

# VEÍCULO AUTÔNOMO TERRESTRE PARA INSPEÇÃO DE AMBIENTES DINÂMICOS

*ANUÁRIO DA PRODUÇÃO DE  
INICIAÇÃO CIENTÍFICA DISCENTE*

Vol. 13, N. 17, Ano 2010

*Caio Cesar Biscaro  
Kristofer Leite Gonçalves  
João Rafael M. Custódio  
Héder Torres Garcia*

*Curso:*  
Engenharia de Controle e  
Automação

FACULDADE ANHANGUERA DE  
JUNDIAÍ

---

Trabalho apresentado no 10º  
Congresso Nacional de Iniciação  
Científica – CONIC.

## RESUMO

Este artigo aborda a pesquisa e a viabilidade de desenvolvimento e construção de um veículo terrestre autônomo, que desvia de obstáculos e chega a um determinado alvo previamente estipulado. Para isso trabalha em conjunto com um software executado remotamente, cujo objetivo é o monitoramento da locomoção e o envio de coordenadas por rádio frequência com base nos dados sensoriais adquiridos pelo robô. A pesquisa está dividida nas quatro principais áreas componentes do projeto: eletrônica, mecânica, programação e comunicação. Sendo abordadas de forma separada, mostram as etapas de construção do veículo, bem como, alguns dos testes sensoriais de varredura do ambiente externo e comunicação sem fio com o computador remoto. O sucesso do desenvolvimento pode ser comprovado com os resultados alcançados nos testes de funcionalidades. Em fase final de construção, ainda resta concluir a montagem mecânica, a aferição da comunicação externa, e a atuação do robô mediante o monitoramento remoto, sendo estas etapas finais um incentivo para a continuidade da pesquisa.

**Palavras-Chave:** robótica móvel; construção de robôs; inspeção de ambientes dinâmicos; comunicação remota; varredura de ambiente.

**Anhanguera Educacional Ltda.**

*Correspondência/Contato*  
Alameda Maria Tereza, 2000  
Valinhos, SP - CEP 13278-181  
rc.ipade@unianhanguera.edu.br  
pic.ipade@unianhanguera.edu.br

*Coordenação*  
Instituto de Pesquisas Aplicadas e  
Desenvolvimento Educacional - IPADE

Publicação: 30 de junho de 2011

*Trabalho realizado com o incentivo e  
fomento da Anhanguera Educacional*

## 1. INTRODUÇÃO

Veículos autônomos freqüentemente são alvos de pesquisas e investimento tecnológico em várias partes do mundo, tais como os que estão em constante desenvolvimento por universidades, inclusive no Brasil, (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2009). Esses projetos objetivam a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação de sistemas de navegação autônoma em veículos terrestres. Automóveis dotados de tais sistemas contribuiriam para a redução do número de acidentes no trânsito, causados muitas vezes por imprudência ou falta de atenção do condutor (SOBRAL, 2009). Mas isso ainda demandará vários anos de desenvolvimento para tornar-se algo convencional, devido à infinidade de variáveis que existem e que venham a surgir em ambientes tão complexos quanto ruas, avenidas e auto-estradas presentes no planeta (BORENSTEIN; EVERETT; FENG, 1996).

Tratando de ambientes em escala menor que podem ser facilmente mapeados ou que não envolvam uma complexidade tão extensa, os veículos dotados de sistemas autônomos tornam-se viáveis e de grande utilidade, devido às várias habilidades possíveis de serem incorporadas. Algumas delas são: a locomoção em um ambiente já conhecido, o desvio de obstáculos que possam vir a surgir em sua trajetória, e a aquisição de dados do meio externo quando se tratar de um ambiente ainda inexplorado (HEINEN, 2002).

Veículos móveis autônomos ou semi-autônomos podem substituir seres humanos em ambientes perigosos ou insalubres. Utilizando-se para isso um *software* elaborador de trajetórias (SOBRAL, 2009), possibilitando o envio de um robô para executar determinada tarefa com o intuito de preservar a saúde humana.

Este artigo está organizado em seções. A primeira seção é essa introdução, a seção 2 apresenta os objetivos da pesquisa. A metodologia utilizada na realização do projeto é apresentada na seção 3. As informações relacionadas ao desenvolvimento são mostradas na seção 4. Os resultados são descritos na seção 5. Por fim, as considerações finais são apresentadas na seção 6.

## 2. OBJETIVO

O foco desta pesquisa é o estudo da viabilidade e o desenvolvimento de um veículo móvel com a capacidade de receber as coordenadas e se locomover em determinada direção (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2009) em ambiente mapeado, (UNIFACS, 2009) desviando de obstáculos, evitando colisões, localizando e alcançando alvos, (SILVA, 2009) mesmo que no decorrer da trajetória sejam inseridos novos objetos não previstos no plano

inicial. Esse é o chamado tipo de abordagem híbrida (UNIFACS, 2009), na qual existe um pré-mapeamento do ambiente que cria e planeja uma trajetória a ser seguida, e durante essa trajetória os sensores são utilizados para o desvio de obstáculos dinâmicos que possam ser encontrados.

As abordagens híbridas tem-se tornado muito viáveis para o desenvolvimento de sistemas de controle de veículos autônomos, tornando-os capazes de realizar tarefas de forma eficiente sem que as imprevisibilidades do ambiente prejudiquem sua execução (HEINEN, 2002).

Também faz parte do objetivo contribuir para futuras pesquisas em robótica móvel, deixando este artigo como material didático de apoio e como base para a continuidade da pesquisa na área.

### 3. METODOLOGIA

Este projeto pode ser dividido em quatro áreas: eletrônica, mecânica, programação e comunicação, sendo cada uma detalhada nas subseções seguintes. Cada área é composta por módulos representativos da menor parcela nas etapas de construção do robô. Emprega-se assim o conceito de modularidade, permitindo a construção de partes independentes e possíveis de serem integradas para a obtenção do produto final (ARNHEITER; HARREN, 2006). Ainda com a vantagem da fácil substituição dos módulos devido a possíveis defeitos após a montagem. Um módulo pode ser um circuito eletrônico, uma estrutura mecânica, um sensor, ou motor, que conectados entre si compõem o projeto.

O robô funciona de forma integrada a um *software* de controle executado por um computador remoto, através do qual são enviadas as coordenadas de locomoção com base nos dados adquiridos pelos sensores do robô, visando atingir o alvo desviando dos obstáculos. Tal *software* denominado “PoliControl”, desenvolvido em outro Projeto de Iniciação Científica, com o título de: “Proposta de Software de Controle para Veículos Robóticos Móveis Semi-Autônomos”, é ilustrado na Figura 1. E através dessa ferramenta é possível ver a trajetória que o robô fez, evitando as colisões com os obstáculos e barreiras impostas até alcançar o alvo pré-determinado.

