

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO LAGRANGIANO PARA MONITORAMENTO DE CORPOS AQUÁTICOS

Danilo Mildemberger¹ ; Gabriel Vargas²; José Eduardo Gonçalves³; Maurício Almeida Noernberg⁴

RESUMO – Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um equipamento projetado para a aquisição de dados em corpos aquáticos utilizando o referencial lagrangiano, quando o corpo se desloca – ou deriva – junto com o fluido e atua como uma “partícula”. O derivador foi construído utilizando impressão 3D, sendo um tubo com placas laterais e um disco acoplado ao fundo para melhorar a estabilidade e hidrodinâmica do corpo. Dentro do tubo, uma placa microcontroladora foi conectada a um sensor GPS não-diferencial e um módulo microSD que registra a posição do equipamento com um intervalo de 1 segundo (1 Hz). Uma série de testes foram desenvolvidos para analisar a capacidade do equipamento em representar com boa precisão dados de correntes e, após os testes, verificou-se que devido às imprecisões do GPS, a aquisição de velocidade instantâneas pode não ser confiável, entretanto, o sensor é consideravelmente preciso ao se considerar a velocidade média registrada em um período de 1 minuto de aquisição, sendo suficiente para representar o escoamento em rios, reservatórios, estuários e zona costeira.

ABSTRACT – This work shows the development of an equipment designed for the acquisition of data in aquatic environments using the Lagrangian frame of reference, when the body moves - or drifts - along with the fluid, acting as a “particle”. The drifter was built using 3D printing, being a tube with side plates and a disc attached to the bottom to improve the stability and hydrodynamics of the body. Inside the tube, a microcontroller board was connected to a non-differential GPS sensor and a microSD module that records the position of the equipment with a 1 second interval (1 Hz). A series of tests were deployed to analyze the equipment’s ability to accurately represent current data and, after the tests, it was found that due to GPS inaccuracies, the instantaneous velocity acquisition may not be reliable, however, the sensor is considerably accurate when considering the average velocity recorded in a period of 1 minute of acquisition, being sufficient to represent the flow in rivers, reservoirs, estuaries and coastal zone.

Palavras-Chave – Derivadores; GPS; correntometria

INTRODUÇÃO

Instrumentos utilizados para medir velocidade de correntes em corpos d’água podem ser divididos em três categorias: i) instrumentos Eulerianos, quando permanece fixo em um determinado ponto em relação ao leito; ii) Lagrangianos, que seguem uma determinada parcela de água, descrevendo sua trajetória ao longo do tempo e espaço; e iii) equipamentos de auto-propulsão,

¹) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR, e-mail: dmildemberger@ufpr.br

²) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR; e-mail: gabrielvargasit@gmail.com

³) Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná - SIMEPAR, e-mail: jose.eduardo@simepar.br

⁴) Centro de Estudos do Mar, UFPR, e-mail: m.noernberg@ufpr.br

como barcos tripulados ou autônomos, que se deslocam na água. Dentre os equipamentos que utilizam a abordagem lagrangiana, destacam-se os derivadores, que são definidos como um instrumento que aproximadamente segue o trajeto da água na superfície descrevendo, assim, velocidade de correntes em diferentes pontos (Lumpkin, 2017).

De acordo com Rossby (2007), a capacidade do método lagrangiano em descrever precisamente como as parcelas de fluido movem-se no espaço torna esta abordagem muito valiosa diante da dificuldade que se tem em descrever a estrutura horizontal das correntes. Para exemplificar a vantagem de um método lagrangiano, Rossby (2007) cita o escoamento em forma de vórtice, onde um correntômetro euleriano permaneceria fixo registrando um escoamento constante em uma determinada direção, enquanto o traçador lagrangiano seria capaz de descrever toda a trajetória e estrutura do vórtice. Este exemplo é extremamente relevante ao analisarmos o ambiente litorâneo, onde as correntes geradas pela quebra da onda variam significativamente ao longo do espaço, formando células de circulação que variam longitudinalmente (corrente longitudinal) e transversalmente (corrente de retorno) à praia, o que torna fundamental a descrição deste ambiente utilizando um método lagrangiano.

