



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Telemetria de um veículo Baja SAE através de rede CAN

TOMAZ FILGUEIRA NUNES

NATAL- RN, 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

TOMAZ FILGUEIRA NUNES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico, orientado pelo Prof. Dr. Luiz Eduardo Cunha Leite.

NATAL - RN

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

TOMAZ FILGUEIRA NUNES

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Ivanovitch Medeiros Dantas da Silva

\_\_\_\_\_

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador Interno

Prof. Dr. Júlio Cesar Paulino de Melo

\_\_\_\_\_

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador  
Interno

Prof. Dr. Orivaldo Vieira de Santana Junior

\_\_\_\_\_

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador Interno

NATAL, 16 de junho de 2016

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus colegas do curso de Engenharia Mecatrônica que tanto lutam para alcançar a este momento de conclusão do curso.

## **Agradecimentos**

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda de diversas pessoas as quais presto minha homenagem:

Ao Prof. Dr. Luiz Eduardo Cunha Leite que me acolheu como seu orientando e me sugerindo a melhor maneira para que esse trabalho pudesse ser inicializado.

Ao Prof. Dr. Júlio Cesar Paulino de Melo por todo esforço e paciência para com a minha pessoa me auxiliando e sendo meu coorientador.

A minha família e minha namorada Renata de Carvalho por terem me dado suporte em momentos difíceis de estresse e quando não havia luz.

A todas as pessoas que conheci ao longo da graduação, em especial aos amigos Guilherme Bertelli, Harônio Rodrigues, João Marcos Lins, João Victor Tavares, Márcio Jales, Rafael Teles, Marie Beltrão, Marília Farias e Matheus Torquato compartilhando os melhores momentos de estudos até tarde nas vésperas de uma prova.

Nunes, T.F. **Desenvolvimento de um modelo para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso**. 2016. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

## **Resumo**

Este trabalho abordará a temática da inserção do protocolo de comunicação CAN (Controller Area Network) em um sistema de telemetria para um minicarro off-road. Será feita uma breve introdução sobre o início da eletrônica automotiva na década de 1970. Mais ainda, telemetria por sua vez entra em conjunto com a eletrônica automotiva criando e analisando o perfil de como o motorista se comporta no trânsito ou do veículo por si próprio a partir dos componentes embarcados.

Porém, segundo alguns estudos citados ao longo deste projeto, desde o início da década de 1990, o número de interconexões entre sensores e/ou Centrais Eletrônicas segue uma tendência de crescimento, sendo assim necessária uma alternativa em que seja viável a adição de novos dispositivos.

Para a solução do problema apresentado, foi desenvolvida uma arquitetura de hardware do tipo descentralizada onde todos os componentes pudessem se comunicar entre si através de um barramento e obedecendo um protocolo de comunicação, o protocolo CAN.

Foram desenvolvidas três Centrais Eletrônicas. Duas delas estariam recebendo dados de sensores agrupados por estarem próximos uns dos outros e presentes ao longo do carro e, uma última Central Eletrônica receberia as informações das outras duas através do barramento da comunicação CAN e assim mostrando-as através de um display para o piloto.

Alguns testes foram feitos com o sensor de temperatura e o tacômetro. O primeiro sensor seria colocado no bloco do motor para a medição da temperatura de trabalho daquele componente mecânico e o segundo estaria captando o número de revoluções do motor por minuto. Os resultados obtidos estiveram dentro do esperado.

Já no escopo da competição Baja SAE, a mesma se trata de uma prova onde os veículos são testados ao limite através de testes de aceleração, tração, frenagem e a prova de enduro. Além disso, a competição também inspira o trabalho em equipe entre os participantes das universidades quando avaliados os subsistemas do Baja SAE como por exemplo, sistema de segurança contra fogo, suspensão, projeto mecânico, etc.

Na UFRN, o projeto teve início no ano de 1995 com a participação de duas equipes. Em 1998, no entanto obteve-se o auge quando a Car-Kará disputou o mundial da competição e conquistando a primeira colocação.

Palavras-chave: Controller Area Network, Telemetria, Baja SAE.

Nunes, T.F. **Development of a model for elaboration of conclusion work project.** 2016. 49 p. Conclusion work project (Graduate in Mechatronics Engineering) - Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

## **Abstract**

.This work approaches the scope of the insertion of the CAN (Controller Area Network) communication protocol in a telemetry system to a mini off-road car. It will be done a short introduction about the automotive electronic beginning in the 1970's. Moreover, the telemetry system gets together with the automotive electronics in order to analyse the driver or car itself profile from the embedded components.

However, according some cited references along this project, since the beginning of the 1990's, the number of interconnections among the sensors and/or the Electronic Central follows a rising trending line, so it is necessary a alternative solution so that new devices can be added easily to the project, because year after year the motor companies show new sensors with new functions.

To face that problem, it has developed a decentralized hardware architecture which all the components could communicate to each other through a BUS and obeying a communication protocol, the CAN one.

It has been developed three ECUs. Two of them will be receiving data from the sensors near to each other along the car sending the information to the CAN bus. The third one receives that information and shows it on a display to the driver.

Some tests have been done with temperature sensor and tachometer. The first sensor will be attached to the engine block in order to measure the temperature of it. The second, is responsible to measure the motor RPM. The acquired results were as expected.

Getting on the scope of the Baja SAE competition, it refers to the one of the most important competition of the academic life, where the vehicle are tested to their limits with acceleration, braking, traction and the endurance. Furthermore, the competition also inspires the students to work as a team when assessing the car subsystems e.g. security against fire, suspension, mechanical project, etc.

In the UFRN, the project began in the 1995 with the participation of two teams. In 1998, the Car-Kará team achieved the first place in the world in the international stage.



Keywords: Controller Area Network, Telemetry, Baja SAE.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Software de telemetria utilizado na Formula 1. _____	5
Figura 2 - Arquitetura de Hardware Distribuída. _____	6
Figura 3 - Arquitetura de Hardware Centralizada _____	7
Figura 4 - Descrição do Ciclo Otto. _____	9
Figura 5 - Sensor de Temperatura LM35. _____	10
Figura 6 - Boia de combustível de um carro. _____	10
Figura 7 - Circuito divisor de tensão. _____	11
Figura 8 - Funcionamento do tacômetro. Quando uma crista do metal é sentida, uma tensão é induzida no terminal do sensor. _____	12
Figura 9 - Distribuição dos campos que compõem um bit. _____	13
Figura 10 - Quadro de Dados e seus respectivos campos. _____	15
Figura 11 - Forma de Onda de uma comunicação CAN. _____	16
Figura 12 - Processo Arbitragem. _____	17
Figura 13 - Esquemático da eletrônica desenvolvida para carro do ano de 2015. _____	19
Figura 14 - Vista lateral do Baja Car-Cará e a arquitetura de hardware distribuída proposta. _____	21
Figura 15 - Controlador + Transceptor CAN. _____	22
Figura 16 - Representação esquemática para a ECU 1 e seus sensores. _____	23
Figura 17 - Circuito de Optoacoplamento. _____	24
Figura 18 - Diagrama em máquina de estado do funcionamento da ECU1. _____	25
Figura 19 – Esquemático de interconexão do GPS com a ECU 2. _____	26
Figura 20 – Máquina de Estados que descreve o funcionamento da ECU 2. _____	26
Figura 21 – Esquemático de Interconexões na ECU 3. _____	27

Figura 22 – Máquina de Estado que descreve o funcionamento da ECU 3. _____	27
Figura 23 - Esquemático do pacote a ser enviado. _____	29
Figura 24 - Teste dos Sensores Utilizando A Rede Can. _____	31

**Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Comprimento vs Taxa de transmissão .....	16
Tabela 2 - Comparativos entre os trabalhos fortemente relacionados. ....	20
Tabela 3 – Pinos das ECUs e seus respectivos dispositivos .....	22
Tabela 4 - Relação das variáveis e seus respectivos IDs. ....	29

## **Lista de abreviaturas e siglas**

ABS – Antilock Braking System

CAN – Controller Area Network

CI – Circuito Integrado

ECU – Electronic Controller Unit

GND – Ground

GPS – Global Position System

RPM – Revoluções por Minuto

SAE – Society of Automotive Engineers

SPI – Serial Peripheral Interface

## Sumário

Dedicatória.....	i
Agradecimentos .....	ii
Resumo.....	iii
Abstract .....	v
Lista de Figuras .....	vii
Lista de Tabelas .....	ix
Lista de abreviaturas e siglas .....	x
Sumário .....	xi
1 Introdução .....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Metodologia aplicada.....	3
1.3 Organização do documento .....	4
2 Embasamento Teórico.....	5
2.1 Telemetria.....	5
2.2 Sistemas de telemetria em veículos .....	6
2.3 Competição SAE Baja .....	7
2.4 Sensores Automotivos .....	8
2.4.1 Tacômetro.....	8
2.4.2 Sensor de Temperatura .....	9
2.4.3 Nível de Combustível .....	10
2.4.4 Tensão da Bateria.....	11
2.4.5 Velocidade.....	11
2.5 O Protocolo CAN .....	12
2.5.1 O Tempo de bit no barramento CAN: .....	13
2.5.2 Quadro de Dados .....	14

2.5.3 A camada física.....	15
2.5.4 Mecanismo de Acesso ao Meio .....	17
3 Trabalhos Relacionados .....	18
4 Implementações .....	21
4.1 Arquitetura de Hardware proposta para o Car-Kará 2016: .....	21
4.2 Aquisição e envio de dados pela ECU 1 .....	23
4.3 Aquisição e Envio dos dados pela ECU 2 .....	25
4.4 Leitura dos dados pela ECU 3 .....	26
5 Experimentos .....	28
5.1 Experimentos de Bancada .....	28
5.2 Experimentos de Campo .....	30
5.3 Redução do Número de Fios .....	31
6 Conclusões .....	32
7 Referências.....	33

## 1 Introdução

Nos dias atuais, a eletrônica automotiva se tornou algo essencial. Tanto para o conforto dos passageiros, quanto para a segurança e o bom funcionamento do veículo, de forma que existem diversos sensores que já estão inseridos nos mais variados tipos de automóveis, sejam eles mais simples ou sofisticados. A eletrônica digital automotiva deu seu pontapé inicial na década de 1970 para a correção da emissão de gases. Desde então houveram três “ondas” de surgimento de sensores [2]:

- Primeira “onda”: trata-se do contínuo crescimento de sensores eletrônicos automotivos aplicados sistema do motor como um todo a fim de otimizar a queima do combustível e reduzir gases poluentes;
- Segunda “onda”: Refere-se à demanda pela performance e segurança do veículo. Estão inseridos nesta onda sensores referentes ao sistema ABS, Controle de Tração, direção elétrica, entre outros;
- Terceira “onda”: É comumente relacionada com a personalização dos sistemas já presentes no veículo. Alguns exemplos de sistemas inseridos nesta fase são a memorização do perfil do banco do usuário, navegação GPS, Air bags laterais, etc.

Contínuas pesquisas são desenvolvidas a fim de se otimizar o desempenho de veículo. Sendo assim necessária a inserção de novos sensores embarcados em veículos. Estudos de 2008 apontaram que existiam cerca de 100 sensores inseridos em carros de luxo daquela época. [1].

