

SISTEMA DE SENSORIAMENTO E CONTROLE DE MOVIMENTAÇÃO DE UM VEÍCULO SUBAQUÁTICO AUTÔNOMO

Matheus Correia dos Reis ¹; Wânderson de Oliveira Assis ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

² Professor(a) da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT).

Resumo. *Este projeto propõe o desenvolvimento de um veículo subaquático autônomo (AUV – Autonomous Underwater Vehicle) que possa locomover-se dentro de um tanque, utilizando-se de tecnologias como uma câmera embarcada e um sistema de sensoriamento. Neste trabalho é desenvolvido um novo circuito eletrônico bem como a programação do AUV de forma a permitir o monitoramento de diversos sensores e atuadores introduzidos no veículo, tais como, giroscópio e acelerômetro, sensores de proximidade, câmera, motores, componentes de sinalização, etc.*

Palavras-chave: AUV, sensoriamento, robótica autônoma, sinais, IMU.

Introdução

Veículos subaquáticos autônomos, os AUVs (*Autonomous Underwater Vehicles*), são veículos não tripulados, com fonte de energia própria e processamento interno que executam ações de forma autônoma a partir de informações obtidas por sensores (Batistella, 2011). Suas ações são executadas utilizando processamento embarcado e por isso não é necessário efetuar conexão via cabo podendo atingir distâncias significativas a partir de um navio de apoio ou plataforma, permitindo a realização de experimentos com dados obtidos enquanto o veículo está submerso. Aplicações incluem o monitoramento subaquático, por exemplo, em ambientes próximos à pontos de extração ou transporte de petróleo.

Veículos subaquáticos autônomos, os AUVs (*Autonomous Underwater Vehicles*), apresentam custo operacional mais reduzido, uma vez que o operador humano não é necessário. Além disso, como as ações são executadas de forma autônoma utilizando processamento embarcado, não é necessário efetuar conexão via cabo podendo por isto atingir distâncias significativas a partir de um navio de apoio ou plataforma, permitindo ao cientista realizar experimentos com dados obtidos enquanto o veículo está submerso, coletando dados. Alguns AUVs conseguem tomar decisões próprias, mudando a característica da missão baseado no ambiente em que se encontra. No entanto, seu projeto é relativamente mais complexo e mais limitado em termos de controle e capacidade de processamento, bem como, fica dependente da capacidade da fonte de energia embarcada. Neste sentido, muitas pesquisas estão sendo realizadas em todo o mundo com ênfase em autonomia, navegação, detecção de objetos, fontes de energia e sistemas de informação para veículos autônomos subaquáticos (Gonzales, 2004), (Yoerger *et al.*, 2007).

Materiais e Métodos

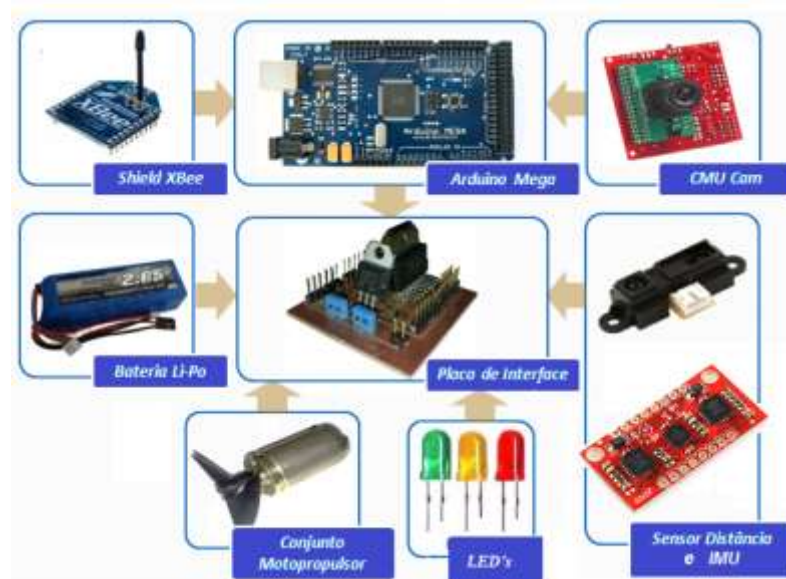
Este trabalho tem como objetivo elaborar o projeto e construção de circuito eletrônico e sistema de sensoriamento para um veículo subaquático autônomo (Forni *et. al.*, 2011a), (Forni *et. al.*, 2011b). Adicionalmente o projeto inclui a criação de um algoritmo que permita controlar, com relativa precisão e estabilidade, a movimentação do veículo a partir de informações obtidas por todos os sensores incluindo realização de uma trajetória previamente definida, mas com desvios de eventuais obstáculos.

