

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JULLIERME EMILIANO ALVES DIAS

**ELETRÔNICA, INSTRUMENTAÇÃO E TELEMETRIA DO
VEÍCULO UFVBAJA**

VIÇOSA
2010

JULLIERME EMILIANO ALVES DIAS

**ELETRÔNICA, INSTRUMENTAÇÃO E TELEMETRIA DO
VEÍCULO UFVBAJA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Denilson Eduardo Rodrigues

VIÇOSA
2010

JULLIERME EMILIANO ALVES DIAS

**ELETRÔNICA, INSTRUMENTAÇÃO E TELEMETRIA DO
VEÍCULO UFVBAJA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 07 de dezembro de 2010.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Denilson Eduardo Rodrigues - Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. André Gomes Torres – Membro
Universidade Federal de Viçosa

Prof. M.Sc. Alexandre Santos Brandão - Membro
Universidade Federal de Viçosa

“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais volta ao seu tamanho original”.

(Albert Einstein)

Dedico este trabalho à minha querida família.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao Pai Celestial e Grande Arquiteto desse Universo que me deu saúde e todas as outras condições necessárias para a realização deste trabalho.

Ao meu amigo recém-formado Eng^o. Leone V. Muniz agradeço de coração pelo apoio, paciência e ensinamentos.

Ao professor Denilson por esses anos de excelente orientação na minha iniciação científica e nesse trabalho.

Ao capitão Renan Maia, bajeiro Sérgio Assis e toda a equipe UFVbaja pelo suporte dado ao meu trabalho, também como pela amizade.

Ao Magnífico Reitor Luiz Cláudio e à vice-reitora Nilda pelo importante apoio à equipe UFVbaja.

A toda a minha família, em especial aos meus pais João e Elza, minha irmã Ellen e minha namorada Cristiane que proferiram a mim as palavras mais corretas nas horas mais difíceis.

A todos os professores e colegas do DEL, assim como aos funcionários Maria Célia e Cláudio pela paciência, apoio e boa vontade apresentados durante esses anos.

Ao CNPq pelo apoio financeiro concedido.

Resumo

A aplicação da eletrônica é sem dúvida um grande diferencial no projeto de veículos automotivos de competição. A utilização de processos de aquisição de dados e sistemas telemétricos melhora o entendimento dos fenômenos da engenharia e acelera o aperfeiçoamento dos equipamentos, sendo, posteriormente, difundidos por toda a malha produtiva de bens de consumo.

Este trabalho refere-se ao projeto e execução da eletrônica, instrumentação e telemetria de um veículo fora de estrada categoria BAJA SAE, desenvolvido pela equipe UFVbaja, composta por estudantes de engenharia da Universidade Federal de Viçosa. São obtidos, através de transdutores, dados como: velocidade, rotação do motor, nível de combustível, temperatura, tensão da bateria e situação do acionamento dos freios. Há dois sistemas que compõem este trabalho: os sistemas do veículo e dos boxes. Ambos são baseados em circuitos microcontrolados. Dessa forma, há um foco natural na abordagem dos microcontroladores. Como resultado desse projeto, foram concebidos aparelhos, posteriormente, instalados no veículo e nos boxes da equipe. Os transdutores, transceptores e outros dispositivos utilizados podem ser vistos no corpo deste projeto de monografia, também como as técnicas e equipamentos empregados. A revisão de literatura explica, de forma sucinta, diversos temas que devem ser conhecidos para o correto entendimento do trabalho.

Palavras-chaves: Instrumentação eletrônica, Telemetria, ZigBee, UFVbaja, Microcontroladores, Baja SAE, Painel de instrumentos, USB.

Abstract

The electronic applications in race car competitions have doubtless a great importance. The adoption of data acquisition processes and telemetry systems improves the understanding of engineering phenomena and accelerates the development of better equipment, which is used as beneficity to the whole population in a near future.

This manuscript refers to the project and development of electronics, instrumentation and telemetry of a BAJA SAE off-road prototype vehicle, developed by UFVbaja team, composed by engineering students of the Federal University of Viçosa – MG - Brazil. The system developed monitors many parameters, such as velocity, engine speed, fuel level, temperature, battery voltage, and brake actuation. There are two main systems described in this work, the vehicle's onboard system and the remote boxes system. Both are based on microcontrolled circuits, therefore this work has a natural approach to microcontrollers. At the end of this project, devices were manufactured and installed on the vehicle and the team's boxes. Transducers, transceivers and other devices used are also described, as well as the procedures and equipments adopted. The literature review explains in a practical manner several subjects that need to be understood in order to make easy the understanding of this work.

Keywords: Electronic instrumentation, Telemetry, ZigBee, UFVbaja, Microcontrollers, Baja SAE, Panel Instruments, USB.

Sumário

1	Introdução	16
1.1.	Instrumentação, sensores e transdutores	17
1.2.	Conversor analógico-digital (ADC)	18
1.3.	Comunicação Serial Assíncrona	19
1.4.	Microcontroladores	19
1.5.	Transceptores sem fio	21
1.6.	USB	23
1.7.	Objetivos	23
1.8.	Organização do Texto	24
2	Materiais e Métodos	25
2.1.	Sistema do Veículo	25
2.1.1.	Transdutores	27
2.1.1.1.	Transdutor de velocidade e rotação	27
2.1.1.2.	Transdutor de nível de combustível	27
2.1.1.3.	Transdutor de temperatura	28
2.1.1.4.	Interruptor acionador da luz de freio	29
2.1.1.5.	Nível de tensão da bateria	29
2.1.2.	Central de processamento de dados e da telemetria	30
2.1.2.1.	Microcontroladores	30
2.1.2.2.	Transceptor	31
2.1.3.	Painel de Instrumentos	32
2.1.3.1.	Mostradores Analógicos com servomotores	33
2.1.3.2.	Mostrador LCD alfa-numérico	34
2.1.3.3.	Barra gráfica de rotação	35
2.1.3.4.	LEDs de alerta	35
2.1.3.5.	Apito	36
2.1.4.	Painel de Botões	36
2.1.5.	Ligações Elétricas	36
2.1.5.1.	Alimentação elétrica	37
2.1.5.2.	Luz de Freio	37
2.1.5.3.	Sistema de segurança de desligamento do motor	38

2.1.6. Cabos e conectores.....	39
2.2. Sistema dos Boxes	39
2.2.1. Microcontrolador	41
2.2.2. Conexão USB	42
2.2.3. LCD, LEDs e botões	43
2.3. Placas de Circuito Impresso.....	43
2.4. Acabamento estético e funcional.....	45
3 Resultados e Discussões.....	46
4 Conclusões	49
Referências Bibliográficas	50

Lista de Figuras

Figura 1 - Veículo UFVbaja.....	17
Figura 2 - Conversor ADC [04].....	18
Figura 3 - Exemplo de um byte transmitido pela UART [06].....	19
Figura 4 - Arquitetura de um computador mais barramentos [09].....	20
Figura 5 – Exemplo de um programa simples em linguagem C.....	21
Figura 6 - Topologias possíveis do protocolo Zigbee [12].....	23
Figura 7 - Esquema geral [13].....	24
Figura 8 - Sistema do veículo, exceto ligações elétricas.....	25
Figura 9 - Ligações elétricas do UFVbaja.....	26
Figura 10 - Simulação do sistema do veículo.....	26
Figura 11 - Transdutor indutivo escolhido.....	27
Figura 12 - Transdutor de pressão e a curva de tensão de saída pela variação da pressão diferencial [16]......	28
Figura 13 - Transdutor de temperatura LM35 [17].....	29
Figura 14 - Interruptor acionador da luz de freio, popularmente conhecido como "cebolinha".....	29
Figura 15 - Fotografia da central de processamento de dados e da telemetria.....	30
Figura 16 - Microcontroladores PIC16F877A e PIC16F628A, respectivamente [18].....	30
Figura 17 - Módulo Xbee PRO Series 2.....	31
Figura 18 - Esquema de ligação elétrica entre o microcontrolador e o módulo Xbee [06].....	32
Figura 19 - Fotografia do painel de instrumentos do veículo UFVbaja.....	33
Figura 20 - Servomotor tipo FUTABA [08].....	33
Figura 21 - Variação do ciclo de trabalho de um sinal PWM.....	34
Figura 22 - Mostradores analógicos (à esquerda, tacômetro; à direita, velocidade).....	34
Figura 23 - Mostrador LCD alfa-númerico 2 linhas e 16 colunas.....	35
Figura 24 - Fotografia da barra gráfica.....	35
Figura 25 - Fotografia dos LEDs de alerta.....	35
Figura 26 - Fotografia de um apito <i>buzzer</i> clássico [19].....	36
Figura 27 - Fotografia do painel de botões.....	36
Figura 28 - Bateria 12V, 12 Ah [20].....	37
Figura 29 - Diagrama esquemático do circuito da luz de freio.....	37
Figura 30 - Fotografia da Luz de freios do UFVbaja.....	38
Figura 31 - Botoeira tipo soco - <i>kill switch</i> [21].....	38

Figura 32 – Esquema elétrico do sistema de segurança de desligamento do motor.....	38
Figura 33 - Cabo de impressora paralela (IEEE - 1284).....	39
Figura 34 - Cabo Serial (RS 232)	39
Figura 35 - Diagrama esquemático do sistema dos boxes	40
Figura 36 - Janela de simulação do sistema dos boxes	40
Figura 37 - Base de recepção de dados da telemetria	41
Figura 38 - Microcontrolador PIC18F4550 [22]	41
Figura 39 - Integração do sistema dos boxes com o supervisor da telemetria	43
Figura 40 - Exemplo de uma PCI [14].....	44
Figura 41 – Modelo gráfico da PCI da central de processamento de dados e da telemetria....	44
Figura 42 - PCI construída através do modelo gráfico da figura anterior.....	44
Figura 43 - Fotografia geral dos sistemas	46

Lista de Tabelas

Tabela 1- Classificação da apresentação de projeto no quesito Eletrônica e Inovação da Etapa BAJA SAE Sudeste 2010.....	48
---	----

Simbologia

SAE – *Society of Automotive Engineers* (Sociedade dos Engenheiros da Mobilidade)

UFV – Universidade Federal de Viçosa

DEP – Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica

DEL – Departamento de Engenharia Elétrica

DEA – Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental

RF – Radiofrequência

USB – *Universal Serial Bus* (Barramento Serial Universal)

ADC – *Analog to Digital Converter* (Conversor Analógico-Digital)

LCD – *Liquid Crystal Display* (Mostrador de Cristal Líquido)

UART – *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (Transmissor/Receptor Assíncrono Universal)

LSB – *Least Significant Bit* (Dígito Menos Significativo)

PIC – *Programmable Interface Controller* (Controlador de Interface Programável)

PWM – *Pulse Width Modulation* (Modulação por Largura de Pulso)

