

## Detecção automatizada de saltos de posicionamento em dados de batimetria monofeixe

### RESUMO

Em hidrografia, tops podem ser entendidos como erros ou saltos de posicionamento presentes nas informações batimétricas. O crescente desenvolvimento tecnológico vem proporcionando a coleta de dados batimétricos com alto grau de acurácia posicional e em tempo real. Mesmo assim, é impossível eliminar integralmente as incertezas de quaisquer conjuntos de dados batimétricos. No cenário atual, a busca por saltos de posicionamento ainda é realizada manualmente, sendo um processo moroso e, por vezes, bastante subjetivo. Diante disso, este estudo propõe, através de uma modelagem matemática e computacional robusta, uma metodologia semiautomática para a identificação de saltos de posicionamentos. A metodologia baseou-se nos pressupostos da S-44 - Especificações para Levantamentos Hidrográficos da Organização Hidrográfica Internacional, e foi implementada em ambiente Scilab. Por meio dos experimentos realizados, evidenciou-se uma diminuição significativa no tempo de processamento das linhas navegadas, comparativamente a um processamento manual. Em todos os casos, foi possível identificar e eliminar os saltos de posicionamento. Além disso, acredita-se que a pesquisa pode ser aplicável no reconhecimento de profundidades espúrias (*spikes*), oportunizando, posteriormente, a eliminação destes de maneira automatizada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Levantamento batimétrico. Dados batimétricos. Saltos de posicionamento. Linha de tendência. Discrepância posicional.

#### Lucas Ramos de Aguiar

[lucas.aguiar@ufv.br](mailto:lucas.aguiar@ufv.br)  
[orcid.org/0000-0002-7217-8516](https://orcid.org/0000-0002-7217-8516)  
Universidade Federal de Viçosa (UFV),  
Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

#### Italo Oliveira Ferreira

[italo.ferreira@ufv.br](mailto:italo.ferreira@ufv.br)  
[orcid.org/0000-0002-4243-8225](https://orcid.org/0000-0002-4243-8225)  
Universidade Federal de Viçosa (UFV),  
Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

#### Victória Gibrim Teixeira

[victoria.gibrim@ufv.br](mailto:victoria.gibrim@ufv.br)  
[orcid.org/0000-0002-7279-110X](https://orcid.org/0000-0002-7279-110X)  
Universidade Federal de Viçosa (UFV),  
Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

#### Laura Coelho de Andrade

[laura.andrade@ufv.br](mailto:laura.andrade@ufv.br)  
[orcid.org/0000-0003-3693-2208](https://orcid.org/0000-0003-3693-2208)  
Universidade Federal de Viçosa (UFV),  
Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

#### Felipe Catão Mesquita Santos

[felipe.mesquita@ufv.br](mailto:felipe.mesquita@ufv.br)  
[orcid.org/0000-0002-9376-766X](https://orcid.org/0000-0002-9376-766X)  
Universidade Federal de Viçosa (UFV),  
Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

## INTRODUÇÃO

O início da busca por conhecimento do relevo submerso ocorreu de maneira mais abrangente a partir do século passado, sendo o mapeamento destas áreas realizados por levantamentos hidrográficos. Atualmente, através do desenvolvimento de tecnologias, a hidrografia vem sendo cada vez mais explorada no Brasil, uma vez que apresenta utilidade em diversas áreas da engenharia, tais como a criação, manutenção e o monitoramento de hidrovias e portos, a locação de pilares, pontes, redes de cabos e dutos submersos, estudo do assoreamento de barragens, gestão de recursos hídricos, entre outros. (FERREIRA et al., 2016b; ROCHA et al., 2017)

A obtenção de profundidades em áreas submersas pode ser feita de forma direta ou indireta. Nos métodos diretos, utilizam-se desde prumo de mão e varas de sondar até equipamento de topografia convencional (IHO, 2005; DE OLIVEIRA et al., 2014). Por outro lado, os métodos indiretos empregam, basicamente, ecobatímetros monofeixe (SBES – *Single Beam Echo Sounders*) e multifeixe (MBES – *Multi Beam Echo Sounders*) (FERREIRA et al., 2013). Não raro, sistemas baseados em ondas eletromagnéticas, como LiDAR Batimétrico (*Light Detection And Ranging*) e Batimetria por Resposta Espectral também são empregados, embora nota-se uma preferência pelo emprego de sistemas acústicos, aos quais sofrem menos os efeitos adversos à sua precisão como o de refração, além de ser propício para quaisquer grau de profundidade da água a ser levantada. Para completar o sistema de sondagem, utilizam-se sensores inerciais e perfiladores de velocidade do som, além de sistemas de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*), empregando métodos diferenciais. Dentre eles, destacam-se o RTK (*Real Time Kinematic*), o DPGS (*Differential Global Positioning System*) e a Banda L. Os dois primeiros funcionam a partir da comunicação simultânea de uma base instalada com os satélites alcançados pelo sistema para a correção dos pontos levantados; o último, entretanto, não necessita de uma base, sendo as correções enviadas por satélites geoestacionários.

