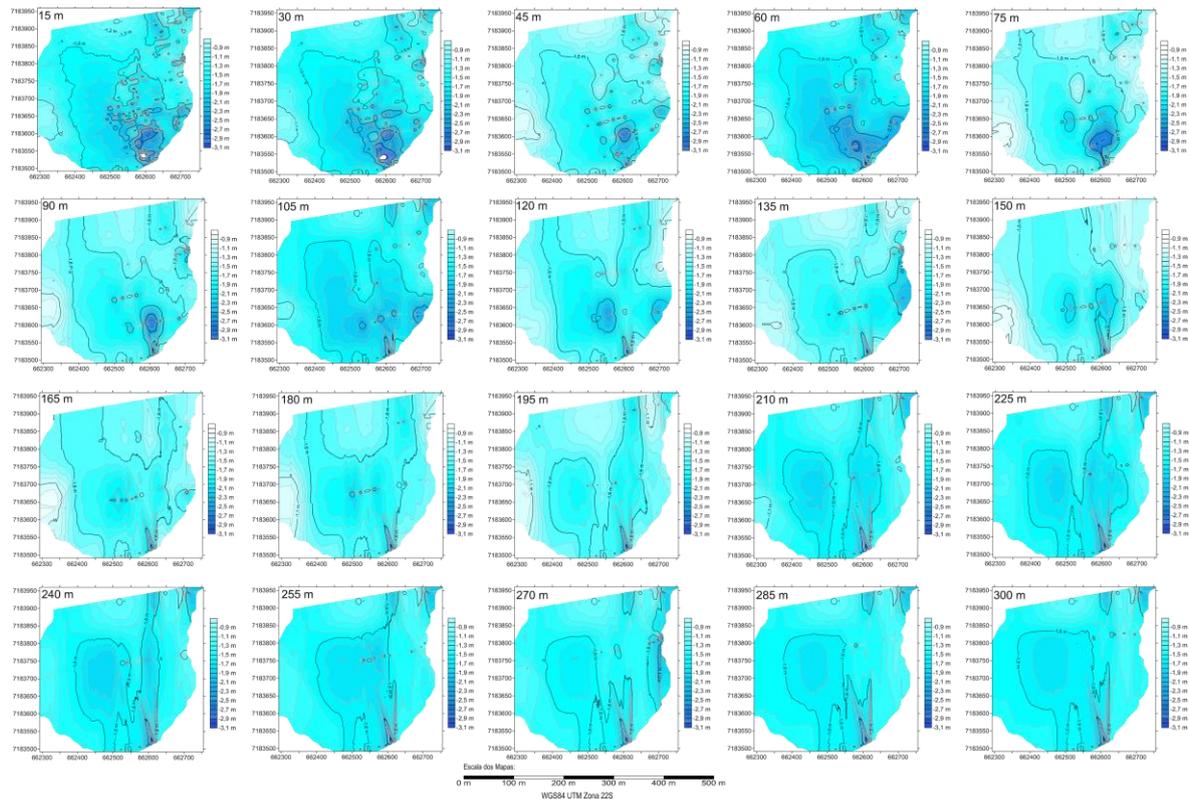
Fonte: Os autores (2020).

Figura 6 - MDEs Gerados com os Dados Batimétricos Posicionados com o Leica 1200 e Interpolados com o KRG.



Fonte: Os autores (2020).

