

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

Bianca Fernandes Costa

IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA ELETRÔNICA EM
PROTOCOLO *CONTROLLER AREA NETWORK* PARA VEÍCULO
OFF-ROAD
Tipo BAJA

São Paulo

2021

Bianca Fernandes Costa

IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA ELETRÔNICA EM
PROTOCOLO *CONTROLLER AREA NETWORK* PARA VEÍCULO
OFF-ROAD

Tipo BAJA

Monografia apresentada à
Universidade São Judas Tadeu,
como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheira
Eletrônica.

Orientador: Dr. Carlos Noriega

São Paulo

2021

FICHA DE APROVAÇÃO

Data: _____

Horário: _____

Sala: _____

Título: _____

Nome completo dos alunos	RA
Bianca Fernandes Costa	820149229

Observações sobre o trabalho:

Professores da Banca examinadora	Assinatura
Dr. Carlos Noriega	
Prof. Núncio Perella	

Resultado: _____

DEDICATÓRIA

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá. ”

- Ayrton Senna

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por toda capacitação e pelas oportunidades de desenvolvimento profissional e pessoal que a trajetória desta graduação me proporcionou durante estes 8 anos e meio, em 3 instituições diferentes.

Agradeço a minha mãe, Viviane por não me deixar desistir do meu sonho e por todo apoio de todos estes anos, minha irmã Fernanda por me apoiar e aguentar todas as crises de stress, meus amados avós Maria e Josué por sempre estarem ao meu lado, me apoiar em todos os sentidos e por fazerem sentido toda essa luta, meu pai Cristiano por me apoiar financeiramente quando eu precisei em diversos momentos, meu namorado Edijácio por ser este companheiro incrível, por sempre estar ao meu lado e me incentivando a ser o meu melhor e também fazer parte deste projeto.

Agradeço meus tios Ana e Isaac por me ajudar a iniciar este sonho e ao meu tio Franklin por me incentivar a fazer engenharia e me apoiar em sempre me dedicar a este sonho. Agradeço minha irmã de coração Thamires por sempre estar aqui desde o início.

Agradeço ao meu time do USJT BAJA SAE do subsistema de eletrônica que abraçaram esta missão e desenvolveram este sonho ao meu lado, Mikael, César, Matheus e Nataly, sem vocês esse sonho não sairia do papel. Meu amigo e mentor Emanuel Baldissera, um dos engenheiros que mais me inspirei profissionalmente e que me apresentou o protocolo CAN no estágio, meu orientador professor Noriega que acolheu o projeto e me guiou para a conclusão do mesmo.

“Pessoas precisam de Pessoas. ”

- Joel Jota

*Em memória de Clarice Zapata
Carvalho*

RESUMO

Este estudo abordará a temática da implementação de uma nova arquitetura eletrônica com protocolo de comunicação CAN (Controller Area Network) para um veículo de competição universitária off-Road, desde seus requisitos até sua implementação final. Para estruturação deste estudo, foram utilizados os conceitos básicos de eletrônica embarcada, normas da SAE para competição BAJA SAE referentes a sistemas elétricos e conceitos de protocolo CAN implementados em diferentes formas para um veículo. A arquitetura eletrônica do veículo USJT BAJA SAE é composta por circuitos elétricos e eletrônicos desenvolvidos pelo subsistema de elétrica, considerando as normas da competição para ambiente hostil, encontrados durante as provas. O sistema era composto por um microcontrolador que realizava a função de ECU para todos os sensores, esta arquitetura foi praticada com o propósito de coletar dados dos sensores para estudos posteriores e informar durante a competição a rotação e velocidade do veículo para o piloto no display, o mesmo é conectado na ECU. Para a implementação do protocolo CAN, se fez necessário um estudo do atual sistema para atualização de hardware e software, com o intuito de desenvolver uma arquitetura de fácil implementação e atualização para as próximas competições, com base nas atuais tecnologias do setor automotivo, e com o propósito de gerar para os integrantes a experiência desenvolvimento da eletrônica embarcada automotiva. Foi desenvolvido duas ECUs, uma com a finalidade de centralizar todos os sensores e outra com a coleta de dados e apresentação em tempo real os dados para o piloto. Este desenvolvimento conceitua implementar uma plataforma que possibilita a implementação de novos sensores para as próximas competição, utilizando a mesma arquitetura implementada.

Palavras-chave: Eletrônica Embarcada; Protocolo CAN; Microcontroladores; BAJA SAE;

ABSTRACT

This study will address the issue of implementing a new electronic architecture with CAN (Controller Area Network) communication protocol for an off-road university competition vehicle, from its requirements to its final implementation. To structure this study, the basic concepts of embedded electronics, SAE standards for BAJA SAE competition referring to electrical systems and CAN protocol concepts implemented in different ways for a vehicle were used. The electronic architecture of the USJT BAJA SAE vehicle is composed of circuits electrical and electronic developed by the electrical subsystem, considering the competition rules for hostile environment, found during the tests. The system consisted of a microcontroller that performed the ECU function for all sensors, this architecture was used with the purpose of collecting data from the sensors for further studies and informing the vehicle's rotation and speed during the competition for the pilot on the display, it is connected to the ECU. For the implementation of the CAN protocol, it was necessary to study the current system to update the hardware and software, in order to develop an architecture that is easy to implement and update for the next competitions, based on the current ones. technologies of the automotive sector, and with the purpose of generating for the Members the experience of developing automotive embedded electronics. Two ECUs were developed, one with the purpose of centralizing all the sensors and the other with real-time data collection and presentation of data to the pilot. This development conceptualizes to implement a platform that enables the implementation of new sensors for the next competition, using the same implemented architecture.

Keywords: Embedded Electronics; CAN Protocol; Microcontrollers; BAJA SAE

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Competição Nacional 2020 (USJT Baja SAE, 2020).....	20
Figura 2- Esquema Elétrico (USJT Baja SAE, 2021)	21
Figura 3- Botões de Emergência no Veículo (Próprio Autor, 2021).....	22
Figura 4 - Breake Light no Veículo (Próprio Autor, 2021).....	23
Figura 5- Cebolinha no Veículo (Próprio Autor, 2021)	23
Figura 6- Arquitetura Eletrônica Centralizada (USJT BAJA SAE, 2021).....	24
Figura 7- Participação dos sistemas Eletrônicos no Custos dos Carros (Deloitte LLC, 2021)	25
Figura 8- Importância da tecnologia disponibilizada no veículos para a próxima compra de veículos (Deloitte, 2021)	25
Figura 9- Arquitetura Eletrônica Centralizada (Diegues, 2014)	26
Figura 10- Arquitetura Eletrônica Centralizada (Diegues, 2014)	27
Figura 11- Exemplos de aplicação de ECUs (KPMG LLC, 2021)	28
Figura 12- Exemplo de arquiteturas eletrônicas (Vector Informatik GmbH, 2021)	28
Figura 13 - Conexão das ECUs no barramento CAN clássico (Vector Informatik GmbH, 2010).....	30
Figura 14 - Modelo OSI da ISO. (RICHARDS, 2002)	30
Figura 15- Processo de Arbitragem (Vector Informatik GmbH, 2018)	31
Figura 16- Terminações do barramento CAN (Vector Informatik GmbH, 2021).....	32
Figura 17– Relação de Comprimento do Chicote e Taxa de Transmissão (GUIMARÃES, 2003)	33
Figura 18 – Diferença de Potencial do Barramento CAN (GUIMARÃES, 2003).....	33
Figura 19- Padrão de Frame CAN (CSS Electronics, 2021).....	34
Figura 20 - Analisador de dados CAN PEAK CAN (PEAK CAN, 2014).....	35
Figura 21 - ECU multifuncional de núcleo exibindo criticidade mista. (Fuhrman, 2015).....	36
Figura 22- Ecocoder 3D (USJT Baja, 2021).....	38
Figura 23- Funcionamento do sensor Indutivo (Nunes, 2016).....	38
Figura 24 - Sensor Indutivo NBB4-12GM50-E2 - 800734 (USJT BAJA, 2021).....	39
Figura 25- Caixa da CVT (Próprio Autor, 2021)	39
Figura 26 - Sensor Dallas DS18B20 (USJT BAJA SAE, 2021).....	40
Figura 27 - Sensor Infravermelho MLX90614 (USJT Baja, 2021).....	40
Figura 28 - Display Nextion Com Painel USJT BAJA (Próprio Autor, 2021)	41
Figura 29 - Arduino Mega 2560 (Eletrogate, 2017).....	43
Figura 30 - ESP-WROOM-32 (Robocore, 2021).....	43
Figura 31- STM32F103C8T6 (STM32-base, 2021)	43
Figura 32 - Transceiver CAN TJA1050 (Próprio Autor, 2021)	44
Figura 33- Atual ECU com Arduino Mega 2560 (USJT BAJA, 2020)	45
Figura 34 - Arquitetura Eletrônica com Protocolo CAN (Próprio autor, 2021).....	45
Figura 35- Interface do Proteus Fonte (Próprio Autor, 2021)	46
Figura 37 - PCB ECU Display (Próprio Autor, 2021)	47
Figura 36 - Circuito Eletrônico ECU Display (Próprio Autor, 2021)	47
Figura 38 – Diagrama de Blocos ECU Display (Próprio autor, 2021).....	48
Figura 39- PCB ECU Sensores (Próprio Autor, 2021)	48
Figura 41 - Circuito Eletrônico ECU Sensores (Próprio Autor, 2021)	49
Figura 40 - Diagrama de Blocos ECU Sensores (USJT BAJA, 2021).....	49
Figura 42- ECUs dispostas na Protoboard (Próprio Autor, 2021).....	50
Figura 43 - Regulador de Tensão (USJT BAJA SAE, 2021).....	51
Figura 44 - Pinout ECUs (Próprio Autor, 2021)	Error! Bookmark not defined.