O elemento de processamento central ou o “cérebro” do veículo é comumente referenciado como Unidade de Controle Eletrônico (ECU em inglês). Há várias ECUs ao longo do veículo, cada uma refere-se a um conjunto de específico de sensores ou atuadores diferente (por exemplo pode haver ECUs para o controle das travas das portas, injeção de combustível, ABS, *Airbag*, etc. Geralmente o controle eletrônico de combustível está localizado atrás do porta-luvas dos carros, recebe os sinais dos diversos sensores espalhados pelo automóvel e é responsável por enviar comandos para os atuadores.

Os sensores automotivos captam as informações do veículo (temperatura do motor, RPM, etc) e as convertem em sinais eletrônicos para serem transmitidos para a ECU. Alguns sensores são: Sensor de Pressão, Sensor de Fluxo de ar, nível de combustível, etc.



Nesse contexto, os atuadores que recebem sinais eletrônicos da ECU e tem o objetivo de modificar alguma Variável de Processo (por exemplo a quantidade de combustível admitida, quantidade de ar no tubo de admissão, etc.). Pode-se citar o exemplo dos bicos injetores de combustível, a Válvula Borboleta, entre outros. Com a união das informações dos sensores e atuadores embarcados, é possível fazer a telemetria do veículo.

A telemetria refere-se à extração de informações de sensores presentes num sistema e as sendo enviadas, de forma cabeada ou *wireless*, à uma central para análise futura, como no caso da colheita de informações de sensores embarcados em um carro de Fórmula 1 mostrado em uma tela nos boxes. Seu início data do ano de 1845 através do primeiro sistema de transmissão dados com o exército russo. Anos mais tarde, na França, foi desenvolvido uma transmissão em tempo real de uma rede de sensores atmosféricos em *Mont Blanc* para Paris [3].

Com o uso da telemetria é necessário que seja escolhida o tipo de arquitetura de hardware para a interconexão entre sensores, atuadores e ECU. Alguns tipos de arquitetura propõem facilidade de comunicação entre o sensor e ECU, mas por outro lado aumentam o número de interconexões necessárias.

A equipe Car-Kará Baja SAE da UFRN utilizou a arquitetura de hardware centralizada no carro de 2015, a qual um microcontrolador fixado ao volante realizou o processamento de todas as informações e mostrou através de um display para o piloto. A equipe competiu no início do ano de 2016 na etapa nacional da competição que ocorreu por um final de semana no estado de São Paulo, com essa arquitetura e conseguindo o nono melhor lugar.

Alguns problemas ocorreram naquela competição devidos aos sensores estarem situados a condições de trabalho adversas. Podem-se citar a falha do sensor de velocidade devido a mal contato nos conectores e valores de RPM incertos. Um outro grande problema foi a dificuldade de manutenção dos sensores devido a inúmeras conexões que passavam ao longo do carro para o Central Eletrônica no volante.

Segundo estudos, no ano de 1921 existiam apenas 30 metros de fios interconectando sensores, ECUs e atuadores nos veículos. Já no ano de 2000, esse valor já chegava a cerca de 2000 metros de fios [12]. Esse número mostra dificuldade de agrupar a organizar as interconexões ao longo do veículo, tornando a manutenção elétrica mais difícil.

A competição SAE Baja é uma das mais renomadas competições *off-road* no âmbito acadêmico devido ao fato da mesma ter como objetivo a aplicação dos conhecimentos dos

estudantes aprendidos em sala de aula tendo foco no mercado de trabalho. Criada em 1976 pela própria SAE no Estados Unidos, a competição reúne estudantes de diversas partes do mundo etapa internacional. No Brasil, as atividades tiveram início em 1991 [8] e na UFRN em 1995.

Para resolver estes problemas, no ínterim do Baja SAE UFRN, este trabalho propõe uma solução em nível de hardware e software através da utilização do protocolo de comunicação CAN e sob uma arquitetura de hardware distribuída com o objetivo da redução do número de fios utilizados bem como a imunidade de interferência eletromagnética nos sensores.

## **1.1 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivos:

- Realização da telemetria do veículo Baja 2015 através de sensores embarcados conectados entre si utilizando protocolo de comunicação CAN;

Para consecução do objetivo principal, alguns objetivos secundários seguem:

- Redução do número de interconexões ao longo do veículo através Implementação de uma solução de sensoriamento descentralizada.
- Integração de sensores á rede de sensoriamento implementada.
- Testes em campo usando os sensores de temperatura, de RPM e GPS.

## **1.2 Metodologia aplicada**

A fim de atingir os objetivos propostos, foram inseridas, no veículo Baja SAE da equipe Car-Kará do ano de 2015 três Unidades Centrais Eletrônicas ao longo do carro de tal forma que se comunicarão entre si através de um barramento de dois fios. Duas delas farão o papel de aquisição de dados de sensores tanto na parte da frente como na parte traseira do Baja SAE e, uma delas estará fixada ao volante para disponibilidade das informações ao piloto.

A princípio, será necessária a busca por uma biblioteca da rede CAN para a escrita do código em linguagem C, como também um melhor entendimento do protocolo para a configuração de parâmetros de velocidade de transmissão.

Cada ECU será composta por um microcontrolador do tipo Arduino mais um controlador CAN do tipo MCP2515, utilizado aqui devido sua confiabilidade e baixo custo, que será um intermediador entre a camada física e a camada de aplicação. Mais ainda, serão feitos testes com um sensor conectado em cada Arduino.

### 1.3 Organização do documento

Este documento está organizado em 6 capítulos. Iniciando pela introdução onde se apresentou um breve histórico sobre o início da eletrônica automotiva na década de 1970, passando pela história dos sistemas de telemetria e finalizando com comentários acerca da competição Baja SAE, bem como a equipe Car-Kará da UFRN.

Em seguida tem-se o capítulo de embasamento teórico onde será exposta informações sobre alguns sensores eletrônicos que podem ser encontrados em veículos comercial nos dias de hoje como tacômetro, sensor de velocidade, temperatura, etc. Esses sensores podem estar dispostos sobre duas arquiteturas de hardware com pontos positivos e negativos de cada uma que serão comentados também nesse capítulo. Mais ainda, serão explicados o funcionamento e as características da rede de comunicação CAN desde a camada física com a descrição do barramento, até a camada de enlace e o mecanismo de acesso ao meio.

Mais adiante serão expostos alguns trabalhos relacionados a este projeto. Alguns dele possuem forte correlação com o que é proposto aqui, dessa forma foi criada uma tabela de comparação com as principais características presentes entre eles e este.

O capítulo 4 comenta sobre as implementações feitas no protótipo real do veículo. E como o problema citado neste projeto foi abordado a fim de atingir o objetivo. Algumas figuras referentes as interconexões entre os sensores e as ECU serão expostas também de modo que se tenha uma visão geral de toda a eletrônica.

Ao final do capítulo 4 serão feitas algumas análises sobre os resultados e feitas as devidas conclusões no capítulo 5. Dois testes serão desenvolvidos: um primeiro teste sem a rede CAN apenas para verificar a consistência do funcionamento dos sensores utilizados e o segundo teste já com os mesmos inseridos sobre o escopo do protocolo.

As devidas conclusões para os experimentos serão feitas no capítulo 6 e as respectivas referências citadas ao longo do documento estarão no capítulo 7.

## 2 Embasamento Teórico

Neste capítulo expõe algumas informações no que tange o uso da telemetria nos dias atuais. Mais ainda, alguns conceitos teóricos como por exemplo arquiteturas de hardware e a listagem de alguns sensores automotivos também serão explicitados ao longo deste capítulo.

### 2.1 Telemetria

Um sistema telemétrico pode ser encontrado em diversas áreas. É pertinente o comentário sobre a importância da telemetria automotiva relacionada com máquinas agrícolas e veículos de uso comercial. Além disso, também é mencionado o uso em áreas da ciência como a medicina para a aquisição de sinais biológicos. Porém, para que o usuário possa ter acesso às informações recebidas, é necessário um software para mostrá-las [3].

Vários softwares capazes de processar e exibir dados obtidos da telemetria podem ser encontrados atualmente. Quando se fala em telemetria automotiva voltada para competição, precisa-se ter um software altamente completo para as necessidades da equipe. Alguns deles informam relatórios de como foi o comportamento do piloto durante o período monitorado disponibilizando em tempo real, através de gráficos, os valores obtidos a partir dos respectivos dos sensores embarcados como mostra a Figura 1.

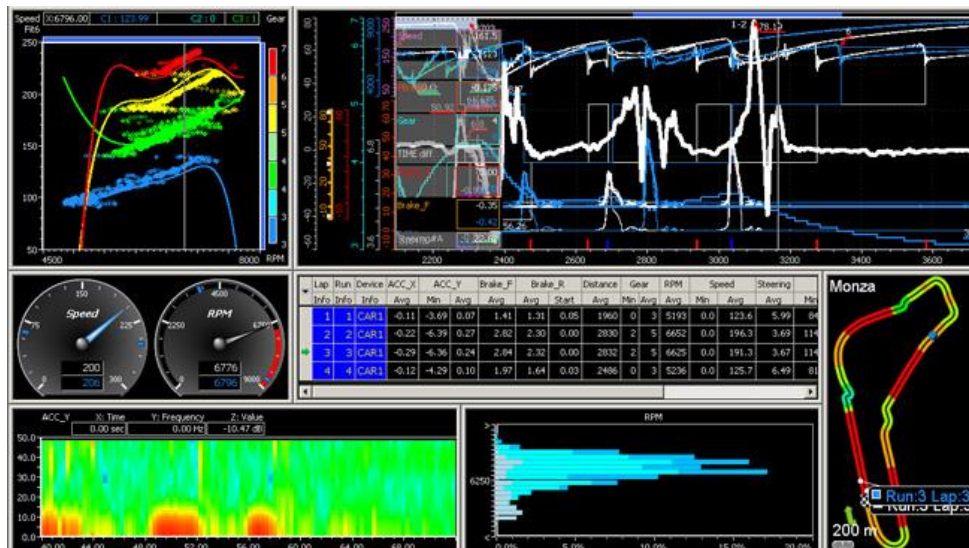


Figura 1 - Software de telemetria utilizado na Formula 1.

## 2.2 Sistemas de telemetria em veículos

Existem dois tipos de arquitetura de hardware disponíveis: a Distribuídas e a Centralizada.

A Arquitetura de Hardware Distribuída é definida como se um grupo específico de sensores está ligado a uma ECU enquanto que um outro grupo estaria conectado a outra central eletrônica para fazer o processamento de seus dados de forma distribuída. Como visto na Figura 2, as ECUs estariam conectadas entre si através de um barramento para a troca mútua de informações. Seus pontos positivos são:

- Diminuição do número necessário de fios pois as centrais eletrônicas estariam instaladas nos locais em que o grupo de sensores e atuadores estarão;
- Facilidade para a inserção de novos nós no barramento, visto que os protocolos de comunicação são autoconfiguráveis;
- Maior robustez.