Independente dos instrumentos empregados no levantamento batimétrico, inevitavelmente, os dados conterão incertezas, sejam elas de natureza grosseira, sistemática ou aleatória (FERREIRA et al., 2019c). Em levantamentos hidrográficos, observações posicionais inconsistentes são conhecidas como *tops* ou saltos de posicionamento. Estes ocorrem devido, especialmente, às incertezas posicionais inerentes ao posicionador, incertezas proporcionadas pelas condições do ambiente e a configuração dos satélites no instante da coleta, à latência do sistema, entre outros (HARE, 1995; IHO, 2008; FERREIRA et al., 2016a). Durante o processamento dos dados batimétricos, as coordenadas posicionais, bem como a trajetória da embarcação, precisam ser analisadas visando detectar dados anômalos (saltos de posição) (FERREIRA et al., 2017).

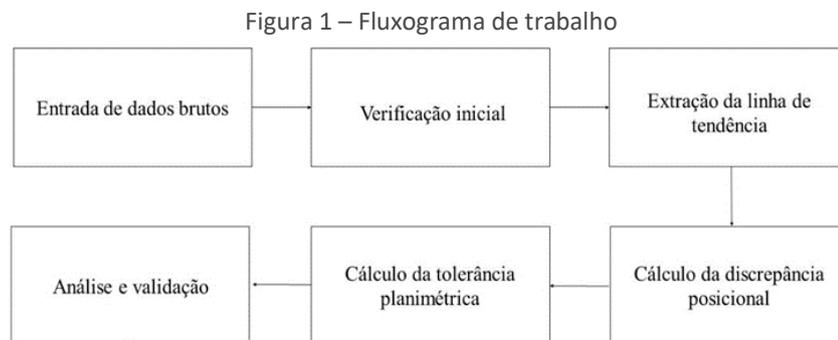
Atualmente, algoritmos para processamento de dados batimétricos automatizado possuem como foco principal as profundidades (CALDER; MAYER, 2003; FERREIRA et al., 2019a; FERREIRA et al., 2019b), sendo raras ou escassas as metodologias para análise dos dados posicionais. Tal fato deve-se, sobretudo, à alta acurácia dos receptores GNSS atuais, associadas a diversas melhorias vivenciadas na última década (COLLISCHONN et al., 2015). Um fator de afirmação do sistema é a coleta do HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*) que constata se há redução na qualidade do levantamento no decorrer das linhas batimétricas.

Para tal, ele leva em consideração a geometria dos satélites na sequência da coleta, indicando a possível redução da quantidade de satélites observados ou, ainda, a má distribuição espacial destes, ao se obter o HDOP crescente (NAKAO; KRUEGER, 2017).

Dado o exposto, com a finalidade de reduzir o tempo de processamento e a vulnerabilidade a erros grosseiros devido à manipulação manual dos dados, é fundamental o desenvolvimento de metodologias que possam identificar, analisar e eliminar tais efeitos de forma automatizada. Além disso, o uso de metodologias computacionais garante resultados mais eficientes e com maior agilidade durante os processos de busca por dados anômalos. Especificamente dentro desse contexto, o presente estudo objetiva a utilização de ferramentas de computação numérica, aplicando princípios da estatística espacial, para a implementação de um método para detecção de saltos de posicionamento a partir de dados reais coletados com recurso a um sistema de batimetria monofeixe.

## MONTAGEM DO ALGORITMO

A metodologia baseia-se na tendência de dados batimétricos, permitindo análises por meio do posicionamento dos pontos coletados em cada linha do levantamento. Associado ao esquema, são sintetizadas as informações não concretas à metodologia, permitindo, posteriormente, que a programação estatística aplicada ao novo banco de dados realize o estudo probabilístico de cada ponto na linha percorrida, com a funcionalidade de identificar aqueles que não seguem a tendência comprovada. O fluxograma de trabalho está apresentado na Figura 1.



Fonte: Autoria própria (2020).

A metodologia proposta foi implementada no software Scilab 6.1.0 (SCILAB ENTERPRISES, 2020). Este programa foi escolhido devido à disponibilidade gratuita e por facilitar a manipulação e análise dos dados. Além deste, na etapa de planejamento e coleta dos dados batimétricos, utilizou-se o software Hypack (HYPACK, 2020). Na fase de validação da metodologia, também foi empregado o Hypack.

Para aplicação e posterior avaliação da eficiência da metodologia proposta, foram utilizadas algumas linhas batimétricas de um levantamento realizado em reservatórios próximos à cidade de Capitólio, Minas Gerais, em outubro de 2013.

## ENTRADA DE DADOS BRUTOS

Para desenvolvimento do algoritmo, optou-se por empregar como arquivo padrão de entrada os arquivos brutos, na extensão *.raw*, gerados pelo software Hypack. Contudo, facilmente pode-se modificar o algoritmo para ler arquivos brutos nativos de outros softwares comerciais, tal como o SIS da Kongsberg (KONGSBERG MARITIME, 2020), QINSy da QPS (QPS,2020), dentre outros. No arquivo bruto, geralmente, são armazenadas diversas informações além da profundidade e posição, dentre as quais destacam-se os dados de qualidade de posicionamento da plataforma de sondagem, essenciais nas análises e na determinação da qualidade do produto final.