a) Hardware do AUV

Nesta seção pretende-se demonstrar as características, funcionalidades e aplicações dos dispositivos eletrônicos utilizados, bem como os materiais utilizados na adaptação e programação do projeto. Os dispositivos utilizados no AUV estão apresentados na Figura 1. Dentre os dispositivos apresentados merecem destaque os sensores IMU e a placa de interface. A introdução do IMU foi uma das principais contribuições do projeto realizado em 2013. Adicionalmente foi desenvolvida uma nova placa de interface, que permite conexão com todos os dispositivos apresentados na Figura 1. O Arduino Mega também foi objeto de intenso estudo durante esse projeto, pois por meio desse dispositivo foi realizada em 2013 toda a programação que permite a medição em todos os sensores e o controle dos motores, além de permitir a conexão com computador de controle por meio de módulo XBee.

Os dispositivos utilizados no trabalho realizado em 2013 estão detalhados a seguir.

Figura 1 – Dispositivos Utilizados no UAV



Servomotores

Ao todo, quatro servomotores *Falhauber* foram instalados no veículo, sendo dois para movimentos horizontais, e os outros dois para movimentos verticais. Esses motores operam por uma tensão contínua de 12V.

O projeto do AUV realizado em (Forni et. al, 2011a) e (Forni et. al, 2011b) e incluindo os servomotores é apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Veículo Subaquático Projetado em (Forni et. al, 2011a)

Microcontrolador e Microprocessador

O microprocessador utilizado é um Arduino, que é uma plataforma de hardware livre, projetada com um microcontrolador Atmel AVR de placa única, com suporte de entrada/saída embutido e uma linguagem de programação padrão, essencialmente C/C⁺⁺. O objetivo do projeto com Arduino é criar ferramentas que são acessíveis, com baixo custo, flexíveis e fáceis de se usar por profissionais experientes, mas também por amadores.

LED's (*Light Emitting Diode*)

Foram utilizados LED's de alto brilho para sinalização de forma a identificar o movimento do veículo. Ao todo foram instalados 6 LED's, 3 de cada lado.

Sensores de Distância

Os sensores utilizados para detecção de obstáculos bem como para identificar as bordas do tanque são os sensores de distância Sharp GP2D120XJ00F. Tratam-se de sensores de infravermelho (IR) onde um sinal luminoso é emitido e a distância entre o sensor e o obstáculo é determinada por meio da variação da potência luminosa refletida que é captada por um fototransistor e assim transmitida ao Arduino.

Foram introduzidos dois sensores de distância no projeto, um apontado levemente para a esquerda e outro apontado levemente para a direita, sendo que cada um deles também abrange a parte frontal do veículo.

Módulo de Transmissão de dados

Para a transmissão de dados *wireless* do veículo para um computador, foi inserido no projeto um módulo XbeeTM.

Os módulos XbeeTM são dispositivos com tecnologia ZigBeeTM desenvolvidos pela empresa norte americana DIGI (antiga MaxStream) com o objetivo de simplificar aplicações utilizando RF (radiofrequência).

O Padrão IEEE 802.15.4 define as duas primeiras camadas da pilha de protocolos: a camada de Controle de Acesso ao Meio (MAC) e a camada física que tem como características: alcance máximo de 150 m, operação em baixas frequências, devido ao ambiente de difícil propagação, como a água.

O Padrão ZigBEETM compreende mais duas camadas de protocolos: a camada de rede, que define endereçamento e roteamento, e a camada de suporte à aplicação que estabelece o conjunto de objetos manipuláveis pelo usuário.