Ao longo das últimas décadas, com o desenvolvimento da tecnologia de posicionamento por GPS, derivadores lagrangianos vem sendo largamente aplicados em estudos para analisar o deslocamento de massas d'água, destacando pesquisas voltadas para o monitoramento de dispersão de poluentes e dispersão de óleo (Jernelov e Lindén, 1981; Crone e Tolstoy, 2010), mapeamento de correntes oceânicas (Lumpkin e Johnson, 2013; Maximenko *et al.*, 2013), monitoramento do lixo marinho (Lumpkin *et al.*, 2012; Maximenko *et al.*, 2012), entre outras aplicações.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um derivador lagrangiano utilizando impressão 3D e componentes eletrônicos de baixo custo para ser utilizado no monitoramento de corpos aquáticos (rios, reservatórios, estuários e ambiente costeiro).

METODOLOGIA

O equipamento desenvolvido no presente trabalho foi projetado como um aprimoramento ao equipamento desenvolvido por Mildemberger *et al.* (2021), tendo como principais diferenciais a construção de um corpo utilizando impressão 3D para torná-lo mais resistente e de fácil manuseio em campo, além da implementação de um sistema de transmissão em tempo real para uma base, permitindo a aquisição de dados em áreas maiores e durante um longo período de tempo, visto que

com a transmissão da posição do equipamento não se faz mais necessário manter o contato visual com o mesmo durante toda a amostragem.

O formato do derivador foi inspirado em trabalhos prévios, sendo um cilindro com 75 mm de diâmetro e 240 mm (24 cm) de altura, com interior oco para alocação dos componentes eletrônicos. Ao fundo do tubo, um disco com 195 mm de diâmetro foi acoplado para servir como amortecedor de movimentos verticais, tornando o equipamento mais estável e impedindo de ser transportado pelo efeito da quebra de ondas, conforme proposto por Schmidt *et al.* (2003) e Sabet e Barani (2011). Visando uma melhor aderência do equipamento às correntes, também foram aplicadas quatro placas laterais, mesma técnica adotada por Davis (1985), Nasello e Armenio (2016) e Novelli *et al.* (2017). O projeto 3D desenvolvido para impressão do equipamento é apresentado na Figura 1.