O algoritmo desenvolvido é capaz de realizar uma varredura nos arquivos brutos, analisando cada linha e extraindo informações julgadas importantes, como o instante de cada informação gravada, a profundidade, as coordenadas planimétricas (N, E), HDOP, o número de satélites usados e observados, a incerteza das coordenadas e o *status* do receptor GNSS.

Assim, é atribuído um vetor para as informações supracitadas, onde, em cada elemento, são armazenados os dados dos pontos. Ao final da leitura, os vetores possuem tamanho igual ao número de pontos presentes no arquivo.

## VERIFICAÇÃO INICIAL

Posteriormente à leitura dos dados, é realizada a verificação do tamanho dos vetores criados. Dessa forma, caso haja inconsistências entre o número de profundidades obtidas pelo ecobatímetro e o número pontos coletados pelo GNSS, o processamento é interrompido. Esta verificação é necessária devido à presença de arquivos que possuem profundidades não georreferenciadas. Em geral, isso ocorre no fim da linha levantada, quando o arquivo é encerrado. Atribui-se a isso o fato de não haver um sincronismo perfeito entre receptor GNSS e o ecobatímetro ou, ainda, a perda de sinal GNSS.

É nesta fase que o operador define a tolerância utilizada pelo algoritmo nas etapas subsequentes. Essa tolerância é balizada pela S-44 (IHO, 2020), assim, o usuário deve definir em qual ordem o levantamento hidrográfico se encaixa. Basicamente, existem cinco ordens: Exclusiva, Especial, 1a, 1b e 2. A Incerteza Horizontal Total (IHT) permitida para cada uma dessas classes pode ser calculada, respectivamente, a partir das Equações 1, 2, 3 e 4, sendo que para a 1a e 1b utiliza-se a mesma função.

$$IHT_i = 1 \text{ m} \quad (1)$$

$$IHT_i = 2 \text{ m} \quad (2)$$

$$IHT_i = 5 \text{ m} + 0,05 * Profundidade_i(\text{em metros}) \quad (3)$$

$$IHT_i = 20 \text{ m} + 0,10 * Profundidade_i(\text{em metros}) \quad (4)$$

As ordens têm o objetivo de contribuir com os serviços hidrográficos dos países membros da Organização Internacional da Hidrografia, determinando as diretrizes para a produção de dados náuticos e a classificação dos produtos

gerados, satisfazendo as condições para que as embarcações possam navegar de maneira segura pelas áreas levantadas (IHO, 2020). Sabe-se que o posicionamento *offshore* não é uma tarefa simples, nesse sentido, justificam-se os valores para as tolerâncias posicionais serem maiores que aqueles adotados em levantamentos topográficos. Não obstante, sugere-se que a incerteza horizontal seja menor que a pegada do feixe, ou seja, menor do que a área ensonificada no fundo submerso. Por isso, neste algoritmo, foi implementada uma quinta tolerância, alternativa e mais rigorosa, denominada  $3\sigma$ .

### CÁLCULO DA TOLERÂNCIA BATIMÉTRICA

Dentre as discrepâncias apresentadas anteriormente, a de maior valor é selecionada com o respectivo ponto, de forma a compará-la à IHT do ponto identificado. Além da IHT depender de cada ordem a que se pretende chegar, seu valor depende da profundidade levantada, ou seja, para cada ponto é associada uma IHT diferente (exceto para Ordem Especial).

Já na  $3\sigma$ , considera-se que a distribuição das discrepâncias está dentro do intervalo de  $2,968\sigma$  (correspondente a uma confiança de 99,7%) em relação à média, para mais ou para menos, sendo  $\sigma$  o desvio padrão dos dados analisados (Equação 5).

$$IHT_i = \text{média}(dp) + 2,968 * \text{desv. padrão}(dp) \quad (5)$$

### EXTRAÇÃO DA LINHA DE TENDÊNCIA

A chamada linha de tendência de pontos agrega ao algoritmo o conhecimento de uma superfície de dados, através do seu comportamento sequencial ao qual evidencia um padrão. Segundo Bjørke e Nielsen (2009), uma maneira ágil e eficiente de obter uma superfície de tendência é dada pela interpolação média dos pontos levantados, cuja finalidade principal, na maioria das vezes, é a visualização de picos em meio de dados constantes. Com isso, posteriormente, cria-se dois vetores no algoritmo, contendo as coordenadas E e N dos pontos que compõem a linha de tendência, calculados a partir do método de Média Espacial Móvel (MEM).