RAM – *Random Access Memory* (Memória de Acesso Aleatório)

CPU – *Central Processing Unit* (Unidade de Processamento Central)

WLAN – *Wireless Local Area Network* (Rede Local Sem-Fio)

WMAN – *Wireless Metropolitan Area Network* (Rede Metropolitana Sem-fio)

WWAN – *Wireless Wide Area Network* (Rede de Longa Distância Sem-fio)

WPAN – *Wireless Personal Area Network* (Rede de Longa Distância Sem-fio)

IEEE – *Institute of Electric and Electronic Engineers* (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)

ISM – *Industrial, Scientific and Medical* (Industrial, Científica e Médica)

COM – Porta de Comunicação Serial

PCI – Placa de Circuito Impresso

LED – *Light Emitting Diode* (Diodo Emissor de Luz)

PVC – *Polyvinyl chloride* (Cloro de Polivinila)

FIAT – *Fabbrica Italiana Automobili Torino* (Fábrica Italiana de Automóveis de Turim)

PC – *Personal Computer* (Computador pessoal)

1 *Introdução*

A eletrônica tem tornado, cada vez mais, membro indispensável na composição dos veículos contemporâneos. Sua versatilidade abre um crescente espaço nas funções mecânicas e químicas, além de estar presente em todo o processo produtivo. É muito freqüente, no setor automobilístico de competição, a utilização de técnicas de aquisição de dados baseado na instrumentação eletrônica. A partir dela, os fenômenos do mundo real que acontecem no veículo são convertidos em informações direcionadas ao piloto e à equipe. Para o piloto, essas informações auxiliam no processo de pilotagem; já para a equipe, leva a execução de análises profundas do projeto e desempenho do veículo.

Em alguns sistemas de aquisição de dados é aplicada à telemetria, que é um processo pelo qual as variáveis medidas são transmitidas para uma estação receptora distante, onde são mostradas em tempo real e armazenadas. A transmissão pode ser feita através de fios de cobre, fibras óticas ou ondas eletromagnéticas. [11]. Na área automobilística, a telemetria é implementada por transmissão RF e possui uma ampla importância, pois proporciona grandes avanços em tecnologia e, conseqüentemente, a concepção de veículos mais seguros, econômicos, confortáveis e ambientalmente sustentáveis.

Historicamente, é claro perceber que grande parte das tecnologias existentes nos veículos atuais, tanto de transporte de cargas quanto de pessoas, são criadas por categorias de competição automobilísticas que, posteriormente, foram difundidas por toda a malha produtiva de bens de consumo.

Neste projeto, a eletrônica, instrumentação e telemetria é aplicada ao UFVbaja SAE, que é um veículo projetado e contruído pela equipe que leva o mesmo nome, constituída de estudantes das engenharias e vinculados ao DEP, DEL e DEA da UFV.

Baja SAE é uma categoria automobilística de nível internacional para veículos de competição fora de estrada criada pela SAE (*Society of Automotive Engineers*, traduzido como Sociedade de Engenheiros da Mobilidade) em 1976 nos Estados Unidos, tendo como objetivo estimular jovens estudantes de engenharia a projetarem e construírem estes veículos, sendo uma espécie de laboratório para futuros profissionais do setor. Um Baja SAE é regido por uma série de regulamentos a serem seguidos para garantir segurança e competitividade. O veículo deve estar preparado para vencer terrenos acidentados e condições climáticas severas sem apresentar danos em sua estrutura. Além disso, deve possuir um motor de combustão interna padrão de 10 HP e ser capaz de transportar uma pessoa (o piloto) com até 1,90m de

altura e com peso de até 113,4 kg. [01]. A Figura 1 mostra uma fotografia do veículo UFVbaja.



Figura 1 - Veículo UFVbaja

Os estudantes de brasileiros submetem seus veículos a competições anuais de níveis regional, nacional e internacional. Nas etapas, cada veículo é avaliado de forma que seu projeto seja aceito por um fabricante fictício, visando sua comercialização. Para isso, o veículo passa por uma série de provas nas quais são avaliados quesitos como: sistema de freios, tração, velocidade, dirigibilidade, segurança, conforto, eletrônica e inovação, e, por último, um enduro de resistência onde os carros disputam entre si, numa pista apropriada, a melhor colocação ao final da corrida. [01].

A seguir é apresentada uma breve revisão de literatura com objetivo de explicar, de forma sucinta, diversos temas que devem ser conhecidos para o correto entendimento do trabalho.

1.1. Instrumentação, sensores e transdutores

A instrumentação é a área da engenharia que engloba as atividades relacionadas à medição de grandezas físicas para monitoração ou controle. Além disso, é uma área que está sempre em desenvolvimento e é cada vez mais utilizada, principalmente com a massificação de processos de monitoramento e automação.

Sensores são elementos específicos que transformam uma determinada variável física de interesse (ou faixas de operação desta variável) em uma grandeza passível de processamento. Em geral, a variável de interesse é transformada em uma grandeza elétrica, uma vez que os recursos oferecidos pela eletrônica pode-se efetuar uma série de processamentos posteriores.

Já os transdutores são sistemas compostos por sensores e mais algum dispositivo elétrico, eletrônico ou eletromecânico. O transdutor pode ser definido como um complemento de um elemento sensor com o objetivo de tornar possível a medição de determinada grandeza ou mesmo melhorar as condições de medição de um sensor. [04]

1.2. Conversor analógico-digital (ADC)

O campo da eletrônica pode ser dividido em duas grandes partes: analógico e digital. Sinais analógicos possuem variáveis contínuas, enquanto os digitais possuem variáveis discretas. Quando torna-se interessante a alteração de um sinal analógico para digital, utiliza-se conversores conhecidos como ADC. O processo de transformação de um sinal analógico em digital é chamado de digitalização, que pode ser dividida nas seguintes etapas mostradas na Figura 2.

- ✓ Amostragem: representação do sinal como uma sequência periódica de valores;
- ✓ Quantização: representação aproximada de um valor do sinal por um conjunto finito de valores;
- ✓ Codificação: associação de números binários para cada valor quantizado.

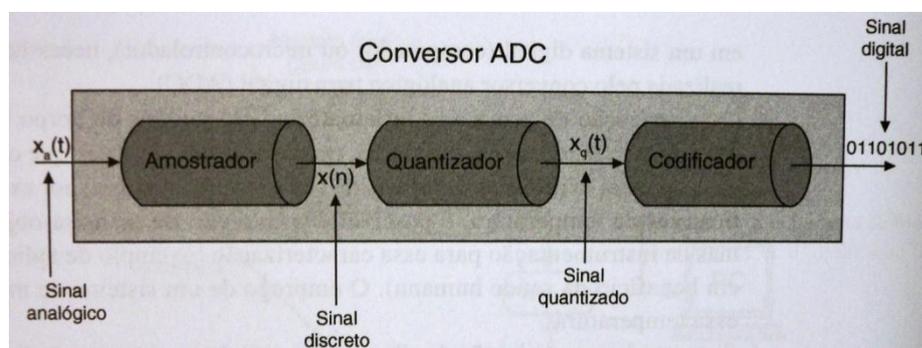


Figura 2 - Conversor ADC [04]

Níveis de tensão (entrada analógica) são convertidos em números binários (saída digital), normalmente, com relação linear entre a entrada e a saída. [04]

1.3. Comunicação Serial Assíncrona

Em muitas aplicações de eletrônica, há necessidade de realizar comunicação entre dispositivos. Esses dispositivos podem estar localizados a alguns metros ou até mesmo dezenas de quilômetros. As técnicas de comunicação podem ser divididas em duas grandes categorias: serial e paralela. Na comunicação serial, a informação a ser transmitida é fracionada em *bits* que são enviados ao equipamento receptor após a outra em série. Já na comunicação paralela, os *bits* componentes da informação são transmitidos simultaneamente em paralelo. [05]

A comunicação assíncrona caracteriza-se pela utilização de marcadores de início e fim de transmissão. Na figura abaixo, podemos observar a transmissão de um sinal serial assíncrono, começando por um sinal de início (*start*), seguido de pelos bits de dados (no caso 8 *bits*), iniciando pelo bit LSB e após ele, um *bit* de parada (*stop*) para sinalizar o fim do caractere. A Figura 3 ilustra um exemplo de transmissão de um byte pela comunicação serial.

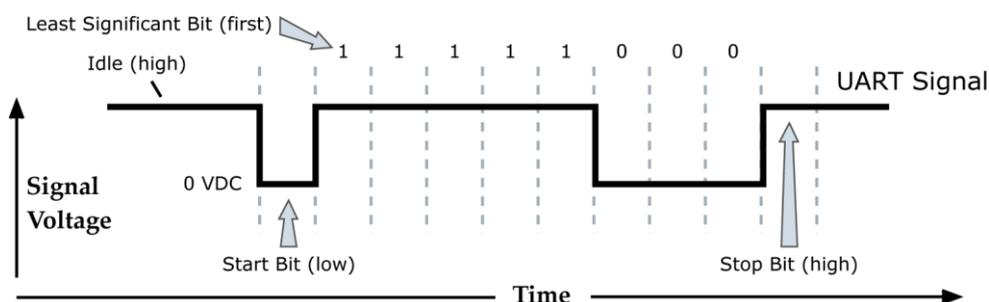


Figura 3 - Exemplo de um byte transmitido pela UART [06]

Esse tipo de comunicação é muito utilizado na conexão entre circuitos eletrônicos, pois é de fácil implementação, principalmente quando se utiliza circuitos microcontroladores da série PIC da Microchip®. [05]

1.4. Microcontroladores

Os microcontroladores são os principais dispositivos utilizados neste trabalho, estando diretamente ligado a todo o sistema e é amplamente explorado na aquisição, processamento e transmissão das informações referentes ao funcionamento do UFVbaja.

Um microcontrolador é um computador. Todos os computadores possuem várias características em comum: uma CPU que executa programas; memória RAM onde se pode armazenar variáveis; e alguns dispositivos de entrada e saída para interagir com as pessoas. A Figura 4 abaixo mostra um esquema geral:

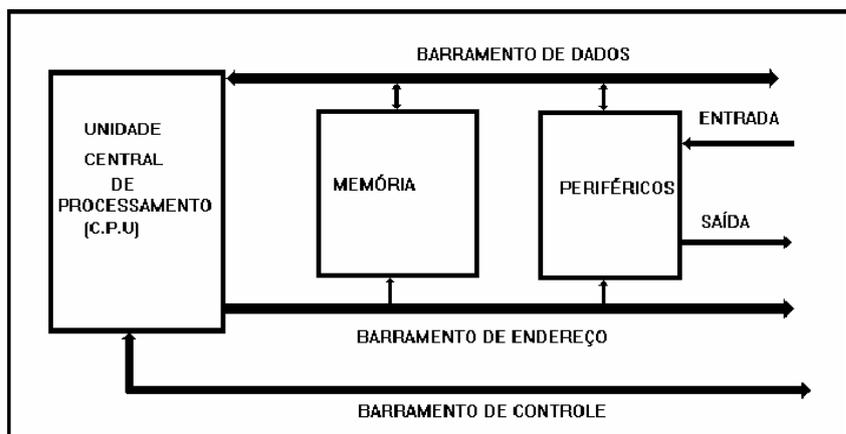


Figura 4 - Arquitetura de um computador mais barramentos [09]

Um computador de mesa é um computador de propósito geral que pode executar milhares de programas diferentes. Já os microcontroladores são computadores de propósito específicos.