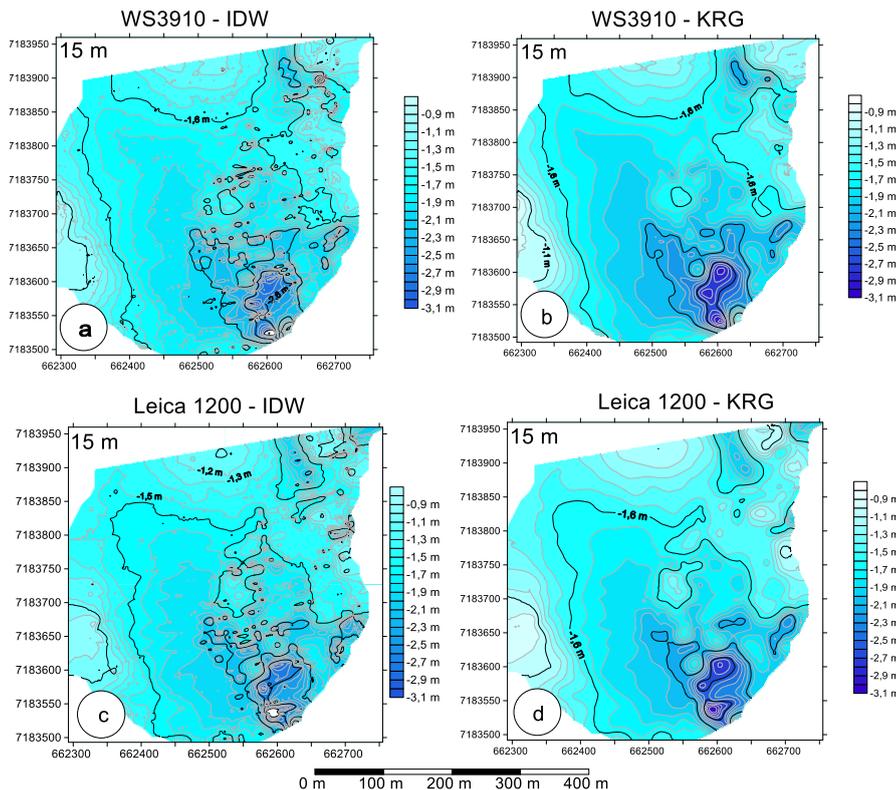
Figura 7 - MDEs Gerados com os Dados Batimétricos Posicionados com o Leica 1200 e Interpolados com o IDW.



Fonte: Os autores (2020).

A Figura 8 destaca os modelos computados com as LRS espaçadas em 15 metros, sendo as Figuras 8 (a) e (b) representam os modelos gerados com os dados posicionados com WS3010 e interpolados com o IDW e o KRG, respectivamente. Já as Figuras 8 (c) e (d) destacam os modelos interpolados com os dados posicionados com Leica 1200 e interpolados com o IDW e o KRG, relativamente.

Figura 8 - Destaque dos Modelos Computados com as LRS Espaçadas em 15 metros.



Fonte: Os autores (2020).

Fazendo uma análise visual dos modelos, nota-se que a caracterização da topografia submersa do modelo advindo do IDW se dá principalmente na vizinhança das observações batimétricas e, primordialmente, na direção das LRS, efeito este conhecido como *bull's eye* e é citado por Nusret e Dug(2012) e Li et al. (2018). Nota-se que este efeito se destaca principalmente nas Figuras 8 (a) e (c), o que não ocorre nos modelos gerados com interpolador KRG, representadas nas Figuras 8 (b) e (d).

Outro aspecto observado nos modelos é a representação da declividade da topografia submersa da área em estudo, com destaque nos modelos com LRS espaçadas de 15, 30, 45, 60 e 75 metros. Por outro lado, os MDEs com LRS espaçadas de 90, 105, 120 e 135 metros, a caracterização das declividades da topografia submersa foi se deteriorando, piorando ainda mais nos modelos com LRS espaçadas de 150 até 300 metros.

Com a diferenciação entre as profundidades dos modelos digitais e as profundidades sondadas ao longo das LV, que estão representadas na Figura 3, obteve-se as discrepâncias (Eq. 12). Estas, no entanto, após o teste de Shapiro e Wilk (1965), verificou-se que o seu comportamento, a um nível de significância de 5%, não seguia uma distribuição normal. Logo, aplicou-se o teste de Wilcoxon (1945) para verificar a sua média, onde constatou-se alguns modelos com valores de P maiores que 5% (Tabela 4), interpretando-se que a média não é significativamente diferente de zero.

Tabela 4 - Análise da Média por meio do Teste de Wilcoxon.