Figura 46 - Ferramenta de Análise de Protocolo CAN conectado no Barramento (Próprio Autor, 2021)
..... 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Siglas dos Frames CAN (Guimarães, 2003).	34
Tabela 2 – Estudo comparativo de Microcontroladores.....	42
Tabela 3 – Descrição das Topologias (Lopes, 2007, apud TITTEL, 2003, p. 15).	60
Tabela 4 – Modelo de Referencia OSI (Tanenbaum, 2003, p. 37).....	61

SUMÁRIO

1. Introdução.....	15
1.1. Objetivos	17
2. Revisão bibliográfica.....	19
2.1. Society of Automotive Engineers	19
2.2. SAE Brasil	19
2.3. Projeto Estudantil Baja SAE	20
2.4. USJT Baja SAE	21
2.4.1. Subsistema Elétrica	21
2.4.2. Sistema de Segurança	22
2.4.3. Break Light.....	22
2.4.4. Eletrônica Embarcada	24
2.5. Eletrônica Automotiva	24
2.5.1. Arquiteturas Eletroeletrônicas	26
2.5.2. Arquitetura Centralizada.....	26
2.5.3. Arquitetura Distribuída	27
2.5.4. Módulo de Controle Eletrônico.....	27
2.5.5. Protocolos de Comunicação em Veículos	28
2.6. Controller Area Network (CAN).....	29
2.6.1. Conceito de Funcionamento	31
2.6.2. Camada Física	32
2.6.3. Camada de Enlace	34
2.6.4. A importância das prioridades das mensagens.....	35
2.6.5. Aplicação Padronizadas.....	36
3. Materiais e Métodos	37
3.1. Sensores.	37
3.1.1. Sensor Indutivo Siemens NBB4-12GM50-E2-800734	37
3.1.2. Sensor de Temperatura Dallas DS18B20.....	39
3.1.3. Sensor de Temperatura Infravermelho MLX90614	40
3.2. Display	41
3.3. Estudo de Microcontroladores.....	41
3.4. Transceiver	44
3.5. Arquitetura eletrônica.....	45

4. Resultados	46
4.1. PCB	46
4.1.1. PCB ECU Display	47
4.1.2. PCB ECU Sensores	48
5. Considerações Finais.....	55
Referências	57
Topologia de Redes de dados	60
Modelo OSI.....	60

1. Introdução

Na última década os avanços da eletrônica embarcada implementada nos veículos cresceu exponencialmente, várias funções eletrônicas foram implementadas nos veículos presentes no parque automotor, como navegação, controle adaptativo, controle de tração, controle de estabilização e sistemas de segurança ativa (Navet, 2017). Hoje, até 2500 sinais mensagens são trocados por meio de até 70 Unidades de Controle Eletrônico (Natevet, 2017), ECUs da suas siglas do inglês *Engine Control Unit*. Um exemplo conhecido é a injeção eletrônica, que com a inclusão da eletrônica no sistema do motor proporcionou economia de combustível e redução de emissões de poluentes, isto por conta de utilizar menos combustível em seu funcionamento e pela melhoria de performance do motor (Cesur, 2013). Através da ECU é um componente eletrônico, que recebe uma entrada de sensores ou usam atuadores para controlar as funcionalidades do veículo (Alam, 2018), toda a inteligência sistêmica desenvolvida é gerenciada pelos microcontroladores para que todos os componentes, sejam eles entradas ou saídas, possam performar da melhor forma conforme parametrizações e seus dados transmitidos através de um protocolo de comunicação.

O protocolo CAN (Controller Area Network) é um protocolo de comunicação serial síncrona desenvolvido pela empresa alemã BOSCH (Robert Bosch GmbH) a fim de aplicações automotivas, para permitir que várias unidades eletrônicas em um único veículo compartilhem dados de controle essenciais (Toulson, 2012). Inicialmente desenvolvida para aplicações em veículos comerciais (Bates, 2014), atualmente é o protocolo padrão utilizados nos veículos de passeio, comerciais e em algumas aplicações industriais. Ele também foi projetado para transmitir sinais em ambientes eletricamente ruidosos (Toulson, 2012, Bates 2014), como controle de veículos motorizados. Segundo um de seus criadores, Siegfried Dais, o protocolo CAN se estabeleceu mundialmente como a espinha dorsal da rede de sistemas embarcados, e não apenas na tecnologia automotiva. A eletrônica embarcada automotiva opera não só apenas com o CAN, mas com outros protocolos de comunicação como o LIN, MCNet, dentro de sua arquitetura eletrônica, porém as informações são convertidas em CAN para que todas as ECUs se comuniquem por igual.

O BAJA é uma competição promovida pela SAE (*Society Automotive Engineers*) para os alunos universitários desenvolverem um veículo *off-road*, com lugar somente para o piloto, equipes de diversas universidades públicas e privadas de todo o país desenvolvem este veículo conforme normas estabelecidas a fim de garantir segurança e desenvolver os competidores

tecnicamente. Esta competição existe em diversos países como Estados Unidos, México, África do Sul, Coreia do Sul, Índia e Brasil, e seus 3 primeiros colocados nas competições nacionais participam da etapa mundial com as equipes dos países citados. No Brasil são realizadas duas etapas de competições, a etapa regional e a etapa nacional, que ocorrem no estado de São Paulo. Esta é uma das mais renomadas competições estudantis no âmbito acadêmico, pois proporciona aos estudantes a aplicação dos conhecimentos aprendidos em sala de aula e vivenciando o trabalho em equipe similar ao do mercado de trabalho. O USJT BAJA SAE, equipe de Baja-SAE da Universidade São Judas Tadeu (USJT– Campus Mooca) participa há 4 anos das competições, composto por um motor estacionário (10HP, movido à gasolina), o único componente que não pode sofrer alterações durante o desenvolvimento do projeto, os demais itens que integram o veículo são desenvolvidos pelos alunos.

Com o potencial de melhoria da arquitetura eletrônica atual do veículo, o presente trabalho tem em seu propósito implementar tecnologia no veículo a fim de proporcionar aos alunos a vivência desta tecnologia que é a base do setor automotivo, segundo a Bosch. Assim, será implementado duas ECUs compostas por um microcontrolador ESP32 mais um transceiver CAN TJA1050 utilizado devido sua confiabilidade e facilidade de desenvolvimento, que será um intermediador entre a camada física e a camada de aplicação. Este sistema irá atualizar o subsistema de elétrica para competição trazendo melhorias para coleta de dados para estudos posteriores que serão salvos no SD card, transmissão de informações para o piloto através do protocolo CAN através de um display, além de transformar a arquitetura eletrônica preparando-a para receber novos sensores e novas ECUs, aumentando o grau de confiabilidade e facilitar a análise dos dados para possíveis ajustes mecânicos no veículo, gerando melhoria na performance e resultando em melhores resultados durante a competição.