Câmera

Para monitorar as imagens no fundo do tanque e localizar objetos utilizou-se sistema de captura e processamento de imagens o qual deve possuir as seguintes características: a) uma câmera colorida com uma resolução suficiente para o reconhecimento de objetos tanto pela forma quanto pela cor; b) um processador capaz de capturar a imagem da câmera e fazer o reconhecimento dos objetos; c) um meio de transmissão do sistema de captura para o veículo autônomo de forma rápida e eficiente.

Bateria

A alimentação foi produzida por bateria Li-Po Turnigy de 500 mAh constituída de três células e com tensão nominal de 11,1 V.

Fiação, Conexão e Vedação

Para a transmissão de sinais entre os servomotores, LED's e o microcontrolador foram utilizados cabos do tipo manga blindados, constituídos de 15 fios de 1 mm de diâmetro, tranças de cobre nú para a blindagem e revestido de PVC, protegendo os fios de qualquer contato com a água.

Nas extremidades de cada fio foram soldados plugues fêmeas, e em seguida plugues machos facilitando a ligação nos pinos do Arduino.

Os braços do veículo foram colados com cola Epóxi, com características próprias na colagem de Nylon e outros polímeros.

A vedação foi realizada utilizando silicone em cada encaixe do veículo, para a parte frontal utilizou-se de parafusos para lacrar a tampa.

Sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*)

Esse dispositivo IMU inclui um acelerômetro e um giroscópio, que captam a aceleração e a velocidade angular, respectivamente. Ao obter esses dados, o sensor, conectado à porta analógica do Arduino, os envia para determinar-se a posição do veículo em relação ao eixo x,y,z, ou seja, a inclinação do veículo.

As principais características do IMU (Figura 1) são:

- Tensão de operação de -0,3V a 6,0V;
- Consumo médio de corrente de 5 mA;
- Aceleração máxima de 10.000g para 0,1ms

Foi introduzido um sensor no projeto, que foi fixado em uma das extremidades da placa de circuito impresso.

b) Softwares Utilizados no Projeto

Para realizar o projeto eletrônico foram utilizados os softwares MultisimTM e UltiboardTM da National Instruments, nos quais foram permitiram a realização dos projetos da placa de condicionamento de sinal e conexão de sensores

A partir do projeto realizado foi produzida a placa de interface utilizando uma máquina alemã LPKF Laser & Electronics ("Leiterplatten Kopier Fräsen"), ou seja, uma máquina de prototipagem e fabricação de placas de circuito impresso, disponível na própria instituição.

O software LabVIEWTM foi utilizado em ensaios com os sensores bem como na criação de interface para controle de movimentação dos motores. para os testes dos sensores.

Com os dados obtidos pelo LabVIEWTM, utilizou-se o software Matlab para realizar o tratamento dos dados, projetar filtros e obter a curva característica dos sensores acelerômetro e giroscópio.

c) Etapas do Projeto

As principais etapas do projeto constituem:

- estudo do funcionamento de todos os componentes introduzidos no AUV, inclusive com levantamento das principais limitações do projeto realizado anteriormente (Forni et. al, 2011a) (Lima et. al, 2012);
 - introdução de acelerômetro e giroscópio com análise de funcionamento, realização de ensaios utilizando sistema de aquisição de dados, tratamento dos sinais e projeto de filtro para reduzir as imprecisões e interferências nas medições;
 - projeto de nova placa de interface para monitorar os sinais de todos os sensores e atuadores;
 - programação do Arduino para permitir a comunicação com computador central e a partir deste realizar o controle de movimentação dos motores do AUV.
 - elaboração de uma rotina de controle autônomo.
- O detalhamento das principais atividades desenvolvidas está apresentado a seguir.

Aquisição de Dados do Sensor IMU

Com a finalidade de compreender melhor o funcionamento do sensor, para sua posterior aplicação no veículo, foram realizados testes utilizando-se do sistema de aquisição de dados ELVISTM (Figura 3). No ensaio os sensores foram fixados na extremidade de um

pequeno servomotor, o qual foi submetido a movimentos aleatórios em velocidades e direções diferentes. Os dados obtidos nos sensores acelerômetro e giroscópio com três eixos, foram obtidos através do LabVIEW™. Os dados foram exportados para o Matlab e foram tratados utilizando Método dos Mínimos Quadrados para obter a curva característica dos sensores e o respectivo modelo matemático. Por meio do modelo projetou-se um Filtro de Kalman para filtrar os dados dos sensores, minimizando suas interferências. O detalhamento sobre os ensaios realizados, a aplicação do método dos mínimos quadrados e o projeto do filtro de Kalman, estão apresentados em (Solda et. al, 2013).