Segundo Santos e Raia Jr. (2006), esta média é um dos indicadores mais utilizados para prever a tendência de dados espaciais, pois permite o cálculo de um valor médio dentro de um intervalo contendo  $n$  pontos. A média espacial móvel tem por objetivo identificar padrões e evidenciar tendências de dados espaciais, possuindo uma representação mais suave em relação aos dados originais, ou seja, a variabilidade espacial dos dados diminui. Sua função é identificar áreas que possuam valores maiores ou menores que seus vizinhos, de modo a suavizar esses valores e, conseqüentemente, reduzir possíveis ruídos. A MEM pode ser calculada a partir da Equação 6.

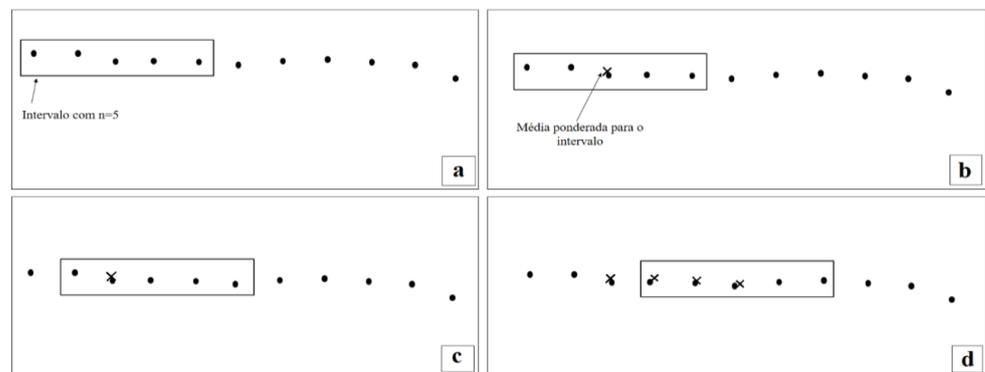
$$\mu_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (6)$$

Onde:

$n$  é a quantidade de dados do intervalo usado para calcular a média;  
 $i$  é total de amostras de cada linha sondada;  
 $j$  é o dado dentro do intervalo usado para calcular a média;  
 $y$  é a amostra;  
 $w$  é a ponderação.

Na MEM, são selecionados os pontos para que possam ser feitos os cálculos de ponderação com o inverso da distância (Figura 2a) e determinada a média entre estes pontos (Figura 2b). Em seguida, um novo intervalo é definido (Figura 2c) e os cálculos são refeitos. O processo se repete sequencialmente até o final dos dados (Figura 2d).

Figura 2 – Esquema metodológico da MEM

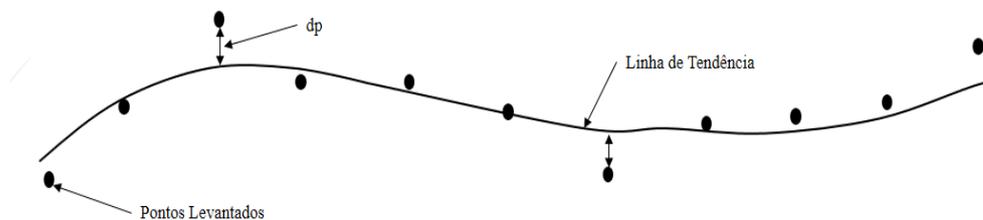


Fonte: Autoria própria (2020).

### CÁLCULO DA DISCREPÂNCIA POSICIONAL

A menor distância horizontal entre cada ponto para a linha de tendência é chamada, neste trabalho, de discrepância posicional ( $dp$ ) e, diante disso, é criado um vetor de afastamento entre a linha de tendência e os pontos observados, além de ser calculado o tamanho desse vetor ao qual é a própria discrepância posicional dos pontos da linha sondada. A Figura 3 ilustra o cálculo da discrepância posicional.

Figura 3 – Cálculo da  $dp$



Fonte: Autoria própria (2020).

O vetor que origina cada  $dp$  é o primeiro parâmetro para detecção dos pontos considerados saltos de posicionamento de acordo com a metodologia

proposta. Essas discrepâncias dos pontos pré-selecionados passam, ainda, por um teste ao qual os compara com a incerteza máxima que o levantamento atinge, baseada na ordem escolhida e, também, na profundidade dos pontos levantados, como já indicado nas Equações 1, 2, 3 e 4.

## ANÁLISE E VALIDAÇÃO

No último procedimento, o algoritmo compara o valor da tolerância obtido na etapa anterior com cada discrepância posicional. Caso a discrepância posicional seja superior à tolerância, o ponto é identificado como um possível erro posicional.