1.1.Objetivos

Este trabalho abordará a temática da implementação do protocolo de comunicação CAN na arquitetura eletrônica de um veículo de competição universitário OFF Road (BAJA), o mesmo possui como objetivo geral trazer tecnologia para o veículo e proporcionar análise de dados e análise de protocolo CAN. Para cumprir o objetivo geral, foram definidos os 4 objetivos específicos descritos a seguir:

- Identificar e analisar os parâmetros que caracterizam uma arquitetura eletrônica para competição SAE BAJA.
- Simular e implementar uma nova arquitetura eletrônica mediante ao protocolo *Controller Area Networking* (CAN) em 500kbps.
- Validar a arquitetura proposta mediante o fluxo de dados transmitidos pelo barramento prototipado através de ferramentas de análise de protocolo CAN.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Society of Automotive Engineers

A SAE (Society of Automobile Engineers) foi criada em 1905 em Nova York, Estados Unidos com o propósito de suprir a necessidade de proteção de patentes, desenvolvimento de padrões para os projetos de engenharia automotivos e, além disto, criar um espaço onde os engenheiros do setor automobilístico poderiam trocar conhecimentos para expandir sua base técnica individual.

Ao longo dos primeiros 10 anos começaram a publicar uma revista técnica e uma compilação abrangente de artigos técnicos, anteriormente chamada de Transações SAE, que ainda hoje existem na forma de Revistas da *SAE International*. 1916, a SAE aderiu o modal de aeronáutica na associação e com isto a organização tornou-se uma nova sociedade representando engenheiros em todos os tipos de profissões relacionadas à mobilidade. O desenvolvimento de padrões nas comunidades aeroespacial, automotiva, veículos comerciais e agrícolas é ainda é uma parte vital dos serviços da SAE a essas indústrias e à humanidade.

2.2. SAE Brasil

Durante a década de 1990, a *SAE International* anunciou a formação da SAE Brasil, uma das principais funções da sociedade tem sido incentivar e apoiar o desenvolvimento de profissionais capacitados nas muitas comunidades de mobilidade.

Além de ser a casa do conhecimento da mobilidade brasileira, a SAE Brasil promove aos alunos do nível universitário, principalmente do curso de engenharia, a participam dos programas estudantis com o intuito de oferecer a chance de o universitário aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, visando incrementar sua preparação para o mercado de trabalho. As competições são organizadas pela SAE a nível regional e nacional como BAJA SAE, Aerodesign SAE, cH2llenge SAE, entre outros.

2.3. Projeto Estudantil Baja SAE

O BAJA é uma competição entre universidades lançado aos estudantes para desenvolverem um veículo *off-road*, criado em 1976 nos Estados Unidos e lançado no Brasil em 1994, o desenvolvimento do mesmo deve cumprir todos os requisitos no projeto base que o RATBSB (Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil) orienta. No Brasil são realizadas duas etapas de competições, a etapa regional e a etapa nacional, que ocorrem no estado de São Paulo. As equipes organizam-se em subsistemas gerando uma vivência similar ao do mercado de trabalho e produtividade para atender os prazos de entrega das etapas nacional ou regional.



Figura 1- Competição Nacional 2020 (USJT Baja SAE, 2020)

Todas as equipes devem utilizar o mesmo motor estacionário à gasolina sem alterações de implementação, os demais componentes que compõem o veículo devem seguir as normas da RATBSB para garantir a segurança dos pilotos e competidores. Durante a competição as equipes são avaliadas e testadas por juízes nas provas dinâmicas de performance dos protótipos e pelo projeto geral que é realizado por meio de um relatório. Não é necessária uma classificação nas etapas regionais para participar da etapa nacional, porém para a participação da etapa mundial, que ocorre anualmente nos Estados Unidos, é necessário que a equipe fique entre as três primeiras colocadas da etapa nacional.

2.4. USJT Baja SAE

O USJT Baja SAE foi fundado em 2017 pelos alunos da universidade São Judas Tadeu unidade Mooca, e esta equipe atualmente organiza-se pelos subsistemas de Elétrica, *Powertrain*, Acionamentos, Estruturas, Suspensão e Direção, Marketing e Gestão. Cada subsistema é responsável pelo desenvolvimento do sistema correlacionado e relatório de projeto do mesmo, e a gestão organiza todos estes sistemas sendo facilitador para garantir que o projeto seja entregue conforme normas e prazos.

2.4.1. Subsistema Elétrica

O subsistema de elétrica é responsável por garantir a alimentação elétrica do veículo, dispositivos de segurança, sistema de eletrônica embarcada, sensores para coleta de dados como temperatura e rotação.

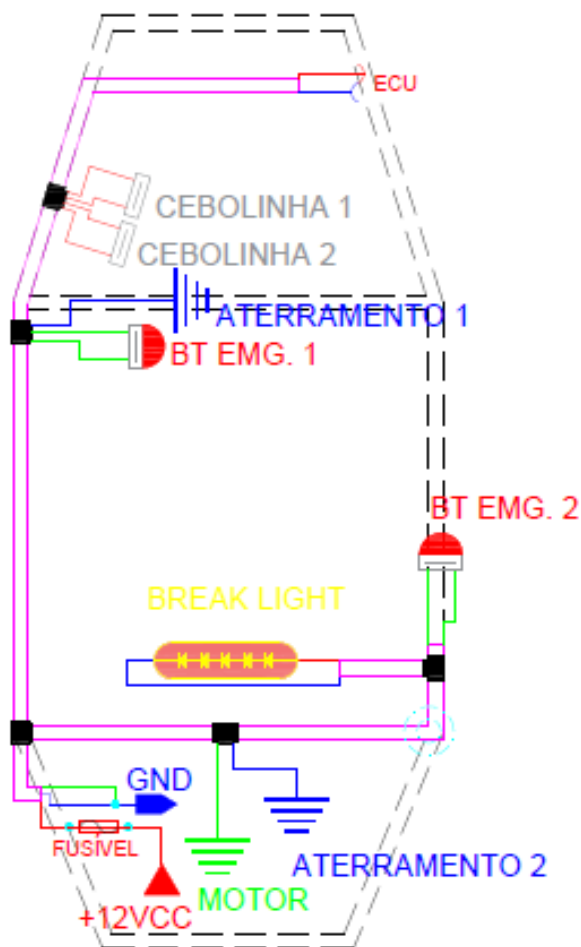


Figura 2- Esquema Elétrico (USJT Baja SAE, 2021)

2.4.2. Sistema de Segurança

Para a competição, a SAE Brasil determina, em sua norma que o veículo possua botões de emergência para em caso de pane no veículo, os mesmos possuem a função de desligar a ignição do motor através do curto-circuito da vela no motor. Este sistema de segurança tem o objetivo de parar todo o funcionamento do veículo, com a ressalva da break light que deve operar, indicando o acionamento dos freios.

Os botões de emergência devem ser do tipo *Push button*, por norma, carecem de ser instalados no veículo na parte superior a direita no chassis, com sinalização do mesmo. O mesmo conjunto deve ser aplicado próximo do volante, para que o piloto possa acionar em caso de emergência.



Figura 3- Botões de Emergência no Veículo (Próprio Autor, 2021)

2.4.3. Break Light

A break light, tem o propósito de indicar o acionamento do sistema de freios. Ela deve ser instalada na região traseira superior do veículo, para que os competidores tenham a visão de quando for acionado. Assim como o sistema de segurança, a Break Light é item normativo para competição, a não implementação destes sistemas a equipe terá como consequência a desclassificação da competição.



Figura 4 - Breake Light no Veículo (Próprio Autor, 2021)

O interruptor de acionamento ou *cebolinha*, ao sofrer uma pressão hidráulica do sistema de freio, suas paletas metálicas entrarão em contato permitindo a condição de corrente, acionando a break light.



Figura 5- Cebolinha no Veículo (Próprio Autor, 2021)

2.4.4. Eletrônica Embarcada

Atual arquitetura do Baja é composta por um único microcontrolador que gerencia todos os sensores, envia as informações para o display e salva os dados em um SD card e implementada com o protocolo serial I2C. Esta solução atendeu a necessidade do projeto na competição anterior.