Placa de Circuito Eletrônico

Foi desenvolvida uma placa com um circuito eletrônico que possibilita que o microcontrolador controle os servomotores, pois este não possui a corrente necessária para o funcionamento dos servomotores, e ainda torna possível a inversão do sentido de rotação dos motores sem a necessidade de inverter seus pólos manualmente. Este circuito denomina-se ponte H, e é encontrado em circuitos integrados.

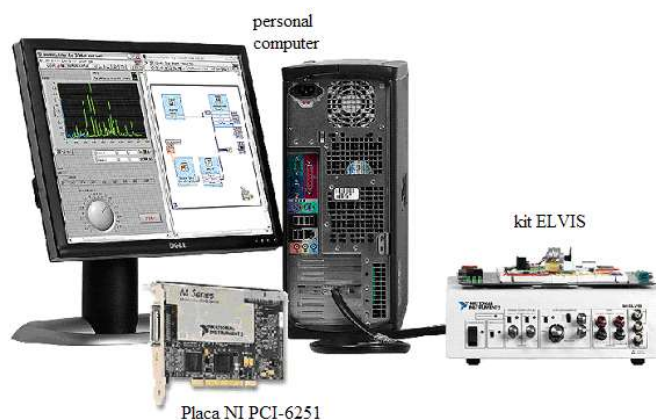


Figura 3 – Aplicação de Aquisição de Dados com kit ELVIS™

Neste projeto foram utilizados quatro pontes H por meio de CIs L298N fabricados pela ST Microeletronics. No circuito integrado são utilizados três sinais para controlar cada motor: um para controlar o acionamento no sentido-horário, outro para o sentido anti-horário, e um terceiro sinal para definir o valor médio da tensão aplicada ao motor por meio de sinal PWM (*pulse-width modulation*) ou seja, por modulação por largura de pulso, sua frequência é de aproximadamente 490 Hz. Todos os sinais serão produzidos na programação do Arduino.

A placa de interface também incorpora regulador de tensão e permite a conexão de todos os sensores. Após uma profunda análise do espaço disponível e da ideia de desenvolver uma placa completa que se utiliza de cabos *flat* para a transmissão, ao invés de uma imensidão de fios, foi desenvolvida a placa no Multisim™ e depois montada no Ultiboard™. Após a impressão da mesma na máquina, foram soldados os terminais machos e encaixados os conectores fêmea para a conexão dos cabos *flat* da placa ao Arduino.

Programação do Arduino

Para a leitura de dados do sensor IMU, comunicação com o computador e o funcionamento dos motores de acordo com a necessidade, foi necessário programar o Arduino para executar esses comandos utilizando a linguagem C++.

Resultados e Discussão

Curva Característica do sensor IMU

O sensor utilizado no veículo envia, numa razão de milissegundos, os valores da aceleração e da velocidade angular em cada um dos eixos x,y,z, de acordo com os dados de posição recebidos pelo sensor e transformados em tensão. Durante 5 segundos, foram armazenados esses dados no LabVIEWTM e exportados ao MatlabTM, o qual, foi utilizado para fazer a modelagem matemática dos sensores giroscópio e acelerômetro com minimização de interferências. Para isso foram realizados ensaios utilizando sistema de aquisição de dados com kit ELVISTM da National Instruments e um servomotor com o sensor IMU fixado em sua extremidade. Os dados coletados foram exportados para o software MatlabTM, onde foi desenvolvido algoritmo baseado no Método dos Mínimos Quadrados e posteriormente no Método dos Mínimos Quadrados Ponderados para deduzir o modelo matemático do sensor. Posteriormente foi realizado o projeto de um Filtro de Kalman para filtrar os dados obtidos minimizando as imprecisões nas medições dos sensores giroscópio e acelerômetro (Solda et. al, 2013). A Figura 4 mostra resultados obtidos com o giroscópio aplicando a metodologia descrita.