Espaçamento entre as LRS (m)	P-Value (%)			
	WS 3910		Leica 1200	
	IDW	KRG	IDW	KRG
15	20,1	35,8	74,5	69,1
30	92,5	23,6	5,9	2,8
45	5,2	20,6	45,1	28,8
60	59,0	50,4	8,1	33,2
75	2,8	14,6	0,1	0,1
90	17,9	6,9	3,5	76,6
105	74,1	66,6	1,0	0,0
120	64,3	16,9	14,0	20,6
135	7,09E-06	2,13E-05	2,70E-15	0,0
150	5,3	28,9	45,6	97,1
165	47,2	77,4	0,8	0,8
180	4,52E-09	1,58E-10	1,70E-03	2,34E-08
195	3,99E-29	4,83E-29	4,75E-41	5,49E-41
210	3,31E-38	3,85E-38	4,17E-60	1,68E-56
225	2,71E-35	1,48E-36	3,15E-44	1,50E-48
240	1,76E-24	1,21E-30	2,32E-63	8,05E-52
255	2,51E-15	2,12E-20	7,58E-52	3,30E-47
270	3,02E-31	8,94E-39	3,81E-74	2,10E-48
285	1,13E-21	1,81E-03	4,76E-89	1,76E-68
300	9,02E-27	2,16E-37	2,18E-72	1,70E-43

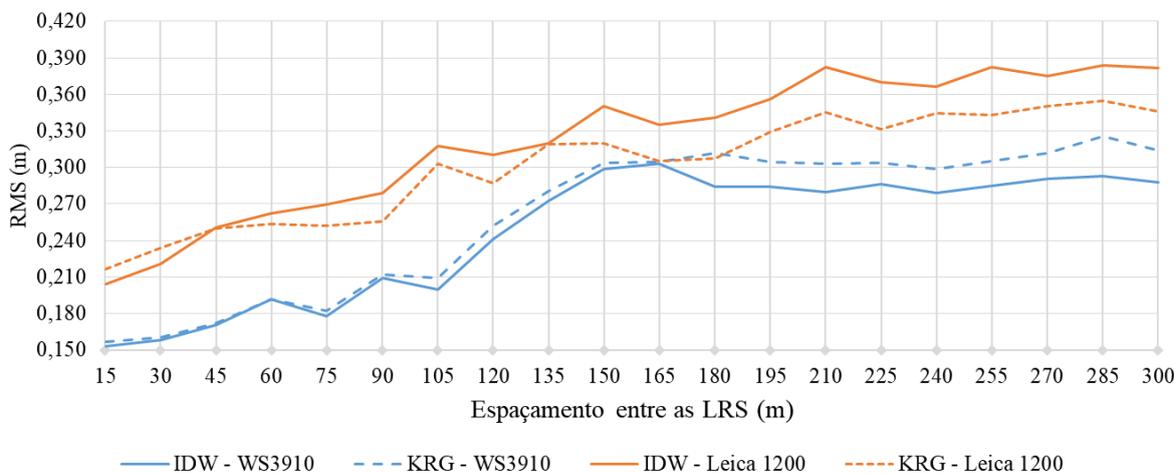
Fonte: Os autores (2020).

Nota-se que ao usar um espaçamento de 15, 45, 60, 120 e 150 metros entre as LRS a análise da média passaram no teste. No entanto, o modelo com LRS distanciadas em 135 metros foi reprovado em todos os testes, supõe-se que seções batimétricas com informações essenciais foram desconsideradas para gerar o modelo. Por outro lado, LRS com distâncias acima de 180 metros, nenhum MDE passou no teste da média, tanto quanto nos modelos posicionados com o WS3910 e o Leica1200. Ressalta-se que os modelos gerados com os dados posicionados com o WS3910 – com exceção os modelos com LRS separadas em 135 m, e os demais espaçadas de 180 m até 300 m – passaram no teste da média dos resíduos. Os modelos interpolados pelo IDW/KRG e gerados com os dados posicionados com o Leica1200 com LRS espaçadas em 75 metros não passaram no teste, assim como o modelo com LRS espaçadas em 105 metros.