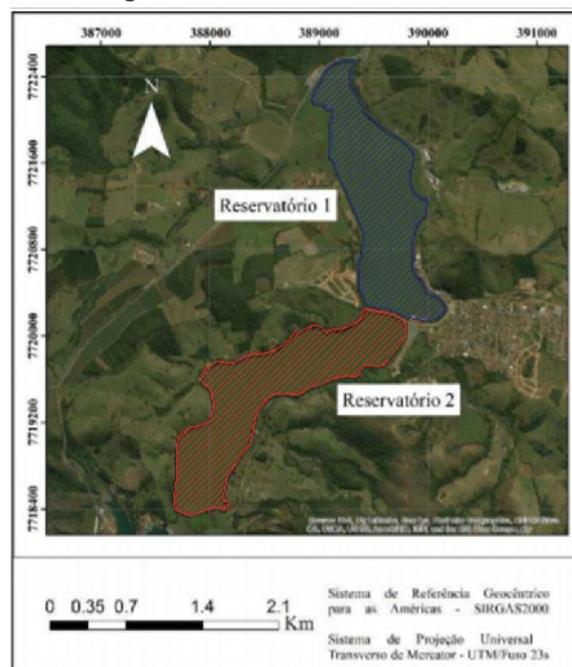
Tal processo é realizado por meio de iterações, onde a coordenada do possível *outlier* é substituída pela coordenada calculada na etapa de extração da linha de tendência, até o momento em que a tolerância superar as  $dp$  e, logo, não detectando novos pontos suspeitos.

Por fim, os pontos identificados como possíveis *outliers* são apresentados na tela, juntamente com todas as informações lidas sobre eles no arquivo de entrada. É apresentado, também, um gráfico dos pontos da linha levantada, a interpolação final e os possíveis saltos de posição. Através da verificação do usuário, os pontos identificados podem ser eliminados, gerando um novo arquivo de extensão “.raw” que pode ser lido pelo Hypack.

## TESTES E RESULTADOS

Inicialmente, no planejamento da sondagem, subdividiu-se a área de estudo em dois reservatórios (Figura 4).

Figura 4 – Área de estudo subdividida



Fonte: FERREIRA (2018).

Quanto à execução desta, a lancha EAM-01 do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa foi equipada com um sistema de batimetria monofeixe (SBES) operando um transdutor de dupla frequência (33/210kHz). Simultaneamente, para o posicionamento geodésico, foi utilizado um par de receptores GNSS no modo RTK (FERREIRA, 2018).

Em sequência, foi gerada a linha batimétrica, a qual se destaca a identificação dos pontos incoerentes de posicionamento, permitindo, assim, a análise para possível validação da metodologia proposta ao traçar um paralelo dos resultados obtidos pelos experimentos automático e convencional.

Os arquivos brutos foram, então, submetidos ao crivo do algoritmo desenvolvido nesta pesquisa. A título de exemplo, as Figuras 5 e 6 ilustram o processamento para uma das linhas, onde optou-se por empregar como tolerância a Ordem Especial e o método  $3\sigma$ , respectivamente.

Figura 5 – Apresentação dos pontos identificados para Ordem Especial

```

----- DIRETÓRIO -----
TESTE01\110_191.raw
-----
Leitura concluída com sucesso!

Esta linha contém 87 pontos

Ordem utilizada: Especial (IHT= 2m)

----- 1 POSSÍVEIS TOPS -----
Pto      Tempo      X (m)      Y (m)      SigmaX (m)  SigmaY (m)  Profund (m)  HDOP      Nº Sat      Status
6        42969.469   388170.791  7718864.019  0.000       0.000       5.760       7.7       5          0
-----
----- Médias da Linha -----
Número de Satélites: 13      HDOP: 0.9      Profundidade: 5.047
-----

```

Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 6 – Apresentação dos pontos identificados para a Ordem de Teste

```

----- DIRETÓRIO -----
TESTE01\110_191.raw
-----
Leitura concluída com sucesso!

Esta linha contém 87 pontos

Ordem utilizada: Teste 3sigmas (fora da S-44)

----- 8 POSSÍVEIS TOPS -----
Pto      Tempo      X (m)      Y (m)      SigmaX (m)  SigmaY (m)  Profund (m)  HDOP      Nº Sat      Status
6        42969.469   388170.791  7718864.019  0.000       0.000       5.760       7.7       5          0
80       43043.471   388229.207  7719026.194  0.000       0.000       6.270       0.8       13         1
81       43044.470   388228.046  7719032.638  0.000       0.000       6.270       0.8       13         1
69       43032.474   388217.403  7719001.455  0.000       0.000       6.620       0.8       13         1
71       43034.473   388221.079  7719006.954  0.000       0.000       6.460       0.8       13         1
58       43022.470   388212.074  7718973.818  0.000       0.000       5.880       1.8       11         3
56       43020.469   388210.754  7718968.821  0.000       0.000       5.930       1.8       11         3
57       43021.470   388211.413  7718971.325  0.000       0.000       5.870       1.8       11         3
-----
----- Médias da Linha -----
Número de Satélites: 13      HDOP: 0.9      Profundidade: 5.047
-----