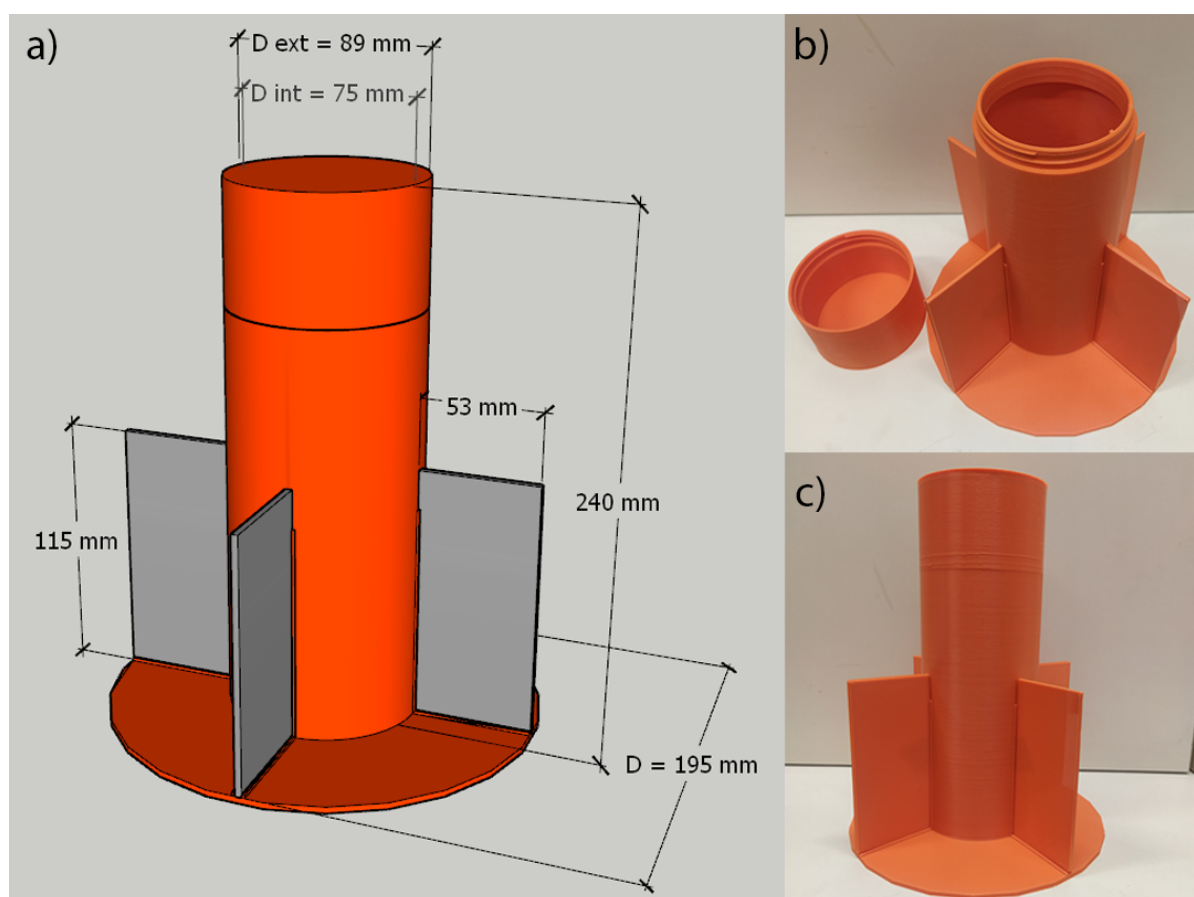


Figura 1 - Projeto 3D do derivador com dimensões utilizadas (a); e derivador impresso com detalhe para a tampa com rosca (b) e fechado para uso na água (c)

A impressão foi realizada utilizando filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), uma resina termoplástica resistente à impactos e ao contato permanente com água. A impressora utilizada foi uma GT Max 3D, que dispõe de uma mesa de impressão de 20x30 cm, com 45 cm de altura.

Utilizando uma configuração de impressão com qualidade média, o consumo total de filamento foi de 312 gramas, sendo necessárias aproximadamente 25 horas para a impressão de uma peça completa (corpo, tampa e 4 placas). Para melhorar a resistência das placas laterais, optou-se pela impressão separada dessas peças, sendo fixadas ao corpo do derivador utilizando cola cianoacrilato de alta viscosidade. Para a impermeabilização do equipamento, foi aplicado solvente a base de cetona, vendido comercialmente como solução limpadora para PVC, que tem como função selar as camadas de ABS impressas, impedindo a infiltração de água. No fundo do disco, que pode ter atrito com o fundo em áreas muito rasas, ainda foi aplicada uma camada de resina epóxi, e na parte interna do tubo foi utilizada uma camada de borracha termoplástica na base, para garantir que não tenha entrada de água junto aos eletrônicos.

A flutuabilidade do equipamento foi planejada seguindo o princípio de Arquimedes de estabilidade de corpos flutuantes. Dessa forma, para garantir a estabilidade do derivador e que a maior parte permaneça submersa para reduzir o efeito do vento, foi adicionado 0,5 kg de chumbo granulado dentro do tubo, que posteriormente foi selado com uma camada de espuma de poliuretano para evitar contato do chumbo com os equipamentos eletrônicos.

Com relação aos componentes eletrônicos embarcados para registro das velocidades, optou-se por uma placa microcontroladora ESP32 com rádio LoRa (Long Range) integrado. Este protocolo de transmissão via rádio é capaz de se comunicar com uma base fixa em terra ou em embarcação por longas distâncias (~6 km) e com baixo consumo de energia. Junto à placa, foi instalado um sensor GPS Ublox Neo-6m configurado para obter a posição geográfica com uma frequência de 1 Hz (1 registro por segundo). Os dados de posição, bem como a velocidade resultante do deslocamento entre pontos, são armazenados em um cartão MicroSD através de um shield SD também instalado na placa controladora. Para a alimentação desses componentes, optou-se por uma bateria portátil com entrada USB (*power bank*) com 5000 mAh de capacidade, suficiente para garantir uma autonomia superior a 12 horas para o sistema. A Figura 2 apresenta o esquema dos equipamentos eletrônicos utilizados.