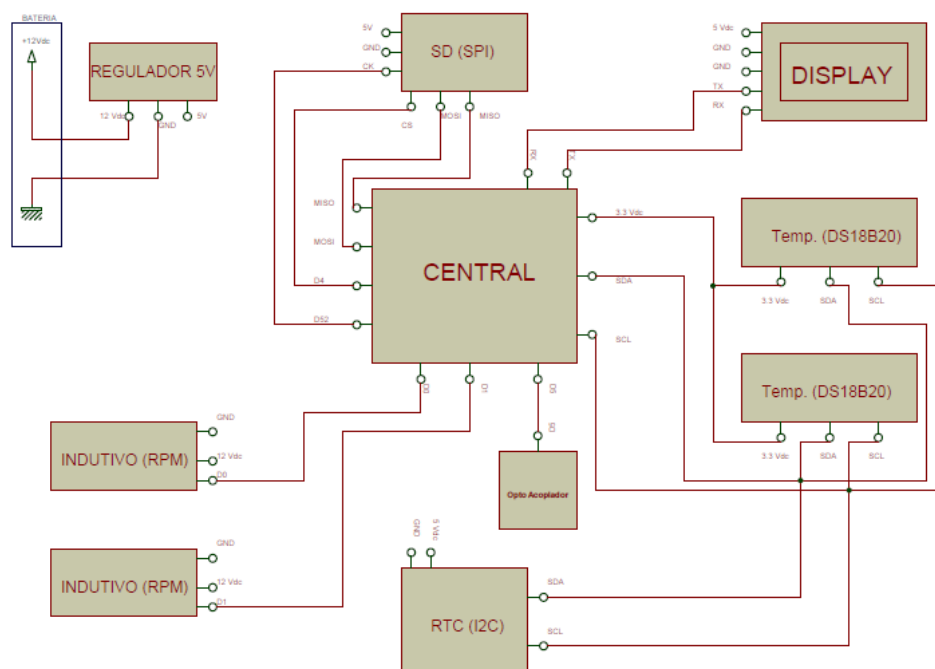


Figura 6- Arquitetura Eletrônica Centralizada (USJT BAJA SAE, 2021)

2.5. Eletrônica Automotiva

Com o crescimento da tecnologia, o número de sensores e atuadores aumentou conforme a eletrônica foi sendo utilizada para melhoria de performance nos veículos, uma das mais famosas, a injeção eletrônica, proporcionou melhoria de performance do motor e melhor aproveitamento do combustível. Com isto outros sistemas veiculares totalmente mecânicos foram recebendo sensores e, conforme a evolução de tecnologia, muitos sistemas tornaram-se eletromecânicos ou eletrohidráulicos, sendo acionados por sensores e atuadores e gerenciado

por uma ou mais ECUs, com o objetivo de entregar o melhor desempenho sistêmico com qualidade e segurança.

Presença crescente

Participação dos sistemas eletrônicos no custo dos carros

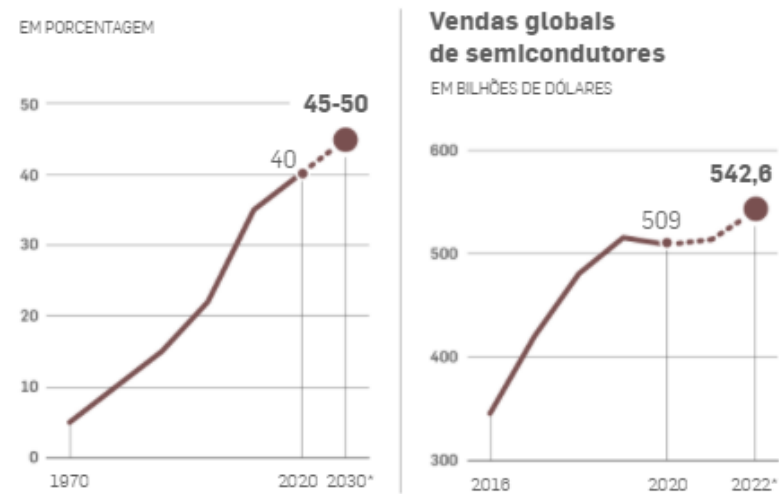


Figura 7- Participação dos sistemas Eletrônicos no Custos dos Carros (Deloitte LLC, 2021)

“A demanda por componentes eletrônicos, que não funcionam sem semicondutores, vai crescer muito nesta década em que mais veículos vão rodar com energia elétrica e níveis de autonomia. "Na virada dos anos 90 para os 2000 a eletrônica era 15% a 20% do custo dos carros; hoje passa de 40% e provavelmente em 2030 vai chegar a 45% ou 50%", diz Flavio Sakai, diretor da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA).

What other advanced features do consumers want? Overall, safety continues to be most important when people are thinking about their next vehicle.

Importance (somewhat or very important) of various vehicles features for next vehicle purchase

Advanced vehicle feature	United States	Germany	Japan	Rep. of Korea	China	India
Blind spot warning/alert	70%	65%	77%	83%	82%	85%
Automatic emergency braking	60%	57%	83%	79%	85%	89%
Lane departure warning	59%	55%	60%	77%	82%	82%
Built-in navigation system	59%	65%	77%	65%	79%	87%
Physical knobs/buttons for controls	56%	55%	56%	59%	66%	78%
360-degree camera system	54%	45%	66%	70%	77%	85%
Automatic/dual-zone climate control	53%	45%	37%	55%	69%	78%
Heated/cooled seats	52%	56%	56%	74%	61%	76%
Adaptive cruise control	52%	48%	41%	50%	74%	77%
Electronic parking assist	43%	57%	49%	64%	73%	84%
Built-in Wi-Fi hotspot	41%	31%	43%	58%	66%	82%
Over-the-air software updates	40%	31%	50%	59%	65%	78%
Apple CarPlay/Android Auto interface	35%	31%	30%	42%	61%	70%
Semi-autonomous drive mode	32%	30%	42%	56%	69%	76%

Q26. How important are each of the following features for your next vehicle?

Sample size: Germany=804; United States=901; China=899; India=948; Japan=678; Republic of Korea=949

Most important

Figura 8- Importância da tecnologia disponibilizada no veículos para a próxima compra de veículos (Deloitte, 2021)

Com isto, a demanda por protocolos de comunicação de confiabilidade e robustez aumentou exponencialmente para o gerenciamento de todas ECUs que são implementadas no veículo, sendo necessário a integração de uma comunicação entre as ECUs para o funcionamento do veículo.

2.5.1.Arquiteturas Eletroeletrônicas

Para implementação das ECUs no veículo, desenvolve-se a arquitetura eletrônica dos veículos, ou seja um sistema de controle que é interconectado em uma aplicação embarcada. Isto define quantas ECUs serão implementadas, quais sensores ou atuadores serão conectados, protocolo de comunicação e velocidades das mensagens transmitidas. Há dois tipos de arquitetura eletrônica que pode ser implementado em um veículo.

2.5.2.Arquitetura Centralizada

Em um sistemas todas as entradas e saídas são conectadas em apenas uma única ECU, a mesma é responsável por processar e comandar os respectivos sinais. As vantagens destes sistema consiste na simplicidade de Hardware e a lógica de varredura e coleta de informações não são tão criteriosas. Esta aplicação é muito utilizadas em módulos que se comunicam com o motorista como Cluster, tacógrafo ou um sistema de *Powertrain*.

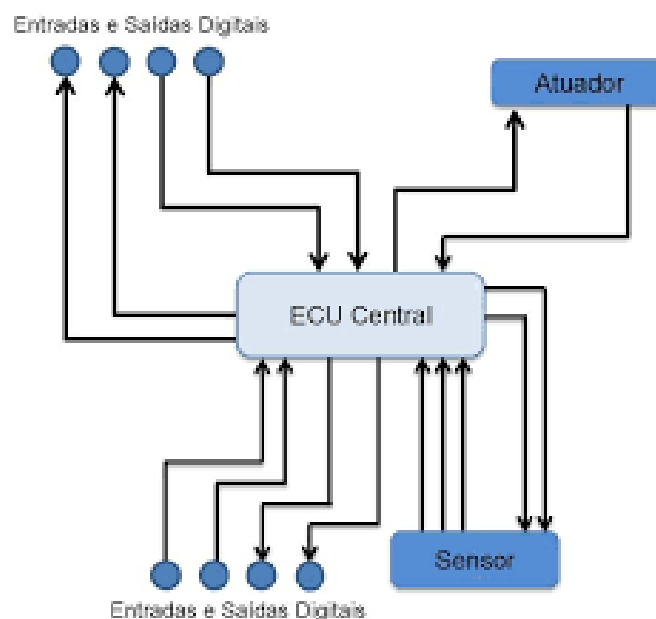


Figura 9- Arquitetura Eletrônica Centralizada (Diegues, 2014)

2.5.3. Arquitetura Distribuída

Diferente da Arquitetura anterior, a distribuída possibilita utilizar várias ECUs interligadas, e permitem que os sinais entradas sejam conectadas em uma ECU diferente dos sinais de saída. As vantagem desta aplicação é a diminuição de cabeamento, maior robustez e confiabilidade no sistema, além de ser menos complexo realizar qualquer inclusão de entradas ou saídas no sistema.