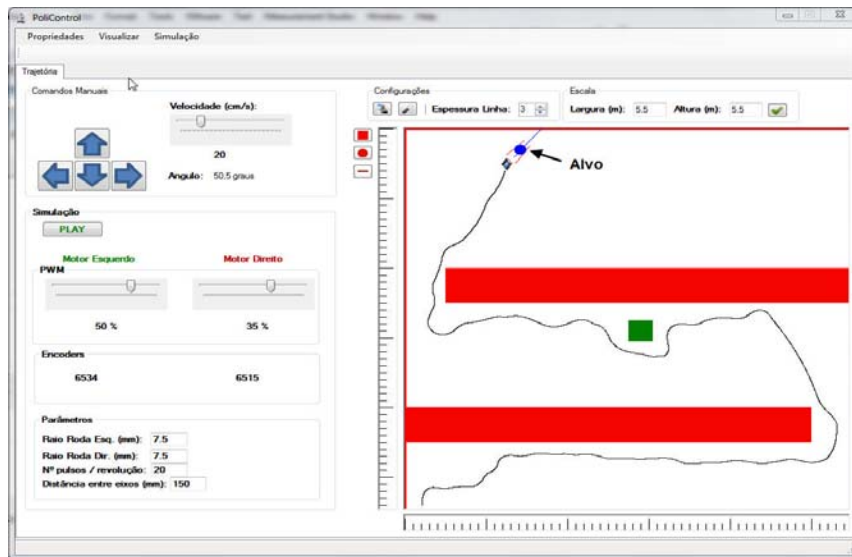


Figura 1. Exemplo de simulação do *software* de controle - PoliControl.

As estratégias de controle de locomoção do veículo são geradas pelo *software* de controle através de técnicas de *behaviour-based* (ARKIN, 1998), de modo que os dados dos sistemas sensoriais e a odometria feita com os motores e *encoders*, são aplicados para geração de controles: reativo, deliberativo e híbrido.

Na utilização do controle reativo, os sensores infravermelhos com varredura total de  $180^\circ$  na parte frontal do veículo, possibilitam geração de vetores de repulsão. Estes em situações de colisão geram a informação para uma reação de desvio do obstáculo e continuação da trajetória até o alvo final.

No controle deliberativo o sensor ultra-sônico é monitorado, e juntamente com a informação de um caminho teórico conhecido (se houver) é gerado um caminho estratégico para que o veículo possa se mover até um sub-alvo. Neste ponto, novamente é executado o mapeamento do ambiente e geração de uma nova estratégia, formando sub-alvos ao longo do percurso, com a intenção de chegar até o alvo final. Este tipo de controle demanda grande processamento de dados para geração de estratégias, e por esse motivo, o sensor ultra-sônico é lido em somente três posições: ( $45^\circ$  à esquerda,  $45^\circ$  à direita e  $0^\circ$  posição central), sendo o movimento deste efetuado por um módulo externo ao processamento do microcontrolador.

A proposta de desenvolvimento deste veículo tem como objetivo, a utilização do sistema de controle híbrido (HEINEN, 2002) que soma características dos dois sistemas citados anteriormente. Assim, estando o veículo em um local com condições típicas de qualquer um dos dois sistemas, como por exemplo, em ambientes dinâmicos onde existem obstáculos móveis, o veículo terá condições de se locomover de forma eficiente e atingir a meta estipulada.

### 3.1. Eletrônica

Primeiramente foi elaborada a arquitetura de funcionamento do veículo e em seguida projetados os circuitos eletrônicos para execução das funcionalidades, utilizando *software* de desenvolvimento e simulação de circuitos. Posteriormente, foram efetuados testes de funcionamento em laboratório, e após essa etapa, a elaboração dos desenhos das placas de circuito impresso (PCI), a confecção destas, a soldagem dos componentes, e por fim, a execução dos testes de funcionamento dos sensores e atuadores.

### 3.2. Mecânica

Para aplicação de todas as idéias de funcionalidade do robô, foi feito o estudo dos dispositivos e *layout* mecânico, utilizando *software* de CAD 3D.

Com todas as características juntas em um modelo, houve a necessidade de escolher entre a confecção de todas as peças ou aquisição de *kits* prontos existentes no mercado. E assim, foi decidida a aquisição de um *kit* que continha uma esteira flexível, polias e caixa redutora com motores (moto-redutor), devido ao baixo custo e também pela dificuldade de confecção destes componentes. O restante das peças foi projetado em acrílico por ser um material de fácil manuseio e baixa densidade, resultando em peças de baixa massa e facilidade para executar alterações ou testes de funcionalidade.

Através do *software* CAD, obteve-se o detalhamento 2D para confecção das peças e montagem do conjunto, fazendo com que a disposição destas gerasse um centro de gravidade baixo e próximo ao centro do robô, resultando em um bom equilíbrio mesmo em rampas e condições adversas.

A última etapa contempla a confecção das peças acrílicas conforme projeto.

### 3.3. Programação

Os códigos de programação, também elaborados de forma modular, de modo que cada bloco da codificação representa a execução de determinada tarefa, tornaram possíveis a efetuação de testes independentes para averiguação das funcionalidades, e por fim a integração de todo o código. Facilitando-se assim a programação e resolução de erros e falhas no decorrer do desenvolvimento.

### 3.4. Comunicação

A comunicação entre o robô e o computador remoto é feita através de um par de módulos *wireless* XBee, fabricados pela Digi, que operam por sob o protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4), utilizam taxas de transferência entre 20kbs e 250kbs e uma frequência de 2,4 GHz.

Equiparados a tecnologias como *Bluetooth* e WiFi trazem benefícios como baixo custo, baixo consumo de energia e dimensões reduzidas.

## 4. DESENVOLVIMENTO

O projeto iniciou-se pela definição das habilidades necessárias para que o robô cumprisse o objetivo proposto, e pela escolha dos sensores e atuadores utilizados, visto que o sucesso da tarefa depende principalmente destes (SOBRAL, 2009). O desenvolvimento segue a mesma ordem da metodologia, cada subseção aborda uma etapa de construção do robô.

### 4.1. Eletrônica

A parte eletrônica engloba sensores, circuitos para *encoders*, circuito para acionamento de servos-motores, fonte de alimentação, acionamento de motores para locomoção, microcontroladores, e arquitetura, esta relatada na subseção a seguir e ilustrada pela Figura 2.

#### Arquitetura

O funcionamento é baseado no sistema mestre-escravo, sendo composto por um mestre e dois escravos. Como mestre optou-se pelo AT89S8252, fabricado pela Atmel, por sua facilidade de programação em linguagem C, e por ser um microcontrolador puramente digital, visto que para designar esta função não são necessárias entradas analógicas. Para as funções de escravos foram utilizados dois microcontroladores PIC18F4550, fabricados pela Microchip, os quais possuem os periféricos necessários para o robô. Além disso, a escolha de dois tipos diferentes de microcontroladores possibilita a integração de tecnologias, o que contribui para o aprendizado e pesquisa científica.

A configuração é feita de forma a manter a simetria das funções sensoriais e reativas do robô, assim um PIC controla o lado esquerdo e o outro, por sua vez o lado direito. Dessa forma facilitando o entendimento das funcionalidades, além de se dispor de recursos em dobro para a execução das tarefas pelo robô.

Cada um dos escravos tem três sensores acoplados, sendo um do tipo infravermelho, para a medição de distância, uma antena tátil, utilizada como sensor de colisão, e um terceiro, também, do tipo infravermelho, mas utilizado para o *encoder* das esteiras. Além dos sensores, cada escravo também tem a função de gerar dois sinais do tipo PWM (*Pulse Width Modulation*) – Modulação por Largura de Pulso, um deles necessário para o acionamento de um dos motores que tracionam as esteiras, e o outro para a movimentação de um dos servos que suportam os sensores infravermelhos.