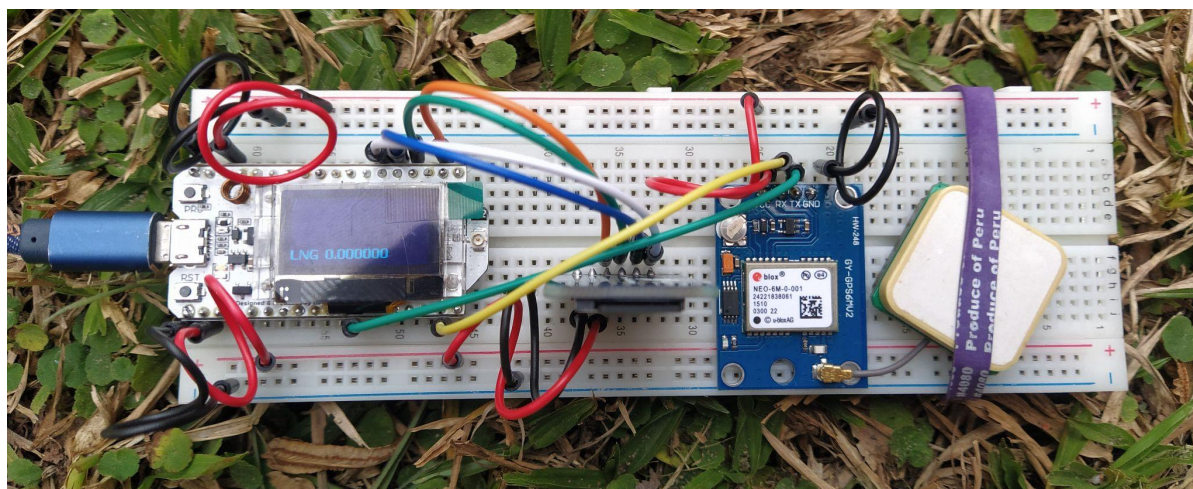


Figura 2 - Esquema de conexão dos componentes eletrônicos utilizados para registro da posição e velocidade a serem embarcados no derivador

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para verificar o grau de imprecisão do sensor GPS utilizado nos derivadores, o primeiro teste efetuado foi o teste estático, seguindo a proposta de Johnson *et al.* (2003) e Sabet e Barani (2011). O derivador foi posicionado no centro de um campo de futebol, para evitar interferência de obstáculos como árvores e prédios na qualidade do sinal GPS, e permaneceu estático pelo período de 90 minutos, registrando dados de latitude, longitude e velocidade com intervalo de 1 segundo.

Os resultados obtidos indicaram um deslocamento máximo em relação à coordenada média de 2,90 m na direção N (eixo das latitudes) e 2,60 m na direção E (eixo das longitudes), sendo o deslocamento médio de 0,44 m (N) e 0,56 m (E), valores compatíveis com a precisão de 2,50 m indicada pelo fabricante do sensor. Com relação às velocidades, o erro médio calculado durante o teste estático foi de 0,04 m/s (4 cm/s), inferior aos 0,1 m/s indicados no manual técnico, o que indica que o GPS utilizado pode ser eficaz para aquisição de velocidades verificadas em corpos d'água.

Apesar das possíveis imprecisões de posicionamento do GPS que podem gerar erros na estimativa de velocidades instantâneas, segundo Witte e Wilson (2004), equipamentos GPS são muito precisos para a representação de velocidades médias de deslocamento. Para verificar esta capacidade, foram realizados testes na pista de atletismo do Centro de Educação e Desporto da UFPR certificada pela Associação Internacional Federações de Atletismo, que conta com uma extensão de 400 m na raia interna e marcações na pista a cada 100 m.

Dessa forma, foi feito o caminhamento com o derivador configurado para registrar a posição e velocidade na frequência de 1 Hz percorrendo distâncias de 100 m, 200 m, 400 m e 800 m, com marcação do tempo em cronômetro para comparação da velocidade média cronometrada e calculada pelo GPS. Esse teste gerou 25 registros com velocidades médias variando entre 0,45 m/s e 1,50 m/s, faixa compatível com a intensidade de correntes verificadas geralmente em corpos d'água.