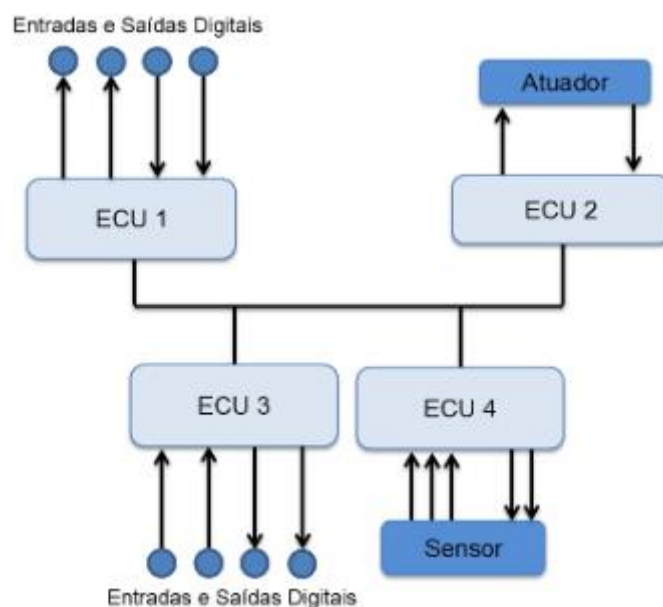


Figura 10- Arquitetura Eletrônica Centralizada (Diegues, 2014)

2.5.4. Módulo de Controle Eletrônico

MCU ou *Electronic Control Unit* (ECU) em inglês, de acordo com Guimarães (2007), são dispositivos responsáveis pela leitura das entradas, acionamentos de saída e gerenciamento dos protocolos de comunicação utilizados nos veículos. Sua composição consiste em um microprocessador ou microcontrolador que tem como sua responsabilidade utilizar suas saídas em função das leituras das entradas (Guimarães, 2007). A aplicação da ECU em um veículo, atualmente possui diversas aplicações, desde simples acionamento como seta e faróis até mesmo o controle do powertrain do veículo.

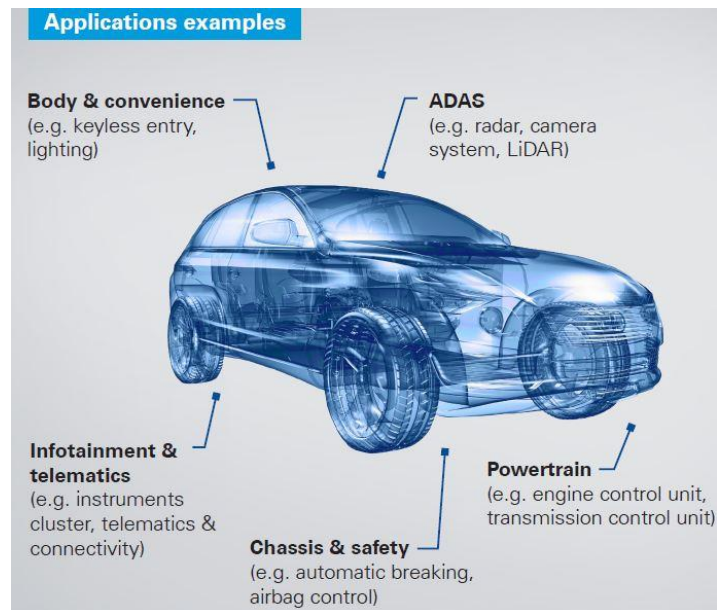


Figura 11- Exemplos de aplicação de ECUs (KPMG LLC, 2021)

O número de aplicações em um veículo cresceu de forma considerável, podendo um veículo de passeio médio englobar cerca de trinta ECUS, e um veículo de luxo mais de duzentas ECUs implementadas.

2.5.5. Protocolos de Comunicação em Veículos

Protocolos de comunicação surgiram da necessidade de reduzir cabos e aumentar a segurança dos dados e, portanto, uma forma de garantir a confiabilidade das informações é padronizar o tráfego de dados garantindo que as entradas e saídas sejam transmitidas sem perda de dados entre as ECUs presentes em um veículo. Há diversos tipos de protocolos de comunicação implementados em uma mesma arquitetura eletrônica, as vezes até mais de 3 protocolos dependendo da aplicação que a montadora utilizar, e isto, é definido pela montadora e a tecnologia que o veículo proporcionará.

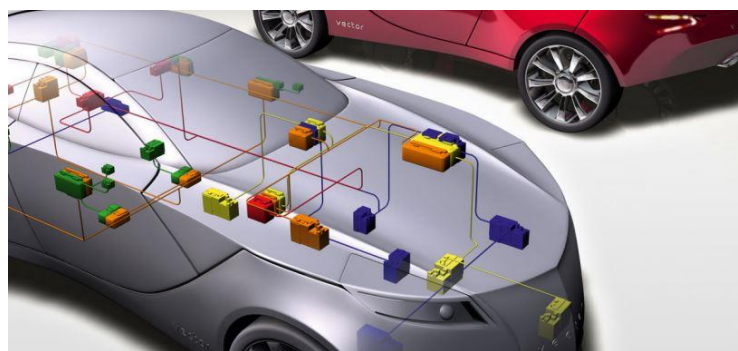


Figura 12- Exemplo de arquiteturas eletrônicas (Vector Informatik GmbH, 2021)

Todas as ECUs estão ligadas entre si através de uma única interface de comunicação em uma arquitetura eletrônica. A informação que cada ECU precisa funcionar corretamente é recebida de outros componentes do sistema (sensores e atuadores) e outras ECUs. Além disso, cada ECU coloca dados sobre seu próprio status na rede para recepção e avaliação por outras, todas utilizando o mesmo protocolo de comunicação. Por exemplo, uma ECU pode ler a velocidade atual do motor do controlador do motor e fornece os dados relevantes para uma ECU diferente. A montadora que elabora as mensagens que serão implementadas em seu veículo e durante o desenvolvimento do projeto do veículo a mesma exige que todos os fornecedores que participam do projeto forneça um protocolo padrão comum e compartilhado para melhorar a robustez e o diagnóstico do sistema (Cortese, 2008).

2.6. Controller Area Network (CAN)

Desenvolvida pela empresa Robert Bosch (“Bosch” GmbH) em meados da década de 80, projetada por uma equipe liderada pelos pesquisadores Siegfried Dais e Uwe Kiencke, o protocolo CAN tem como objetivo proporcionar um barramento de comunicação que tenha a confiabilidade e a eficácia na transmissão de dados e o baixo custo de implementação. Esta tecnologia foi lançada no congresso SAE de 1986 em Detroit, Estados Unidos e ganhou seu primeiro pedido em 1991, quando o CAN foi instalado na classe S da Mercedes-Benz. Além da aplicação em veículos leves e comerciais, o protocolo CAN é utilizado em aplicações industriais e em máquinas agrícolas. Atualmente é o protocolo mais utilizado nas arquiteturas eletrônicas dos veículos, sejam eles leves, comerciais e agrícolas.

O CAN é um protocolo de comunicação serial síncrono. O sincronismo entre os módulos conectados à rede é feito em relação ao início de cada mensagem lançada ao barramento (evento que ocorre em intervalos de tempo conhecidos e regulares) [5]. Este protocolo de comunicação possibilitou a redução na complexidade dos cabeamentos, pelo fato de um único par de cabos conectar várias ECUS permitindo a troca simultânea de dados entre os nós da rede.

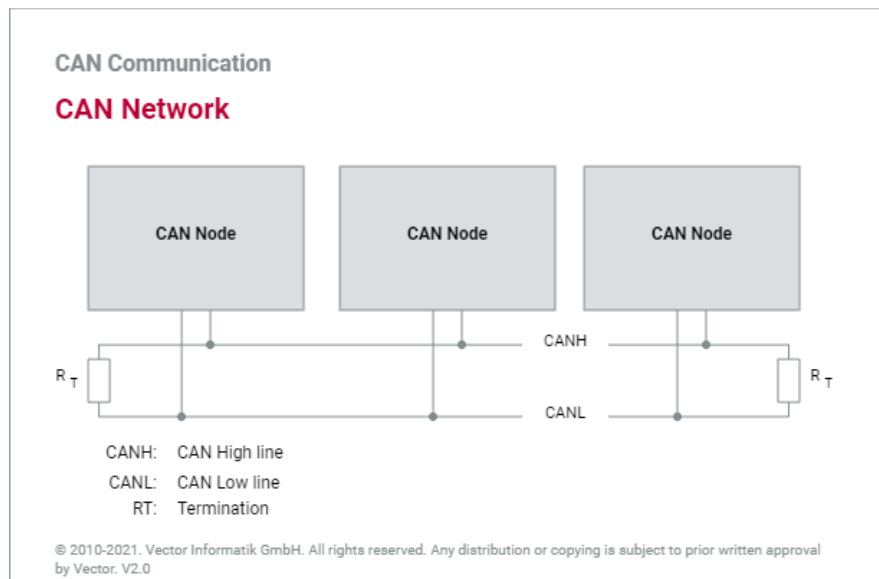


Figura 13 - Conexão das ECUs no barramento CAN clássico (Vector Informatik GmbH, 2010)