Os dados sensoriais são armazenados em variáveis e enviados ao mestre, quando solicitado por este, que o faz mediante o pedido do computador remoto. Conjuntamente são enviados os dados adquiridos pelo sensor ultra-sônico frontal, que está diretamente ligado ao mestre e, também, movimentado por um servo-motor. De acordo com o processamento das informações adquiridas pelo robô são enviadas as coordenadas de locomoção ao mestre, e este as repassa aos escravos, que executam as funções.

Toda a comunicação entre o mestre e o computador remoto é feita através dos módulos XBee, sem necessidade de cabos de comunicação.

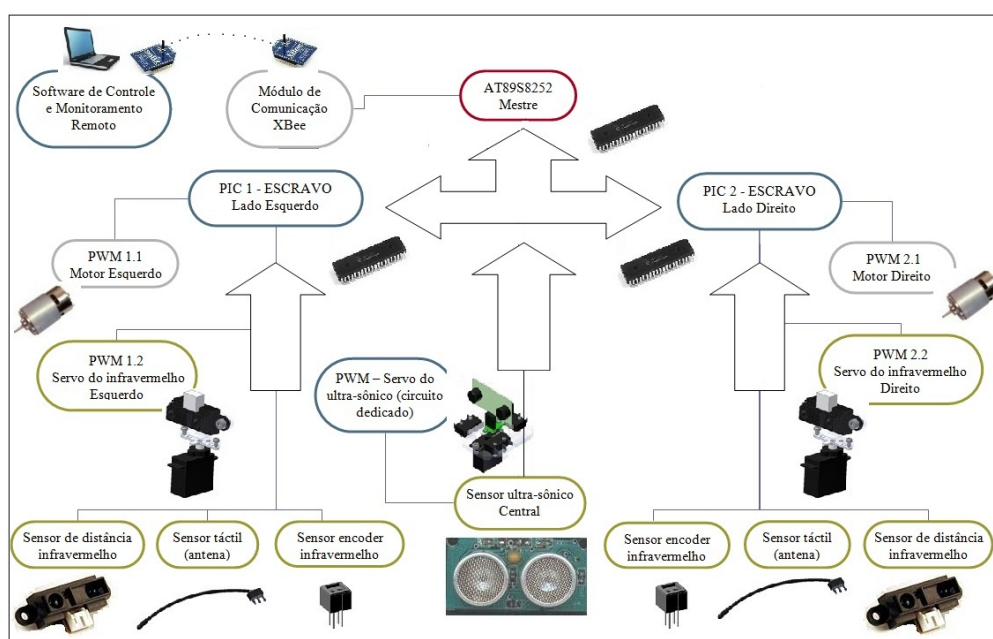


Figura 2. Arquitetura de funcionamento.



## Sensoriamento

O desvio de obstáculos é baseado na medição das distâncias entre o robô e os objetos, e a efetuação do cálculo pelo computador remoto da trajetória a ser seguida. Os sensores atuantes com essa funcionalidade são três: um ultra-sônico fabricado pela Tato com alcance de 20cm a 150cm e dois infravermelhos da Sharp GP2D120 com alcance de 4cm a 30cm.

Posicionado ao centro na parte frontal do veículo está o ultra-sônico, que acoplado a um servo-motor faz a leitura da distância em três posições:  $-45^\circ$ ,  $0^\circ$  e  $45^\circ$ , ampliando assim o raio de cobertura. Seu funcionamento é baseado no princípio do eco, que consiste no envio de um sinal ultra-sônico de curta duração, e o tempo até o eco ser recebido é medido, assim, sabendo-se a velocidade do som no ar calcula-se a distância.

Nas extremidades da parte frontal, posicionados em um ângulo de  $135^\circ$ , estão os infravermelhos, também movimentados por servos-motores, que giram  $45^\circ$  em sentido horário e  $45^\circ$  em sentido anti-horário. Este sensor opera enviando um sinal de luz infravermelho, que refletido pelo objeto e capturado pelo receptor produz uma variação na tensão de saída proporcional a distância medida.

Ambos os sensores, podem ser visualizados na Figura 3, que destaca também os raios de ação do ultra-sônico em azul e do infravermelho na cor vermelha.

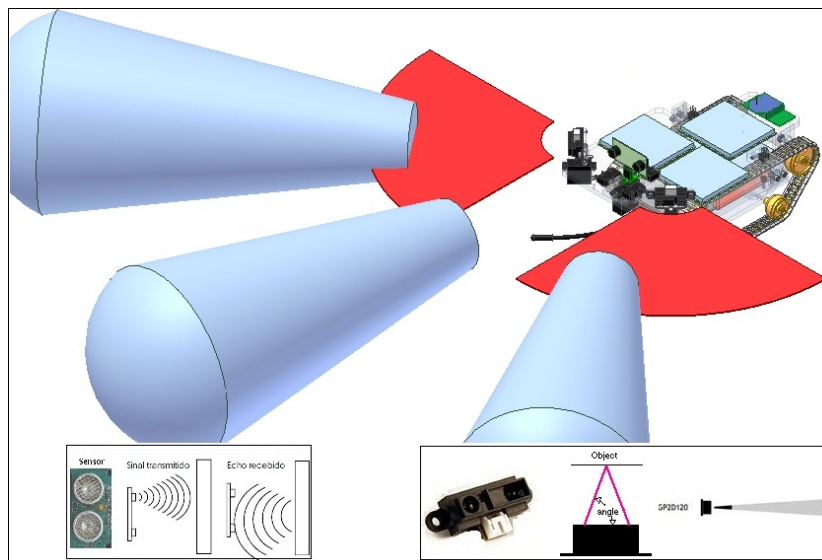


Figura 3. Raios de ação e sensores. No detalhe a esquerda o ultra-sônico e a direita o infravermelho.

Ainda na parte de sensoriamento, mas não relacionado à aquisição de dados de distância e sim ao controle de posição do robô, utilizou-se os sensores infravermelhos da Vishay, modelo CNY 70, que pode ser visto na Figura 4, sendo estes posicionados sobre as



esteiras de locomoção de forma a contar os pulsos conforme o veículo se movimenta, podendo-se assim calcular a posição do robô no ambiente.

O sensor CNY70 é composto por um foto-diodo, e um foto-transistor posicionados paralelamente no mesmo invólucro. Sendo o sinal enviado pelo foto-diodo, refletido na superfície e capturado pelo foto-transistor, com uma intensidade luminosa de acordo com o material de reflexão.

Para a digitalização desse sinal utiliza-se um circuito *encoder*, o qual é configurado de tal forma que quando há reflexão pelo material da esteira o valor retornado é igual a “um” e quando não há reflexão, devido ao sinal ter atravessado o orifício entre as divisões o retorno é “zero”.

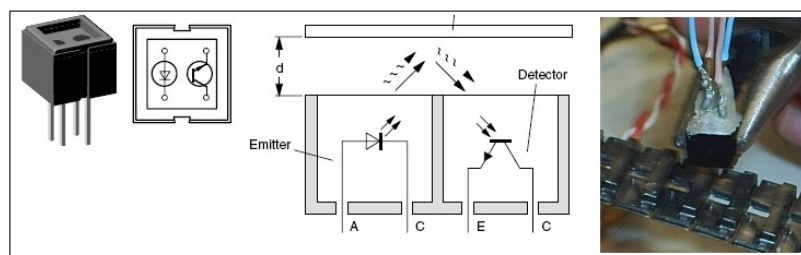


Figura 4. Sensor CNY70, esquema refletivo e posicionamento sobre a esteira.