Como pontos negativos, têm-se:

- Número maior de Centrais Eletrônicas necessárias;
- Maior custo de desenvolvimento;
- Exige a programação de um protocolo de comunicação entre as ECUs

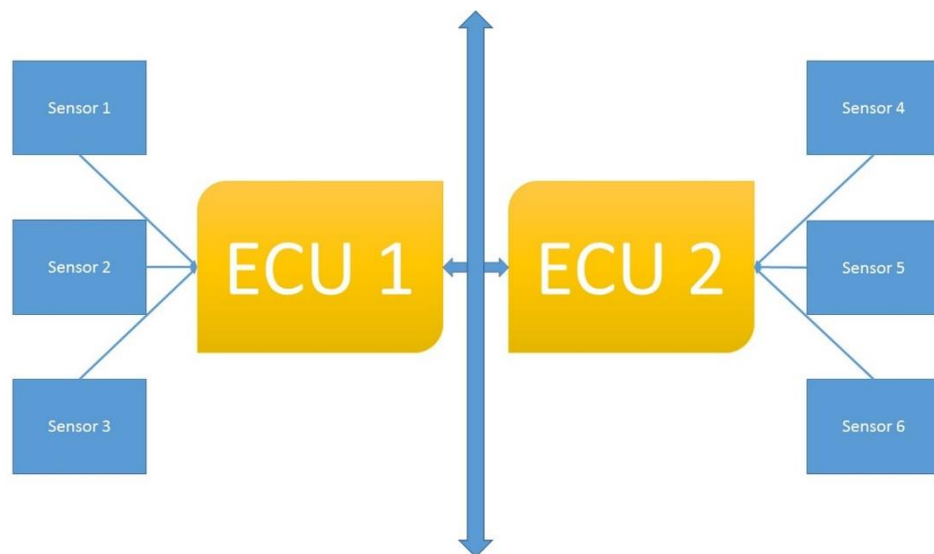


Figura 2 - Arquitetura de Hardware Distribuída.

Porém, pode-se encontrar arquiteturas de hardware do tipo centralizada, em que uma única ECU conectada a todos os sensores e atuadores do veículo, como mostra a Figura 3, tendo como ponto negativos:

- Necessidade de vários fios;
- Manutenção mais difícil;
- Limitação ao número de pinos de entrada e saída da ECU para a adição de novos sensores;

Os pontos positivos da arquitetura centralizada são destacados como:

- Eletrônica simples, pois apenas uma central eletrônica se faz necessário;
- Baixo custo no desenvolvimento do projeto;
- Facilidade de processamento das informações dos sensores pois todos estão uma única ECU.

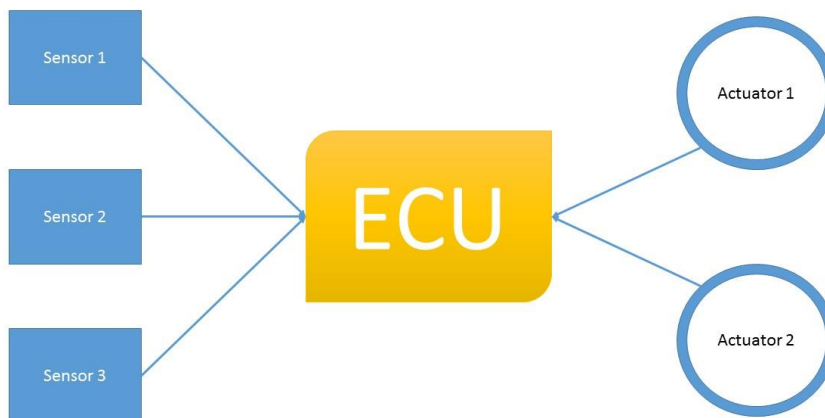


Figura 3 - Arquitetura de Hardware Centralizada

### 2.3 Competição SAE Baja

A competição Baja SAE, tanto no escopo nacional quanto internacional, requer que as equipes participantes sigam algumas regras pré-determinadas: o carro não deve exceder 1,90m de altura nem o conjunto piloto/carro pode ser superior a 113,4 kg. Além disso, o carro deve ser robusto para superar condições severas da competição tais como lama, trepidação, chuva, etc [8].

Durante a competição as equipes são submetidas a duas etapas de avaliação: avaliação estática e avaliação dinâmica. O primeiro tipo de avaliação refere a análise do relatório do projeto, verificação do motor e Inspeções Técnicas e de Segurança do veículo. No entanto, o segundo tipo de avaliação trata do desenvolvimento dinâmico do Baja SAE, sendo avaliado em condições de aceleração, velocidade máxima, tração e enduro de resistência [13].

O projeto Baja SAE na UFRN teve início em 1995 através do departamento de Engenharia Mecânica. A universidade sempre obteve êxito nas competições nacionais de Baja que disputou com suas diversas equipes. No ano de 1996 a equipe Dragões do Sol/UFRN consagrou a melhor dentre as equipes estreantes. No ano seguinte, a mesma equipe conquistou o terceiro lugar, com a UFRN enviando três equipes para a competição.

O auge do projeto Baja SAE na UFRN se deu em 1998 quando a equipe Car-Kará obteve o primeiro melhor lugar na IV competição nacional realizada em Interlagos/SP garantido o direito na participação da etapa mundial realizada nos Estados Unidos e tendo realizado o feito inédito de uma equipe estrangeira ganhar a prova numa competição com outros 86 países [11].

## **2.4 Sensores Automotivos**

Dentre os diversos sensores encontrados nos carros comerciais, alguns deles foram selecionados para o uso de captação de funções importantes para a telemetria do veículo Baja SAE.

### **2.4.1 Tacômetro**

O sensor de rpm do motor é de extrema importância para a equipe poder analisar o desempenho do Baja durante o período de testes ou até mesmo na competição. Comparando assim a rotação do motor com outras variáveis como velocidade do veículo ou consumo de combustível.

Primeiramente é preciso entender como funciona o Ciclo Otto de um motor de combustão interna e seus quatro tempos, representado pela Figura 4. Tudo inicia com a admissão da mistura ar mais combustível na câmara de combustão, em seguida ocorre a compressão da mesma. Quando o pistão chega no seu ponto máximo ocorre a queima do combustível através da centelha promovida pela vela de ignição. O pistão desce até o seu ponto mínimo inferior e os gases de escape saem pelo duto de exaustão.

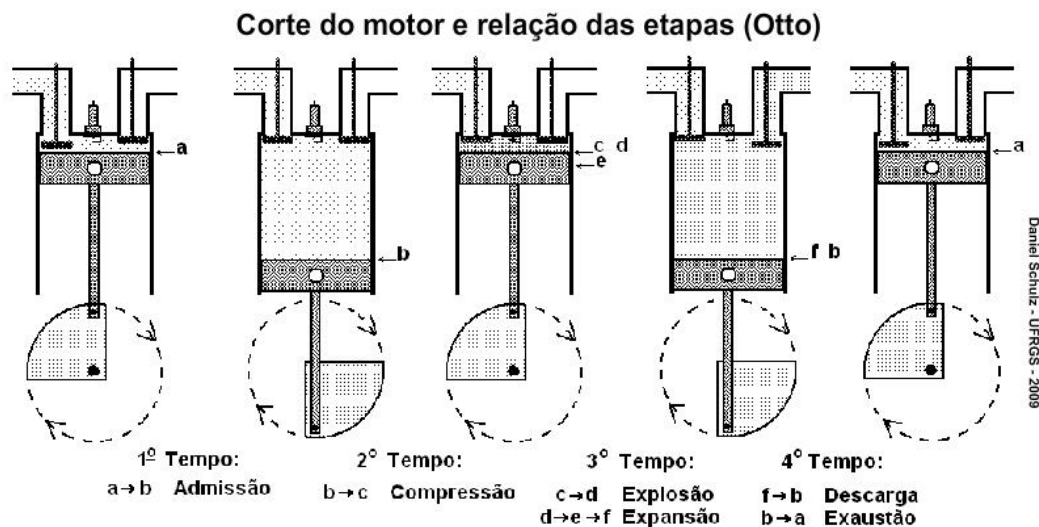


Figura 4 - Descrição do Ciclo Otto.

Portanto, sabendo que a centelha da vela de ignição ocorre duas vezes por revolução do motor, podemos pegar o sinal da bobina de ignição. A captura desse sinal é feita através de um circuito opto acoplador, pois dessa forma é possível separar, de forma segura, as partes de alta tensão (bobina de ignição) para o lado de baixa tensão (microcontrolador). Mais ainda, a forma de captura se dá através do método do cálculo de janela de tempo, ou seja, o tempo que é calculado entre dois pulsos consecutivos.

### 2.4.2 Sensor de Temperatura

Dentre os diversos sensores de temperatura disponíveis no mercado foi escolhido o LM35 para ser utilizado neste projeto. Altamente confiável e relativamente barato, o sensor, fabricado pela *National Instruments*, possui saída de tensão linear proporcional a temperatura de seu encapsulamento numa proporção de 10mV/°C. Podendo ser alimentado entre 4V até 35V, possui um range de temperatura variando desde -55°C até 150°C sem necessitar de calibração prévia [4]. A Figura 5 mostra o LM35 em encapsulamento TO-92.



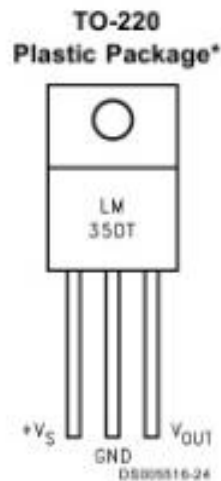


Figura 5 - Sensor de Temperatura LM35.

### 2.4.3 Nível de Combustível

Para medição do nível de combustível nos automóveis comerciais, é utilizado uma boia que fica dentro do tanque em contato com o combustível. A boia possui uma conexão com uma haste metálica conectada a um potenciômetro rotacional retratado pela Figura 6.

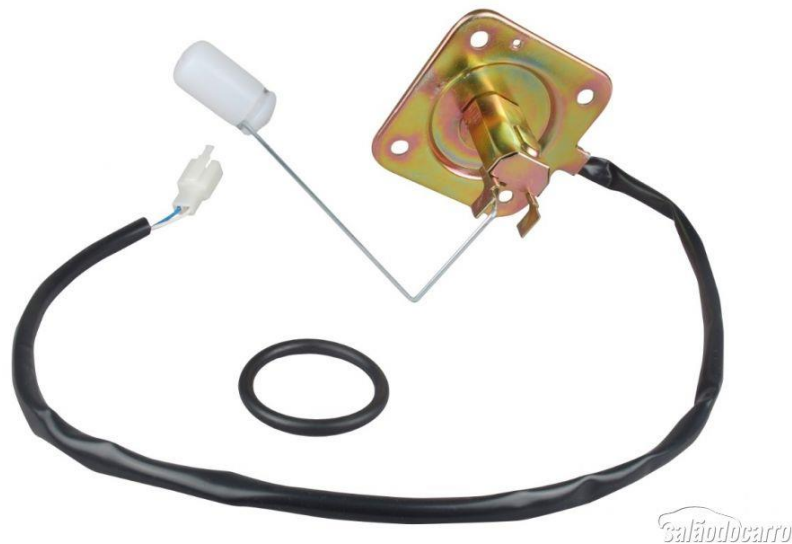


Figura 6 - Boia de combustível de um carro.