Baseando-se no modelo OSI, encontrado no anexo 2, o protocolo CAN implementa duas camadas mais inferiores do modelo: Física e de Enlace. Projetado para operar de 20 Kbit/s até 1 Mbit/s, a SAE e a ISO padronizaram o protocolo pela norma ISO 11898, ISSO 1159 e SAE J1939 a fim de minimizar problemas de interoperabilidade. Estas normas especificam a aplicabilidade conforme velocidade da mensagem e tipo de veículo

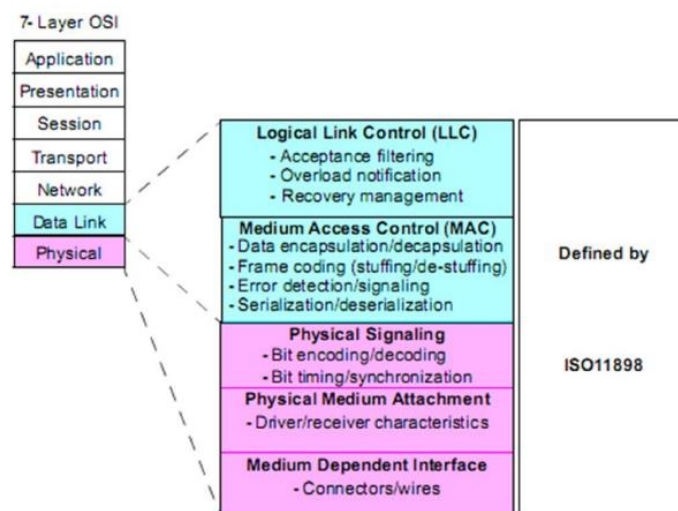


Figura 14 - Modelo OSI da ISO. (RICHARDS, 2002)

O padrão CAN está bem estabelecido na última década nos veículos e tem sido refinado como o padrão base para comunicação entre ECUs, que agora é padrão em quase todos os veículos novos, segundo a desenvolvedora Bosch.

2.6.1. Conceito de Funcionamento

O CAN possui o conceito de multimestre, onde qualquer ECU pode se tornar mestre ou escravo. Todos os dispositivos conectados podem receber e enviar mensagens pois o CAN é fundamentado no conceito *CSMA/CD com NDA (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection with Non- Destructive Arbitration)* ou seja todos os módulos verificam o estado do barramento e as mensagens que estão sendo enviadas. Além disto a arbitragem não destrutiva faz com que as mensagens prioritárias sejam enviadas sem que as mensagens não prioritárias não sejam sobrescrevidas, que pode ser exemplificada analisando o comportamento de dois módulos enviando, ao mesmo tempo, mensagens diferentes. Após enviar um bit, cada módulo analisa o barramento e verifica se o outro módulo da rede o sobrescreveu (um bit Dominante sobrescreve eletricamente um Recessivo). O módulo interromperá imediatamente sua transmissão caso perceba que existe outro módulo transmitindo a mensagem com maior prioridade (Cortese, 2008).

O processo de arbitragem é realizado pelo controlador CAN automaticamente, monitorando sua transmissão para identificar se um bit recessivo foi sobrescrito por um bit dominante. (Microchip Technology Inc, 2005). O exemplo da figura 15 mostra o processo de arbitragem de três nós distintos.

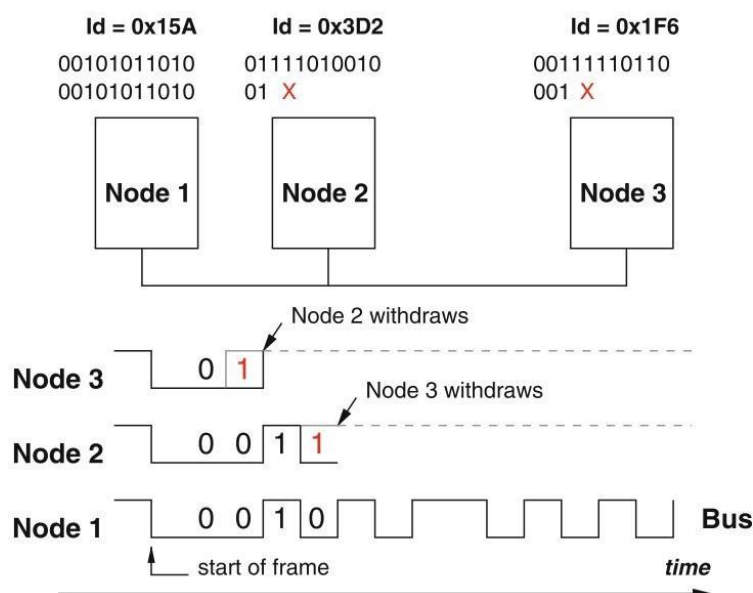


Figura 15- Processo de Arbitragem (Vector Informatik GmbH, 2018)

2.6.2. Camada Física

A implementação da rede CAN normalmente inclui um microprocessador, um controlador de protocolo e transceiver. Durante o desenvolvimento a sistemista (Autopeça de fornecimento de sistemas eletrônicos para veículos) fornece um driver CAN, com base nos requisitos específicos da montadora em termos de inicialização do controlador CAN, recepção e Transmissão de mensagens CAN, Taxa de transmissão das mensagens e muito mais (em funções gerais relevantes para o gerenciamento de rede) (Cortese, 2008). Cada nó conectado é independente e, para garantir a comunicação entre eles, nas extremidades da rede CAN, resistores de terminação do barramento, de 120 ohms contribuem para prevenir fenômenos transitórios (reflexão) e evitar perda de dados. Conforme a ISO 11898 o número máximo de nós CAN são 32 ECUs.

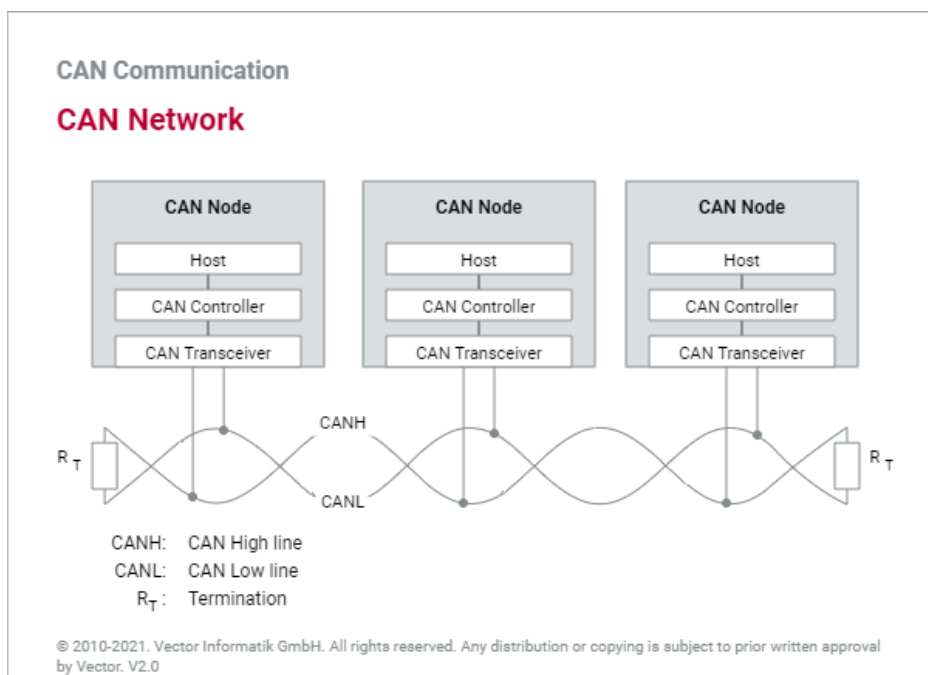


Figura 16- Terminações do barramento CAN (Vector Informatik GmbH, 2021)

O protocolo CAN apresenta em conceito o NRZ (*Non Return to Zero*), onde cada bit (0 ou 1) é transmitido por um valor de tensão específico e constante. A velocidade de transmissão dos dados é inversamente proporcional ao comprimento do barramento. A maior taxa de transmissão especificada é de 1Mbps considerando-se um barramento de 40 metros (Guimarães, 2003).