Como fator de segurança, evitando a colisão do robô com um obstáculo, caso haja uma falha no processamento das informações, as antenas tácteis, aqui utilizadas como sensores de colisão são acionadas, causando uma interrupção no processamento do código de programação, fazendo o robô paralisar a locomoção e possibilitando o recálculo da trajetória a ser seguida.

## FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Como fornecedor de potência para todo o robô, utiliza-se uma bateria de Polímeros de Lítio (LiPo) de 7,4V e 2100mAh, a qual é conectada ao circuito fonte, (Figura 5) através de um conector do tipo P4.

Para obter-se 5,0V, necessários para alimentação dos circuitos eletrônicos, foi utilizado o regulador de tensão LM7805. Já para os motores de locomoção um LM317T, este com nível de tensão ajustável, possível de ser variado entre 1,5 V até 3,0 V através de um trimpot, possibilitando determinar a velocidade de deslocamento do robô.

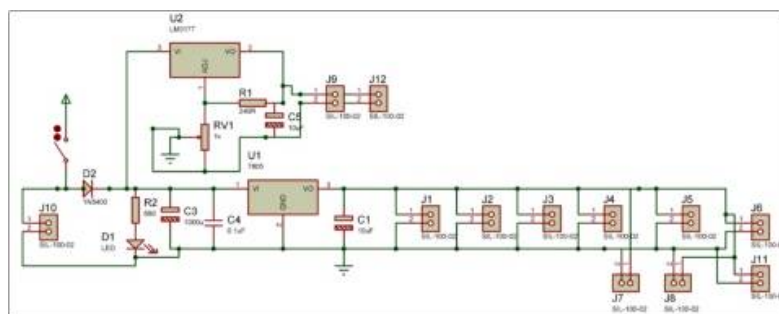


Figura 5. Esquema elétrico da fonte de alimentação.

## INTERFACE DO MICROCONTROLADOR AT89S8252

Para utilização deste microcontrolador, foi desenvolvida uma interface eletrônica, ilustrada na Figura 6, com botão de *reset*, *clock* externo, conexões para alimentação e portas de comunicação, necessárias para a envio e recepção de dados entre o mestre e os escravos, e também para os módulos de comunicação externa XBee. Este circuito foi adaptado do esquema proposto pela revista Saber Eletrônica (2005) que se mostrou totalmente funcional em testes de bancada para esta aplicação.

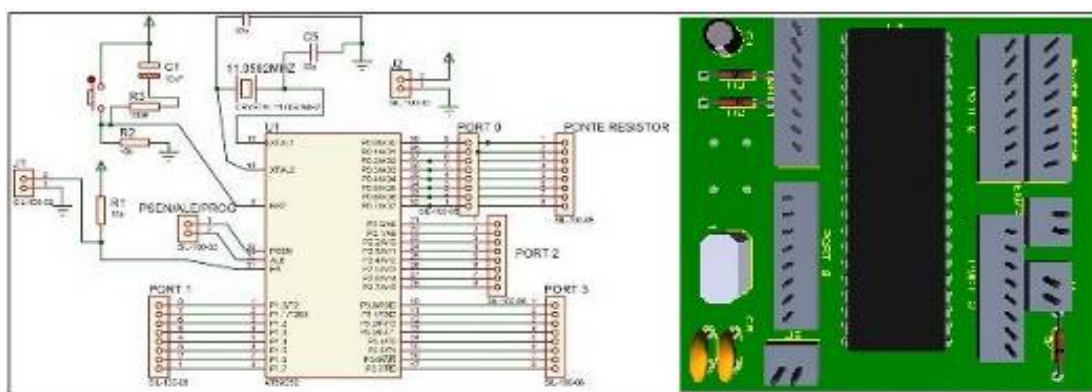


Figura 6. Esquema AT89S8252 e projeção 3D.

## ENCODER PARA AS ESTEIRAS

A ilustração da Figura 7 mostra o circuito *encoder*, que tem como função contar os pulsos à medida que o sinal do infravermelho é refletido pelas divisões da esteira. Isso é feito a partir da variação da corrente do coletor do foto-transistor, que é monitorada pelo Circuito Integrado LM339 e funcionando como um *schmitt trigger*, emite um sinal de saída em nível alto assim que a tensão de referência é excedida. Utilizando essa técnica o sinal analógico é transformado em digital, possível de ser interpretado pelo microcontrolador.

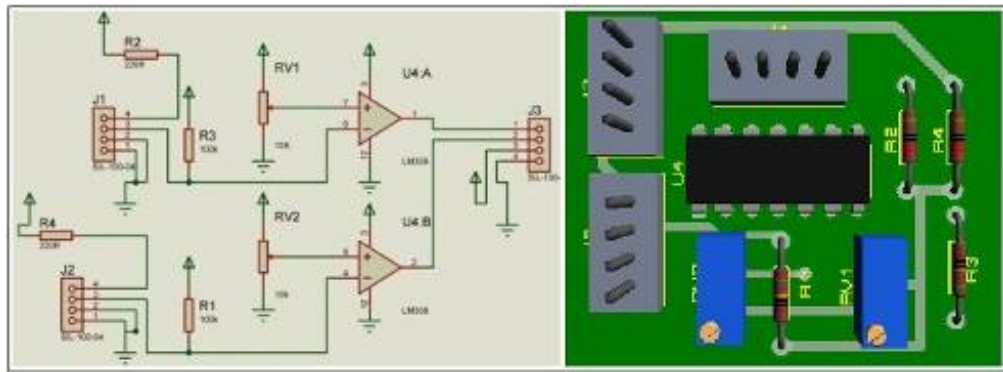


Figura 7. Eletrônica *encoder* e placa PCI em 3D.

## INTERFACE PARA OS MICROCONTROLADORES PIC18F4550

A eletrônica aqui descrita, tal qual é mostrada na Figura 8, foi adaptada do esquema proposto no livro “Microcontroladores PIC18” (MIYADAIRA, 2009).

O circuito é dotado de entrada para alimentação, *clock* externo, conexões para as portas de comunicação com o mestre, além de *buffers* para as entradas de sinais analógicos, utilizadas pelos sensores infravermelhos.

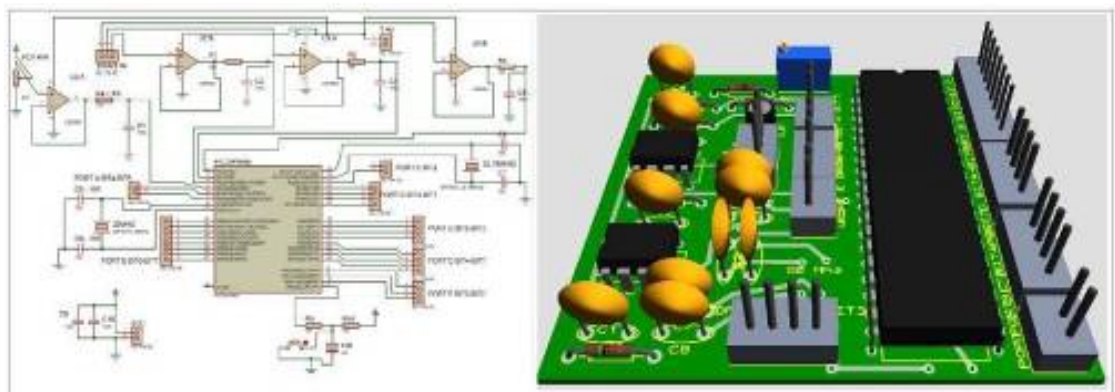


Figura 8. Esquema da interface PIC e projeção 3D da placa de circuito impresso.