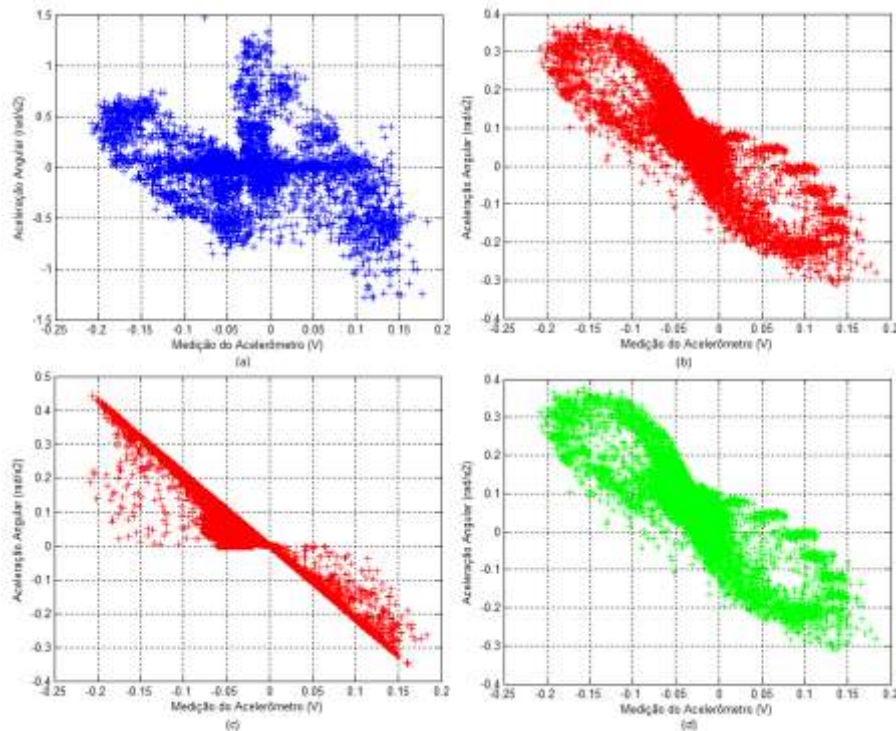


Figura 4 – Curvas características do giroscópio

(a) Dados coletados (b) Método dos Mínimos Quadrados

(c) Método dos Mínimos Quadrados Ponderados (d) Filtro de Kalman

Detecção de Objetos

Os sensores utilizados no veículo assim que detectam um obstáculo emitem uma tensão proporcional a distância do objeto. A curva característica dos sensores utilizados é apresentada na Figura 5.

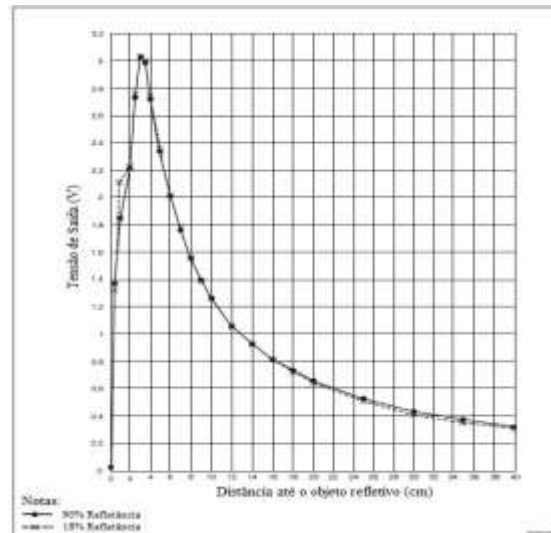


Figura 5 – Curva característica do fabricante.

Controlando os Servomotores

Para a programação dos servomotores, foi necessária a utilização de uma função que modela a largura de pulsos utilizando sinal com modulação de largura de pulso (*Pulse Width Modulation* - PWM), como mostrado na Figura 8. Essa função é denominada `AnalogWrite()` no Arduino IDE, sendo que a escala varia de 0 a 255 (Arduino 2012b). Essa função consiste em ligar e desligar rapidamente o sinal, sendo que o tempo em que o sinal permanece ligado é a largura do pulso, assim faz com que a tensão na saída varie com essa escala.