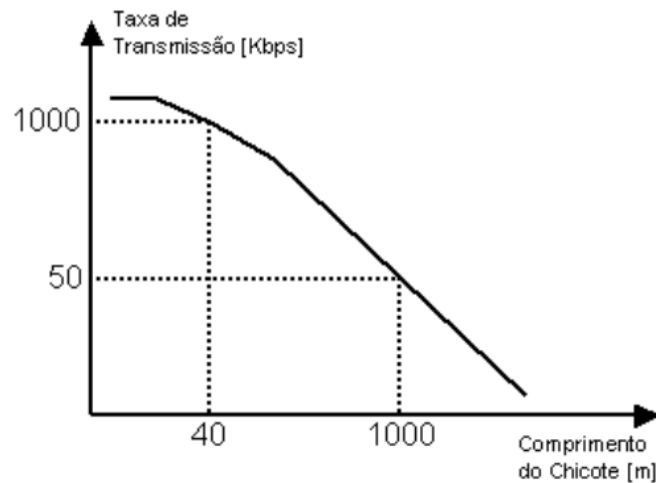


Figura 17– Relação de Comprimento do Chicote e Taxa de Transmissão (GUIMARÃES, 2003)

Utiliza-se dois fios elétricos como meio de transmissão física com o par trançado não blindado (UTP), sobre o qual ocorre a transmissão de sinal simétrico. Normalmente, os UTPs têm seções transversais de fio entre 0,34 mm² e 0,6 mm². A resistência da linha deve ser inferior a 60 mΩ. Os dados transmitidos através do barramento não são representados por bits em nível “0” ou “1”, são representados por bits dominantes e bits recessivos, com isto as mensagens são interpretadas pela diferença de potencial entre os fios CAN *Low* (CAN_L) e CAN *High* (CAN_H), como pode ser representado na figura 17:

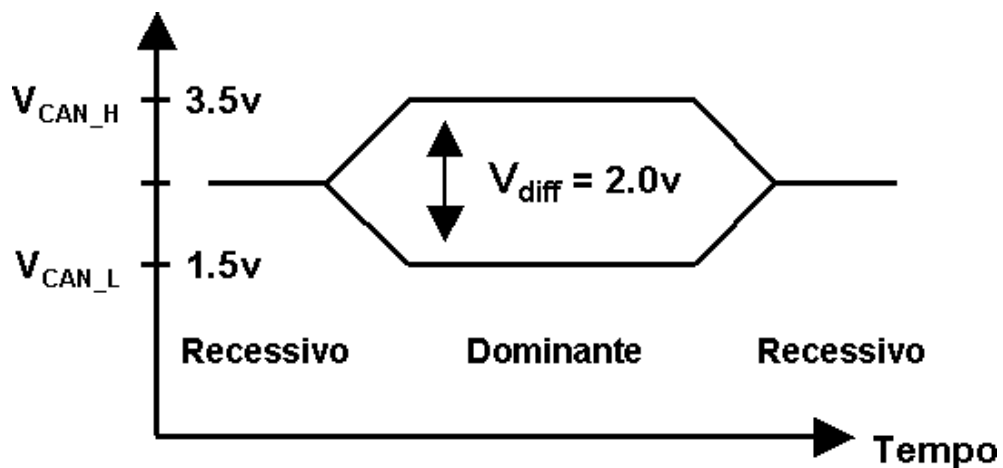


Figura 18 – Diferença de Potencial do Barramento CAN (GUIMARÃES, 2003)

2.6.3. Camada de Enlace

Para fins de organização de dados, a camada de link de dados é definida pela ISO 11898-1 e gerencia todas as informações transmitidas pelas ECUs através do barramento. Um frame no protocolo CAN 2.0A é todo o pacote enviado pelos nodos e contém todas as informações distribuídas em campos como identificador (11 bits), código de comprimento de dados 4 bits e dados até 8 bytes. Na tabela 1 segue significados de cada item de um frame CAN.

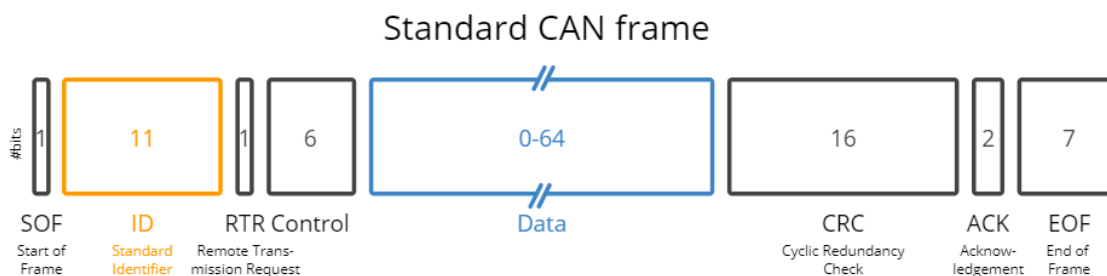


Figura 19- Padrão de Frame CAN (CSS Electronics, 2021)

Tabela 1 – Siglas dos Frames CAN (Guimarães, 2003).

Sigla	Descrição
ID	O identificador marca a prioridade da mensagem enviada. Quanto menor o valor, maior será a prioridade de acesso ao meio;
RTR	<i>Remote Transmission Request</i> . Este bit será dominante quando se requerer informação de um outro nó em específico, determinado pelo identificador;
IDE	<i>Identifier Extension</i> . 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	<i>Data Length Code</i> . O tamanho da mensagem a ser transmitida;
CRC	Contém o checksum da mensagem para a análise de detecção de erro;
ACK	Bit normalmente recessivo de reconhecimento de uma mensagem sem erro.
EOF	<i>End of the Frame</i> . Fim do quadro de transmissão;

O campo identificador é utilizado por outros dispositivos para reconhecer, na mesma rede, o que significa a informação transportada pelo frame CAN. Uma grande quantidade de dados brutos está presente em um barramento CAN do veículo e deve ser corretamente identificada para chegar ao endereço de destino, que é capaz de entendê-los e utilizá-los. A prioridade de um quadro é definida por um bit dominante (0), portanto, quanto menor o número de ID (identificador), maior sua prioridade. O campo de dados tem tamanho variável, definido por bits DLC de 0 a 8 bytes. Algumas ferramentas estão disponíveis para aquisição e avaliação de dados CAN, Peak CAN, um programa de código aberto desenvolvido para registro em tempo real CAN, e a interface PCan-USB a interface de barramento CAN que pode ser conectada ao Interface OBD de um veículo ou direto no barramento com um resistor de 120 ohms (Stevan, 2019).



Figura 20 - Analisador de dados CAN PEAK CAN (PEAK CAN, 2014)

Apenas as montadoras e sistemas possuem um arquivo de banco de dados que contém o significado de cada mensagem e identificador enviado pelas ECUs no barramento CAN que é usado para decodificar os dados brutos adquiridos do barramento.

2.6.4. A importância das prioridades das mensagens

Como mencionado no item 2.5, a crescente tecnologia nos automóveis, atualmente os semicondutores apresentam limitações, as arquiteturas eletrônicas estão adotando o paralelismo na forma de vários núcleos de processamento como a melhor maneira de atender às crescentes demandas de desempenho sistêmico.

Ao mesmo tempo, a tendência nas arquiteturas eletrônicas automotivas é alocar essa funcionalidade crescente de software em um número reduzido de nós de ECUs em um esforço para reduzir o tamanho, o peso e o consumo de energia. Juntas, essas duas tendências levam a novos desafios de design. Um número crescente de recursos e funções baseados em software deve ser sequenciado e agrupado em tarefas do sistema operacional e essas tarefas devem, por sua vez, ser alocadas aos núcleos de processamento, seja estaticamente (em tempo de design) ou dinamicamente (em tempo de execução) (Fuhrman, 2015).

Com isto as prioridades de mensagens torna-se cada vez mais importantes para a melhoria de desempenho da arquitetura no envio e recebimento de mensagens, a ECU pode apresentar um bom desempenho com a criticidade mista, isto pode ser aplicado pela montadora durante o desenvolvimento junto com a sistemista.