As raízes dos microcontroladores se originaram na universidade de Harvard com um projeto para o Departamento de Defesa. A arquitetura Harvard foi primeiramente adotada pela *General Instruments* para uso como interface controladora de periféricos. [09].

Os microcontroladores *Microchip* PIC apresentam arquitetura Harvard e tecnologia RISC (possuem 35 instruções de processamento) e são providos de memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída, temporizadores, contadores, comunicação serial, PWM, ADCs, comunicação USB, interrupções etc. [10]

A grande utilização dos microcontroladores nos sistemas eletrônicos atuais vem do fato de serem programáveis (possuem execução pré-determinada), ou seja, estes sistemas são compostos por um conjunto físico (em inglês, *hardware*) constante e orientado por uma sequência de instruções operacionais programadas diretamente no *hardware* de um equipamento eletrônico, conhecido como programa interno do microcontrolador, ou do inglês, *firmware*, proporcionando grande versatilidade e poder de processamento, pois é possível modificar a determinação de uma tarefa do sistema a partir da mudança de alguns parâmetros do programa, mantendo o sistema físico inalterado.

Os programas internos dos microcontroladores são produzidos através de outros programas, utilizando linguagens de programação conhecidas, tais como *Assembly* e *C*, que, posteriormente são compilados e seus arquivos gerados inseridos nos circuitos integrados através de dispositivos denominados “gravadores”.

Abaixo, tem-se um exemplo de um programa simples produzido em linguagem *C*.

```
#include <16f877a.h>
#use delay(clock=8000000)
#fuses HS,NOWDT,NOPUT,NOBROWNOUT,NOLVP
#define led pin_d0 //definição do pino do LED como pino D0

void main()
{
  set_tris_d(0b00000000);//Ajuste tris do porto d para saídas
  output_d(255);//Apagando todos os leds

  while(true)
  {
    output_low(pin_d0);//Acendendo led
    delay_ms(200);//delay 200ms
    output_high(pin_d0);//Apagando led
    delay_ms(200);//delay 200ms
  }
}
```

Figura 5 – Exemplo de um programa simples em linguagem C

Todo programa deste tipo é iniciado com as configurações e definições do microcontrolador, seguido de uma função principal e de um laço infinito no qual são executadas as funções periódicas. Pode haver também funções e interrupções que são buscadas durante a execução.

1.5. Transceptores sem fio

A transmissão de sinais é suportada em meios que podem ser guiados (par de fios de cobre, cabo coaxial, fibra ótica etc) ou não guiados (ar, vácuo etc). Em relação à direção de comunicação, pode ser classificados como unidirecionais (*simplex*) ou bidirecionais (*half-duplex* ou *full-duplex*). Além disso, são classificados pela natureza (analogicos ou digitais) e pelo domínio do tempo (periódicos ou não periódicos). [02].

É denominado transmissor, o dispositivo responsável pelo envio de sinais. Já o receptor tem a função de capturar as informações advindas de um transmissor. Quando em um mesmo aparelho é combinado um transmissor e um receptor, utilizando circuitos comuns para ambas as funções, tem-se o chamado **transceptor**.

O ar constitui-se de um meio natural para a propagação de sinais eletromagnéticos, podendo talvez, ser considerado o melhor suporte de transmissão, quando se fala em

conectividade. Tal afirmação baseia-se no fato de que o ar provê uma interconexão completa, e permite uma grande flexibilidade na localização das estações. Para a transmissão de dados pelo ar, exige-se uma banda de frequência passante e que transmissor e receptor estejam em área de cobertura. [03]

A comunicação sem fio traz incontáveis benefícios de mobilidade, além da versatilidade da transmissão à longa distância. Cada vez mais a utilização da transmissão e recepção de dados sem fio torna-se mais frequente no nosso dia-a-dia. Ela já está inclusa na sociedade há alguns anos através de redes WLANs, WMANs, WWANs, onde o objetivo é a transferência de grandes volumes de dados e voz em altas velocidades. Algumas redes sem fio são destinadas exclusivamente ao controle de dispositivos como relés, trancas eletromagnéticas, ventilação, aquecimento, motores, eletrodomésticos, brinquedos, aquisição de dados de sensores, como temperatura, luminosidade, umidade, pressão etc. A comunicação ZigBee é um tipo de rede WPAN que usa o padrão IEEE 802.15.4. A ZigBee Alliance desenvolve esse padrão junto ao IEEE, através da associação de várias empresas, que juntas, trabalham em conjunto para proporcionar e desenvolver tecnologias para criar um padrão de baixo consumo de energia, baixo custo, segurança, confiabilidade e com funcionamento em rede sem fios baseado em uma norma aberta global. [12]

A ZigBee permite comunicações robustas e opera na frequência ISM sendo na Europa de 868 MHz (1 canal), 915 MHz (10 canais) nos Estados Unidos e 2,4 GHz (16 canais) em outras partes do mundo, e não requerem licença para funcionamento. As redes ZigBee oferecem uma excelente imunidade a interferências e a capacidade de hospedar milhares de dispositivos numa rede (mais que 65.000), com taxas de transferências de dados variando entre 20Kbps a 250Kbps. O Protocolo ZigBee é destinado a aplicações industriais, portanto, o fator velocidade não é crítico numa implementação ZigBee. [12]

No padrão ZigBee existem três classes de dispositivos lógicos que definem a rede:

1. **Coordenador ZigBee:** O coordenador é responsável pela inicialização, distribuição de endereços, manutenção da rede, reconhecimento de todos os Nós, entre outras funções podendo servir como ponte entre várias outras redes ZigBee;
2. **Roteador ZigBee:** Tem as características de um nó normal na rede, mas com poderes extras de também exercer a função de roteador intermediário entre nós, sem precisar do coordenador. Por intermédio de um roteador uma rede ZigBee poder ser expandida;

3. **Dispositivo final ZigBee:** É onde os atuadores ou sensores serão hospedados.

Há três topologias possíveis para a composição de uma rede Zigbee. Elas são mostradas na Figura 6. [12]

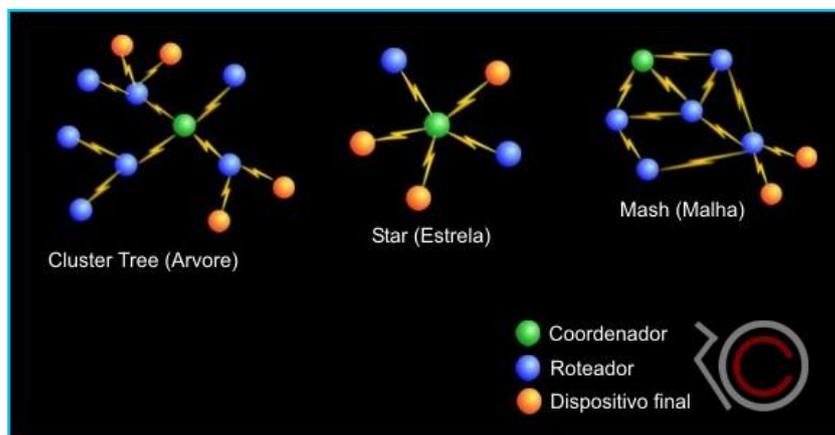


Figura 6 - Topologias possíveis do protocolo Zigbee [12]

1.6. **USB**

USB é atualmente um padrão de comunicação muito popular usado para conectar computadores a vários dispositivos periféricos e microcontroladores. É bastante utilizado devido ao seu alto grau de compatibilidade com sistemas operacionais e à facilidade do “conectar e usar” que faz com que não haja a necessidade de reiniciar o computador para que ele reconheça um dispositivo recentemente conectado.

É possível fazer uma conexão USB com circuitos eletrônicos microcontrolados. Alguns microcontroladores PIC já fornecem embutidos módulos de comunicação USB. O modelo utilizado neste projeto, PIC18F4550 da *Microchip*[®], por exemplo, é construído com recursos de interface USB. Isso tem grande valor quando é preciso desenvolver sistemas eletrônicos microcontrolados com comunicação com um computador. [13]

1.7. **Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver a eletrônica, instrumentação e telemetria do veículo UFVbaja através de sistemas microcontrolados que sejam capazes de:

- Coletar os dados do veículo UFVbaja tanto em estado estático quanto dinâmico;
- Processá-los;

- Mostrá-los no painel de instrumentos;
- Transmiti-los e recebê-los em tempo real por radiofrequência (telemetria);
- E, por fim, endereçá-los para comunicação USB.

Uma visão geral do projeto pode ser vista na Figura 7.

Estes sistemas devem estar de acordo com a robustez exigida pelo UFVbaja, que é um veículo fora de estrada, e, portanto, está sujeito a diversos tipos de terrenos e condições climáticas.

Objetiva-se também neste projeto, prover as funções elétricas do UFVbaja, tais como: alimentação elétrica, luz de freios e sistema de segurança de desligamento do motor de acordo com as exigências da SAE para a participação das competições regulares da categoria.