A fim de determinar uma medida estatística da magnitude das discrepâncias, calculou-se o RMS (Eq. 13) de cada MDE (Gráfico 1). Nota-se que o RMS das LRS com espaçamento de 15 até 105 metros obteve uma variação média de 0,180 m para os modelos gerados com os dados posicionados com o WS3910 e interpolados com o IDW e 0,183 m nos modelos interpolados com o KRG. Nos modelos computados com os dados posicionados com Leica 1200 e interpolados com o IDW, obteve-se uma variação média nos modelos com o afastamento de 15 a 105 m entre as LRS de 0,258 m e, 0,252 m nos MDEs interpolados com o KRG.

Os valores do RMS dos modelos com LRS de 105 m até o modelo com 165 metros apresentaram um crescimento significativo ao comparar com os modelos com LRS com menor espaçamento. A partir dos 165 metros, os valores ficaram estáveis como pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - RMS das Discrepâncias dos MDEs.



Fonte: Os autores (2020).

A partir da média dos três volumes calculados pelos métodos Regra do Trapézio, Simpson e 3/8 de Simpson obteve-se o volume de preenchimento de cada MDE, esses valores estão sendo exibidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Volume de Preenchimento dos MDEs.

Espaçamento entre as LRS (m)	Volume Calculado (m³)			
	WS 3910		Leica 1200	
	IDW	KRG	IDW	KRG
15	293437,1797	293399,4325	276663,3063	276599,6793
30	290293,0401	290022,6447	278803,6546	278717,5987
45	290113,4678	290233,4044	275439,0871	274658,4314
60	290238,0578	289568,0687	276604,9257	276861,1160
75	295371,8132	294193,9819	280803,4909	281012,5548
90	290477,8934	289586,8936	277126,4430	277280,3390
105	287869,5925	287542,8740	269432,0056	269266,3423
120	291418,1125	289018,3704	275171,4342	275963,9247
135	285929,5746	285990,8849	270760,9410	271251,2248
150	291180,3034	289970,8381	276745,3730	277987,6230
165	292912,9358	292423,2012	270564,4886	272090,7362
180	283685,8590	282054,6915	267742,5666	268910,4322
195	276678,4076	274741,8342	256652,5208	259341,9412
210	274202,4359	272237,6832	255023,7136	256793,9445
225	272843,7710	270397,5679	258849,8111	260470,4223
240	274673,2467	269595,6936	257326,4230	259598,1119
255	279022,3300	274502,6866	256561,5140	259912,6884
270	273859,1927	266639,9375	261239,5078	264714,8410
285	278933,8985	285160,9645	255998,9651	260047,4762
300	277894,9029	269231,4614	260392,0183	265880,1959

Fonte: Os autores (2020).

Os volumes obtidos nos modelos computados com dados posicionados com o WS3910 e o Leica 1200 são diferentes, como observado na Tabela 5, pois as campanhas foram realizadas em épocas distintas e as profundidades sondadas não foram reduzidas a um nível de referência, logo, o volume computado está relacionado ao nível instantâneo da lâmina d'água na época em que foi realizado o LB.