```

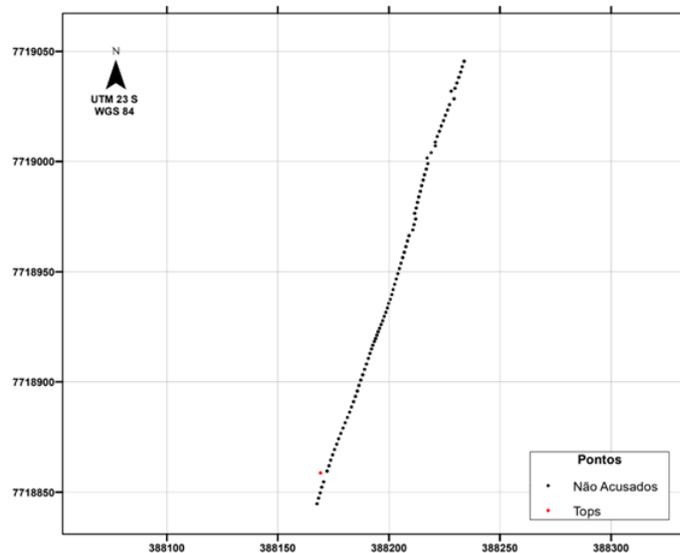
Fonte: Autoria própria (2020).

Os resultados obtidos para esta linha, onde são apresentados 87 pontos, dentre os quais foram identificados saltos de posicionamento nos dois testes realizados. É importante verificar que os metadados mostram que o ponto 6 (detectado em ambos os testes) foi coletado, em termos de posição, sem a validação da correção diferencial (indicado pelos status 0). Assim, o analista pode

concluir que este ponto representa salto de posicionamento ou, pelo menos, possuem uma baixa certeza posicional.

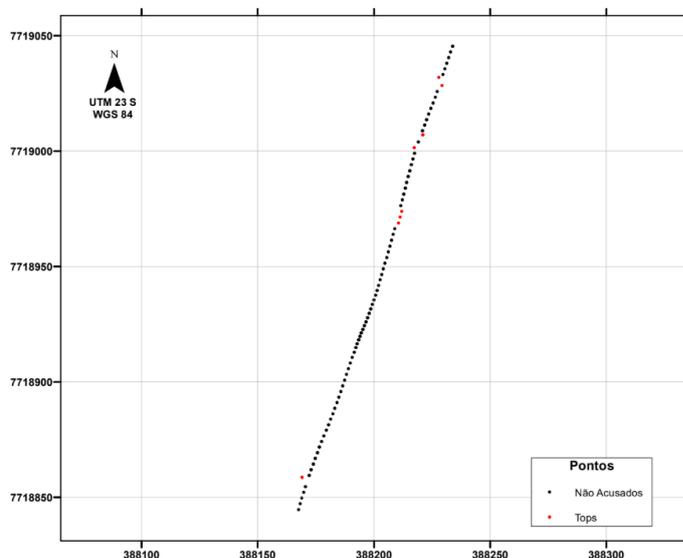
Na Figura 6, percebe-se que, para a linha analisada, foram identificados, em primeiro momento, oito possíveis saltos de posicionamento. Ao comparar com o resultado da Figura 5, que detectou um ponto possível, percebe-se que o número de saltos de posicionamento apresentado provém da maior rigorosidade que a utilização de tolerâncias da norma, comprovada ao analisar a identidade desses pontos, com a detecção simultânea do ponto 6 em ambos os testes. As Figuras 7 e 8 apresentam este comparativo, em formato de gráfico, permitindo a visualização do resultado processado ao percorrer a linha, notando que há uma semelhança na disposição dos pontos levantados.

Figura 7 – Plotagem dos pontos identificados como saltos de posicionamento na linha de tendência 110\_191 para a Ordem Especial



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 8 – Plotagem dos pontos identificados como saltos de posicionamento na linha de tendência 110\_191 para a Ordem de teste



Fonte: Autoria própria (2020).

Adiante, visando validar o algoritmo proposto acima, ainda foram utilizados os dados batimétricos coletados no levantamento realizado nas lagoas do município de Capitólio, com objetivo de submetê-los a um processo convencional de detecção de outliers, no *Single Beam Editor* do Hypack. A ferramenta em questão exige o trabalho manual para o desenvolvimento de critérios de avaliação de erro de posicionamento em relação aos pontos levantados, acerca de conhecimentos técnicos e práticos que possibilitem a edição e aplicação de correções na obtenção dos dados finais do levantamento.

A Tabela 1 apresenta a capacidade de redução de pontos identificados no teste, pelo número de saltos de posição obtidos no processamento manual, para todas as linhas levantadas no experimento. Esse potencial de redução do algoritmo indica que o uso de metodologias computacionais em etapas de processamento diminui a probabilidade de erros técnicos por parte do analista, aumentando a precisão de detecção de saltos de posicionamento por utilizar o padrão imposto por normas.

Tabela 1 – Redução, em %, do número de saltos de posicionamento do algoritmo principal em relação ao processamento manual

<b>Linha Analisada</b>	<b>Número de saltos de posição identificados (processo manual)</b>	<b>Número de saltos de posição identificados (processo automático)</b>	<b>Porcentagem de redução nos saltos de posição</b>
110_191	8	1	87,5%
095_1426	0	0	Não houve
102_1610	7	0	100%
124_0833	10	2	80%
136_0755	6	0	100%
177_1634	21	1	95,2%
299_1206	4	0	100%
126_0830	8	0	100%

Fonte: Autoria própria (2021).

