

## Drone anfíbio para monitoramento de rios e lagos

### Amphibious drone for river and lake monitoring

#### RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento e a atualização de um dispositivo eletrônico que será embarcado em um veículo aéreo não tripulado anfíbio (veículo que foi desenvolvido anteriormente em um projeto conjunto com o PTI) para medir a profundidade dos leitos dos rios usando um sensor ultrassônico de 200 kHz pela técnica Pulso-Eco. Inicialmente, o sistema era controlado por meio de um microcontrolador TM4C1294NCPDT, que posteriormente foi substituído por um FPGA (Field Programmable Gate Array), proporcionando maior capacidade de processamento. A primeira versão do sistema consistia em quatro circuitos separados que após uma atualização do projeto os unificou em apenas um hardware, reduzindo expressivamente sua massa devido em grande parte ao uso de componentes SMD e ao trocar indutores extremamente volumosos. A esse sistema foi incorporado a um circuito dedicado de detecção de obstáculos enquanto navega no rio, evitando choques com objetos e bordas. O projeto está em desenvolvimento, portanto não foi possível coletar dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ultrassom. Medição de Profundidade. Drone. Ecobatímetro.

#### ABSTRACT

This paper describes the development and upgrade of an electronic device that will be boarded on an amphibious unmanned aerial vehicle (vehicle that was previously developed in a joint project with the PTI) to measure riverbed depth using an ultrasonic sensor of 200 kHz by the Pulse-Eco technique. Initially, the system was controlled by a TM4C1294NCPDT microcontroller, which was later replaced by a Field Programmable Gate Array (FPGA), providing greater processing capacity. The first version of the system consisted of four separate circuits that, after a design upgrade, unified them into one hardware, significantly reducing their mass due largely to the use of SMD components and the exchange of extremely large inductors. This system has been incorporated into a dedicated obstacle detection circuit while navigating the river, avoiding collisions with objects and edges. The project is under development, so it was not possible to collect data.

**KEYWORDS:** Ultrasound. Depth Measurement. Drone. Ecobatimeter.

**Gelson Rocha**  
[rocha2gelson@gmail.com](mailto:rocha2gelson@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Fábio Rizental Coutinho**  
[fabiorizentalcoutinho@gmail.com](mailto:fabiorizentalcoutinho@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

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



## INTRODUÇÃO

O cenário ambiental, no que diz respeito aos recursos hídricos, revela sua fragilidade diante do crescimento desordenado da população mundial, implicando na ampliação da produção de alimentos e a oferta de serviços. A retirada da cobertura vegetal das encostas para fins agropecuários e a ampliação dos centros urbanos, vem aumentando os níveis de assoreamentos em rios e seus afluentes (CABRAL, 2005). Dessa forma, todo um ciclo, econômico e ambiental, é afetado, desde o fornecimento de água às cidades, o ciclo das chuvas, e até o represamento para produção de eletricidade em hidrelétricas, uma vez que esse fenômeno diminui a capacidade de armazenamento dos rios.

Segundo Floriani (2013) o Ecobatímetro é uma técnica largamente difundida em levantamento de dados para caracterizar os níveis de sedimentos acumulados nos leitos dos rios. Essa técnica utiliza sensores de ultrassom para verificar a profundidade desses. O avanço tecnológico nessa área de estudo resultou em uma nova técnica para medir distâncias abaixo d'água, denominada Pulso-Eco. Sua vantagem é a utilização de um único transdutor de ultrassom, que através de um circuito de excitação, constituído de conversores de energia e microprocessadores, ou microcontroladores, pode transmitir um sinal de alta energia alcançando grandes profundidades. Os sistemas que empregam a técnica Pulso-Eco conseguem atingir dimensões bastante reduzidas, o que possibilita embarcá-los em veículos autônomos não tripulados (VANT), como é o caso dos drones.

Nesse sentido, este trabalho propõe a atualização do sistema de medição de profundidade desenvolvido pelo aluno egresso Nilton Barbosa Da Rosa Júnior de 2016 a 2017 em seu TCC (ROSA JÚNIOR, 2017), bem como incorporar um sistema de desvio de obstáculos desenvolvido pelo aluno egresso William Emmert Gonçalves em seu TCC (GONÇALVES, 2019) entre os anos de 2018 e 2019. Essa atualização contempla o projeto de um novo *hardware* com o objetivo de reduzir suas dimensões para embarcá-lo em um drone anfíbio desenvolvido no campus Toledo em conjunto com a Fundação PTI - EDITAL FPTI-BR 037/2013.