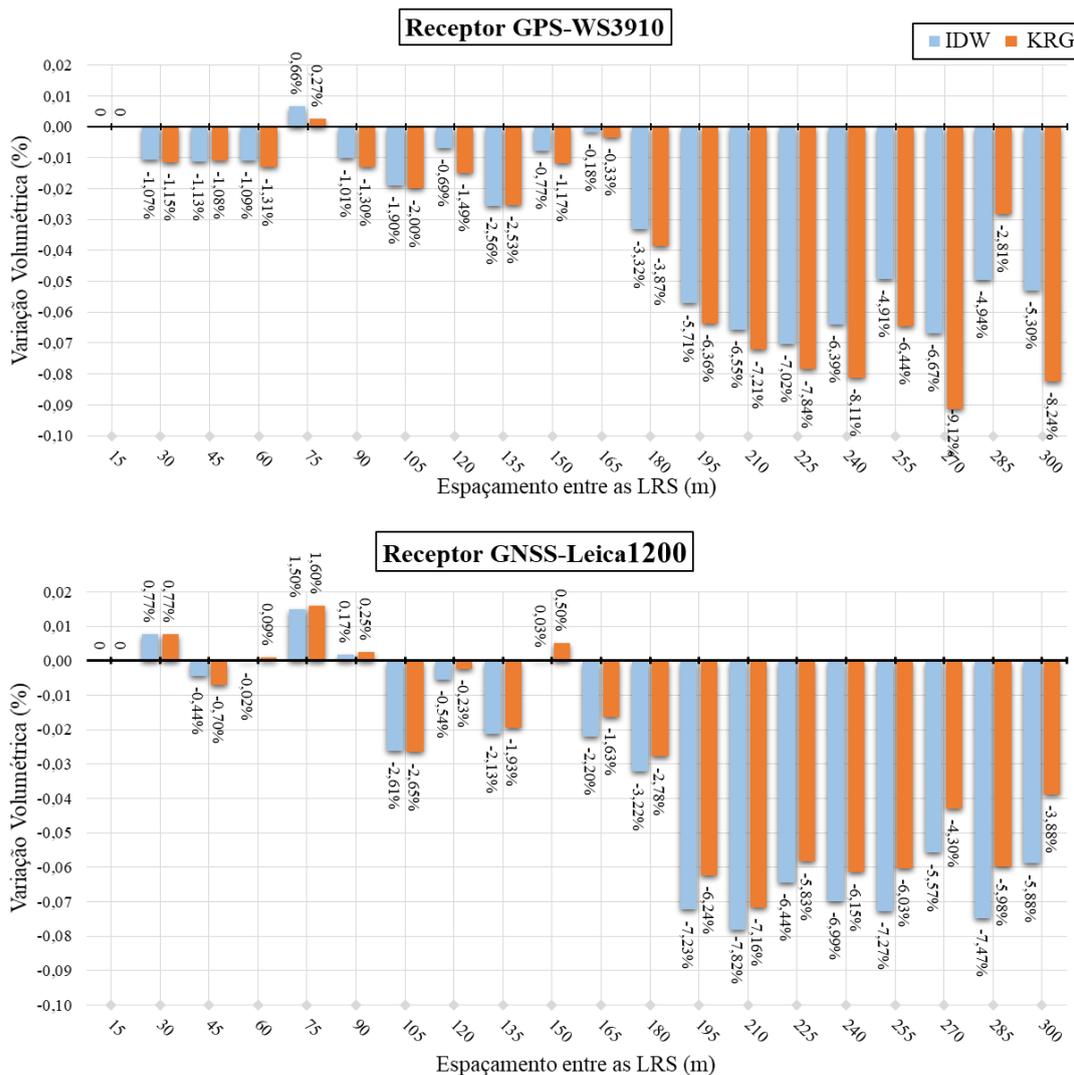
A fim de validar os resultados obtidos neste estudo, realizou-se um LB em um ambiente controlado, onde foi possível comparar o volume de preenchimento dos modelos digitais com o volume de referência, volume este conhecido. Observou-se que a acurácia na determinação do volume do MDE ficou entre -2,74% e -4,76% em relação ao volume real do campo teste, sendo que o valor de -4,76% foi encontrado com o MDE gerado com os dados batimétricos sondados com o ecobatímetro *South SDE 28S*, posicionados com o WS3910,

distribuídos em linhas paralelas e interpolados como o KRG. Com isso, essa discrepância foi considerada como fator limitante para validar os resíduos volumétricos obtidos nos modelos digitais do pré-reservatório.

Contudo, considerando o volume do MDE gerado com os dados batimétricos das LRS espaçadas em 15 m como o valor mais acurado – pois apresentou menor RMS – fez-se a comparação com os demais volumes gerados. A discrepância dos volumes em relação ao modelo mais acurado pode ser observada no Gráfico 2. Nota-se que a diferença entre os MDEs com LRS espaçadas até 180 metros com o volume do modelo com LRS afastadas em 15 m ficou abaixo de 5% e; os modelos com espaçamento entre as LRS de 30 m até 165 m, para os dados posicionados horizontalmente com o WS3910 e Leica1200, a variação máxima foi de 2,53% no modelo gerado com os dados posicionados com WS3910, interpolados com e IDW e com um espaçamento entres as LRS de 135 m.