No entanto, o tanque de combustível do Car-Kará Baja é pequeno para o tamanho das boias dos carros comerciais, então foi utilizada a informação de nível crítico de combustível através de sensores capacitivos acoplados nas faces laterais do tanque. Quando o nível de combustível estiver abaixo da linha de “visão” do sensor, é acionada a luz de emergência no *cockpit*.

#### 2.4.4 Tensão da Bateria

Para a medição da Bateria é necessário a utilização dos pinos de entrada do conversor analógico-digital do microcontrolador. Porém esses mesmos pinos têm como tensão máxima o valor de 5V, portanto um simples divisor de tensão, como mostra a Figura 7 se faz necessário para abaixar a tensão de 12V para ao limite entre 0-5V. A equação 1 relaciona a tensão de saída  $V_{out}$  com a tensão de entrada  $V_{in}$ .

Equação 1 – Fórmula do Divisor de Tensão.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

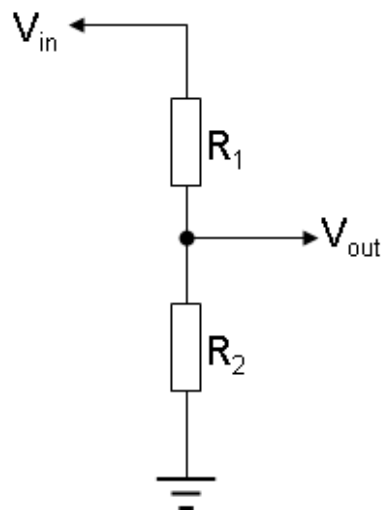


Figura 7 - Circuito divisor de tensão.

#### 2.4.5 Velocidade

Para a medição da velocidade do veículo foi utilizado um sensor indutivo de dois fios. Esses sensores são geralmente utilizados nos carros comerciais para a medição das revoluções do motor (tacômetro), como mostra a Figura 8, sem a necessidade da captura dos pulsos da bobina de ignição.

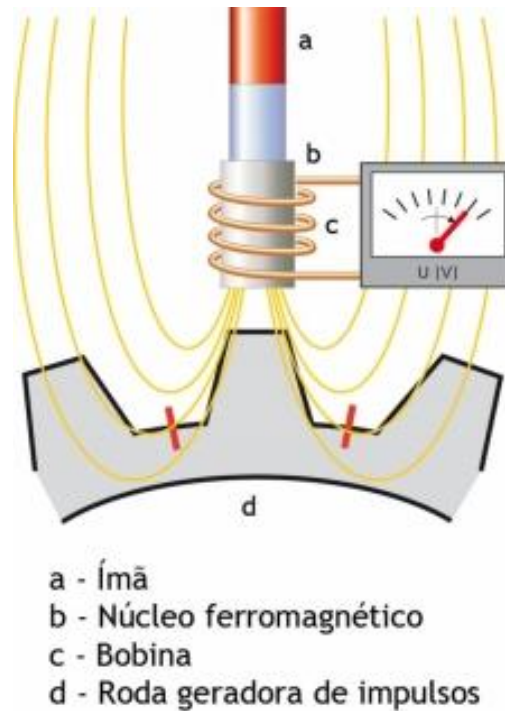


Figura 8 - Funcionamento do tacômetro. Quando uma crista do metal é sentida, uma tensão é induzida no terminal do sensor.

No nosso carro, o sensor indutivo foi a acoplado próximo ao eixo traseiro do Baja de forma que sua área de trabalho ficasse próxima e perpendicular ao disco de freio do veículo, que possui pontos de cristas e vales ao longo do seu perímetro. Quando o sensor indutivo percebe uma crista (mais próximo a ele), é induzida uma tensão da casa dos millivolts. Essa tensão induzida é passada por um amplificador operacional de forma que o sinal tenha um alto ganho e o microcontrolador consiga capturar. Quando o sensor percebe um vale, nenhuma tensão é induzida.

A determinação da velocidade instantânea se dá quando a ECU calcula o tempo entre cristas (tensões induzidas) multiplicada por uma constante e assim chegar na ordem dos minutos.

## 2.5 O Protocolo CAN

O protocolo de comunicação CAN foi criado pelo alemão Robert Bosch em meados da década de 80 do século passado. Inicialmente foi desenvolvida e aplicada para caminhões. A partir da metade da década seguinte, vários protocolos das camadas mais altas OSI foram desenvolvidos e padronizados sobre o CAN como por exemplo o *CANopen criado pela CiA* e o SAE-J1939 publicado pela Sociedade dos Engenheiros Automotivos em 2000 que é utilizado



definido na Equação 3. A constante de multiplicação para o tempo de cada segmento é programada pelo usuário através da escrita nos registradores de controle da Baud Rate. O esquema abaixo caracteriza os quatro segmentos individualmente [5].

- Segmento de Sincronização: Este segmento é fixo em 1 Quantum e tem função de sincronizar os nós presentes no barramento CAN. É esperado nesta parte as bordas de subidas dos bits a serem formados;
- Segmento de Propagação: Refere-se a este segmento a fim de compensar os atrasos nos diferentes nós conectados ao barramento. O atraso de propagação é, por definição, o tempo que o sinal leva para percorrer o caminho de ida e volta no barramento, incluindo também o tempo da circuitaria. O usuário pode programar de 1 até 8 Quanta para o segmento;
- Segmento de Fase 1 e 2: São utilizados para compensar erros de fase nas bordas. PS1 pode ser definido de 1 até 8 TQ enquanto PS2 pode ser de 2 até 8 TQ. É importante ressaltar que ao final do Segmento de Fase 1, caso o controlador seja programado para apenas uma amostra, ocorre a captura da amostra do bit para identificar se o mesmo é alto ou baixo (Sample Point).

Equação 3 - Cálculo do Tempo de Quantum. Onde BRP = Registrador de Baud Rate

$$Tempo\ de\ Quantum = 2 * BRP * T_{oscilador}$$

### 2.5.2 Quadro de Dados

Dentro do quadro de mensagem do protocolo CAN, existem 11 campos a serem preenchidos e enviados [10], mostrados na Figura 10 e descritos abaixo.

SOF – *Start of the Frame*. Marca o início do quadro;

Identificador – Este pode ser um campo de 11 ou 29 bits, de acordo com o protocolo especificado. O identificador marca a prioridade da mensagem enviada. Quanto menor o valor, maior será a prioridade de acesso ao meio;

RTR – *Remote Transmission Request*. Este bit será dominante quando se requerer informação de um outro nó em específico, determinado pelo Identificador. Quando este bit for dominante, nenhuma informação no campo de dados será transmitida;

IDE – *Identifier Extension*. Este bit determinará que o tamanho do quadro será o padrão (Identificador de 11 bits) ou o estendido (Identificador de 29 bits);

R0 – Bit reservado;

DLC – *Data Length Code*. O tamanho da mensagem a ser transmitida;

**Data Field** – Este campo contém a mensagem propriamente dita que está sendo transmitida. O tamanho máximo é de 8 Bytes;

**CRC** – Contém o checksum da mensagem para a análise de detecção de erro;

**ACK** – Bit normalmente recessivo de reconhecimento de uma mensagem sem erro. Caso ocorra erro da transmissão de um nó em posse do meio de transmissão, o nó receptor deverá deixar este bit como recessivo, caso contrário, colocar como dominante;

**EOF** – *End of the Frame*. Fim do quadro de transmissão;

**IFS** – Ao final da mensagem existe ainda o Interframe Space. Este é contido em 7 bits o tempo necessário para o controlador colocar a mensagem recebida no seu buffer e preparar o barramento para uma nova transmissão.

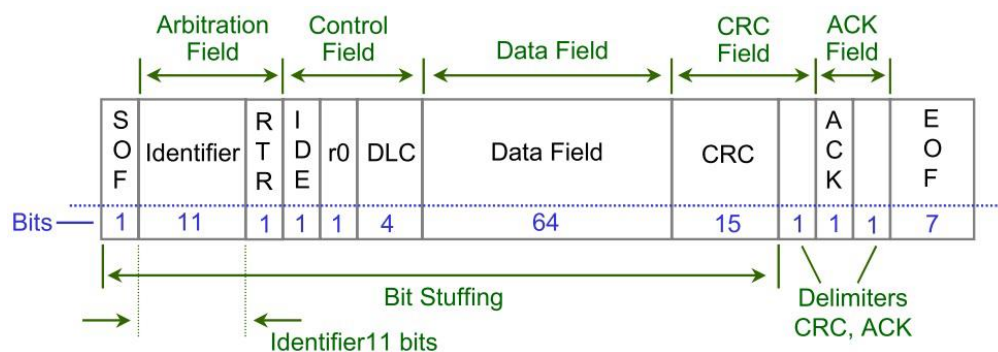


Figura 10 - Quadro de Dados e seus respectivos campos.

### 2.5.3 A camada física

Neste tipo de rede, é utilizado o padrão *Non Return to Zero*. Isso significa que, ao contrário de outros tipos de codificação, o sinal permanece com seu nível de tensão constante até o término do bit. O código Manchester, por exemplo, não segue esse padrão. O seu nível lógico é baseado de acordo com a variação das suas bordas durante o período de envio do bit. Mais ainda, é implementado no protocolo o bit stuffing, representando que não se pode enviar 6 bits consecutivos com o mesmo valor. Caso isso ocorra durante a formação da mensagem, o controlador deve interpretar e modificar o sexto bit com o valor barrado.

Segundo a norma ISO 11898-2, dar-se o nome para o nível lógico 0 de *recessivo* e o nível lógico 1 como *dominante*. Eles são determinados a partir da tensão diferencial entre dois fios que compõem o barramento CAN: CAN\_HIGH e CAN\_LOW. Desse modo, quando CAN\_HIGH e CAN\_LOW forem aplicados a uma mesma tensão (geralmente 2,5V) então o

barramento se torna dominante. Para que a linha se torne recessiva, CAN\_HIGH precisa estar aplicado com 3,5V e CAN\_LOW com 1,5V, como mostra a Figura 11, Dessa forma é gerada uma tensão diferencial de 2V. Isso se torna importante para aplicações em ambientes ruidosos, pois o ruído será propagado durante as duas linhas, mas mesmo assim a tensão diferencial será mantida.