## MATERIAIS E MÉTODOS

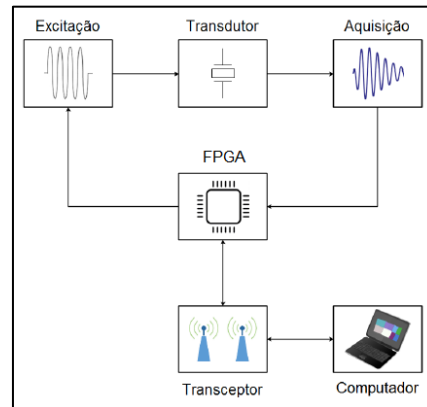
O sistema de medição inicialmente era controlado através de um microcontrolador TM4C1294NCPDT ARM CORTEX M4F produzido pela Texas Instruments. Contudo, decidiu-se atualizar o sistema, utilizando uma FPGA (*Field Programmable Gate Array*) como elemento controlador/processador do sistema. A FPGA utilizada é produzida pela Intel, modelo Cyclone IV da família EP4CE6, embarcado em uma interface de desenvolvimento modelo WaveShare CoreEP4CE6.

As FPGAs de acordo com Simpson (2010) são dispositivos lógicos programáveis que proporcionam a implementação de circuitos digitais, sendo dessa forma bastante flexíveis e adaptáveis a diversas aplicações. Seu principal destaque é na área de processamento digital de sinais devido a capacidade de realizar processos aritméticos de maneira paralela, levando a uma expressiva redução na quantidade de cálculos necessários para tratar estes sinais (SIMPSON, 2010).

A programação desses dispositivos é realizada através de VHDL (*VHSIC Hardware Description Language*, onde VHSIC é *Very High Speed Integrated Circuits*), tornando necessário uma reprogramação de toda a estrutura do *firmware* original, programado em C.

O sistema de medição de profundidade pode ser subdividido em blocos distintos, de modo a abstrair com maior facilidade sua organização. A figura 1 ilustra essa ideia e os próximos parágrafos elucidam detalhadamente cada bloco.

Figura 1 – Representação do sistema em blocos.



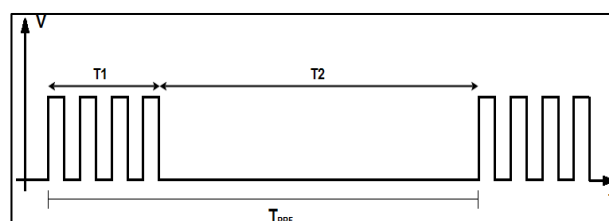
Fonte: Adaptado de (ROSA JÚNIOR, 2017).

Nesse contexto, o transdutor de ultrassom é responsável por transmitir os sinais e receber estes em forma de ecos. Sua característica piezelétrica faz com que ao ser excitado com um sinal elétrico irá produzir, como resultado, ondas sonoras ultrassônicas e do contrário sendo válido também. O sistema atual utiliza um transdutor do modelo Hurricane-TD02002 produzido pela Shenzeng Guandong China, cuja frequência de operação é 200 kHz.

A etapa de excitação é responsável por converter os sinais de baixa amplitude gerados na FPGA em sinais com níveis de tensão elevados, de modo que se possa atingir grandes profundidades. Para isso, um conversor CC-CC topologia *Boost* é utilizado para elevar a tensão da bateria 11,1V em uma tensão acima de 120V. Em seguida, um conversor CC-CA topologia *full-bridge*, converte essa tensão em um sinal alternado de 240 V pico-a-pico. Esse sinal alternado é ainda filtrado, com o intuito de reduzir as componentes harmônicas do sinal quadrado, ou seja, reduzir o THD (*Total Harmonic Distortion*).

A principal característica do método Pulso-Eco é a geração de um número definido de pulsos em um intervalo de tempo e em seguida cessá-los, Figura 2, ocorrendo de forma periódica. A maneira mais eficaz de realizar esse tipo de sinal é através de *firmware*, tornando o sistema mais barato e mais compacto, ou seja, dispensa a utilização componentes físicos para sua implementação.

Figura 2 – Sinal pulsado utilizado na técnica Pulso-Eco.



Fonte: (ROSA JÚNIOR, 2017).