Em síntese, a discrepância volumétrica dos MDEs em relação ao MDE de referência, os modelos gerados com LRS afastadas em 15 m, aproximou-se a 3,87% no MDE com LRS espaçadas em 180 metros. A partir desse modelo, a discrepância foi aumentando consideravelmente, chegando a um valor máximo de 7,47% no modelo gerado com os dados posicionados com o Leica 1200 em LRS espaçadas em 285 m e interpolados com o KRG. Em seu estudo, Do Carmo (2014), constatou um aumento gradativo nas diferenças entre os volumes quando o espaçamento entre LRS aumenta de 20 a 80 metros e esta diferença decresce a partir de 160 e 320 metros. A diferença nos volumes, determinados com espaçamentos 20 e 40 metros entre as LRS, para a lagoa em estudo, foi menor que 3%.

Gráfico 2 - Variação do Volume em Relação ao Modelo de Referência.



Fonte: Os autores (2020).

8 CONCLUSÕES

O MDE do pré-reservatório do Passaúna possibilitou a identificação da localização das principais depressões do terreno submerso, principalmente nos modelos gerados com LRS espaçadas em 15, 30, 45, 60 e 75 metros. Ao analisar os volumes destes modelos com as LRS espaçadas de 30 metros até 180 metros obteve-se uma acurácia melhor do que -4,76%.

Verificou-se, também, que o espaçamento entre as LRS promulgado pela ANA (2013) para os reservatórios não atendeu às expectativas para a área em estudo – neste caso o espaçamento seria de 428 metros. Por outro lado, os métodos indicados por Carvalho et al. (2000) e Morris e Fan (1998) foram bem promissores, sendo que o primeiro indicava um espaçamento de 20 metros e o segundo de 57 metros entre as LRS. De modo geral, conclui-se que o planejamento do espaçamento entre as LRS pode seguir as orientações de Carvalho et al. (2000) e Morris e Fan (1998) para reservatórios do tipo Pequeno e Médio (Tabela 2). Para reservatórios com dimensões maiores, do tipo Médio-a-Grande, Grande e Extra-Grande, onde sua característica se assemelha a de uma Pequena Central Hidrelétrica, definida pela ANA (2013), recomenda-se o emprego da Eq. (3). Se o reservatório apresentar uma escala muito pequena, extrapolando as definições de Carvalho et al. (2000), indica-se a aplicação da Eq. (2) para definir esse espaçamento.

Os volumes dos modelos gerados a partir do posicionamento da embarcação por diferentes receptores, o Leica1200 e o WS3910, apresentaram comportamentos semelhantes. Em ambos os casos, os MDEs gerados com LRS com espaçamentos acima de 195 metros, constatou-se discrepâncias superior a 6%. Em alguns modelos a discrepância ficou abaixo de 6%, acredita-se que as LRS com profundidades importantes do relevo submerso foram consideradas durante o processo de interpolação do MDE e, conseqüentemente, tornou-se mais acurada a determinação do seu volume.

Em relação aos métodos de interpolação usados para gerar os MDEs – o KRG e o IDW – verificou-se que o interpolador KRG obteve um melhor desempenho na representação da declividade dos modelos sem a ocorrência do efeito *bull's eye* como o ocorrido com o interpolador IDW. No entanto, o interpolador IDW seria uma boa indicação para gerar os MDEs dos reservatórios para captação de água por dispensar a geração de semivariogramas e o conhecimento de geostatística por parte do usuário.

Durante o processo de aquisição de dados batimétricos é importante observar os efeitos de borda devido à proximidade de objetos ao transdutor, o que pode interferir na qualidade das profundidades. Outro fator importante, é a identificação de falsos-ecos durante a filtragem dos dados, decorrentes de objetos em suspensão ou obstáculos submersos, os quais devem ser removidos.