As velocidades obtidas pelo método de distância percorrida pelo tempo cronometrado e registradas pelo GPS foram comparadas através do método de regressão linear, resultando em um coeficiente de correlação (R^2) de 0,997 (Figura 3), indicando um excelente desempenho do GPS na aquisição de velocidades médias, mesmo em pequenos períodos de aquisição (~ 1 minuto) e baixas velocidades.

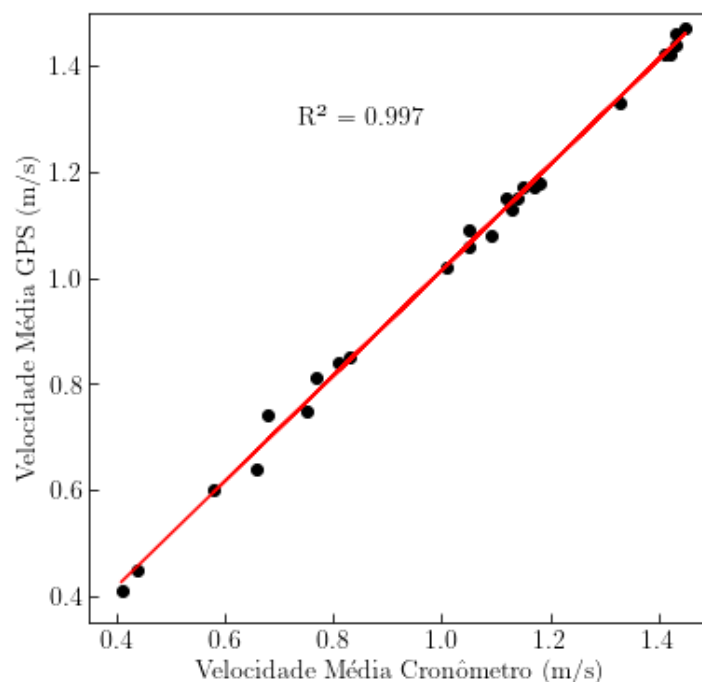


Figura 3 - Regressão linear entre velocidades médias obtidas pela cronometragem das distâncias percorridas e calculadas pelo GPS no mesmo período de tempo

Um terceiro teste foi realizado para verificar a capacidade do derivador em representar satisfatoriamente velocidades de correntes. Para esse teste, foi utilizado um correntômetro acústico por efeito Doppler (ADCP), que permaneceu fixo no centro de um canal registrando a velocidade com 1 Hz de frequência, enquanto o derivador foi lançado por 36 vezes cerca de 20 m a montante e recuperado novamente 20 m a jusante do ADCP, sendo considerados apenas os registros do derivador em um raio de 20 m da posição do ADCP, para tornar a comparação mais precisa.

Após essa filtragem dos dados, a velocidade média calculada pelo GPS do derivador foi de 0,37 m/s, enquanto a velocidade medida pelo ADCP no mesmo período foi de 0,33 m/s. Essa diferença de cerca de 10% entre as velocidades médias pode estar associado à variações espaciais na velocidade que apenas o equipamento lagrangiano é capaz de medir, visto se desloca junto com a corrente passando por seções com diferentes áreas, enquanto o ADCP permanece fixo em uma mesma seção durante todo o tempo.

CONCLUSÕES

A abordagem lagrangiana do escoamento de um fluido é de grande importância para um melhor conhecimento dos corpos d'água, complementando os resultados que um equipamento Euleriano não seria capaz de obter. Dessa forma, o desenvolvimento de um equipamento lagrangiano para aquisição de correntes em corpos aquáticos utilizando técnica de impressão 3D e sensores de baixo custo se mostrou eficaz.

Apesar de sensores GPS não serem indicados para medir efeitos de alta frequência, como turbulência, os testes indicaram que mesmo um GPS não-diferencial pode fornecer medidas de velocidades médias com excelente precisão, podendo ser aplicado no estudo de correntes em rios, reservatórios, estuários e ambiente costeiro.

Ainda que o equipamento apresentado tenha como principal objetivo medir a velocidade de correntes, é possível a adição de distintos sensores capazes de gerar informações de parâmetros físicos e de qualidade da água, como temperatura, salinidade, turbidez, oxigênio dissolvido, entre outros.