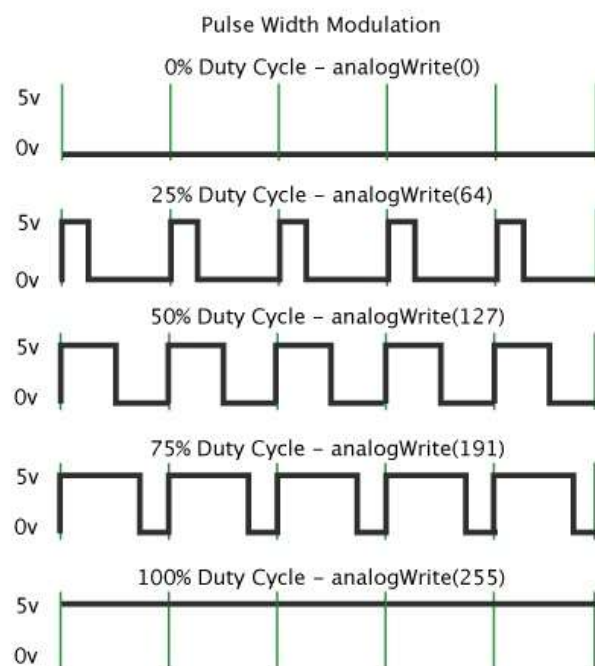


Figura 6 – Exemplos de PWM utilizados no Arduino.

Placa de Interface

A conexão dos sensores, motores, LED's, sensor de distância e fontes de alimentação foi realizada por meio de placa de interface. O projeto original da placa desenvolvido por computador está ilustrada na Figura 7. O projeto do circuito foi realizado, permitindo a

conexão do sensor inercial, sensores de distância, circuito de amplificação, motores, LED's e fonte de alimentação foi realizada de forma adequada produzindo um eficiente controle dos servomotores e monitoramento dos sinais dos sensores por meio da placa de interface desenvolvida (Figura 8). O layout do circuito original em Multisim está apresentado na Figura 9.

Programa de Interface em LabVIEW™

O aplicativo desenvolvido em LabVIEW™ (Figura 10) permite o controle de movimentação do veículo em todas as direções. O controle é realizado acionando teclas "w", "s", "a", "d" e "z", produzindo respectivamente os movimentos "para frente", "para trás", "gira para a esquerda", "gira para a direita" e "pára". Esse controle permite acionar os motores laterais do AUV de forma a permitir a movimentação do AUV. Os movimentos de subida e descida não foram ainda introduzidos no Arduino. Contudo a metodologia e estratégia a serem desenvolvidos são similares ao já desenvolvido para controlar os motores laterais.

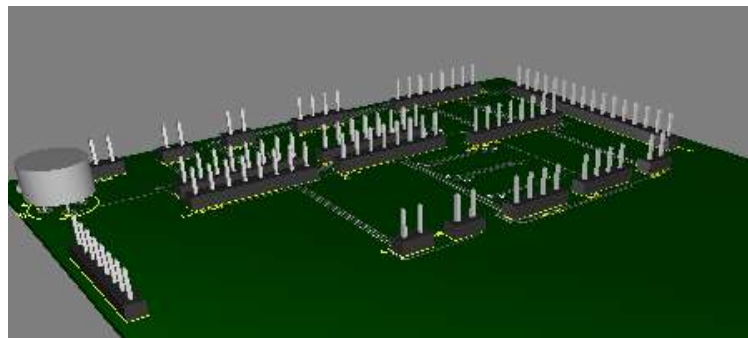


Figura 7 – Layout da nova placa projetada em software Multisim™.