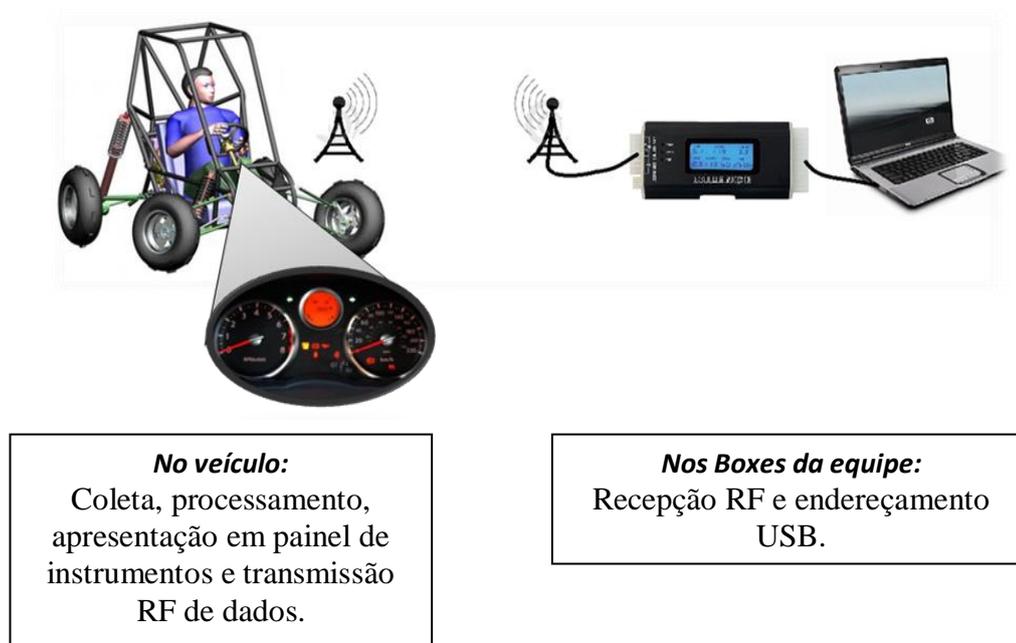


Figura 7 - Esquema geral [13]

1.8. Organização do Texto

O Capítulo 2 mostra as etapas do desenvolvimento do projeto. No Capítulo 3 são discutidos os resultados alcançados. A conclusão do trabalho se encontra no Capítulo 4, inclusive com algumas sugestões de trabalhos futuros e, ao fim, são citadas as referências bibliográficas. As palavras de origem estrangeira estão apresentadas em formatação itálica. A lista de **Simbologias** encontra-se na página 15.

2 *Materiais e Métodos*

Em maioria, as atividades deste projeto foram realizadas no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Projetos Microcontrolados do Departamento de Engenharia Elétrica e na oficina do UFVbaja no Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental.

Como mostrado na Figura 7, na seção 1.7 (Objetivos), este projeto pode ser subdividido em dois sistemas: **sistema do veículo e sistema dos boxes**.

Para uma melhor apresentação e entendimento dessa seção, os dois sistemas foram abordados separadamente. Entende-se como **sistema do veículo**, o conjunto de componentes deste trabalho concebido para serem acoplados ao veículo UFVbaja. E **sistema dos boxes** refere-se ao conjunto aplicado aos boxes. Os dois sistemas são interconectados através da telemetria.

2.1. *Sistema do Veículo*

O sistema do veículo é composto pelos transdutores; central de processamento de dados e da telemetria; painel de instrumentos; painel de botões; ligações elétricas do UFVbaja; e cabos e conectores. Todos estes componentes serão descritos a seguir.

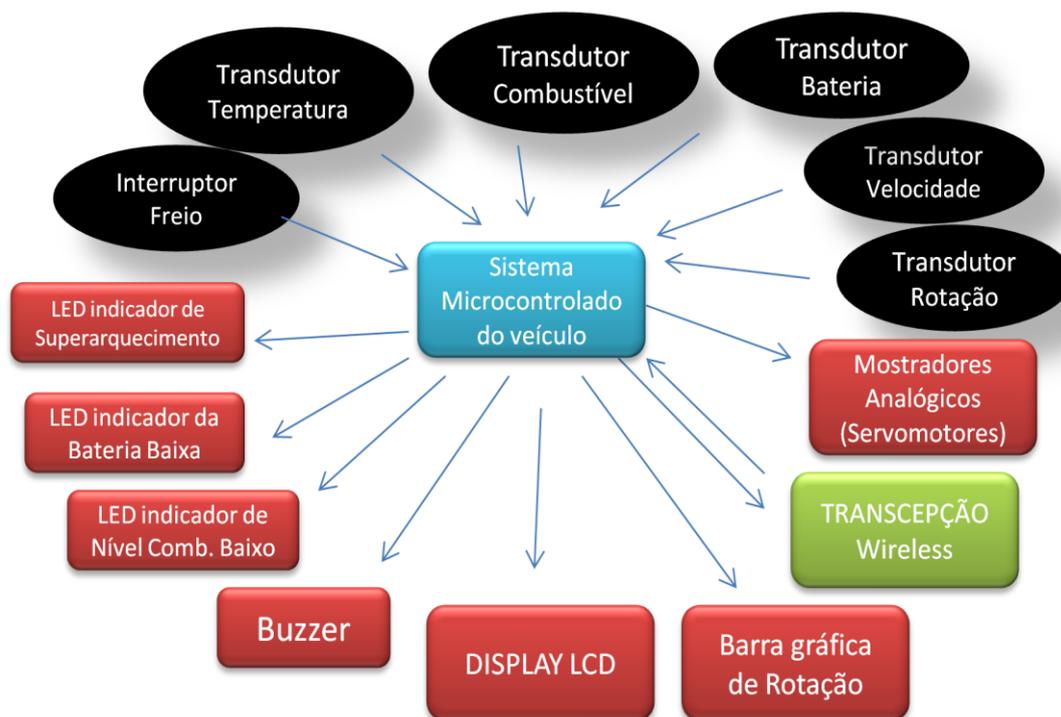


Figura 8 - Sistema do veículo, exceto ligações elétricas

As setas em azul indicam o sentido que fluem as informações. O duplo sentido de informações na transcepção sem fio (telemetria) revela a possibilidade de trocar informações entre veículo e boxes.



Figura 9 - Ligações elétricas do UFVbaja

O sistema do veículo foi simulado em programa especializado de simulação de circuitos elétricos e eletrônicos. Na Figura 10, encontra-se a janela de simulação:

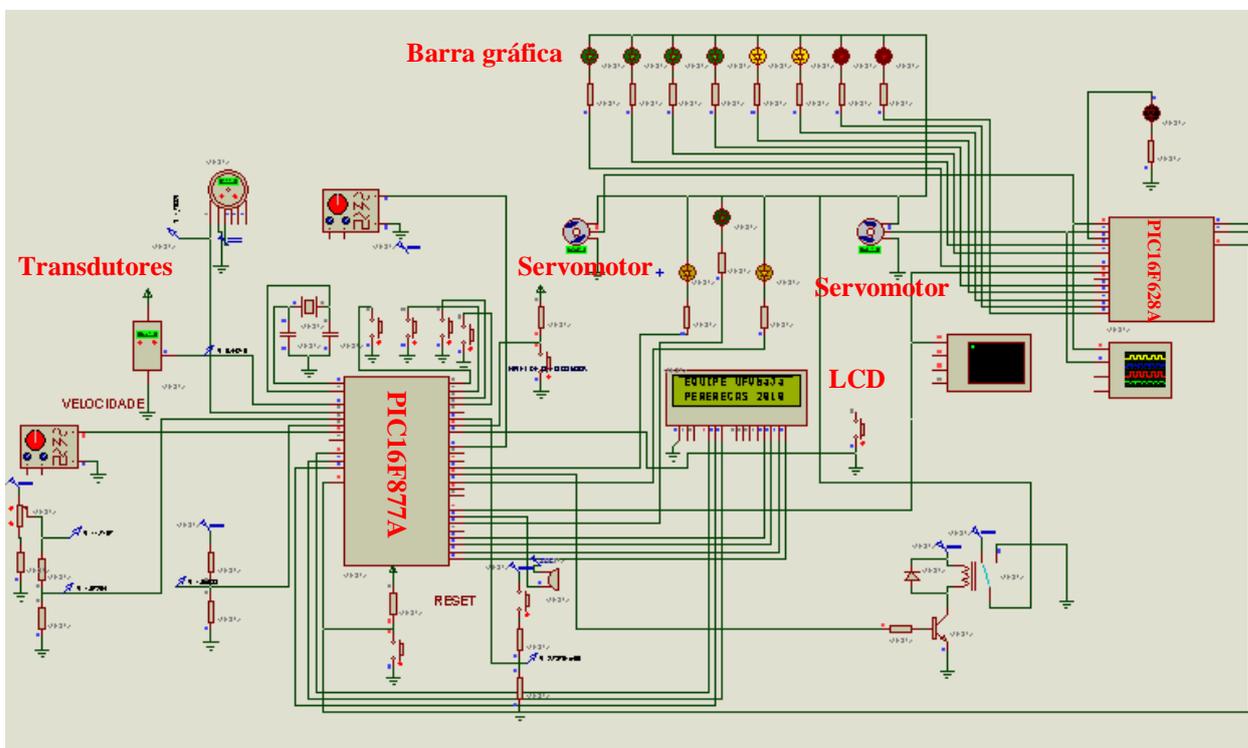


Figura 10 - Simulação do sistema do veículo

2.1.1. Transdutores

A escolha de transdutores ao invés de sensores reside na facilidade de obter um sinal já tratado, além de diminuir a possibilidade de contaminação por ruídos, já que os transdutores utilizados são, por maioria, ativos, ou seja, há amplificação do sinal junto ao elemento sensor.

Na escolha dos transdutores foram levados em consideração características importantes, tais como: tamanho, robustez, tipo de transdução, facilidade de fixação, vida útil, configurações elétricas e preço.

2.1.1.1. Transdutor de velocidade e rotação

Para obter as informações de velocidade e rotação, foi escolhido o transdutor indutivo, diâmetro de 8mm, metálico com rosca, 3 fios, tensão de alimentação de 10 a 30 V CC, [15] mostrado abaixo. A escolha do transdutor indutivo reside no fato dele apenas ser ativado por materiais metálicos. Portanto água, lama e poeira (características comuns de veículos fora de estrada) não ocasionam leituras incorretas. A Figura 11 mostra a fotografia deste transdutor.



Figura 11 - Transdutor indutivo escolhido

Para a medição de rotação do motor, este transdutor é acoplado ao eixo do motor, de forma que sejam obtidos pulsos de onda quadrada com frequência proporcional à velocidade angular do eixo do motor. Para a medição de velocidade do veículo, foi acoplado a uma das rodas dianteiras, utilizando os orifícios de aeração do disco de freio para obter os pulsos. A escolha da roda dianteira leva em consideração ao fato do veículo ter tração nas rodas traseiras, o que as leva ter um maior índice de patinação.

2.1.1.2. Transdutor de nível de combustível

O transdutor de nível de combustível, na verdade é um transdutor de pressão diferencial, piezoresistivo, tensão de alimentação de 5Vcc, ideal para microcontroladores que possuem canais ADC e sensibilidade de 1 V/kPa. A Figura 12 mostra o desenho do transdutor e o gráfico de saída de tensão pela variação da pressão diferencial. [16].