No caso do posicionamento horizontal da embarcação, caso o objetivo do LB seja o cálculo de volume, receptores de simples ou dupla frequência apresentaram resultados semelhantes com os testes realizados com o método cinemático absoluto de posicionamento. No entanto, o WS3910 por ser um equipamento de baixo custo, atenderia tais necessidades. Por outro lado, recomenda-se a realização de testes com Posicionamento em Tempo Real (RTK) para a embarcação durante a determinação da profundidade, visto que poderá haver diferença significativa no cálculo do volume deste modelo quando comparado com aquele gerado pelo posicionamento da embarcação pelo método absoluto.

Agradecimentos

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por fomentar a pesquisa de Mestrado (nº do Proc. 133889/2018-1), o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), a contribuição e a participação da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) no desenvolvimento deste manuscrito.

Contribuição dos Autores

A metodologia foi desenvolvida por todos os autores, sendo o primeiro autor responsável pela aquisição dos dados, processamento, investigação, validação, bem como a redação – revisão e edição (textos, revisão bibliográfica, gráficos e figuras). O segundo autor foi responsável pela análise formal e supervisão do manuscrito.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- ACTION STAT. Manual Action Stat. **Action Stat Portal**. São Carlos, 2019. Disponível em: < <http://www.portalaction.com.br/manual-action-stat> >. Acesso em: 13 jun. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. **Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume**. Brasília, 2003. Disponível em: < http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaAtualizacaoDasCurvas_Cota_Area_Volume_Versao_Dez2013.pdf >. Acesso em: 23 abr. 2020.
- AGUIAR, A.; IANNIRUBERTO, M.; BORGES, W.; ROIG, L.H.; TURQUETTI, G.N.; FRANÇA, P.H. P. Mapeamento topo-batimétrico de reservatório utilizando LIDAR e batimetria no Lago Paranoá – DF. 16TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 2019, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica, 2019. p. 1–4.
- BIHALVA, W. D. de B. **Batimetria de Pequenos Reservatórios através de Metodologia Convencional e Alternativa**. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2008.
- CARVALHO, N. de O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C. .; LIMA, J. E. F. W. . Agência Nacional de Energia Elétrica. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000. Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia_ava_port.pdf >. Acesso em: 25 maio 2020.
- CASTAWAY®-CTD. Products. **Conductivity, Temperature, Depth (CTD)**. San Diego, 2019. Disponível em: <<https://www.sontek.com/castaway-ctd>>. Acesso em: 01 fev. 2020.
- CENTRO NÁUTICO. Barcos, Lanchas e Yachts. **Barco Levefort Marfim 6.0 CLX**. Curitiba, 2019. Disponível em: < <https://www.centronautico.net/> >. Acesso em: 25 mar. 2019.
- DO CARMO, E. J. **Avaliação dos Interpoladores krigagem e Topo to Raster para Geração de Modelos Digitais de Elevação a Partir de Dados Batimétricos**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- ESTIGONI, M. V. **Influência da quantidade e disposição de dados na modelação de terrenos aplicada a batimetria de reservatórios**. Estudos de caso: UHE Três Irmãos – SP e UHE Chavantes – SP. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- FEDERAL GEOGRAPHICAL DATA COMMITTEE (FGDC). **FGDC-STD-007.3-1998**. Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy. Reston, 1998.
- FILHO, L. V. da S. **Qualidade e Percepção Ambiental: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Passaúna**. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- GIBBONS, J. D.; CHAKRABORTI, S. **Nonparametric Statistical Inference**. New York: Marcel Dekker,

1991.

- JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. XV ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 2006, Caxambu. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2006. p. 1-22.
- KRUEGER, C. P. **Investigações Sobre Aplicações de Alta Precisão do GPS no Âmbito Marinho**. 288 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.
- KRUEGER, C. P.; VEIGA, L. A. K.; FAGGION, P. L. Levantamento Batimétrico no Rio Uruguai. XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2003. p. 1-5.
- LEICA GEOSYSTEMS. Manual do Usuário. **Leica GPS1200**. Heerbrugg, 2007. Disponível em < http://www.geoaxis.de/manuals/tps1200/rx1220_user_en.pdf >. Acesso em: 25 maio 2020.
- LI, Z.; WANG, K.; MA, H.; WU, Y. An Adjusted Inverse Distance Weighted Spatial Interpolation Method. 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, INFORMATION MANAGEMENT AND NETWORK SECURITY, 2018, Wuhan. **Annual...** Wuhan: Advances in Computer Science Research, 2018. p. 128-132.
- MATOS, A. J. S. **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional CAV-NH**. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia de São Carlos) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- MESQUITA, S. M. P. **Modelação da Distribuição Espacial da Qualidade do Ar em Lisboa Usando Sistemas de Informação Geográfica**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica) - Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.
- MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir Sedimentation Handbook**. New York: McGraw Hill Professional, 1998.
- NUSRET, D.; DUG, S. Applying the Inverse Distance Weighting and Kriging Methods of the Spatial Interpolation on the Mapping the Annual Precipitation in Bosnia and Herzegovina. 6TH INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL MODELLING AND SOFTWARE, 2012, Leipzig. **Annual...** Leipzig: iEMSs 2012 Proceedings, 2012. p. 2754-2760.
- ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE HIDROGRAFIA (OHI). Manual 1^o Edition. **Manual on hydrography**. Monaco, 2005. Disponível em : < https://iho.int/uploads/user/pubs/cb/c-13/english/C-13_Chapter_1_and_contents.pdf >. Acesso em: 23 abr. 2020.
- SDE-28 ECHO SOUNDER OPERATION MANUAL. Manual do Usuário. **SDE-28 Echo Sounder Operation Manual**. Guangzhou, 2016. Disponível em: < <http://www.southgnss.com/upLoadFile/waters/201852810292858482.pdf> >. Acesso em: 24 maio 2020.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika**, DOI. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>. v. 52, n. 3/4, p. 591-611, Dezembro, 1965.
- SILVEIRA, A. C. DA. **Estimação da Acurácia da Posição de “Pixels” em Sistemas de Batimetria Multifixe**. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- SIMMONDS, J.; MACLENNAN, D. **Fisheries acoustics: Theory and practice**. 2^o ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2005.
- SOUTH SDE-28S. Especificações técnicas. **SDE-28S Especificações**. Porto Alegre, 2016. Disponível em: < https://www.allcomp.com.br/index.php?route=product/product&product_id=523 >. Acesso em: 25 maio 2020.
- SUDERHSA. Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. **Superintendência de Desenvolvimento de Recurso Hídricos e Saneamento Ambiental**. Curitiba , 2002. Disponível em: <

http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume7/SUD0107RP_WR001_FI.pdf > .
Acesso em: 25 maio 2020.

SURFER. Surfer User's Guide. **Golden Software**. Colorado, 2019. Disponível em: <<http://downloads.goldensoftware.com/guides/Surfer17UserGuide.pdf>>. Acesso: 20 maio 2020.

TANAJURA, E. L. X. **Investigação quanto aos Parâmetros que Influenciam no Processamento de Dados GPS Visando a Geração do MDT do Esporão Arenoso da Ilha do Mel**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

WI-SYS COMMUNICATION INC. Especificações técnicas. **WS3910**. Ottawa, 2019. Disponível em: <http://www.farnell.com/datasheets/59300.pdf?_ga=2.140087283.1161149285.1553557446-1069300402.1553557446>. Acesso em: 10 maio 2019.

WILCOXON, F. **Individual Comparisons by Ranking Methods**. Washington: Biometrics Bulletin, 1945.

Biografia do autor principal



Sérgio da Conceição Alves é natural de Ponte Nova, MG – Brasil. Possui graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2017). Mestrado em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná com ênfase em Levantamentos Hidrográficos e Geodésicos (2019). Atualmente cursa doutorado em Ciências Geodésicas na Universidade Federal do Paraná, em Curitiba.



Esta obra está licenciado com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.