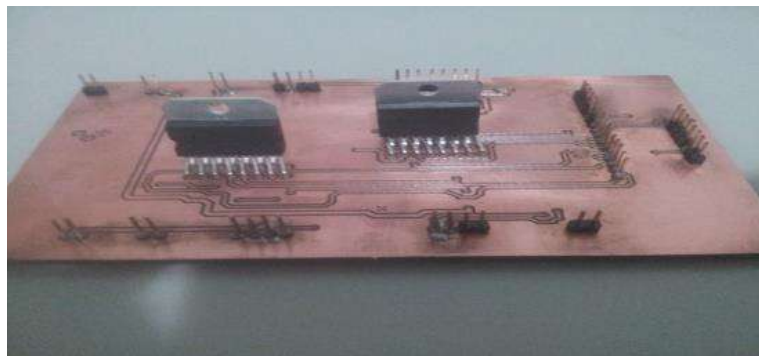


Figura 8 – Nova placa de interface desenvolvida.

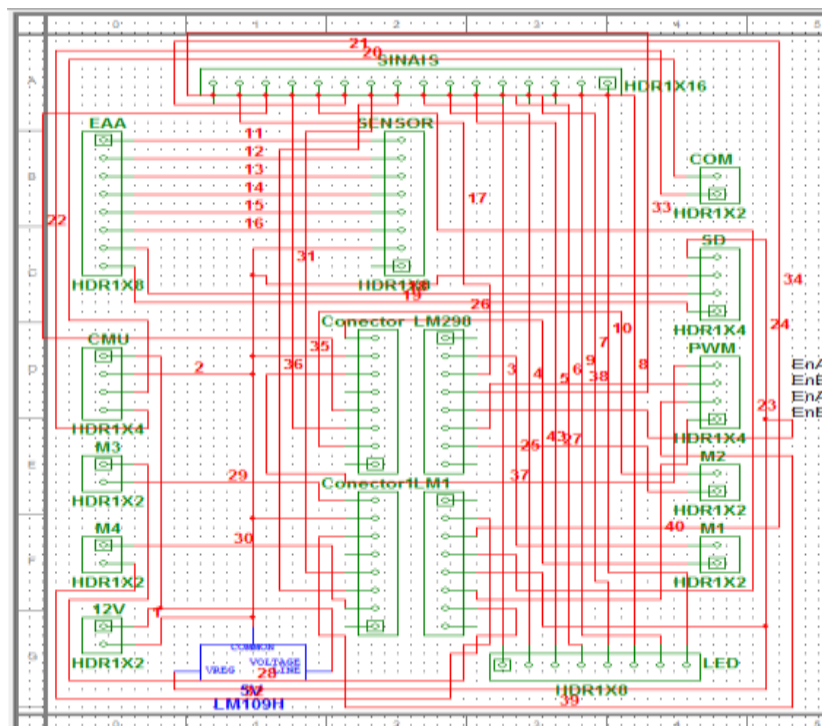


Figura 9 – Projeto do novo circuito eletrônico em Multisim.