Na etapa de aquisição o sinal recebido como eco é então processado de maneira que as informações a respeito da profundidade sejam obtidas. À medida que o sinal penetra no meio, nesse caso a água, tende a ter sua energia atenuada.

Desta maneira, um tratamento via *firmware* é realizado, de modo que na medida em que o sinal leva mais tempo para retornar à fonte, um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) é gerado e aplicado a um amplificador que altera seu ganho em função do ciclo de trabalho deste sinal, tornando o sistema mais autônomo.

A partir do momento em que o sinal pulsado é transmitido, o microprocessador inicia uma contagem de tempo, registrando dessa forma o tempo percorrido pelo sinal, desde a fonte até o objeto e seu retorno. Uma vez conhecidas as características do meio, é possível relacionar o valor do tempo obtido na contagem com a distância do objeto de acordo com a seguinte equação:

$$d = 2v_s t \quad (1)$$

onde  $v_s$  é a velocidade som no meio e  $t$  é o tempo registrado que pode ser expresso ainda como:

$$t = N t_{clock} \quad (2)$$

em que  $N$  é o número de contagens do *clock* da FPGA e  $t_{clock}$  é o período do sinal de *clock*, equivalente a 20 ns.

Os dados coletados são transmitidos a partir de um módulo de rádio frequência HC-12 (bloco transreceptor), que tem alcance máximo de até 1km e faixa de frequência entre 433 a 473 MHz, com uma taxa de transmissão de 5000 bits/s de acordo com a fabricante Elecrow (2017). O modo de comunicação é realizado ponto-a-ponto, sendo então utilizados dois módulos HC-12, um juntamente com o sistema de medição e o outro com um computador.

A apresentação dos dados é realizada por meio de uma interface gráfica desenvolvida por meio do *software Visual Studio*. A interface desenvolvida fornece ao usuário a variação da profundidade por meio de curvas de níveis e valores numéricos, ambos variando dinamicamente de acordo com os dados amostrados.

O sistema de detecção de obstáculos utiliza o mesmo princípio de funcionamento do sistema de medição de profundidade. Contudo, esse sistema possui um menor alcance, em torno de 15 metros, uma vez que os possíveis obstáculos tendem a estar próximos do drone. Para isso são utilizados 4 transdutores (frente, atrás, direita e esquerda) de 40 kHz com uma lógica de multiplexação no tempo, de modo que apenas um transdutor atue por vez.

Sem a necessidade de um sinal com elevado nível de tensão, o sistema de desvio de obstáculos não faz uso de conversores CC-CC, nem CC-CA. Em razão disso, são empregados transformadores para elevar o nível do sinal de baixa amplitude produzido pela FPGA, em um sinal com amplitude em torno de 30 V.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

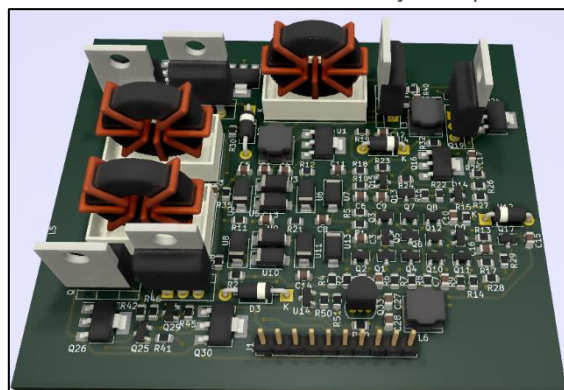
O sistema de medição de profundidade inicialmente foi projetado em cinco circuitos distintos: excitação, aquisição, drivers, transreceptor (HC-12) e o microcontrolador (kit de desenvolvimento TIVA). Esse fato inviabilizou a possibilidade de embarcá-lo no drone anfíbio, de modo que os testes foram conduzidos em laboratório, utilizando para isso uma bombona com capacidade de 200L e dimensões de 58,3x93cm (*diâmetro x altura*).

A autonomia de voo e a capacidade do número de leituras são impactados diretamente pela massa do conjunto, drone e sistema de medição de profundidade, logo se fez necessário optar por elementos leves e com massa bem distribuída. O sistema de medição possuía uma massa elevada, onde grande parte

era provinda dos indutores do circuito de excitação. Esses indutores foram confeccionados com núcleo de ferrite perfil E, feito de material Manganês - Zinco (MnZn), sendo esses produzidos pelo aluno Nilton. Dessa maneira, foram adquiridos novos indutores, especialmente fabricados para que possuíssem massa reduzida dimensões reduzidas, possibilitando aumentar a autonomia do sistema em si.