## PONTE H PARA MOTORES DC

O esquema apresentado na Figura 9 foi adaptado a partir do *datasheet* do circuito integrado L293B, de acordo com o modelo de controle bidirecional de motor DC.

O sinal PWM, gerado pelo microcontrolador, é enviado por meio de um fotoacoplador, TLP621, no qual a conexão é estabelecida por meio luminoso e possibilita o isolamento entre a tensão de disparo do circuito e a tensão de que faz o acionamento do motor. Esse procedimento contribui para a proteção do microcontrolador contra possíveis

picos de tensão (transientes) causados no acionamento ou desligamento do indutor do motor DC.

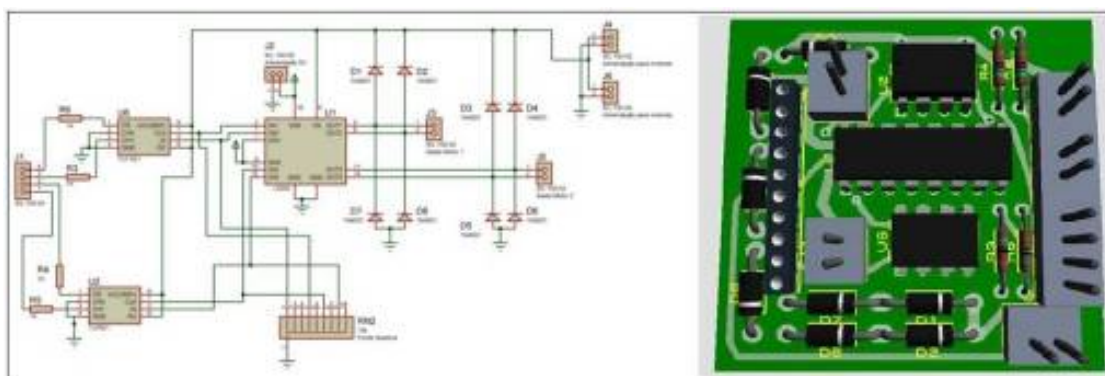


Figura 9. Esquema da ponte H e projeção 3D.

## SCANNER DE ULTRA-SÔNICO

O monitoramento do ambiente a longa distância (20 cm a 150 cm) feito pelo sensor ultrassônico acoplado a um servo-motor, utiliza a eletrônica aqui descrita e apresentada na Figura 10, para fazer a sua movimentação. O movimento do servo é dado pelo sinal PPM (*Pulse Position Modulation*) – Modulação por Posição de Pulso, gerado por duas configurações do circuito integrado LM555, de modo que a chave digital feita com o transistor BC 557 alterna o tempo de sinal alto entre um milissegundo (posição inicial de  $-45^\circ$ ), e dois milissegundos (posição final de  $45^\circ$ ). O restante do tempo após o sinal alto é preenchido com sinal baixo, completando o período total padrão de 20 milissegundos (50 Hertz).

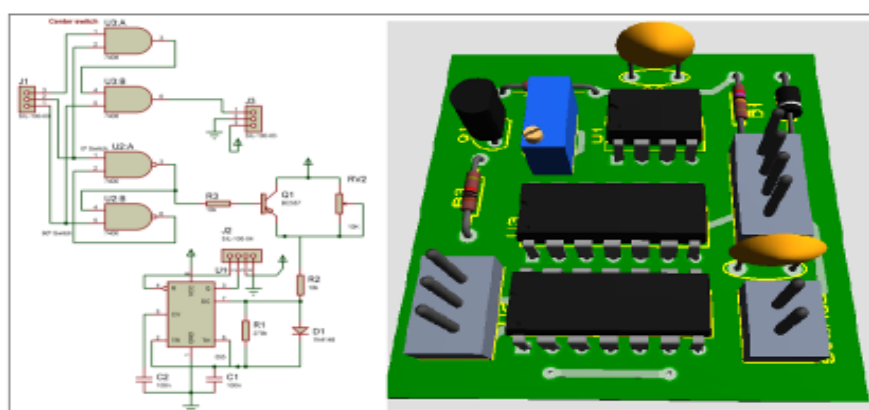


Figura 10. Eletrônica do *scanner* e placa em 3D.

## 4.2. Mecânica

A mecânica deste robô foi elaborada de modo a facilitar o deslocamento em ambientes variados e o manuseio de componentes, tanto no momento da confecção como para execução de modificações e testes diversos.

As peças que compõe o conjunto são mostradas na Figura 11.

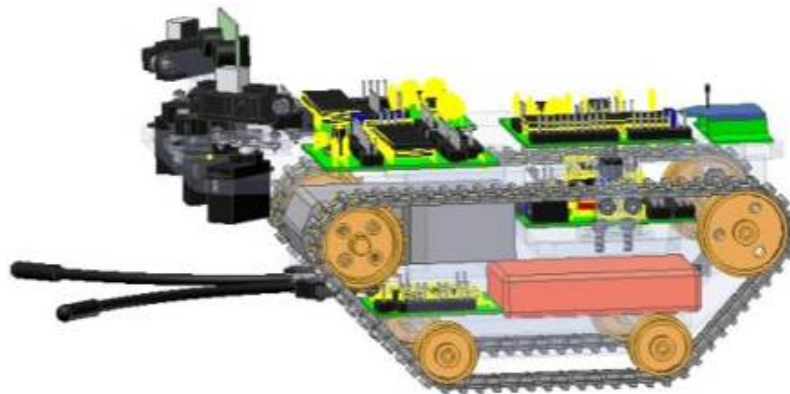


Figura 11. Disposição dos componentes do conjunto.

A locomoção é feita através de esteiras flexíveis que se adequam a diversos tipos de superfícies e conseguem deslocar o robô até mesmo em ocasiões de baixo atrito. O arranjo físico da esteira é dado por três polias guias e uma roda dentada que transmite o movimento rotativo executado pelo moto-redutor para as esteiras.

O acionamento individual de cada esteira é feito por motor DC acoplados a caixa de redução mecânica com relação de redução 204:1, que através da roda dentada movem a esteira.

Para execução da lógica de funcionamento do *scanner* de ambiente frontal, composto pelo sensor ultra-sônico e movimentado pelo servo-motor, foi elaborado um suporte com três chaves fim-de-curso. O correto posicionamento das chaves é ajustável devido à forma de fixação que é feita sob oblongos. Sendo a peça acrílica posicionada abaixo destas, como mostrado na Figura 12.

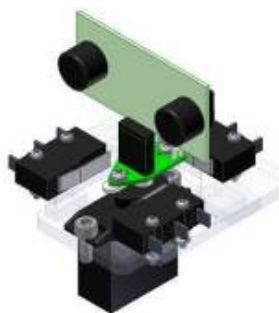


Figura 12. *Scanner* ultra-sônico com suporte acrílico para chaves fim-de-curso.

Localizado na parte inferior frontal, estão os sensores de colisão que são compostos por um corpo cilíndrico de borracha curvado e uma chave fim-de-curso. A ilustração da Figura 13 mostra a vista inferior do robô com as chaves-fim de curso, e as antenas de colisão.