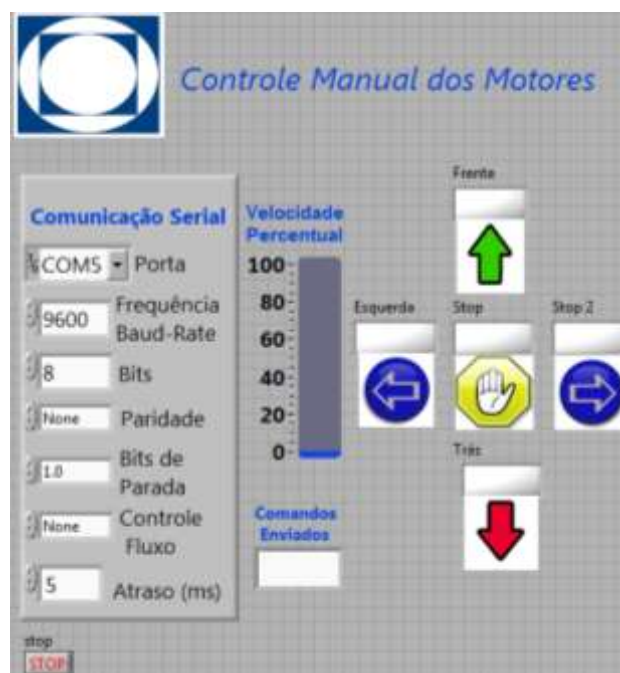


Figura 10 – Interface para Controle no LabVIEW

Conclusões

Este projeto propôs a adaptação de um veículo subaquático que seja capaz de locomover-se de forma autônoma e manual dentro de um tanque. Várias melhorias foram introduzidas no projeto original. As seguintes contribuições ao projeto foram introduzidas: introdução de sensor inercial, com acelerômetro e giroscópio, para medição de aceleração e velocidade angulares; desenvolvimento de nova placa de interface para amplificar os sinais de controle para os motores e permitir a conexão e interfaceamento com os diversos sensores do AUV; criação de interface de controle para o usuário, utilizado para isso o software LabVIEWTM; e programação do Arduino para permitir o controle e movimentação de motores.

Este projeto é apenas um protótipo, para atividades em ambiente hostil de trabalho, deverão ser feitas algumas mudanças na estrutura do veículo e a implantação de componentes

de maior sofisticação, como um sonar no lugar do sensor de distância e um transmissor RF no lugar do Xbee.

Referências Bibliográficas

- Barros, E. A.; AUVs, Veículos Autônomo Submarinos: Panorama Internacional e o Projeto Pirajuba (2012). Disponível em < http://wtsub.c3.furg.br/arquivos/download/apre_lvnt_2012.pdf> Acesso em 13 de Abril de 2012.
- Battistella, S.; Queiroz, M. H. (2011) Sistemas de Controle de Missão para Autonomous Underwater Vehicles – AUVs, Disponível em < http://www.das.ufsc.br/~raffo/SeminariosRobotica_DAS/06.Seminario_24.11.2011_S.Battistella/8.SCM%20de%20AUVs.11.2011.pdf> Acesso em 15 de Abril de 2012.
- Centeno, M. L.; Gomes, S.C.P.; Pereira, I.M.; (2008) Controle em Profundidade de um Veículo Subaquático do Tipo ROV, Disponível em < <http://www.semengo.furg.br/2008/13.pdf>> Acesso em 15 de Abril de 2012.
- Forni, C. C.; Assis, W. O.; Coelho, A. D. Projeto de um Veículo Subaquático Autônomo. 3. Seminário Mauá de Iniciação Científica, São Caetano do Sul, 2011a.
- Forni, C. C.; Assis, W. O.; Coelho, A. D. Projeto de um Veículo Subaquático Autônomo. CONIC - SEMESP - 11. Congresso Nacional de Iniciação Científica, Santos, 2011b.
- Gonzalez, L. A. (2004) *Design, Modelling and Control of an Autonomous Underwater Vehicle*, Bachelor of Engineering Thesis, The University of Western Australia, School of Electrical, Electronic and Computer Engineering, Crawley, Australia.
- Lima, B.; Bellini, D.; Assis, W. O.; Forni, C. C.; Coelho, A. D. *Controle de Movimentação de um Veículo Subaquático Autônomo*, II Encontro de Iniciação Científica da UFABC, São Caetano do Sul - SP, 2012.
- NAVTEC, Conferência Internacional Naval e Tecnológica (2012). Disponível em < <http://www.polonavalrs.com.br/>> Acesso em 10 de Março de 2012
- Rowe, A.; Rosenberg, C.; Nourbakhsh, I. (2002) *A Low Cost Embedded Color Vision System*. Proceedings of IROS 2002 – IEEE / RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Switzerland, September / October.
- Solda, R., Assis, W. O. *Desenvolvimento de Sistema de Sensoriamento e Comunicação para Navegação de Veículos Autônomos*, CONIC - SEMESP - 2013 - 13º Congresso Nacional de Iniciação Científica, 2013.
- Valavanis, K. P., Gracanin, D., Matokasevic, M., Kolluru, R., Demetriou, G. A. (1997) *Control Architectures for Autonomous Underwater Vehicles*, IEEE Controls Systems, p. 48 – 64, December.
- Yoerger, D. R., Jakuba, M., Bradley, A. M., Bingham, B. (2007) *Techniques for Deep Sea Near Bottom Survey Using an Autonomous Underwater Vehicle* Robotics Research, Springer Berlin / Heidelberg, V. 28, p. 416 – 429, May.