Segundo Artilheiro (1998), ao observar dados estatísticos discrepantes em relação ao que é esperado para determinado grupo de pontos, deve-se considerar tais valores como erros grosseiros através da técnica de identificação destes, dada pelo algoritmo proposto. Diante desse fato, as observações que configuraram incertezas dentro da linha batimétrica (saltos de posição) tiveram como destino a exclusão perante o novo arquivo de extensão “.raw”.

## CONCLUSÃO

O presente estudo desenvolveu uma metodologia automatizada em ambiente Scilab 6.1.0 (SCILAB ENTERPRISES, 2020), para detectar a presença de saltos de posicionamento em linhas batimétricas e, por meio dos recursos de programação aplicada, gerar um arquivo isento de erros posicionais. Contudo, o principal objetivo do algoritmo proveniente da pesquisa foi a obtenção de resultados mais eficientes ou semelhantes ao processamento convencional, de forma a reduzir a subjetividade e o tempo do analista, apresentando uma rigorosidade padrão imposta pela norma S-44 (IHO, 2008).

Dadas as condições numéricas dos resultados já expostos anteriormente, considera-se que o processamento imposto à Ordem Especial da norma reconhece um número de saltos de posicionamento mais enxuto que os demais e, simultaneamente, utilizando das técnicas de estatística programática, atinge o objetivo de eficiência na detecção de outliers, se aproximando dos resultados de testes mais rigorosos. Um fator de comprovação desta afirmativa pode ser verificado ao observar percentualmente os dados dos processamentos, que indicam uma redução de aproximadamente 94% da quantidade de saltos de posicionamento do aplicado ao algoritmo em relação ao processo manual via Hypack.

Analisando o teste  $3\sigma$  e propondo uma comparação ao processamento convencional, foi observado que, além de apresentar uma rigorosidade numericamente maior, este ainda detectou os mesmos pontos que foram eliminados no *Single Beam Editor*. Assim, a utilização do teste para cálculo da tolerância, de forma a aumentar a praticidade do analista na eliminação ou reajuste dos saltos de posicionamento, é algo que pode ser estudado com maior detalhamento. Portanto, aconselha-se que em trabalhos futuros onde se deseje utilizar tal tolerância, sejam realizados testes estatísticos a fim de verificar o comportamento dos dados com relação à independência e normalidade das amostras.

Conclui-se, portanto, que os resultados alcançados foram satisfatórios com relação à identificação de saltos de posicionamento, além da redução no tempo de processamento durante a etapa de reconhecimento. Além disso, os autores acreditam que a mesma metodologia pode ser aplicada para identificação de profundidades espúrias (*spikes*), comparando as discrepâncias advindas da profundidade ao valor de incerteza vertical total (IVT) dos pontos suspeitos, visto que ambos os casos são considerados *outliers*.

# Automatized detection of positioning hops in mono-beam bathymetry data

## ABSTRACT

In hydrography, tops can be understood as errors or positioning hops present in the bathymetric information. The growing technological development has been providing the collection of bathymetric data with a high degree of positional accuracy and in real time. Even so, it is impossible to completely eliminate the uncertainties of any bathymetric data sets. In a current scenario, the search for positioning hops is still carried out manually, being a lengthy and sometimes quite subjective process. Therefore, this study proposes, through a robust mathematical and computational modeling, a semi-automatic methodology for the identification of positioning hops. The methodology was based on the assumptions of S-44 - International Hydrographic Organization Specifications for Hydrographic Surveys and was all implemented around Scilab. Through of the experiments carried out, a significant decrease in the processing time of the navigated lines was evidenced in comparison to a manual processing. In all cases, it was possible to identify and eliminate all positioning hops. The research also proved to be applicable in the recognition of spurious depths (spikes), allowing, later, the elimination of these in an automatized way.

**KEYWORDS:** Bathymetric survey. Bathymetric data. Positioning jumps. Tendency line. Positional discrepancy.

## REFERÊNCIAS

ARTILHEIRO, F. M. F. **Analysis and Procedures of Multibeam Data Cleaning for Bathymetric Charting**. M. Eng. report, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Technical Report n. 192, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 186 p.,1998.

BJØRKE, J. T.; NILSEN, S. Fast trend extraction and identification of spikes in bathymetric data. **Computers & Geosciences**, v. 35, n. 6, p. 1061-1071. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.05.009>

CALDER, B. R.; MAYER, L. A. Automatic processing of high-rate, high-density multibeam echosounder data. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, vol. 4, n. 6, 2003. <https://doi.org/10.1029/2002GC000486>

COLLISCHONN, C.; MATSUOKA, M. T.; GUZATTO, M. P.; KLEIN, I.; DE LIMA, E. M.; DE SOUZA, S. F. ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE REDE GNSS E REPETIÇÃO DE LINHAS-BASE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, p. 1683-1703, 31 dez. 2015.

DE OLIVEIRA, R. M.; FRANCHINI, R. A. L.; IESCHECK, A. L.; ZOUAIN, R. N. A. Métodos de identificação do divisor de drenagens entre o arroio Chuí e o arroio Pastoreio, região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 5, 3 nov. 2014.