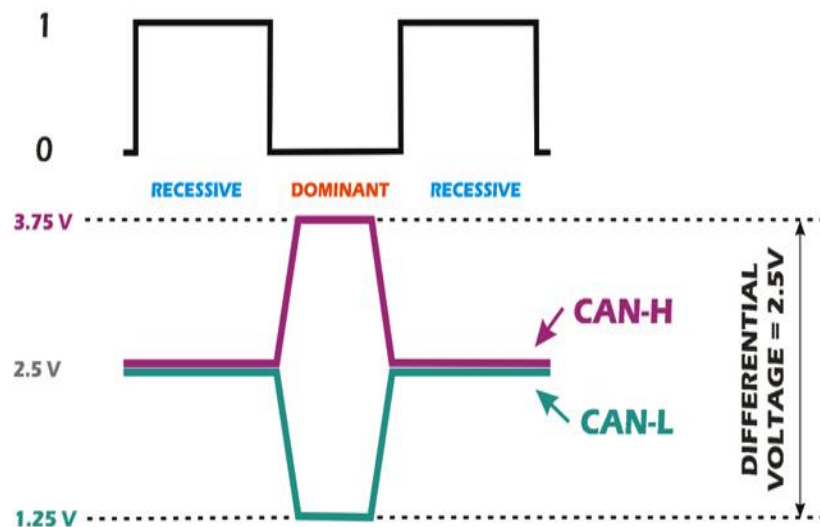


Figura 11 - Forma de Onda de uma comunicação CAN.

Além disso, os cabos devem ser no estilo de par traçado a fim de evitar ainda mais a interferência de ruídos eletromagnéticos e tendo, no início e ao final do barramento, dois resistores de 120 ohms para que haja a reflexão do sinal e assim promover o correto funcionamento da transmissão. A Tabela 1 abaixo mostra a comparação do tamanho máximo permitido do cabo *versus* a taxa de transmissão.

Tabela 1 - Comprimento vs Taxa de transmissão

Comprimento (m)	Taxa de transmissão (Kbps)
30	1000
100	500
250	250
500	125
1000	62.5

### 2.5.4 Mecanismo de Acesso ao Meio

A rede utiliza-se do Mecanismo de Acesso ao Meio CSMA/NBMA – *Carrier Sense Multiple Access with Non-Destructive Bitwise*. É definido neste mecanismo (CSMA) que um nó apenas poderá transmitir seus dados, caso o barramento esteja livre. Verificando bit a bit quando enviar o quadro Identificador. A operação “E” lógico é feita durante a checagem dos bits do Identificador para que não haja colisão de mensagens transmitidas por dois nós diferentes (NBMA). Caso um Identificador do nó possua valor maior que o do outro, ele deve encerrar imediatamente a transmissão do seu buffer no barramento. Ao final do processo de arbitragem, apenas um nó terá o direito de transmitir o seu campo de dados.

O processo de arbitração é feito automaticamente pelo próprio controlador CAN, na forma que ele mesmo monitora sua transmissão para saber se um bit recessivo (nível lógico 1) foi sobrescrito por um bit dominante (nível lógico 0). A Figura 12 [10] mostra esse processo relacionando três nós distintos [5]. O campo de Identificador é determinado pelo usuário. Isso significa maior flexibilidade para a determinação das prioridades das variáveis a serem transmitidas num processo industrial, por exemplo.

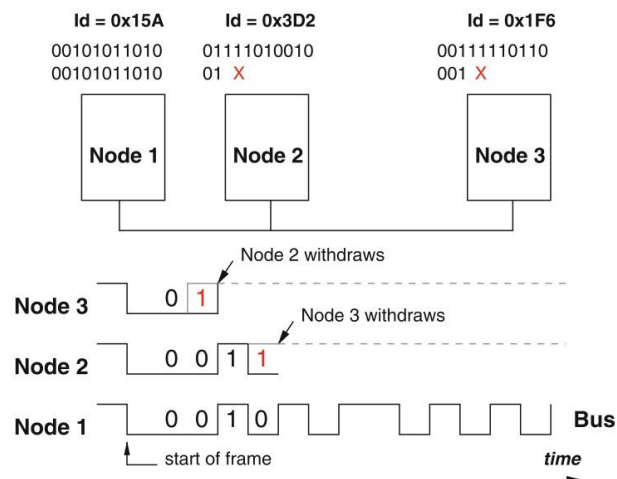


Figura 12 - Processo Arbitragem.

Percebe-se com a figura acima que a etapa de arbitragem no protocolo CAN é bastante válida. No primeiro bit do campo do identificador todos continuam a transmitir pois a operação 0 e 0 e 0 = 0. No segundo bit o nó 3 para sua transmissão por apresentar identificador maior do que os outros nós. O nó 2 parará sua transmissão apenas na comparação do quarto bit. A partir desse momento, o nó 1 terá total controle na transmissão no barramento da rede.



### 3 Trabalhos Relacionados

Neste capítulo serão comentados alguns trabalhos que foram encontrados na literatura e que possuem correspondência de alguma forma com este proposto.

Flemming [1] realizou um estudo de caso, em 2001, contendo informações a respeito da história da eletrônica automotiva e enumerando os diversos sensores que existem em um automóvel. O autor também lista em uma tabela sensores de comum uso para todos os modelos de carro, sensores utilizados em um número restrito de veículos e por fim sensores de pesquisa e desenvolvimento das grandes montadoras que estão próximos para serem comercializados em seus respectivos modelos de automóveis [1].

Foi desenvolvido uma plataforma de hardware a qual interligaria todos os dispositivos presentes em uma residência através da rede CAN de comunicação. Os elementos de controle presente na rede são basicamente: sensor de temperatura, alarme, dimmer, etc [7].

Um Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade Federal de Viçosa, utilizou-se um micro controlador PIC para a telemetria no Baja daquela universidade, juntamente com o painel de instrumentos no *cockpit* a fim de mostrar as informações do carro ao piloto. Foi construído dois sistemas eletrônicos, de forma que um ficasse embarcado no próprio carro e o outro estaria na estação base, nos *boxes*. A comunicação entre os dois módulos foi feita através do protocolo Zigbee. Como trabalhos futuros é mencionado a inserção de novos transdutores como, por exemplo, acelerômetros e células de carga. No entanto, é sugerido também o uso de novos microcontroladores com maior número de periféricos [8].

Um projeto de estudo de caso para a instrumentação eletrônica do mini Baja da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), foi utilizado o micro controlador AT89S8252 para o monitoramento dos sensores, manipulação de dados e exibição dos valores no display do piloto. Ao final do projeto é mencionado que houveram interferências eletromagnéticas agindo sobre o sistema e podendo interferir no microcontrolador [9].

A rede CAN também foi utilizada para estimativa de posição e orientação de máquinas agrícolas. É mencionado que atualmente o emprego de navegação com GPS está se tornando cada vez mais necessário bem como o crescimento da eletrônica embarcada no maquinário agrícola. O projeto sugere a comunicação, através do protocolo CAN, de três ECU's sendo elas duas para captura de dados de sensores e uma para a recepção e processamento dos dados a serem enviados ao computador do usuário [10].

O projeto eletrônico do carro de 2015 da equipe Car-Kará UFRN foi realizado a partir de uma arquitetura de hardware centralizada onde todos os sensores estariam conectados a uma única Central Eletrônica fixada ao volante do carro, a qual processaria as informações dos sensores e as mostraria no display LCD ao piloto. A Figura 13 mostra o painel de bordo utilizado no carro de 2015. As luzes das colunas laterais referem-se a alerta de emergência dos seus respectivos sensores [14].

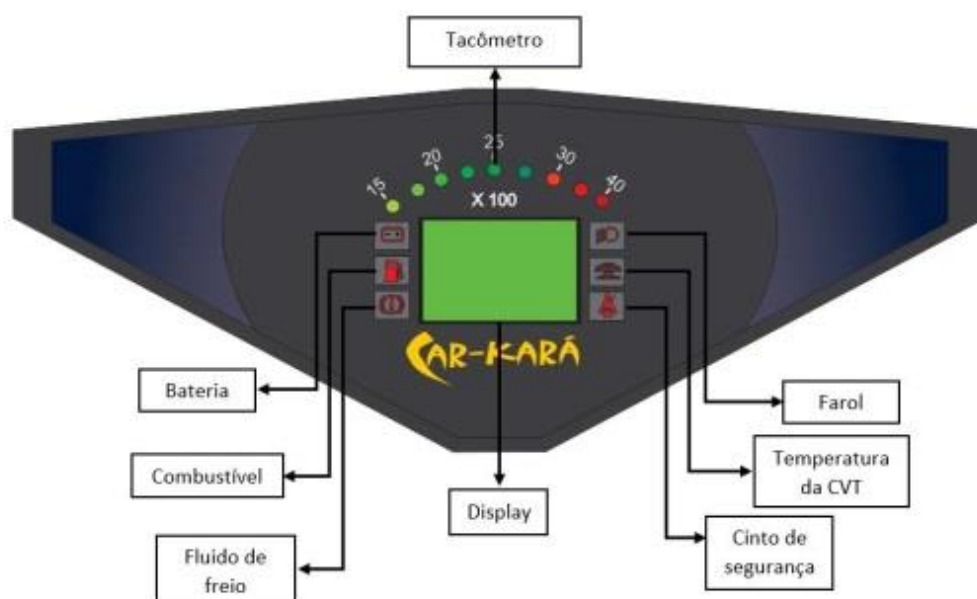


Figura 13 - Esquemático da eletrônica desenvolvida para carro do ano de 2015.

O microcontrolador utilizado no referido projeto foi o Atmega 2560 devido ao seu maior número de pinos de entrada e saídas disponíveis. Foram utilizados, ao todo, nove fios que saíam da ECU, passando pelo chicote elétrico ao longo do carro, até os referidos sensores, mencionados na figura acima, que estão na parte traseira do veículo.

Alguns problemas podem ser comentados a respeito do projeto eletrônico de 2015. Certos conectores precisariam ser revistos devidos a algum mal contatos no sistema ocasionado por folga nos terminais dos fios e dessa forma alguns sensores deixaram de transmitir informação. A Interferência Eletromagnética também se fez presente no sensor de velocidade.

Dentre os trabalhos relacionados aqui neste capítulo, alguns têm maior destaque devido possuírem forte correlação com este aqui proposto. A Tabela 2 abaixo retrata as características presentes nesses respectivos trabalhos, comparando-as com as implementações propostas para o projeto de telemetria de 2016.

Tabela 2 - Comparativos entre os trabalhos fortemente relacionados.

Característica	Baja SAE UFCG [9]	Baja SAE UFV [7]	UFRN Car-Kará 2015	Car-Kará 2016 (Solução Proposta)
Arquitetura de Hardware Centralizada	X	X	X	
Arquitetura de Hardware Distribuída				X
Rede CAN				X
Possibilidade de Inserção de inúmeros sensores				X

## 4 Implementações

Neste capítulo será descrita a arquitetura de hardware proposta para o veículo do ano de 2015 assim como uma breve explicação sobre a leitura de informações da ECU 1 e 3 provinda dos sensores e o envio das mesmas para a ECU 2.

### 4.1 Arquitetura de Hardware proposta para o Car-Kará 2016:

Como já mencionado na seção 2.2, existem dois tipos de arquitetura de comunicação entre os hardwares embarcados em um sistema de telemetria veicular centralizada e a distribuída. Para este projeto, a metodologia de comunicação descentralizada foi aplicada para que o processamento de informações possa se dar de maneira paralela entre os módulos que compõem a eletrônica do Baja.

Serão inseridas três centrais eletrônicas ao longo do carro, como pode ser visto na Figura 14, distribuídos da seguinte forma: um na parte traseira para o processamento das informações de sensores de temperatura, rotação do motor, velocidade, etc; outro na parte dianteira capturando informações do GPS; e o último conectado ao volante do piloto, o qual mostrará as informações mais importantes em um display.