Por fim, o baixo consumo de energia dos componentes aliados com o sistema de transmissão da posição em tempo real via comunicação por rádio, permite o uso desse equipamento por longos períodos de tempo e em grandes áreas, tendo como objetivo na sequência deste trabalho o lançamento de derivadores no ambiente estuarino para verificar a dispersão ao longo de um ciclo de maré, gerando importantes resultados para a validação de modelos hidrodinâmicos implementados para a simulação de eventos de vazamento de óleo, fornecendo uma resposta rápida e precisa em eventuais desastres que possam ocorrer.

REFERÊNCIAS

- CRONE, T.J.; TOLSTOY, M. (2010). “*Magnitude of the 2010 Gulf of Mexico oil leak*”. Science, v. 330, n. 6004, pp. 634-635.
- JERNELÖV, A.; LINDÉN, O. (1981) “*IXTOC I: a case study of the world’s largest oil spill*”. Ambio, JSTOR, pp. 299-306.
- LEBEL, T.; TAUPIN, J.D.; D’AMATO, N. (1997). “*Rainfall monitoring during HAPEZ-Sahel. 1. General rainfall conditions and climatology*”. Journal of Hydrology 188-189(1-4), pp. 74 – 95.
- LUMPKIN, R.; JOHNSON, G. C. (2013). “*Global ocean surface velocities from drifters: Mean, variance, el niño–southern oscillation response, and seasonal cycle*”. Journal of Geophysical Research: Oceans, Wiley Online Library, v. 118, n. 6, p. 2992–3006.
- LUMPKIN, R.; MAXIMENKO, N.; PAZOS, M. (2012). “*Evaluating where and why drifters die*”. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 29, n. 2, p. 300–308.
- LUMPKIN, R.; ÖZGÖKMEN, T.; CENTURIONI, L. (2017). “*Advances in the application of surface drifters*”. Annual review of marine science, 9, pp. 59-81.
- MAXIMENKO, N.; HAFNER, J.; NIILER, P. (2012). “*Pathways of marine debris derived from trajectories of lagrangian drifters*”. Marine pollution bulletin, Elsevier, v. 65, n. 1-3, pp. 51–62.
- MAXIMENKO, N.; LUMPKIN, R.; CENTURIONI, L. (2013). “*Ocean surface circulation*”. In: International Geophysics. [S.l.]: Elsevier, v. 103, pp. 283–304.
- MILDEMBERGER, D.; KRAEMER, A.B.; VARGAS, G.; GONÇALVES, J.E. “*Avaliação de um equipamento de baixo custo para estimativa de correntes na zona de arrebentação praias*” in Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Nov. 2021,1, online.
- NASELLO, C.; ARMENIO, V. (2016). “*A new small drifter for shallow water basins: Application to the study of surface currents in the muggia bay (Italy)*”. Journal of Sensors, Hindawi, v. 2016.
- NOVELLI, G. et al. (2017). “*A biodegradable surface drifter for ocean sampling on a massive scale*”. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 34, n. 11, pp. 2509–2532.
- ROSSBY, T. (2007). “*Evolution of Lagrangian methods in oceanography*”, in *Lagrangian analysis and prediction of coastal and ocean dynamics*. Org. por Griffa, A.; Kirwan, A.D.; Mariano, A.J.; Ozgokmen, T. e Rossby, T., Cambridge University Press, pp. 1 – 38.
- SABET, B. S.; BARANI, G. A. (2011). “*Design of small gps drifters for current measurements in the coastal zone*”. Ocean e Coastal Management, Elsevier, v. 54, n. 2, p. 158–163.
- SCHMIDT, W. E. et al. (2003). “*A gps-tracked surf zone drifter*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology”, v. 20, n. 7, p. 1069 – 1075.



I SIMPÓSIO NACIONAL DE MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA

Agosto/2022 – Ouro Preto/MG

WITTE, T. H., e WILSON, A. M. (2004). “*Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground*”. Journal of biomechanics, 37(12), pp. 1891-1898.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio financeiro do CNPq (Processo: 440814/2020-0).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.