FERREIRA, I. O. Coleta, **Processamento e análise de dados batimétricos visando a representação computacional do relevo submerso utilizando interpoladores determinísticos e probabilísticos**. 70p. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil/Setor de Engenharia de Agrimensura, Viçosa/MG, 2013.

FERREIRA, I. O; DOS SANTOS, A. DE P.; DE OLIVEIRA, J. C; MEDEIROS, N. DAS G; EMILIANO, P. C. Algoritmo de detecção (soda) de outliers espaciais aplicados ao processamento de dados bathimétricos multibeam. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 25, n. 4. ISSN 1982-2170. 2019 a. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702019000400020>

FERREIRA, I. O; DOS SANTOS, A. DE P.; DE OLIVEIRA, J. C; MEDEIROS, N. DAS G; EMILIANO, P. C. Metodologia robusta para detecção de pontos em dados de som de eco multibeam. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.25, n.4. ISSN 1982-2170. 2019 b. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702019000300014>

FERREIRA, I. O.; EMILIANO, P. C.; DOS SANTOS, A. DE P.; MEDEIROS, N. DAS G.; DE OLIVEIRA, J. C. Proposição de um Estimador Pontual para Incerteza Vertical de

Levantamentos Hidrográficos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 1, p. 1-30, 29 mar. 2019 c. <https://doi.org/10.14393/rbcv71n1-44096>

FERREIRA, Í. O.; NETO, A. A.; MONTEIRO, C. S. O uso de embarcações não tripuladas em levantamentos batimétricos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 10, p. 1885-1903. 2017.

FERREIRA, I. O.; RODRIGUES, D. D.; NETO, A. A.; MONTEIRO, C. S. Modelo de incerteza para sondadores de feixe simples. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 5, 2016a.

FERREIRA, I. O.; ZANETTI, J.; GRIPP, J. S.; MEDEIROS, N. G. Viabilidade do uso de imagens do Sistema Rapideye na determinação da Batimetria de águas rasas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 7, 17 ago. 2016b.

FERREIRA, I. O. **Controle de qualidade em levantamentos hidrográficos**. 216p. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil/Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Viçosa/MG, 2018.

HARE, R. Depth and position error budgets for multibeam echosounding. **The International Hydrographic Review**, v. 72, n. 2, p. 37-69, 1995.

HYPACK, Inc. Manual Hypack Hydrographic Surveys Software. Middletown, 2020.

IHO. Manual on Hydrography. 540p. Mônaco: International Hydrographic Bureau, 2005.

IHO. S-44: IHO Standards for Hydrographic Surveys. 36 p. Special Publication nº 44 - 5th. Mônaco: International Hydrographic Bureau, 2008.

IHO. S-44: IHO Standards for Hydrographic Surveys. 51 p. Special Publication nº 44 - 6th. Mônaco: International Hydrographic Bureau, 2020.

KONGSBERG MARITIME AS. SIS - Seafloor Information System, Multibeam Echosounder Software. Disponível em: <[https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/164878ac\\_sis\\_product\\_specification2.pdf?OpenDocument=>](https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/164878ac_sis_product_specification2.pdf?OpenDocument=>)>. Acesso em 27 de maio de 2020.

NAKAO, L. T. H.; KRUEGER, C.P. Análise dos métodos de posicionamento e dos parâmetros definidores da qualidade de um levantamento batimétrico. **Boletim**

de Ciências Geodésicas, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702017000300028>

QPS, QINSY. V.9.1.1. 2014. Disponível em: <<http://www.qps.nl/display/qinsy/laser>>. Acesso em 27 de maio de 2020.

ROCHA, G. A.; IANNIRUBERTO, M.; BAPTISTA, G. M. DE M.; CARNEIRO, K. B. R. Identificação de feições geológicas, geomorfológicas e antrópicas do reservatório de São Simão utilizando batimetria multifeixe. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 2, 24 fev. 2017.

SANTOS, L.; RAIA JR, A. A. Análise espacial de dados geográficos: a utilização da Exploratory Spatial Data Analysis - ESDA para identificação de áreas críticas de acidentes de trânsito no município de São Carlos (SP). 18 (35): 97-107. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 2006.

SCILAB, Scilab Online Help, Disponível em: <[https://help.scilab.org/docs/6.1.0/pt\\_BR/index.html](https://help.scilab.org/docs/6.1.0/pt_BR/index.html)>.

**Recebido:** 02 mar. 2021

**Aprovado:** 04 out. 2021

**DOI:** 10.3895/rbgeo.v9n4.13907

**Como citar:** AGUILAR, R. L.; FERREIRA, O. I.; TEIXEIRA, G. V.; ANDRADE, C. L.; SANTOS, M. C. F. Detecção automatizada de saltos de posicionamento em dados de batimetria monofeixe. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 9, n. 4, p. 311-325, out./dez. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Lucas Ramos de Aguilár

Rua Floriano Peixoto, 75/2, CEP 36570-043, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