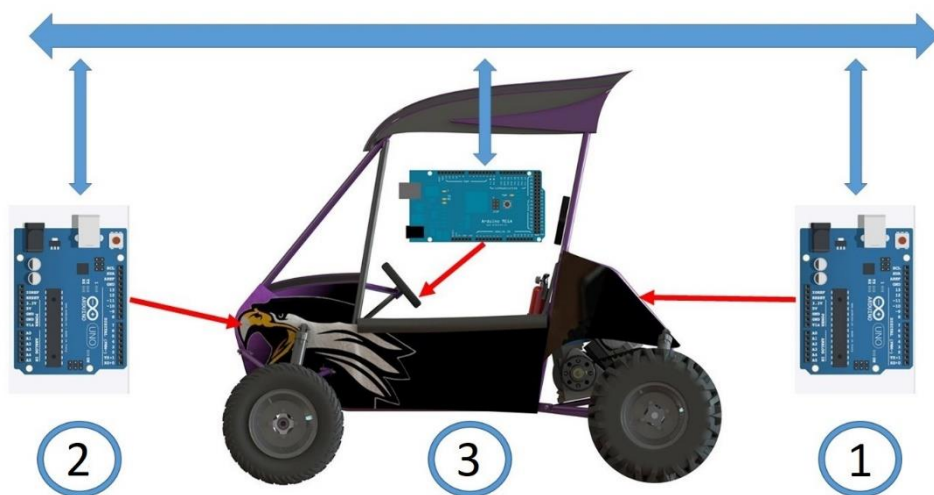


Figura 14 - Vista lateral do Baja Car-Kará e a arquitetura de hardware distribuída proposta.

As ECUs foram implementadas através de placas de desenvolvimento Arduino [15] devido a sua facilidade tanto de programação como a de disponibilidade de bibliotecas para o uso da comunicação seguindo o protocolo CAN. Para as ECUs frontal e traseira foram utilizados dois Arduino Uno por serem mais baratos e possuírem uma quantidade de interfaces

suficiente para o conjunto de sensores que são responsáveis. No entanto, é necessário o uso de um Arduino Mega 2560 para a ECU fixada ao volante, devido à necessidade do display 128x64.

Para a conexão entre as ECUs e o barramento é necessário um controlador CAN. Para tal foram utilizados Módulos de Comunicação CAN, que consistem em placas com controlador e transceptor CAN integrados, retratada na Figura 15. O Arduino envia mensagens para o Módulo de Comunicação CAN através do protocolo de comunicação serial SPI (Serial Peripheral Interface) [16], onde a conexão se dá com os pinos em amarelo na parte inferior da Figura 15 a mensagem é então convertida para o pacote do protocolo CAN e transmitida pelo barramento

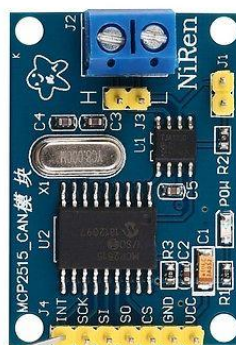


Figura 15 - Controlador + Transceptor CAN.

Tabela 3 – Pinos das ECUs e seus respectivos dispositivos.

Dispositivo	Pinos da ECU	Número da ECU
Sensor de Temperatura	A0	1
Tacômetro	2 (Interrupção)	1
Controlador CAN 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 13 (SCK)</li> <li>• 12 (MISO)</li> <li>• 11 (MOSI)</li> <li>• 10 (SS)</li> </ul>	1
Controlador CAN 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 53 (SS)</li> <li>• 52 (SCK)</li> <li>• 51 (MOSI)</li> <li>• 50 (MISO)</li> </ul>	2

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 (Interrupção)</li> </ul>	
Controlador CAN 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 13 (SCK)</li> <li>• 12 (MISO)</li> <li>• 11 (MOSI)</li> <li>• 10 (SS)</li> </ul>	3

#### 4.2 Aquisição e envio de dados pela ECU 1

A ECU 1 implementada com o Arduino Uno, ficará na parte traseira do Car-Kará Baja e coletará informações dos sensores de temperatura e tacômetro, como mostrado na Figura 16.

O sensor de Temperatura será implementado através do Circuito Integrado (CI) LM35 como explicado na seção 2.6.2. É válido lembrar que ele mede a temperatura a partir se deu encapsulamento, dessa forma, ele será fixado na carcaça da CVT (Continuous Variable Transmission) quanto no bloco do motor

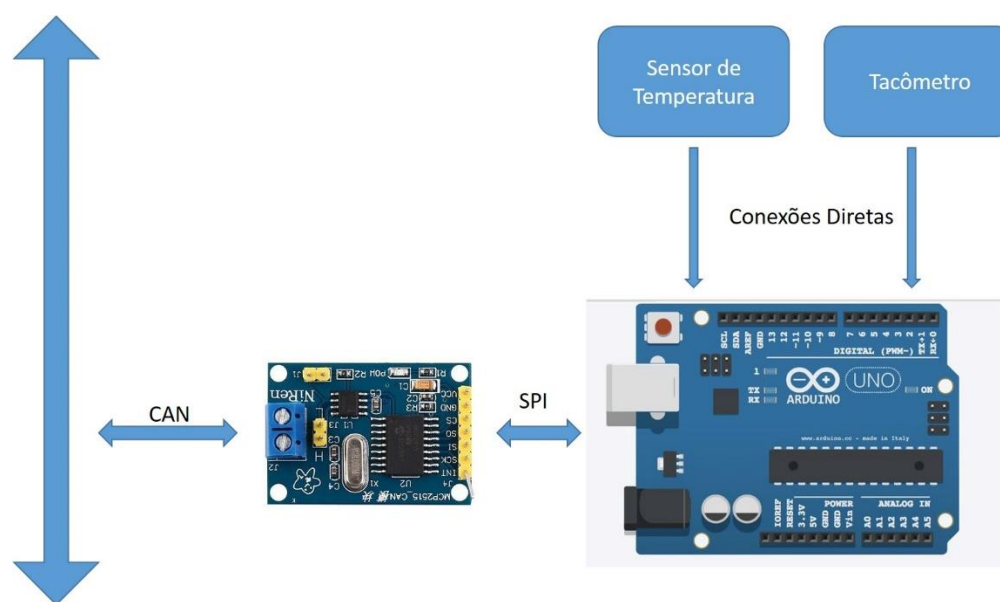


Figura 16 - Representação esquemática para a ECU 1 e seus sensores.

Para implementar o sensor de RPM, é necessário o uso de dois fios, RPM (+) e RPM (-). O fio positivo é adquirido através de um *jumper* do fio 12V do primário da bobina de ignição. Já o fio negativo é inserido no ponto de conexão com o chassi do carro que se localiza no tubo da lateral direita traseira do veículo, funcionando como uma espécie de *ground*. No entanto, os pinos de entrada do Arduino não suportam a tensão de 12V do RPM (+) sendo

necessário uma solução abaixadora de tensão para 5V. A ideia mais adequada foi a utilização de um circuito opto-acoplador, descrito na Figura 17, onde tem-se o lado de alta tensão a esquerda que acende um LED internamente. O LED por sua vez chaveia um fototransistor entre zero e 5V conectado a um dos pinos de interrupção do Arduino Uno.

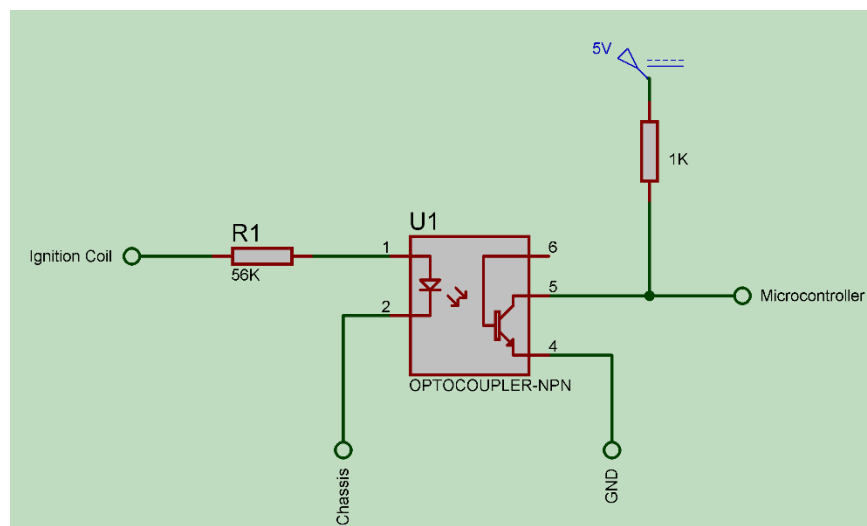


Figura 17 - Circuito de Optoacoplamento.

O funcionamento interno da ECU 1 é descrito pela Figura 18, a qual mostra um diagrama de máquina de estados. Com ela é possível perceber que o cálculo do RPM é feito a partir dos pulsos de interrupção gerados pela bobina. O estado do cálculo do RPM é feito a partir da Equação 4.

Equação 4 - Cálculo das Revoluções do Motor. Onde Tf = Tempo Atual e Ti = Tempo Anterior

$$RPM = \frac{(Tf - Ti)}{N^{\circ} \text{ de amostras}} * \left( \frac{1}{60.000} \right)$$

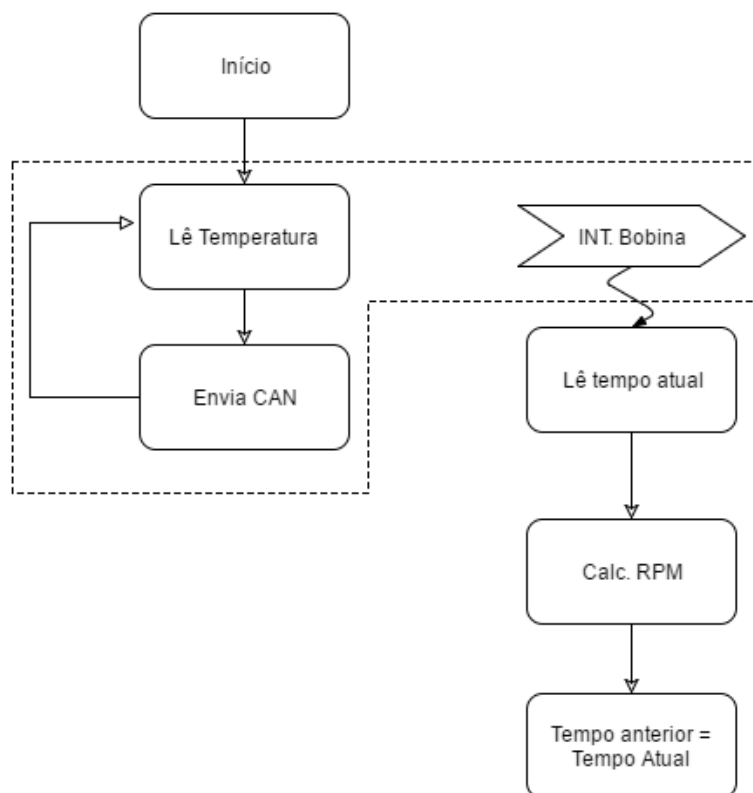


Figura 18 - Diagrama em máquina de estado do funcionamento da ECU1.