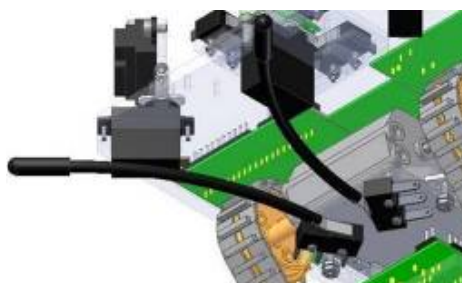


Figura 13. Vista inferior com chaves fim-de-curso e sensores de colisão.

Após a montagem das correias, esta é tensionada pelo moto-redutor fixado sob oblongos e pelo dispositivo tensionador onde está contido o eixo superior traseiro, possibilitando assim o ajuste longitudinal.

### 4.3. Programação

A locomoção e o sensoramento dependem, além dos fatores mecânicos e eletrônicos, principalmente da programação embarcada. Esta, elaborada em linguagem C para ambos os microcontroladores, mas seguindo regras específicas para cada um, exigiu o estudo das diferentes variações. Por exemplo, para o entendimento da programação em PIC, foi utilizado o livro “Microcontroladores PIC18” (MIYADAIRA, 2009), e para a programação do AT89S8252 o livro “Microcontrolador 8051 Família AT89S8252” (NICOLSI; BRONZERI, 2009).

Os testes do PIC foram efetuados com programas individuais, capazes de adquirir os dados sensoriais e geração de PWM para os servos-motores. Com relação ao mestre, este recebeu um programa para leitura de distância pelo sensor ultra-sônico, além da comunicação serial com o módulo XBee.



A programação do microcontrolador PIC teve início com desenvolvimento do código, mostrado na Figura 14, onde aparecem em destaque, a digitalização do sinal medido, a aplicação da equação característica de acordo com a curva de operação, (Figura 15) a média das três leituras obtidas, a inicialização do conversor A/D e por fim o envio dos dados de leitura para o PORT B.

```
float converte_distancia(float valor_conversor)
{
    float valor_tensao;

    valor_tensao = (valor_conversor*5)/1023; // digitalização do valor analógico
    return (11.2*(pow(valor_tensao,-1))); // aplicação da equação característica
                                          // da curva do sensor
}

unsigned int leitura() // faz 3 leituras e tira a média feita pelo canal conversor A/D
{
    unsigned int contar;
    unsigned long valor_canal = 0;

    for(contar = 0; contar <3; contar++)
    {
        ConvertADC();
        while (BusyADC());
        valor_canal += ReadADC();
    }
    return(valor_canal/3);
}

void main(void)
{
    unsigned int valor;
    unsigned int lido;

    TRISA = 0b00011111;
    TRISB = 0b00000000;
    TRISC = 0b10111111;
    TRISD = 0b00000000;
    TRISE = 0b00000000;

    openADC (ADC_FOSC_16 // inicia o conversor A/D
             &ADC_RIGHT_JUST
             &ADC_4_TAD,
             ADC_CH0
             &ADC_INT_OFF
             &ADC_VREFPLUS_VDD
             &ADC_VREFMINUS_VSS,
             ADC_0ANA);

    Delay10TCYx(5);
    while(1)
    {
        SetChanADC (ADC_CH0);
        valor = leitura();
        lido = converte_distancia(valor);

        PORTB = lido; // joga o valor lido para o Port B
    }
}
```

Figura 14. Parte do código para aquisição de dados pelo sensor Sharp.

**Fig.4 Analog Output Voltage vs.Distance to Reflective Object**

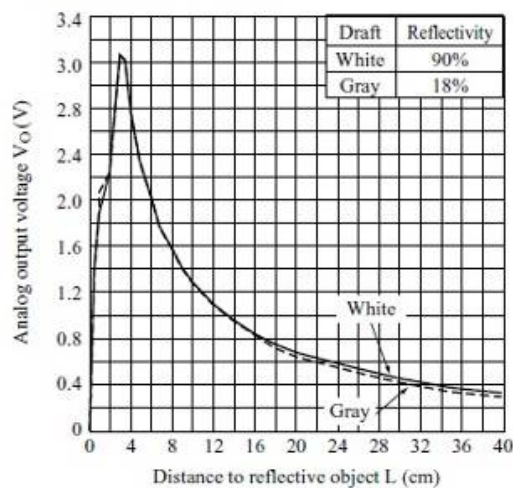


Figura 15. Curva característica do sensor Sharp.



Para a o teste de funcionamento desse código utilizou-se acoplado ao PORT B um conjunto de LED, cuja função foi indicar o valor de distância medida em código binário.

Para a movimentação do servo-motor, utiliza-se uma função que gera a largura do tempo em alta e em baixa, além da quantidade de ciclos necessários para a geração dos tempos.

O *encoder* utiliza um código, cuja principal funcionalidade é o acionamento da interrupção externa e o incremento de contagem com saída definida no PORT D, de modo a conseguir-se testar a sua funcionalidade tal como foi feito para o sensor Sharp. Para isso utilizou-se o mesmo conjunto de LED, e a cada movimento da esteira sob o sensor CNY70, o microcontrolador incrementava um valor que era visualizado pelo contagem binária.

Para o monitoramento do ambiente pelo sensor ultra-sônico, utilizou-se a interrupção externa do microcontrolador, de forma a manter a contagem de tempo enquanto acionada. Esse tempo significa o período que o sinal ultra-sônico precisou para ir até o objeto, ser refletido e retornar ao sensor.

Com base nessa interpretação, o cálculo é feito multiplicando-se o tempo capturado pela velocidade do som no ar (346m/s a 25°C), assim obtendo-se como resposta a distância do obstáculo.

Para efeito de teste da programação, o valor de distância medido é enviado para o LCD do kit de programação do AT89S8252, tornando visual a operação do sensor e funcionamento da programação. O valor da distância pode ser comparado com o auxílio de uma régua, possibilitando a calibração exata da programação.

O resultado da medição impresso no LCD pode ser visto na Figura 16.



Figura 16. Valor da distância medida pelo sensor (917 mm) reproduzido no LCD.

A comunicação entre o módulo XBee e o microcontrolador é feita utilizando canal serial e para isso utiliza-se uma programação, na qual, primeiro ocorre, a inicialização do canal serial a uma taxa de 9600bps. Feito isso, o dado recebido é armazenado no registro SBUF e um sinal de retorno (eco) é enviado ao emissor, por

último o dado armazenado é impresso no *display* LCD, para que haja a comprovação visual do processo tal qual foi feito com o sensor ultra-sônico.

#### 4.4. Comunicação

Os módulos XBee comunicam-se de forma serial e devem ser pré-configurados através do *software* XCTU, fornecido gratuitamente pela Digi. O módulo “BASE” é o que fica conectado ao computador, e o “REMOTO”, é o módulo externo conectado ao robô, o qual necessita de algumas conexões para o envio e recepção de dados ao microcontrolador, como mostrado na Figura 17 (ROGERCOM, 2010).

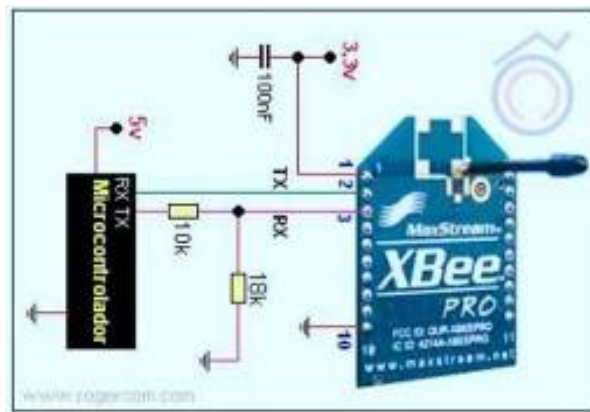


Figura 17. Módulo “REMOTO” conectado ao microcontrolador.