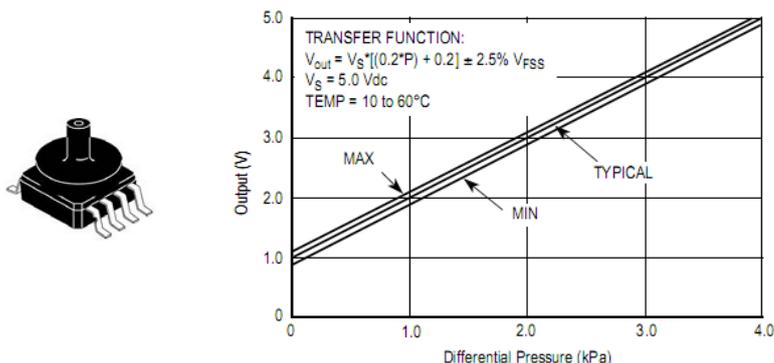


Figura 12 - Transdutor de pressão e a curva de tensão de saída pela variação da pressão diferencial [16].

Este transdutor é inserido na derivação da mangueira de combustível entre o tanque e o carburador do motor. É levada em consideração a pressão no fundo do tanque, causada pela força peso da coluna de combustível presente. A pressão que um líquido faz no fundo de um recipiente depende apenas da sua densidade, aceleração da gravidade e a altura da coluna, dada por:

$$p = d \cdot g \cdot h, \quad (1)$$

onde p representa pressão, d a densidade, g a aceleração da gravidade e h a altura da coluna.

Como a densidade é uma constante característica do líquido, que nesse caso, gasolina (0,72g/mL) e a aceleração da gravidade também é uma constante (9,81m/s²), a pressão no fundo do tanque é diretamente proporcional à altura da coluna de gasolina, isto é,

$$p \propto h, \quad (2)$$

O transdutor relaciona linearmente determinada pressão manométrica com um valor de tensão de saída, como visto na Figura 12. A tensão de saída é inserida em um dos canais ADC do microcontrolador e os dados são processados tendo como base os parâmetros definidos no programa interno do microcontrolador para determinar a quantidade de combustível.

Uma observação a ser feita é que a área da seção do tanque de combustível é constante.

2.1.1.3. Transdutor de temperatura

O transdutor de temperatura utilizado é do modelo LM35, que possui tensão de alimentação de 5Vcc, 3 fios, sensibilidade de 10mV/°C linear e encapsulamento padrão TO-92. Uma imagem deste transdutor é mostrada na Figura 13. [17].

2.1.2. Central de processamento de dados e da telemetria

A central de processamento de dados e da telemetria é o elemento constituinte do **sistema do veículo** que recebe os dados dos transdutores, processa-os e envia para o painel de instrumentos e para os transceptores da telemetria. Na Figura 15 tem-se a sua fotografia.



Figura 15 - Fotografia da central de processamento de dados e da telemetria

2.1.2.1. Microcontroladores

Como visto na revisão de literatura, os microcontroladores são computadores, contendo microprocessador, memórias, barramentos e periféricos. Eles são os principais constituintes da central de processamento de dados e da telemetria. Há dois microcontroladores da série 16F da Microchip: Um PIC16F877A (40 pinos) e um PIC16F628A (18 pinos). A diferença entre eles estão na quantidade de pinos, quantidade de memórias, poder de processamento e funções específicas.

A Figura 16 apresenta tais microcontroladores.

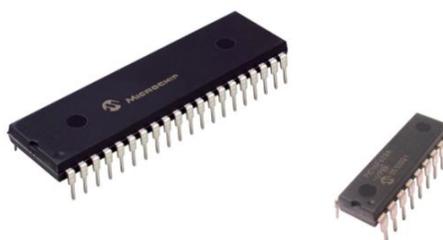


Figura 16 - Microcontroladores PIC16F877A e PIC16F628A, respectivamente [18]

As frequências de processamento foram definidas em 20MHz e 4MHz, respectivamente, para cada microcontrolador. Ambos microcontroladores são alimentados por tensão de 5Vcc e realizam diversas funções, tais como: conversões analógicas-digitais (ADCs), entradas e saídas digitais, timers, interrupções, comunicação serial assíncrona, modulação por largura de pulso (PWM) etc.

Como discutido na seção de introdução, os microcontroladores necessitam de uma rotina programável chamada de *firmware*. Foi utilizada a linguagem C na produção destes programas, por ser uma linguagem de alto nível, de fácil compreensão e vista no curso de Engenharia Elétrica – UFV nos primeiros períodos.

Por se tratar de programas extensos, não se faz conveniente inseri-los. Nestes programas foram definidas todas as rotinas de execução de tarefas dos microcontroladores. As principais tarefas foram agrupadas em funções e eram solicitadas de acordo com a estrutura previamente programada.

Estes microcontroladores foram instalados em uma placa de circuito impresso (PCI) de dupla face, onde foram feitas as ligações entre os componentes do sistema.

2.1.2.2. Transceptor

Dentre os transceptores que utilizam o protocolo Zigbee, explicitados na seção 1.5., tem-se o modelo Xbee-PRO que merece destaque pela sua robustez e confiabilidade, além das características de baixo custo, consumo reduzido e ampla capacidade de ligação em rede. Com uma potência de transmissão de 100mW, tem um alcance de 1,6 km em linha visível. Por essas e outras razões, este módulo mostrou-se mais adequado para a aplicação no sistema de telemetria do projeto UFVbaja.



Figura 17 - Módulo Xbee PRO Series 2

Sua comunicação a outros dispositivos é feita por Comunicação Serial Assíncrona (vista na seção 1.3) o que garante praticidade, principalmente quando é necessária a conexão com circuitos microcontrolados.

Os módulos Xbee-Pro devem ser alimentados por uma fonte de tensão de 3,3 V, o que exige cuidado ao conectar com outros circuitos eletrônicos que normalmente são ligados em 5 V. Para a configuração de todos os parâmetros da rede e definição da classe de cada módulo é utilizado um programa chamado X-CTU disponibilizado pelo fabricante. Através de uma porta COM, o programa conecta-se ao Xbee e realiza todas as configurações selecionadas. [13].

Um dos transceptores é localizado na central de processamento de dados e da telemetria. Ele se conecta a um dos microcontroladores e no cabo da antena, no qual são repassadas as informações a serem transmitidas para a central de recepção de dados da telemetria, componente do **sistema dos boxes**.

A ligação elétrica entre da comunicação serial entre o microcontrolador e o Xbee-Pro pode ser vista na Figura 18. Observa-se que há a necessidade de inserir um divisor de tensão entre o pino transmissor do microcontrolador e o pino receptor do Xbee-Pro, justificado pelas tensões distintas de funcionamento de cada dispositivo (5V para o PIC e 3,3V para o transceptor).

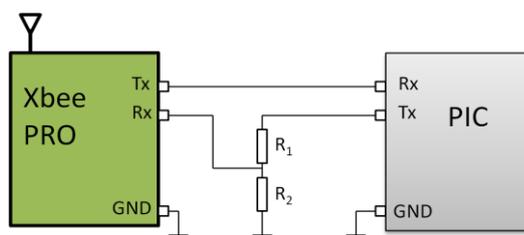


Figura 18 - Esquema de ligação elétrica entre o microcontrolador e o módulo Xbee [06]

2.1.3. Painel de Instrumentos

No painel de instrumentos do veículo, há elementos que fazem a transferência das informações do veículo para o piloto através da visão e audição. Há uma PCI na região posterior ao painel, onde são conectados todos os elementos e também os cabos que se dirigem à central de processamento de dados e da telemetria, assim como para o painel de botões. Por este painel, o piloto toma conhecimento da velocidade atingida, rotação do motor, nível de combustível, nível de tensão na bateria, temperatura do motor, quilometragem

percorrida e tempo de funcionamento do motor. Através dele também, o piloto opera o cronômetro e o hodômetro parcial, além de verificar os valores máximos e mínimos atingidos pelas principais variáveis. A seguir são explicitados os componentes do painel de instrumentos, mostrado na Figura 19.



Figura 19 - Fotografia do painel de instrumentos do veículo UFVbaja

2.1.3.1. Mostradores Analógicos com servomotores

Servomotores de posição são motores frequentemente utilizados no controle remoto de aeromodelos, automodelos, e outros veículos radiocontrolados. Um servomotor geralmente consiste em um motor de corrente contínua com um circuito de controle de posição acoplado. O tipo de servomotor utilizado em modelos possui geralmente uma faixa de posicionamento de aproximadamente 180 graus, podendo também ser encontrados modelos com faixas de 90 graus. As características deste motor permitem controlar com precisão o ângulo de posicionamento dentro desta faixa. A Figura 20 ilustra o modelo de um servomotor. [07]



Figura 20 - Servomotor tipo FUTABA [08]

O sinal de controle destes servomotores consiste em um trem de pulsos conhecidos como modulação PWM (*Pulse Width Modulation*). A amplitude dos pulsos deve ser constante no valor de 5V em relação à referência. O período deste trem de pulsos deve ser de aproximadamente 20ms, o que equivale a uma frequência de 50Hz. O ciclo de trabalho do

sinal PWM é o que determina o posicionamento angular solicitado ao servomotor. O ciclo de trabalho é calculado por:

$$\text{Ciclo de trabalho} = t_{\text{on}} / T, \quad (3)$$

onde t_{on} representa o tempo do sinal em nível alto e T o período do sinal (20ms).

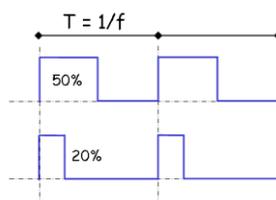


Figura 21 - Variação do ciclo de trabalho de um sinal PWM

Para cada valor de ciclo de trabalho, o servomotor posiciona em um ângulo correspondente.

Foi verificado que mostradores analógicos são melhores para a visualização do piloto durante o processo de pilotagem. Dessa forma, foram inseridos dois servomotores do tipo FUTABA para deslocar ponteiros analógicos de rotação do motor e velocidade do veículo. Eles são controlados pela modulação de largura de pulso (PWM) provido pelo microcontrolador PIC16F628A. Estes servomotores foram fixados no painel, de forma que seja de fácil visualização para o piloto. Veja as imagens da Figura 22.



Figura 22 - Mostradores analógicos (à esquerda, tacômetro; à direita, velocidade)

2.1.3.2. Mostrador LCD alfa-numérico

Mostradores são dispositivos que dirigem informações da máquina para o homem. Os LCDs permitem uma grande concentração de informações em um pequeno espaço físico. Além disso, apresentam um baixo consumo de energia. O mostrador alfa-numérico é mais barato, comparado ao modelo gráfico, e capaz de apresentar caracteres como letras, números e símbolos.

Nesses mostradores, há controladores que permitem uma interface simples com sistemas microprocessados ou microcontrolados. [05]. Um mostrador do tipo LCD alfa-

numérico de duas linhas por 16 colunas foi inserido ao painel de instrumentos. Foi escolhido este tipo de mostrador devido à grande quantidade de informações que pode ser inserida e também a praticidade da instalação. Este dispositivo é conectado ao PIC 16F877A através de 4 pinos de dados (D1, D2, D3 e D4), um pino de habilitador (E) e seletor de registro (RS). No programa interno desse microcontrolador foi criada uma biblioteca para este LCD, no qual possibilita o acesso imediato ao dispositivo.