A fim de reduzir as dimensões finais do *hardware* foram utilizados componentes SMD (*Surface Mounting Device*) na medida do possível em vista do valor elevado de alguns componentes, quando comparado com um componente equivalente THT (*Through-hole technology*). O novo *hardware* contempla ainda o sistema de detecção e desvio autônomo de obstáculos, porém isso não impactou as dimensões finais, que ficaram dentro de um limite esperado, sendo que o espaço interno do drone é extremamente reduzido e ainda possui toda o sistema de controle de voo e a alimentação (bateria). A Figura 3 mostra a renderização 3D do projeto do *hardware* que obteve uma redução significativa em sua área. Todo esse conjunto foi reprojeto de modo a integrar um circuito apenas, visando embarcá-lo no drone anfíbio. O novo *hardware* foi projetado utilizando uma plataforma *Open Source*, para desenvolvimento de circuitos eletrônicos, KiCad EDA.

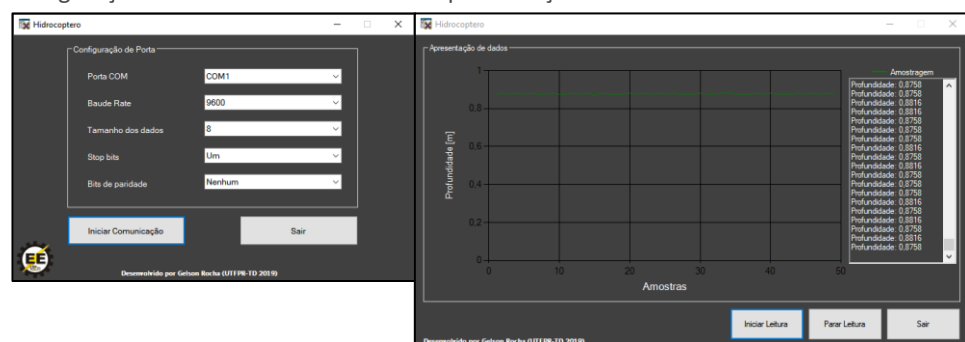
Figura 3 – *Hardware* do sistema de medição de profundidade.



Fonte: Autoria própria.

A interface gráfica recebeu modificações de *design*, porém o conteúdo apresentado continua sendo por meio de curvas de níveis, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Interface do sistema de medição de profundidade. Lado esquerdo: interface de configuração. Lado direito: interface de apresentação dos dados lidos.



Fonte: Autoria própria.

Até o presente momento não foi obtida nenhuma amostra em campo com o sistema de medição de profundidade atualizado, devido ao tempo de confecção do *hardware*. Os dados obtidos são os mesmos apresentados pelos alunos egressos Nilton e William em (ROSA JÚNIOR, 2017) e (GONÇALVES, 2019), respectivamente.

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que os objetivos foram concluídos parcialmente até o momento. Entretanto, é esperado que a partir da obtenção do *hardware* se possa alcançar completamente os dados, podendo deste modo finalizar a segunda versão do sistema de medição de profundidade de rios e reservatórios, sendo possível então, formalizá-lo como um produto.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio financeiro, em especial ao Campus Toledo por fornecer sua infraestrutura para a realização deste trabalho. Agradeço ainda ao Prof. Dr. Fábio Rizental Coutinho e aos alunos egressos Nilton Barbosa Da Rosa Júnior e William Emmert Gonçalves pelo apoio e o compartilhamento de conhecimentos.

## REFERÊNCIAS

FLORIANI, B. L. Proposta de uma solução conceitual de um sistema de investigação subaquático para águas rasas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2013.

ROSA JÚNIOR, N. B. Sistema de medição de profundidade baseado em transdutor ultrassônico. 2017. 130f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2017.

SIMPSON, P. **FPGA Design: Best Practices for Team-based Design**. Nova York: Springer, 2010.

CABRAL, J. B. Estudo do processo de assoreamento em reservatórios. Caminhos de Geografia - Instituto de Geografia UFU, Universidade Federal de Uberlândia, v. 14, n. 6, p. 62-69, 2005.

ELECROW, 2017. Disponível em: <<https://www.elecrow.com/download/HC-12.pdf>>. Acesso em: 5 de maio 2018.