O módulo “BASE” é conectado ao computador por meio da porta USB, e esta fornece a alimentação, assim como, o canal de comunicação para o envio e recebimento de dados.

## 5. RESULTADOS

Os sistemas de controle abordados na metodologia foram simulados no *software* “Policontrol”, utilizando todas as características construtivas do veículo, sendo que o sistema de controle híbrido, mostrado na Figura 18, apresentou melhores resultados, pois aliou as características dos dois sistemas: reativo e deliberativo, resultando em pontos positivos de destaque como, reação a obstáculos dinâmicos durante a locomoção entre sub-alvos, evitando a colisão e obtendo perímetros totais de deslocamento otimizado, buscando a menor distância até o alvo final.

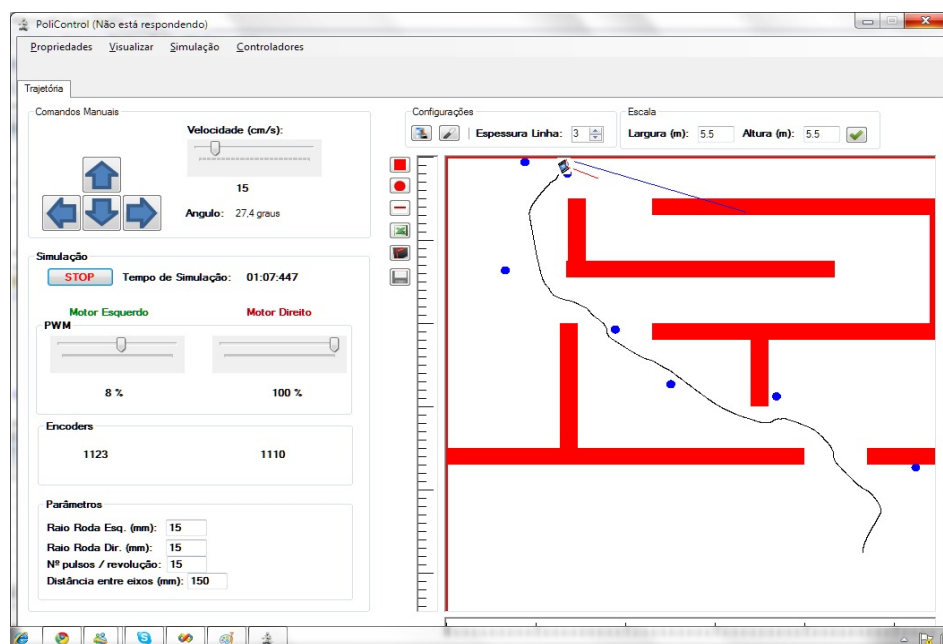


Figura 18. Simulação em *software* do sistema de controle híbrido.

## 5.1. Eletrônica

Os testes de funcionamento dos sensores foram realizados em conjunto com a programação, e nessa etapa do desenvolvimento, os resultados obtidos pelos sensores foram satisfatórios, tornando possível a incorporação destes ao projeto.

Todos os circuitos, agora confeccionados fisicamente, são nas subseções a seguir contemplados como produtos finais do desenvolvimento da parte eletrônica e mostrados como resultados obtidos dessa etapa do projeto.

## FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Nos testes realizados, a corrente máxima utilizada pelas saídas de 5,0V fornecidos pelo LM7805 não ultrapassou 1,0 ampère, conforme a recomendação do *datasheet* do componente. E nas saídas de tensão ajustáveis fornecidas pelo LM317T, quando ajustadas em 3,0V, e conectadas aos motores a corrente exigida não ultrapassou 1,5 ampères, corrente máxima estipulada no *datasheet* do regulador.

O LED indicativo do estado operante, ilustrado na Figura 19, se mostrou útil para reconhecimento visual de que o fornecimento de energia estava apto a ser utilizado.



Figura 19. LED aceso indicando o estado operante da fonte.

## INTERFACE DO MICROCONTROLADOR AT89S8252

A interface do microcontrolador AT89S8252 mostrada na Figura 20, fornece as conexões de entrada e saída necessárias para operação.

O programa gravado externamente, por meio do *kit* de desenvolvimento e gravação, foi utilizado para a verificação das conexões constantes nesta placa de forma que foi possível comparar o sinal das saídas com os especificados no código de programação.



Figura 20. Interface para AT89S8252 concluída.

## ENCODER PARA ESTEIRAS

A eletrônica do *encoder* mostrada na Figura 21 exprime através de um sinal alternado, entre nível baixo e nível alto, o espaçamento entre o local onde é alojado o dente da roda dentada e a articulação. Assim possibilitando o cálculo do deslocamento das esteiras, através dos passos de 6,0mm.



Figura 21. Placa eletrônica do *encoder*.

Os sensores devem ser mantidos abrigados da incidência luminosa externa, visando-se obter uma confiabilidade na medição. Por conta disso o projeto prevê o posicionamento direcionado ao solo e próximo a superfície da esteira.

### INTERFACE PARA OS MICROCONTROLADOR PIC18F4550

A interface do microcontrolador PIC18F4550 (Figura 22) foi utilizada para a execução dos programas descritos anteriormente. Mostrando-se hábil a ser incorporada, uma vez da obtenção de sucesso nos testes efetuados.

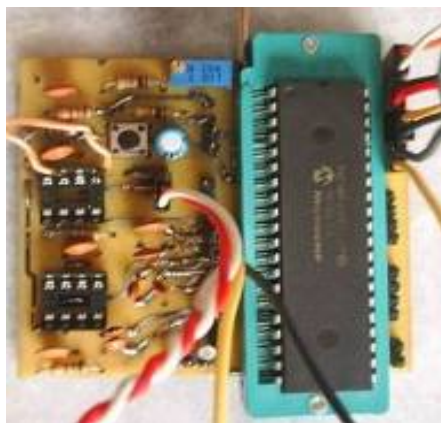


Figura 22. Interface do PIC em teste.

### PONTE H PARA MOTORES DC

A Ponte H mostrada na Figura 23 foi alimentada pela fonte e testada com os motores DC em aproximadamente 3,0 Volts de modo que o sinal de PWM exercesse o controle de velocidade dos motores.



Figura 23. Ponte H concluída.

Nesse teste, o sinal existente na saída de acionamento do motor se manteve de acordo com o sinal do microcontrolador, porém com tensão máxima de 3,2 Volts, mostrando o funcionamento correto dos foto-acopladores.

### Scanner de Ultra-Sônico

O circuito concluído do *scanner*, mostrado na Figura 24 foi testado em conjunto com o microcontrolador e obteve resultados favoráveis.



Figura 24. Circuito do *scanner*.

O movimento executado pelo servo foi ajustado com o auxílio dos trimpots e o sinal PPM para execução do movimento até a posição “45°”, foi de 1 milissegundo em nível alto e 19 milissegundos em nível baixo. E o sinal para execução do movimento até a posição “- 45°” foi de 2,15 milissegundos em nível alto e 20 milissegundos em nível baixo.

A Figura 25 ilustra a o sinal obtido para movimentação até as posições desejadas.