Figura 23 - Mostrador LCD alfa-númerico 2 linhas e 16 colunas

2.1.3.3. Barra gráfica de rotação

A barra gráfica de rotação é composta por oito LEDs das cores verde, amarelo e vermelho, controlada pelo PIC 16F628A e se acendem de acordo com o aumento da frequência de rotação do eixo do motor. Isso possibilita ao piloto realizar um melhor controle sobre a rotação e dirigibilidade. A Figura 24 apresenta uma fotografia.



Figura 24 - Fotografia da barra gráfica

2.1.3.4. LEDs de alerta

No painel foram inseridos LEDs vermelhos responsáveis por indicar ao piloto situações adversas de funcionamento do veículo. Na Figura 25, o LED esquerdo representa nível de combustível baixo; o LED superior representa a atividade da telemetria; e o LED direito representa superaquecimento do motor. Há também um LED central na cor verde que indica o estado do funcionamento (ligado ou desligado) do painel de instrumentos.



Figura 25 - Fotografia dos LEDs de alerta

2.1.3.5. Apito

O apito é um dispositivo gerador de um ruído sonoro agudo. Ele foi posicionado atrás do painel de instrumentos. Sua função é alertar ao piloto sobre situações adversas. A Figura 26 mostra a fotografia de um apito tipo *buzzer*.



Figura 26 - Fotografia de um apito *buzzer* clássico [19]

2.1.4. Painel de Botões

Os botões possibilitam ao piloto realizar intervenções no sistema do painel. Através dele o piloto ativa e desativa a função de modo espera, realiza a reinicialização, ativa a troca de tela do LCD, roda e pausa o cronômetro, zera o cronômetro, o hodômetro parcial e os registradores de máximos e mínimos. Os botões utilizados são do tipo Margirius. Abaixo temos a fotografia do painel de botões.



Figura 27 - Fotografia do painel de botões

2.1.5. Ligações Elétricas

Algumas ligações elétricas são exigidas pela SAE para que o veículo possa participar das etapas discutidas na introdução deste trabalho. A seguir é explicitado o sistema elétrico do veículo.

2.1.5.1. Alimentação elétrica

A alimentação de todo o **sistema do veículo** é feito por uma bateria de 12V, 12 Ah, selada (para evitar vazamentos) e que está de acordo com todas as normas da SAE. Ela é fixada abaixo do banco do piloto. Abaixo se mostra o modelo da bateria utilizada.

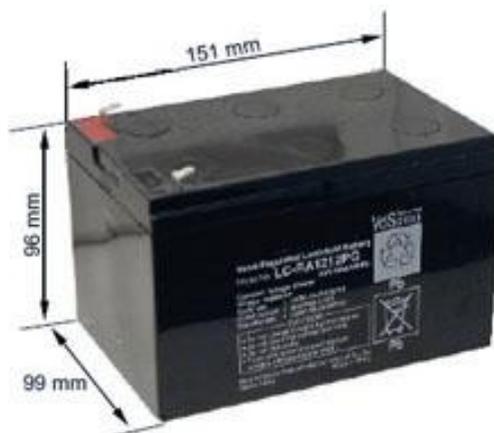


Figura 28 - Bateria 12V, 12 Ah [20]

2.1.5.2. Luz de Freio

O diagrama esquemático do circuito da luz de freio é mostrado abaixo:

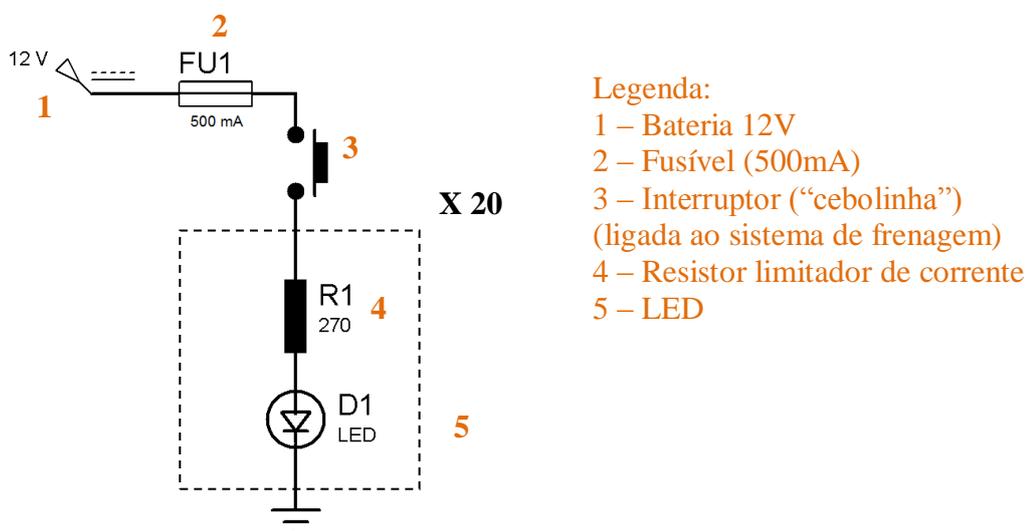


Figura 29 - Diagrama esquemático do circuito da luz de freio

Optou-se por utilizar LEDs em vez de lâmpadas incandescentes, devido seu baixo consumo de energia e melhor efeito visual. São 20 LEDs brancos ligados em paralelo, cada

um com seu respectivo resistor limitador de corrente. Por cima dos LEDs brancos são adicionados filtros ópticos de cor vermelha. A luz de freio utilizada é mostrada abaixo.



Figura 30 - Fotografia da Luz de freios do UFVbaja

2.1.5.3. Sistema de segurança de desligamento do motor

Esse sistema de segurança é solicitado pela SAE para participar das competições. Para desligar o motor do veículo, são utilizadas duas botoeiras normalmente abertas, conhecidas como *kill switches* tipo soco. Veja a Figura abaixo.



Figura 31 - Botoeira tipo soco - *kill switch*[21]

Essas duas botoeiras são ligadas em paralelo, de forma que, pressionando qualquer uma delas, o motor do veículo é imediatamente desligado. Um desses botões deve ser localizado ao lado do painel de instrumentos e o outro no lado externo do veículo.

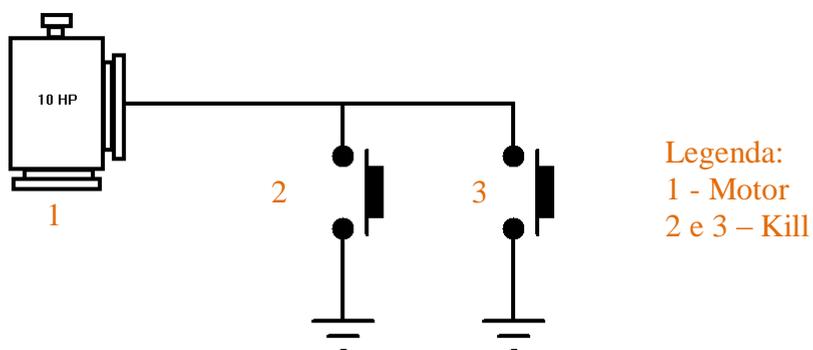


Figura 32 – Esquema elétrico do sistema de segurança de desligamento do motor

2.1.6. Cabos e conectores

No **sistema do veículo**, cabos e conectores executam as ligações entre os componentes. Tendo em vista as condições que o UFVbaja é submetido, foi dada preferência para a utilização de cabos flexíveis, robustos, embutidos e com conectores com travas. Os modelos utilizados são comerciais e dispostos a seguir:

- Cabos de impressora paralela (IEEE - 1284) com conectores DB25 e CN36;



Figura 33 - Cabo de impressora paralela (IEEE - 1284)

- Cabo serial (RS 232) com conectores DB9.



Figura 34 - Cabo Serial (RS 232)

2.2. Sistema dos Boxes

Nos boxes, um transceptor idêntico ao presente no **sistema do veículo**, recebe as informações provenientes do UFVbaja e os direciona ao circuito microcontrolado dos boxes. Abaixo tem-se a lista das variáveis que compõem um pacote de dados transmitidos/recebidos pela telemetria:

- *Velocidade do veículo;*
- *Rotação do motor;*
- *Nível de combustível no tanque;*
- *Nível de tensão na bateria;*
- *Temperatura do motor;*
- *Tempo funcionamento do motor;*
- *Tempo cronometrado;*
- *Distância parcial;*
- *Distância total;*
- *Posição do pedal de freio (pressionado ou não).*

O diagrama esquemático desse sistema pode ser visto a seguir. As setas azuis indicam os sentidos dos fluxos de informações.

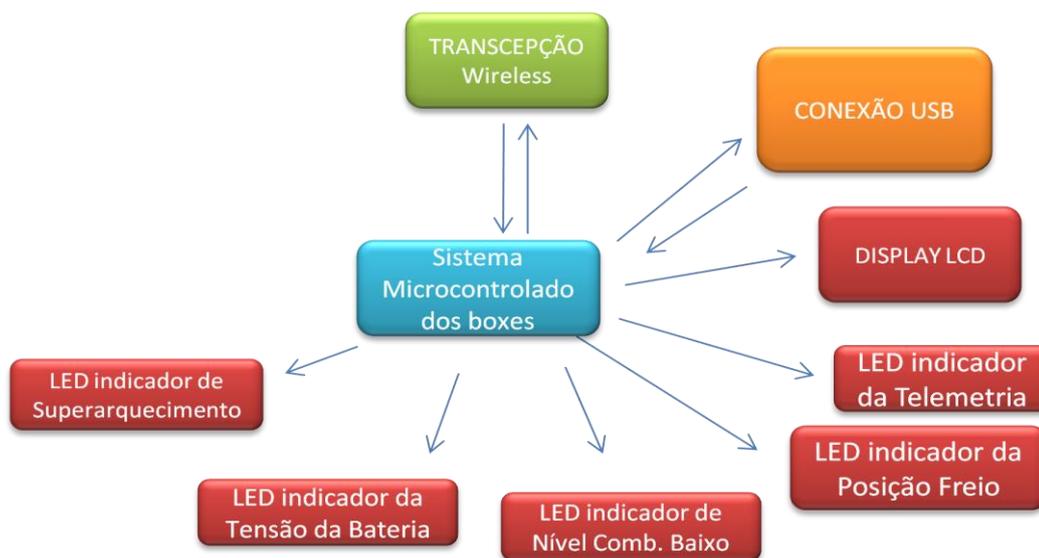


Figura 35 - Diagrama esquemático do sistema dos boxes

Assim como o sistema do veículo, o sistema dos boxes foi simulado e é mostrada a seguir a janela de simulação:

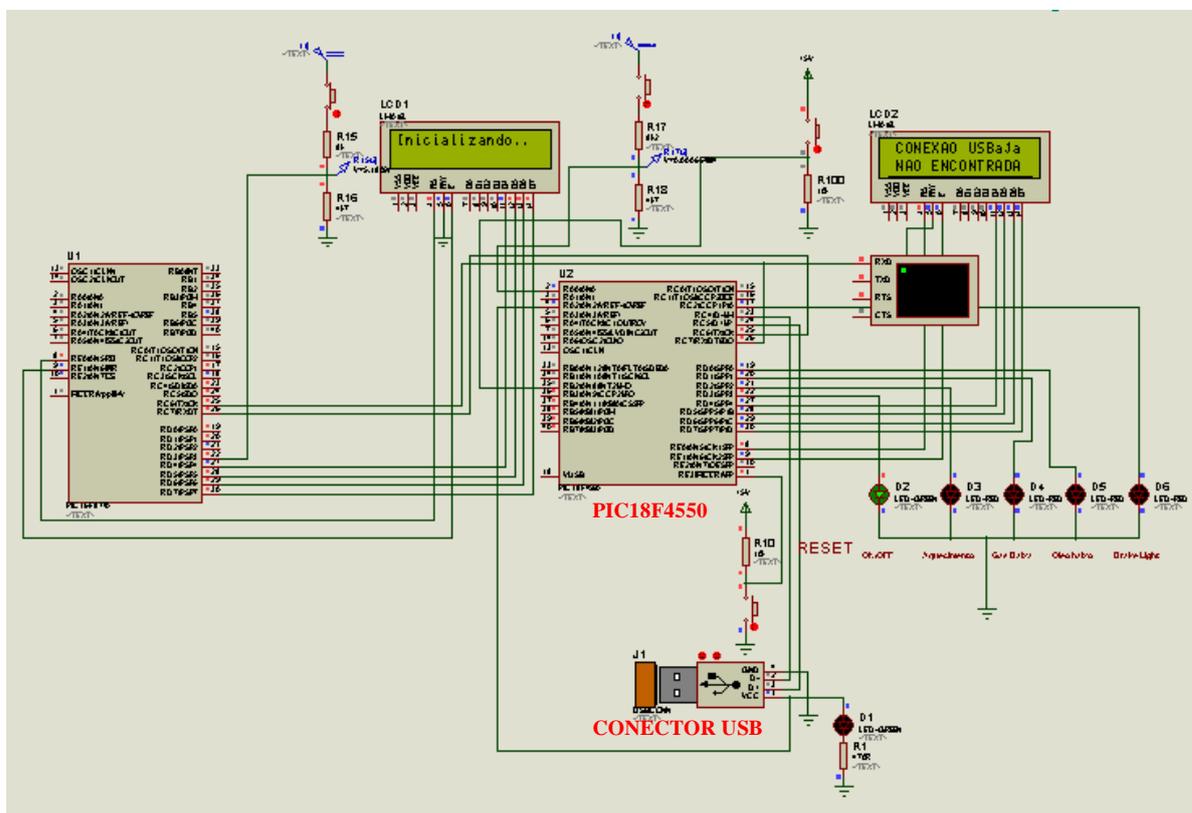


Figura 36 - Janela de simulação do sistema dos boxes

Todo este sistema foi reunido e montado em um aparelho portátil, chamado de “base de recepção de dados da telemetria” cuja fotografia é vista na Figura 37.



Figura 37 - Base de recepção de dados da telemetria

Este aparelho possui duas formas de alimentação: fonte alternada 127 Volts da rede elétrica ou bateria de 9V comum, que o deixa portátil, possibilitando o deslocamento. Além disso, o sistema tem função independente do computador, ou seja, há um modo sem ativação da conexão USB que possibilita o funcionar na ausência de um PC.

2.2.1. Microcontrolador

O microcontrolador presente no **sistema dos boxes** é do modelo PIC 18F4550. Ele responsável por receber e tratar os dados emanados pelo transceptor. Este microcontrolador diferencia-se do utilizado no **sistema do veículo**, principalmente pela conexão USB. Há também maiores quantidades de memórias e frequência de processamento superior nesse modelo. Possui a mesma quantidade de pinos do PIC16F877A, tendo aparência idêntica, como mostrada abaixo:



Figura 38 - Microcontrolador PIC18F4550 [22]

A comunicação USB utilizada é de fácil implementação. As bibliotecas inseridas ao programa interno fazem com que o PIC simule uma porta serial COM. Daí, o

microcontrolador pode ser acessado por qualquer programa de um computador, bastando estabelecer a comunicação com a porta COM associada.

2.2.2. Conexão USB

A conexão USB compõe o **sistema dos boxes** para transferir informações ao supervisor da telemetria. Esse supervisor não será detalhado nesse trabalho, sendo um suplemento da telemetria, abordado no trabalho de monografia do então aluno Leone Veiga Muniz, apresentado em julho de 2010 no Departamento de Engenharia Elétrica – UFV (veja a seção 5 – Referências Bibliográficas # [13]).

Após a comunicação USB com o supervisor da telemetria ser estabelecida, é enviado ao sistema dos boxes o caractere “Z”, representando o pedido de envio de um pacote de informações. O sistema reconhece o recebimento do caractere e responde enviando um pacote de dados. Esse pacote tem a seguinte configuração, como exemplo:

v54\$r3600\$c3.7\$b11.9\$t028\$h00\$m01\$i01\$s23\$d00872\$a01732\$f0\$p0\$

Cada letra indica o início de transmissão de uma variável específica. Cada caractere “\$” indica o término da transmissão de cada variável. Então, o exemplo descrito anteriormente pode ser traduzido como:

- *Velocidade instantânea = 54km/h;*
- *Rotação instantânea = 3600rpm;*
- *Nível de combustível = 3,7L;*
- *Tensão da bateria = 11,9 V;*
- *Temperatura do motor = 28 °C;*
- *Tempo de funcionamento do motor = 00h01m;*
- *Cronômetro = 01m23s;*
- *Distância parcial percorrida = 173,2km;*
- *Distância total percorrida = 87,2km;*
- *Posição do pedal do freio = não pressionado;*
- *Situação do sinal da telemetria = com sinal.*

No supervisor da telemetria há um comando cíclico que envia o caractere “Z” periodicamente, o que garante a dinâmica do processo.



Figura 39 - Integração do sistema dos boxes com o supervisor da telemetria

2.2.3. LCD, LEDs e botões

No circuito que compõe o sistema dos boxes foi adicionado um LCD semelhante ao presente no veículo que transmite visualmente à equipe as mesmas informações exibidas para o piloto. Há também LEDs de alerta e botões para troca de tela, reinicialização e envio de alerta para o piloto.

2.3. Placas de Circuito Impresso

Uma placa de circuito impresso ou PCI é onde são inseridos os componentes eletrônicos de qualquer equipamento elétrico ou eletrônico. Originalmente essa placa é de fenolite ou fibra de vidro revestida em um lado ou ambos os lados por uma fina camada de cobre. Nessa camada de cobre é então transferido um desenho contendo os terminais e as trilhas de interligação entre os componentes. Geralmente esse desenho é gerado por um programa especializado, tendo algumas modernas ferramentas automáticas de composição de trilhas. Após a transferência, a placa sofre um processo químico corrosivo, onde as partes do desenho permanecem intactas, havendo a corrosão do cobre nas partes não protegidas pelo desenho. Após este processo, a placa é perfurada onde os terminais dos componentes serão fixados e posteriormente soldados. Ao fim, são adicionados materiais de acabamento, como vernizes. Veja o exemplo de uma PCI na Figura 40.

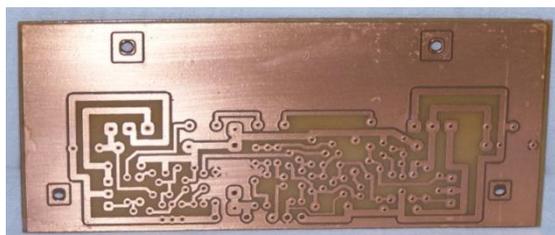


Figura 40 - Exemplo de uma PCI [14]

Os sistemas do veículo e dos boxes necessitaram a construção de PCIs, devido ao grande número de ligações e para dar maior organização. Foi utilizado um programa especializado de criação de modelos gráficos PCI. Várias PCIs compõem esse projeto e, portanto, não é possível mostrar todas as placas. Como exemplo, a seguir é mostrado, respectivamente, o modelo gráfico superior e a fotografia da placa construída da central de processamento de dados e da telemetria.

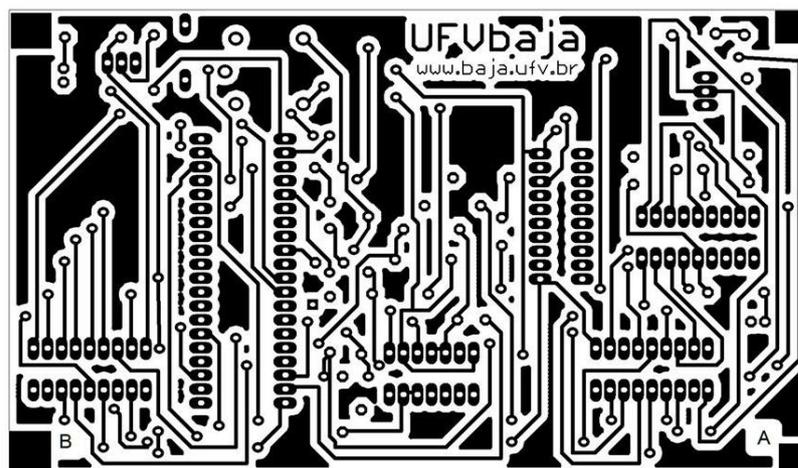


Figura 41 – Modelo gráfico da PCI da central de processamento de dados e da telemetria

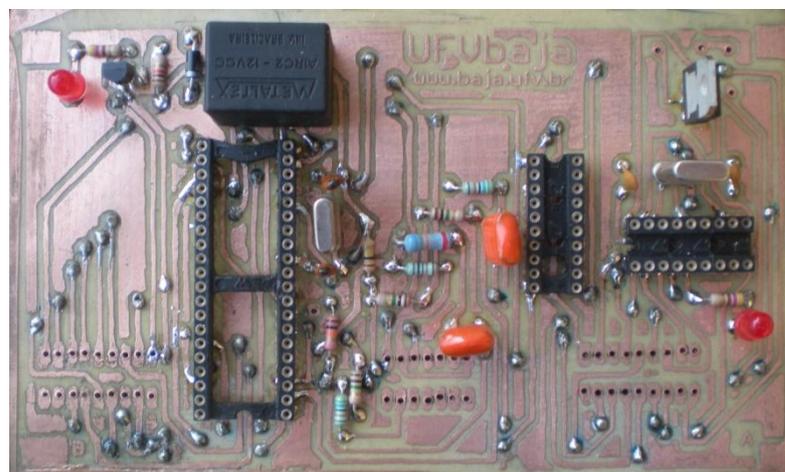


Figura 42 - PCI construída através do modelo gráfico da figura anterior

2.4. Acabamento estético e funcional

O acabamento dos aparelhos desenvolvidos neste projeto levou em consideração, além da estética, a função de proteção contra poeira, umidade, superaquecimento, impactos mecânicos e o seu peso. Os materiais de PVC (painéis de instrumentação e botões), assim como os de alumínio (central de processamento de dados e da telemetria; e a base de recepção de dados da telemetria) foram revestidos com plástico impermeável autoadesivo de cor preta. As indicações dos componentes dos sistemas foram feitos através de adesivos fixados em suas proximidades.