Em seguida o programa entra no estado para enviar a informação para o barramento CAN.

### 4.3 Aquisição e Envio dos dados pela ECU 2

A ECU 3 ficará encarregada de receber dados de GPS. Dessa forma, será possível traçar um mapa contendo a trajetória que o veículo passou e os respectivos valores dos outros sensores da eletrônica embarcada. A Figura 19 representa como será o esquemático elétrico da comunicação com o GPS.



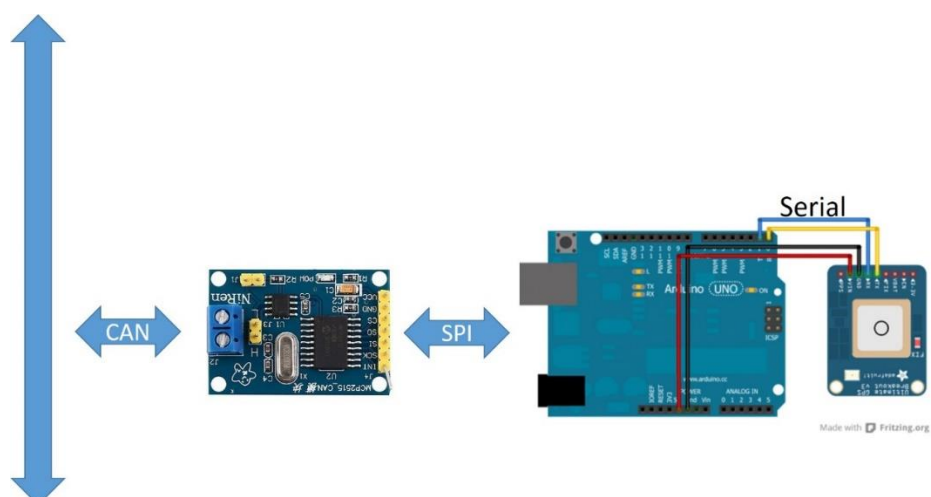


Figura 19 – Esquemático de interconexão do GPS com a ECU 2.

Mais ainda, a Figura 20 mostra de maneira sucinta o funcionamento desta ECU.

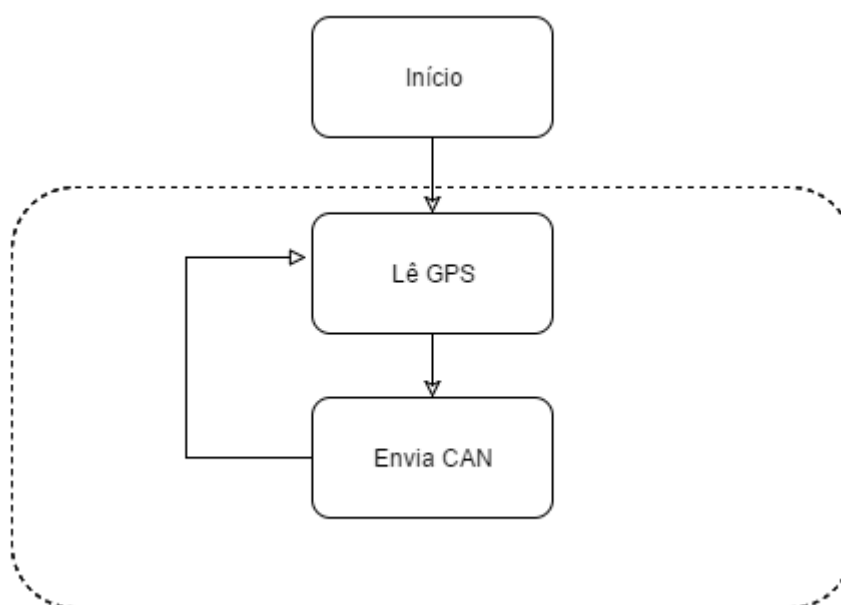


Figura 20 – Máquina de Estados que descreve o funcionamento da ECU 2.

#### 4.4 Leitura dos dados pela ECU 3

A ECU 2 é representada pelo Arduino Mega 2560 fixado ao volante do carro. Nesta ECU é feita a leitura de todas as informações de sensores que circulam no barramento CAN e então é mostrada através de um display TFT 2” para o piloto, como a Figura 21 retrata.

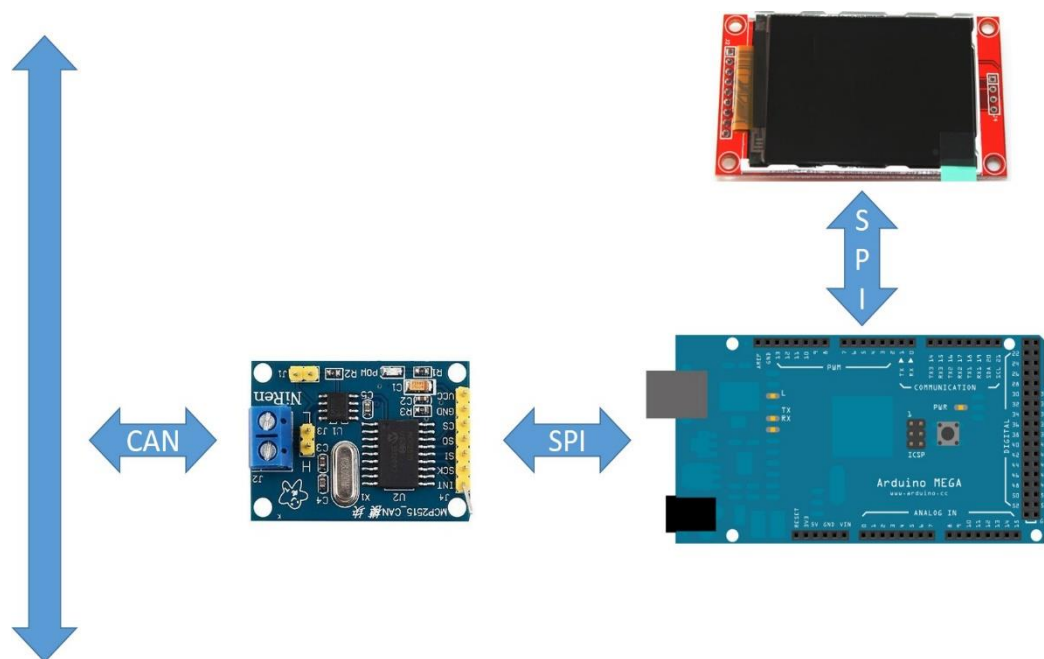


Figura 21 – Esquemático de Interconexões na ECU 3.

A ECU 2 irá ler os dados no barramento de maneira contínua fazendo a filtragem do emissor da mensagem e a respectiva informação através dos diferentes IDs. A Figura 22 retrata um esquemático da máquina de estado que descreve o funcionamento da ECU 2.

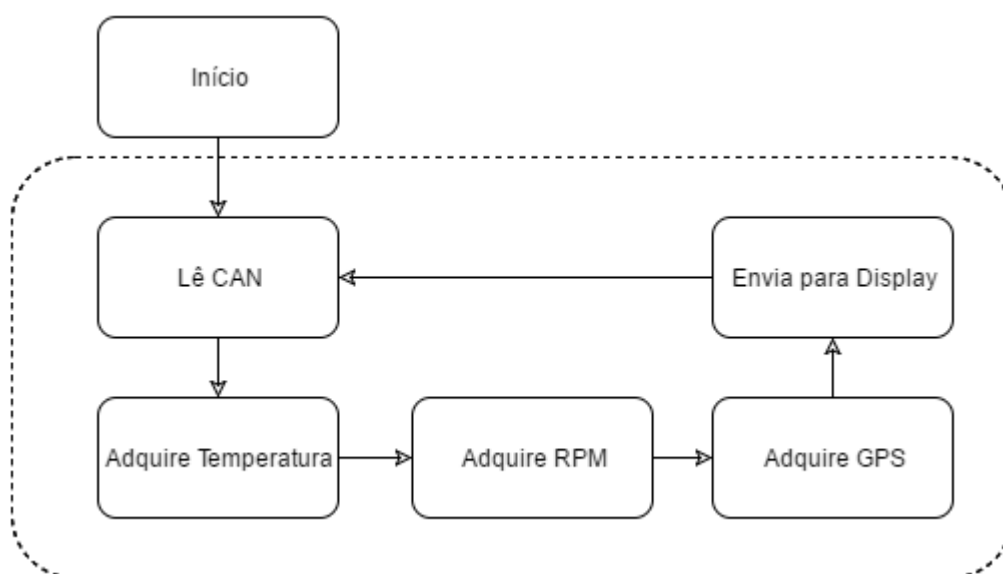


Figura 22 – Máquina de Estado que descreve o funcionamento da ECU 3.

## 5 Experimentos

Os experimentos foram divididos em dois conjuntos: Experimentos de Bancada e Experimentos de Campo. O primeiro experimento, refere-se aos testes utilizando códigos básicos para testar a funcionalidade do protocolo CAN no nível de aplicação. Já a segunda área faz referência a camada física da rede de comunicação proposta e suas interconexões entre sensores e ECUs.

### 5.1 Experimentos de Bancada

Para a escrita do código em C nos controladores Arduinos, foi feita uma procura por uma biblioteca CAN que fosse simples e confiável. Muitos dos projetos desenvolvidos na plataforma Arduino [15] para esse tipo de comunicação utilizam-se a biblioteca da Sseed studio [17]. Porém a mesma é configurada para um cristal oscilatório de 16MHz, enquanto que os Módulos de Comunicação CAN disponíveis para o Projeto, mostrados na Figura 15 possuem um cristal com frequência igual a 8MHz. Por isso estudada uma forma de adaptar os valores de configuração na biblioteca de forma que o software pudesse trabalhar com o hardware adquirido. No entanto, foi encontrada uma ramificação da mesma biblioteca [18] suportando tanto as versões com cristais de 16Mhz quanto as com 8MHz. De posse dessa última biblioteca o Módulo de Comunicação CAN foi configurado para funcionar a uma velocidade de transmissão de 125Kbps.

Partindo da biblioteca já pronta, foi feita apenas uma organização do pacote a ser enviado e dessa forma o formato da mensagem CAN proposta neste projeto é composto por quatro campos básicos: ID transmissor, formato padrão (0) ou estendido (1), tamanho de dados em bits, Buffer de Transmissão) como mostrado na Figura 23. O teste realizado aqui foi feito a partir de valores fixos para temperatura e RPM.