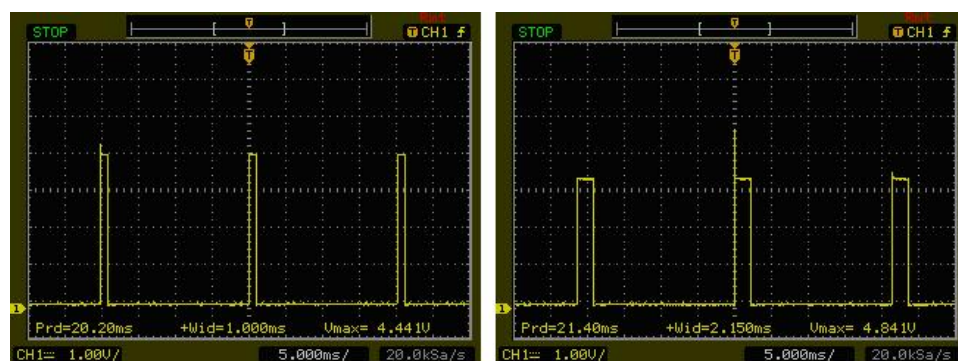


Figura 25. Sinal de movimento do servo-motor: à esquerda na posição “-45°” e à direita na posição “45°”.



## 5.2. Mecânica

A locomoção do veículo utiliza um *kit* composto por: moto-redutor, polias e roda dentada, tal como é visualizado na Figura 26.

A opção por utilizá-lo deveu-se a facilidade de montagem, e por atender os requisitos para o projeto.

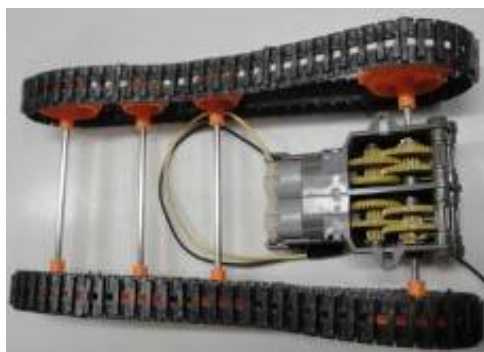


Figura 26. Kit de locomoção física do robô.

A estrutura física, incluindo os suportes para os sensores foi confeccionada em acrílico, e um exemplo é suporte dos sensores do *encoder*, conforme a Figura 27.



Figura 27. Suportes dos sensores do *encoder*.

## 5.3. Programação

A programação mostrou-se possível de ser incorporada, trazendo resultados satisfatórios durante os testes realizados no decorrer do desenvolvimento. Um dos exemplos desse sucesso pode ser observado na Figura 28, que apresenta também os resultados da comunicação.



## 5.4. Comunicação

Após as configurações necessárias no XCTU e a gravação do programa para receber os sinais pelo canal serial do micro-controlador, puderam ser enviados caracteres serialmente através dos módulos XBee, de modo que, digitados no “*hyper terminal*” do XCTU foram transmitidos ao AT89S8252 e impressos no LCD do *kit* de programação, como pode ser visualizado na Figura 28.



Figura 28. XCTU com a frase “POLITRONICA OK” e LCD apresentando os caracteres recebidos pelo microcontrolador através do módulo XBee.

Os testes foram elaborados com uma distância de dois metros entre os módulos, sem barreiras e com uma taxa de transferência de 9600bps, trazendo resultados satisfatórios e convincentes da viabilidade de utilização desse tipo de comunicação no projeto, pois não houve perda de dados, ou falhas no processo durante os ensaios.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o desenvolvimento desse trabalho foi preciso, primeiramente, um estudo da filosofia do *design* de um veículo para atender os requisitos de locomoção e interação com os sistemas de controle propostos. Concretizado este passo, foi desenvolvida uma arquitetura para trabalhar em conjunto com o *software* de controle, elaborando um estudo aprofundado da eletrônica, visando circuitos e lógicas de funcionamento das partes inerentes ao projeto, além do estudo de linguagem de programação voltada para micro-controladores e da comunicação *wireless* através dos módulos XBee. Por último, a parte mecânica exigiu a pesquisa por componentes adequados aos objetivos de construção. Sendo assim, o desenvolvimento desse projeto, trouxe uma boa contribuição intelectual para os pesquisadores, uma vez que envolveu várias áreas de atuação e pesquisa, além de contato com diferentes tecnologias.

Com os resultados dos testes efetuados, favoráveis e satisfatórios, pode se concluir que existe a viabilidade de construção do protótipo nos padrões descritos no

decorrer do desenvolvimento da pesquisa, mas passíveis de ajustes e aprimoramentos posteriores.

Apesar do sucesso nos testes sensoriais, da programação embarcada, da funcionalidade eletrônica e da comunicação externa, algumas etapas ainda restam para a obtenção do produto final, como por exemplo, a montagem do conjunto mecânico e a elaboração de um protocolo de comunicação exclusivo para o envio dos dados entre o computador remoto e o microcontrolador. Sendo também necessários os testes de funcionamento em um ambiente provido de obstáculos, para que o robô em conjunto com o *software* de monitoramento, possa atingir o seu principal objetivo: alcançar o alvo sem colidir com as barreiras e obstáculos propostos. Ficando, assim este trabalho como base e incentivo para a continuidade do desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ARKIN, R. **Behaviour based-robotics**. Massachusetts Institute of Technology, 1998.
- ARNHEITER E. D.; HARREN. H. Quality management in a modular world. Lally School of Management and Technology. **Rensselaer Polytechnic Institute**, Hartford, Connecticut, v. 18, n. 1, 2006.
- BORENSTEIN, J.; EVERETT, H. R.; FENG, A. L. **Where am I? Sensors and methods for mobile robot positioning. michigan**: The University of Michigan, 1996. Disponível em: <<http://www-personal.umich.edu/~johannb/shared/pos96rep.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2010.
- HEINEN, F. **Sistema de controle híbrido para robôs móveis autônomos**. Dissertação (Mestrado) - UNISINOS, São Leopoldo, 2002. p. 83-86; 110.
- INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Sistema autônomo de navegação para veículos é desenvolvido no Brasil. Inovação Tecnológica, 2009. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=sistema-autonomo-navegacao-veiculos-desenvolvido-brasil&id=010170091026>>. Acesso em: 31 dez. 2009.
- MIYADAIRA, A. N. **Microcontroladores PIC18**. São Paulo: Érica, 2009.
- NICOLOSI, D. E. C.; BRONZERI, R. B. **Microcontrolador 8051 Família AT89S8252 com Linguagem C**. São Paulo: Érica, 2009.
- ROGERCOM. Controle remoto e aquisição de dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4). RogerCom, 2010. Disponível em: <<http://www.rogercom.com.br>>. Acesso em: 05 jun. 2010.
- SABER ELETRÔNICA. São Paulo: Saber, 2005 – Mensal nº 387, página 10.
- SILVA, C. **Mapeamento de um ambiente interno com abordagem métrica utilizando robô móvel**. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação) - AREA 1, Salvador, 2009.
- SOBRAL, A. **Um robô como plataforma para pesquisas em robótica móvel utilizando um Autodelo**. Monografia (graduação em engenharia) - AREA 1., Salvador, 2009. 26.
- UNIVERSIDADE DE SALVADOR - UNIFACS. Fundamentação teórica. Projeto Axebot, 2009. Disponível em: <<http://www.axebot.ufba.br/projeto4.htm>>. Acesso em: 1 jan. 2010.