3 *Resultados e Discussões*

Os materiais e métodos discutidos detalhadamente na seção anterior, compondo os **sistemas do veículo e dos boxes**, resultam na eletrônica, instrumentação e telemetria do veículo UFVbaja, que é o próprio título deste trabalho. Este projeto passou por inúmeras modificações durante a trajetória de execução. Foram inseridas muitas funções além das inicialmente previstas que o tornaram mais completo, interessante e inovador.

Uma fotografia mais geral pode ser visto abaixo.



Figura 43 - Fotografia geral dos sistemas

Os microcontroladores são considerados os dispositivos mais relevantes deste projeto. Através da programação dos mesmos, todos os tratamentos dos sinais obtidos foram possíveis e proporcionaram uma imensa versatilidade a este trabalho. O maior tempo de trabalho foi dedicado à produção dos programas internos dos microcontroladores.

Os transdutores responderam de forma satisfatória. Uma observação a ser feita refere-se aos transdutores analógicos, que devem ser fielmente calibrados nos programas dos PICs para evitar leituras incorretas. Além disso, foi necessário inserir tratamentos com análises estatísticas para esse tipo de transdutores, a fim de obter uma melhor estabilização do valor da grandeza desejada.

A central de processamento de dados e da telemetria foi considerada de grande sucesso. Apesar da quantidade de circuitos presentes, foi possível resumi-la em uma placa de dupla face com dimensões propícias para a instalação no veículo.

Os painéis de instrumentação e botões tiveram aspecto visual muito interessante, além da sua funcionalidade com a interatividade com o piloto. Os mostradores analógicos acionados por servomotores deram maior visibilidade para as informações de rotação e

velocidade, além de dar um caráter tradicional ao painel de instrumentos. Porém, ficou evidente o consumo elevado de energia pelos servomotores, necessitando de regulação de tensão exclusiva para tais dispositivos. O sistema do veículo drena da bateria em torno de 550 mA em total funcionamento do painel de instrumentação. Com um simples cálculo, a bateria utilizada consegue manter o sistema em operação teoricamente por, aproximadamente, 22 horas. A inserção da função “modo de espera” (nomeada de stand-baja) propiciou um melhor aproveitamento da energia. Durante a operação neste estado, foram registradas quatro vezes menores módulos de correntes exigidas. A função stand-baja automática foi implementada na central e é habilitada sempre que o sistema ficar ocioso por mais de cinco minutos.

Os LCDs presentes em ambos os **sistemas do veículo e boxes** proporcionaram a visualização de uma grande quantidade de informações distribuídas entre telas e que são acessadas por botões.

Testes com ruídos provenientes do motor à combustão do veículo não demonstraram interferências causadas nos sinais dos transdutores. Uma possível explicação para isso é a utilização de apenas transdutores ativos, ou seja, os amplificadores de sinais estão presentes nos próprios encapsulamentos. A presença de malhas blindadas nos cabos também é apontada como um fator positivo contra ruídos.

A telemetria talvez seja o quesito mais inovador deste projeto. Ela mostrou-se ser robusta e confiável e os transceptores foram considerados adequados. Várias técnicas na transmissão de dados foram testadas, sendo a recente, descrita a seguir, considerada a mais eficaz. Atualmente ambos os sistemas (veículo e boxes) reconhecem a atividade do outro. A transmissão de dados do veículo só é iniciada quando a base de recepção de dados (boxes) é encontrada. Sendo encontrada, o veículo envia para os boxes 20 pacotes em 10 segundos, contendo todas as variáveis transmitidas. Para o envio de novos 20 pacotes, é necessário que o sistema dos boxes fique requisitando a cada final de transmissão. Problemas de sincronismo foram liquidados com o reiniciador automático da comunicação estabelecido pelos contadores de tempo dos microcontroladores. Testes de distâncias revelaram a queda no nível de sinal ao inserir das barreiras físicas entre os transceptores. Em números, testes de linha de visão resultaram em distâncias superiores a 1 Km. A colocação de obstáculos limitou a distância de comunicação a 600m em média.

A base de recepção de dados da telemetria, componente do **sistema dos boxes**, apresentou-se ser bastante versátil, uma vez que é alimentado de forma selecionável tanto com bateria 9 V, quanto rede elétrica. A conexão USB depende apenas da instalação de um

arquivo controlador (conhecido, em inglês, como *driver*) por única vez no computador para ativar a comunicação. Além disso, caso o sinal da conexão seja perdido, a base de recepção efetua tentativa de reconexão.

Talvez o resultado mais atraente desse projeto foi adquirido na Etapa BAJA SAE Sudeste 2010, no mês de setembro, no Campo de Provas da New Holland (Grupo FIAT), na cidade de Sarzedo - MG. Na Apresentação de Projeto, no quesito Eletrônica e Inovação, o veículo UFVbaja obteve a 2ª colocação. [23]. Veja na tabela abaixo a classificação dos dez primeiros colocados deste quesito.

ETAPA SUDESTE 2010 BAJA SAE BRASIL - FIAT		
APRESENTAÇÃO DE PROJETO		
Quesito: Eletrônica e Inovação		
Colocação	Equipe - Escola	Pontuação em 100
1	ECOPOLI CISER - POLI USP	96
2	UFVBAJA - UFV	93
3	POLI CISER TITAN - POLI USP	91
4	PIRATAS DO VALE - UNESP	83
5	FEI BAJA 1 - FEI	82
6	BAJA UFMG - UFMG	74
7	FEI BAJA 2 - FEI	71
8	VITÓRIA BAJA - UFES	66
9	MUD R. BROMBERG - CEFET RJ	66
10	UNIARARAS - UNIARARAS	65
... TOTAL DE 30 EQUIPES		

Tabela 1- Classificação da apresentação de projeto no quesito Eletrônica e Inovação da Etapa BAJA SAE Sudeste 2010

4 Conclusões

Os objetivos de prover os sistemas microcontrolados que compõem a eletrônica, instrumentação e telemetria do UFVbaja, assim como conceber as ligações elétricas do veículo foram alcançados e os resultados foram abordados na seção anterior. A possibilidade de monitorar o funcionamento do UFVbaja abre um grande leque de benefícios evolutivos. A partir desse sistema, é possível realizar vários estudos em partes específicas do veículo, além de verificar e comprovar toda a teoria aplicada durante a fase de projetos.

É importante frisar que esse trabalho não foi construído apenas para a participação do veículo nas etapas da SAE. A aquisição de dados se faz muito eficiente nos testes na oficina da equipe e deve ser utilizado durante todo o processo de montagem e aperfeiçoamento do veículo.

Vale ressaltar também que, por se tratar de um projeto tecnológico, sempre se torna possível executar aprimoramentos.

Podem-se propor algumas **sugestões de desenvolvimento** decorrentes deste trabalho:

- Inserção de novos sensores e transdutores, tais como acelerômetros e células de carga;
- Integração com a comunicação por voz;
- Substituição de LCDs alfanuméricos por LCDs gráficos;
- Inserir sistema de aproveitamento do calor do motor para a geração de energia elétrica;
- Aperfeiçoar a telemetria;
- Substituir os servomotores por dispositivos com menor consumo;
- Substituir e/ou acrescentar microcontroladores com maior quantidade de periféricos e poder de processamento com inserção de memórias de dados;
- Melhorar a precisão da medida do nível de combustível.

Enfim, a melhor conclusão para esse trabalho foi mostrado na seção anterior, no resultado da etapa BAJA SAE Sudeste, onde, além de trazer benefícios para o veículo, a eletrônica, instrumentação e telemetria demonstram ser importantes para conquistar valiosos pontos de inovação.

Referências Bibliográficas

CASOS

- [01] Regulamento SAE BRASIL 2009, disponível em <http://www.saebrasil.org.br> 17
- [02] Transmissão de Dados FEUP/DEEC/RCD – 2002/03 MPR/JAR 21
- [03] Transmissão de dados sem fio - <http://penta.ufrgs.br> 22
- [04] BALBINOT, A., *Instrumentação e Fundamentos de Medidas*, LTC, vol 1, 1ª Edição 2007. 18
- [05] PEREIRA, Fabio. *Microcontroladores PIC: Programação em C*. São Paulo: Érica, 2003. 19,34
- [06] Datasheet do Xbee Pro – Disponível em www.digi.com 19,32
- [07] Website <http://www.eletrhoo.com.br>, acesso novembro 2010 33
- [08] Website <http://www.ee.pucrs.br/>, extraído pelo Google Images em novembro 2010 33
- [09] Apostila de Microprocessadores, extraído do website <http://www.ivair.com.br> 20
- [10] SOUZA, David J., *Desbravando o PIC*, 7 Edição, Editora Érica, 2004. 20
- [11] Telemetry Tutorial, L3 Communications 2004. Disponível em: <http://www.l-3com.com/> 16
- [12] Website <http://www.rogercom.com>, acesso novembro 2010 22,23
- [13] MUNIZ, Leone V., Projeto de monografia: Sistema de telemetria e supervisor para monitoramento remoto de um veículo de competição tipo baja, julho 2010 23,24,32,42
- [14] Website <http://www.ee.pucrs.br/>, extraído pelo Google Images em novembro 2010 44
- [15] Informações retiradas do website do fabricante: <http://www.sense.com.br> 27
- [16] Informações retiradas do datasheet do fabricante Freescale Semicondutor modelo MPXV5004G 27,28
- [17] Informações retiradas do datasheet LM35 28,29
- [18] Figura retirada do website <http://www.micros.com.ve> pelo Google Images 30
- [19] Figura retirada do website <http://4x4icon.com> pelo Google Images 36
- [20] Figura retirada do website <http://www.mtk.pt> pelo Google Images 37
- [21] Figura retirada do website <http://www.nei.com.br> pelo Google Images 38
- [22] Figura retirada do website <http://picafio.wordpress.com> pelo Google Images 41
- [23] Informações retiradas do website <http://www.saebrasil.org.br/> Baja Regional 2010, Resultado da prova de projetos 48