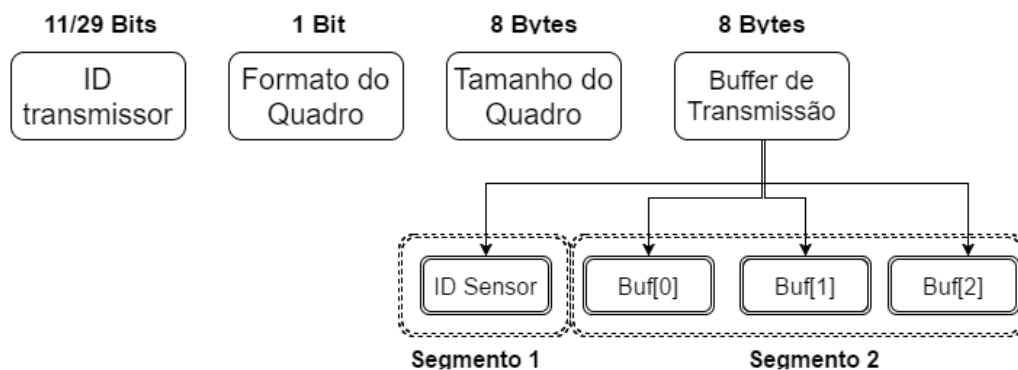


Figura 23 - Esquemático do pacote a ser enviado.

O campo ID do Transmissor contém um identificador único para cada ECU plugadas no barramento; o campo Tamanho do Quadro representa a quantidade de bytes contidos no Buffer de Transmissão; o campo Buffer de Transmissão se refere ao Campo de Dados será subdividido em partes a fim de organizar as mensagens a serem transmitidas e assim ter melhor controle do tipo de informação que circula no barramento. Cada segmento contém um ID para o sensor conectado à referida ECU, seguido pela informação obtida a partir do sensor. O primeiro byte é retratado pela Tabela 4 e a segunda parte do campo de dados (segundo, terceiro ou quarto bytes) será a conversão do valor do sensor, lido pela ECU, em hexadecimal para que se possa representar números grandes.

No sensor do RPM terá dois buffers, os quais representam os bytes mais significativos em hexadecimal para o primeiro buffer e os menos significativos para o segundo. Já no GPS, o uso de três buffers representa o envio das coordenadas do veículo no espaço.

Tabela 4 - Relação das variáveis e seus respectivos IDs.

Variável	Formato do Quadro	Tamanho do Quadro (Bytes)	ID	Buffer[0]	Buffer[1]	Buffer[2]
Temperatura	0	3	0x42	Temp.	N/A	N/A
RPM	0	3	0x43	RPM[0]	RPM[1]	N/A
GPS	0	4	0x44	Latitude	Longitude	Altitude

## 5.2 Experimentos de Campo

Foram feitos dois testes com os sensores de temperatura e RPM, ambos com o carro parado pois alguns reparos ainda precisam ser feitos na parte mecânica do Car-Kará Baja. Inicialmente foram feitos testes sem a utilização do protocolo CAN, pois objetivavam verificar o funcionamento dos sensores individualmente.

Para o sensor de temperatura, foi feito um código simples onde o valor da tensão resultante do sensor era lido através do pino A0 do Arduino. No software foi feita a conversão de unidade de tensão para temperatura a partir da multiplicação por uma constante de calibração. Como era desejado um teste rápido de verificação, o sensor foi posto na saída do escapamento para medição da temperatura dos gases de escape. Passados 1 min, o valor calculado para a temperatura a partir do sensor chegou a valores próximos a 110 °C, o que é considerado condizente com as características do veículo.

Já para o teste para o tacômetro, o experimento, constatou que a velocidade em marcha lenta em estava em torno de 2000 revoluções por minuto, sendo considerado condizente com o esperado.

Por fim, foi feito o experimento com as ECUs conectadas ao barramento CAN. É válido ressaltar que, devido à fatores externos, o GPS não foi incluído no experimento, então para implementar a terceira ECU, foi usado um sensor de temperatura, captando a temperatura ambiente.

Durante a leitura dos dados pela ECU 2, o Baja foi acelerado ao ponto máximo enquanto o sensor de temperatura medida a temperatura ambiente. Para o RPM, chegou-se a um valor máximo em torno de 5000 revoluções por minuto e em marcha lenta em torno de 2300 revoluções por minuto como retrata a Figura 24, onde RPM são as revoluções por minuto do motor e T a temperatura ambiente.

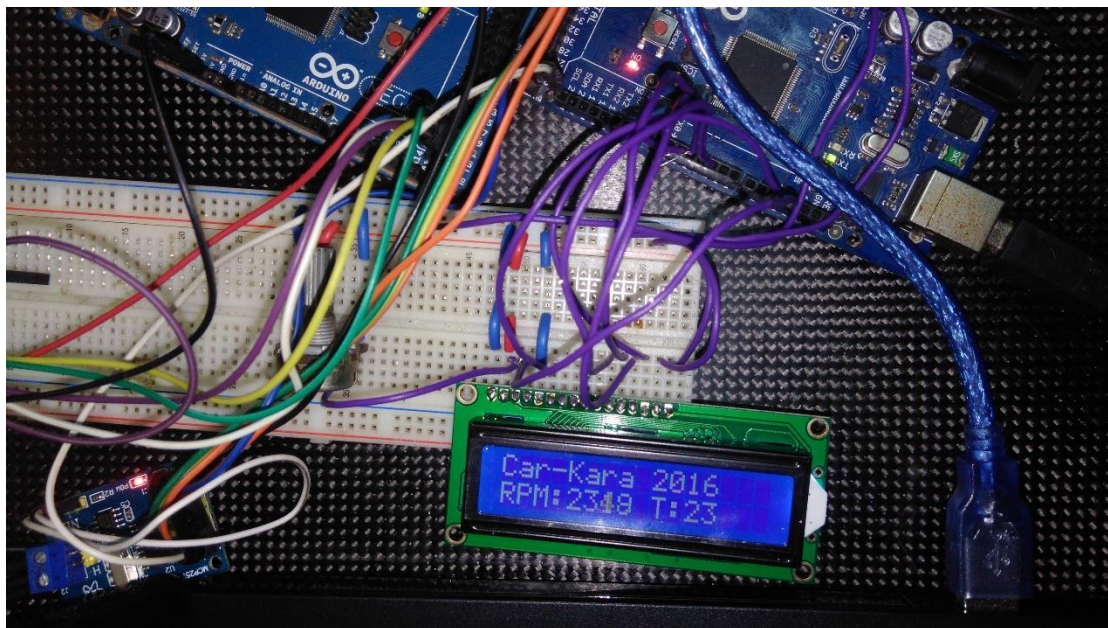


Figura 24 - Teste dos Sensores Utilizando A Rede Can.

### 5.3 Redução do Número de Fios

Antes do projeto da inserção de rede CAN no carro do Car-Cará Baja, utilizavam-se 11 fios de informação entre dois Arduinos: um na parte traseira, captando sensores e o outro no volante que mostrava a informação no visor. Atualmente com o uso do barramento apenas 4 fios estão passando dentro do chicote elétrico do carro, sendo eles o can\_high, can\_low, +5v e o GND. Com a redução do número de fios, resultou-se em uma menor complexidade elétrica do ponto de vista estético, visto que podemos utilizar uma gama menor de cores para identificação dos fios.

Mais ainda, como não é necessário a preocupação com o número máximo de sensores conectados a arquitetura de hardware proposta e a facilidade de a rede aceitar novos nós, será possível a inserção de novos dispositivos e assim otimizar a telemetria do veículo.

## 6 Conclusões

Em resumo ao que foi proposto, é possível perceber que o Car-Kará Baja foi uma pequena amostra do que pode se encontrar na área da eletrônica automobilística quando diversos sistemas independentes entre si se comunicam para o bom funcionamento do conjunto como um todo.

De fato, o conjunto de sensores trabalhou de maneira satisfatória ao se inserir o protocolo de comunicação CAN ao veículo. Sensores de temperatura e tacômetro apresentaram valores, através da ECU 2, dentro do esperado, bem como a rede CAN se mostrou bastante pertinente ao permitir o tráfego de dados dos nós “simultaneamente”. Dessa forma, os objetivos secundários da redução de 11 para 4 do número de interconexões entre as ECUs utilizando uma solução de sensoriamento descentralizada ao longo do veículo bem como o sucesso dos testes realizados em campo, foram atingidos. Consequentemente, o objetivo principal da realização de uma telemetria através dos sensores embarcados também está concluído.

Por fim, é sugerido como trabalhos futuros a inserção de mais sensores aqui descritos em sessões anteriores como o nível de combustível, velocidade e GPS os quais não puderam ser testados a tempo para a apresentação neste trabalho de conclusão de curso.

## 7 Referências

- [1] W. J. Flemming, “New Sensors Overview - A Review,” *IEEE Sensors Journal*, pp. 1900-1921, November 2008.
- [2] W. J. Flemming, “Overview of Automotive Sensors,” *IEEE Sensors Journal*, pp. 296-308, December 2001.
- [3] F. C. Rodrigues Texeira, M. C. de Oliveira e A. L. Heleno, “Telemetria Automotiva Via Internet Móvel,” *Revista Ciência e Tecnologia*, vol. 16, 2013.
- [4] Texas Instruments, *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*, 1999.
- [5] Microchip Technology Inc., *Appl. Note 754*, 2005.
- [6] Microchip Technology Inc., *Appl Note 713*.
- [7] E. H. Corrêa Ferreira, *Automação Residencial utilizando protocolo CAN*, Curitiba, 2009.
- [8] J. E. Alves Dias, *Eletrônica, Instrumentação e Telemetria do Veículo UFVBAJA*, Viçosa, 2010.
- [9] T. V. Gonçalves Pereira Araújo, J. M. Ramos de S. Neto, L. G. Martins Vale e A. M. Nogueira Lima, “Projeto Mini Baja como estudo de caso para Instrumentação Eletrônica,” *COBENGE*, pp. 1776-1789, Setembro 2006.
- [10] D. Diegues, *Rede CAN para Estimativas de Orientação e Posicionamento de Máquinas Agrícolas*, São Carlos, 2014.



- [11] C. R. F. Barbosa, F. d. A. O. Fontes e U. C. d. Oliveira Filho, “Projeto Mini Baja UFRN: Uma trajetória de sucesso,” *COBENGE*, 1998.
- [12] M. A. Marques, *CAN Automotivo Sistema de Monitoramento*, Itajubá, 2004.
- [13] SAE BRASIL, “Regulamento Baja SAE Brasil,” 08 Janeiro 2016. [Online]. [Acesso em 2016].
- [14] M. Chiozzi, “Eletrônica Car-Kará,” Natal, 2015.
- [15] Arduino, “Arduino,” 2016. [Online]. Available: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). [Acesso em 09 Junho 2016].
- [16] Arduino, “SPI Library,” 2016. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>. [Acesso em 09 Junho 2016].
- [17] Seedstudio, “CAN Bus Shield,” 15 Abril 2016. [Online]. Available: [http://www.seeedstudio.com/wiki/CAN-BUS\\_Shield](http://www.seeedstudio.com/wiki/CAN-BUS_Shield). [Acesso em 09 Junho 2016].
- [18] Github, “MCP2515\_Lib,” Github, 18 Fevereiro 2014. [Online]. Available: [https://github.com/Flori1989/MCP2515\\_lib](https://github.com/Flori1989/MCP2515_lib). [Acesso em 09 junho 2016].