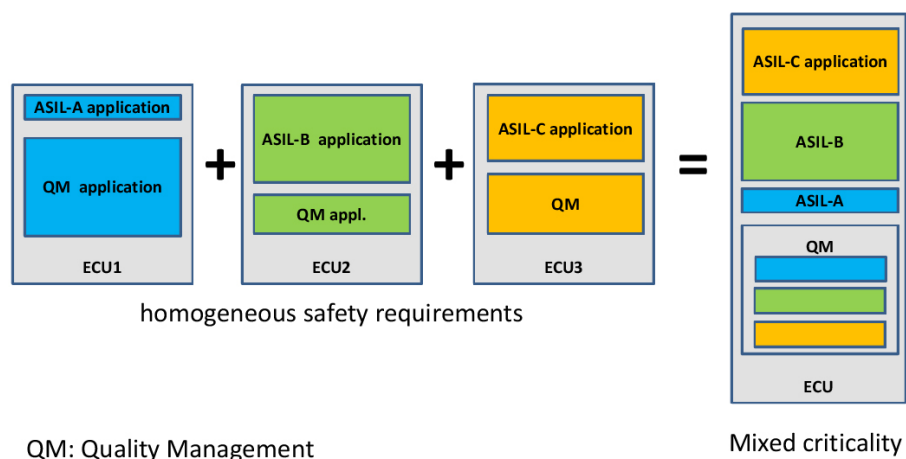


Figura 21 - ECU multifuncional de núcleo exibindo criticidade mista. (Fuhrman, 2015)

2.6.5. Aplicação Padronizadas

Para o aprovação e padronização do desenvolvimento das aplicações com protocolo CAN, utiliza-se a norma ISO 11898-1:2015 referente as aplicações de alta velocidade de transmissão de dados (de 125 Kpbs à 1 Mbps), a para as baixas velocidades de aplicação a ISO 11519-2 (de 10 Kpbs à 125 kbps), normatizando as camadas físicas e de enlace do modelo OSI. Para aplicações específicas no setor automotivo, a SAE J1939 padroniza aplicações de veículos comerciais, ou seja, caminhões e ônibus.

3. Materiais e Métodos

Para a experiência com o protocolo CAN torne-se o mais próximo do real, é imprescindível a atualização de toda arquitetura implementada, seguindo o objetivo principal de implementação do CAN. Para primeira etapa foi realizado o estudo da atual arquitetura, pois seguindo as vertentes dos objetivos, a atualização deve ser de fácil manuseio para que os próximos sensores sejam implementados com facilidade.

Iniciamos os estudos entendendo o que está funcionando no veículo para realizarmos a migração de arquitetura, e utilizar os mesmos sensores. Sendo assim, os objetivos deste projeto foram:

- Estudo dos atuais componentes
- Estudo comparativo para escolha do Microcontrolador
- Componentes necessários para o protocolo CAN
- Migração de Arquitetura
- Desenvolvimento das PCBs
- Testar os módulos

3.1. Sensores.

3.1.1. Sensor Indutivo Siemens NBB4-12GM50-E2-800734

O sensor utilizado para leitura da velocidade e rotação é do tipo indutivo, com distância de captação de 4 milímetros, possui saída de sinal tipo PNP. Com uma frequência de resposta de 0,5KHz, é possível ler velocidades de até aproximadamente 85km/h, o Baja pode chegar em até 75km/h, com isto o sistema trabalhará com uma faixa de limite segura sem perca de dados.



Figura 22- Ecooder 3D (USJT Baja, 2021)

O sensor Indutivo foi acoplado próximo do Ecooder que fica conectado no semi-eixo, localizado na roda traseira oposta da caixa de engrenagens. Quando o sensor indutivo detecta um metal próximo a ele, permitindo a leitura dos pulsos por rotação.

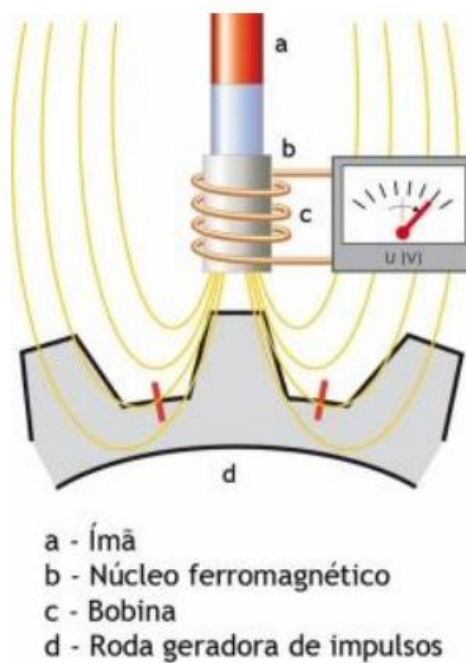


Figura 23- Funcionamento do sensor Indutivo (Nunes, 2016)



Figura 24 - Sensor Indutivo NBB4-12GM50-E2 - 800734 (USJT BAJA, 2021)

3.1.2. Sensor de Temperatura Dallas DS18B20

Para medir a temperatura da CVT que fica localizada na parte traseira do Baja, é mandatório que este sensor seja a prova d'água e robusto a ambientes, foi escolhido o sensor Dallas DS18B20 que atente este pré-requisito. Este sensor fornece leituras de temperatura de 9 a 12 bits em uma interface de 1 fio, isso permite implementar este mesmo modelo de sensor em vários locais diferentes utilizando a mesma porta. Este sensor é ideal para coleta da temperatura da CVT, um componente do veículo que é 100% projetado pelos alunos e de extrema importância obter os dados comportamentais do mesmo.



Figura 25- Caixa da CVT (Próprio Autor, 2021)



Figura 26 - Sensor Dallas DS18B20 (USJT BAJA SAE, 2021)

3.1.3. Sensor de Temperatura Infravermelho MLX90614

Para leitura das temperaturas do motor, foi escolhido o módulo MLX90614, este sensor de alta precisão que detecta a temperatura por infravermelho, o mesmo utiliza o protocolo I2C para comunicação e possui o método que faz o uso de apenas dois fios para transmissão de dados, pode-se utilizar mais de um sensor utilizando endereços para cada um, desta forma, são utilizadas menos portas do microcontrolador. O range de leitura deste componente varia de -40°C até 125°C para leitura de temperatura ambiente e de -70°C até 380°C, e sua precisão é definida segundo o gráfico em anexo, que cruza os valores das temperaturas ambiente e de superfície do objeto.



Figura 27 - Sensor Infravermelho MLX90614 (USJT Baja, 2021)

3.2. Display

A interface do piloto com o veículo será através de um display LCD *Nextion*, que oferece uma HMI (*Human Machine Interface*) intuitiva, com alta resolução e com a possibilidade de exibir diversas informações gráficas e textuais.

O display indicará a velocidade por meio de dígitos, o valor de RPM do motor, a temperatura da correia da CVT e a temperatura do motor utilizando barras deslizantes que de acordo com os valores atingidos pelas leituras, mudarão de cor com o objetivo de alertar que o valor está acima do recomendado, funcionando como um sistema de diagnóstico para o piloto, como visto na figura 24, todas as informações serão atualizadas em tempo real e o display receberá as mensagens CAN convertidas em números binários



Figura 28 - Display Nextion Com Painel USJT BAJA (Próprio Autor, 2021)

3.3. Estudo de Microcontroladores

Foi realizado um estudo comparativo de dois microcontroladores candidatos a substituir o atual microcontrolador Arduino MEGA 2560 conforme tabela 2.

Tabela 2 – Estudo comparativo de Microcontroladores

Descrição	Arduino MEGA 2560	ESP WROOM 32	STM323F103C8T6 (Blue Pill)
Alimentação	5V	2,2V ~ 3,3V DC	3,3V ~5V DC
Entrada Regulada (VIN)	7 ~ 12V	5 ~ 9V	3,6V ~5,5V
Corrente de Consumo:	Média de 70mA	Média de 80mA	Média de 25,4 mA
Temperatura de Operação:	-40°C ~ +85°C	-40°C ~ +85°C	-40°C ~ +85°C
Processador:	ATmega2560 RISC com até 16 MIPS	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6	Cortex-M3 ARM 32 bits
Frequência de Operação:	0 ~ 16MHz	80MHz ~ 240MHz	72MHz máx
Memória FLASH:	256 KB	4MB	64KB
Memória RAM/SRAM:	8 KB	520KB	20KB
Memória ROM/EEPROM	4 KB	448KB	20KB
Pinos de I/O:	54 pinos com 14 PWM	34 pinos com 16 PWM	37 pinos com 15 PWM
Conversores ADC (Analogico para Digital):	16	18	10
Conversores DAC (Digital para Analogico):	Nenhum	2 DAC	Nenhum
WiFi:	Somente com Shield	2,4 GHz	Não Possui
Bluetooth:	Não Possui	Bluetooth Low Energy v4.2 (BLE)	Não Possui
Controlador CAN	Não Possui	1	1
Interfaces de Módulos	I2C, SPI, 4 UART e LED PWM	SPI, SDIO, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR e CAN	SPI, I2C, USART, USB e CAN
Watchdog	1 Watchdog	4 Watchdogs	2 Watchdogs
Programação utilizando Arduino IDE	Possui interface	Possui interface	Possui interface
Gravador para debugar código	Não necessita	Não necessita	SWD(Serial Wire debugging)
Preço Médio (Modelo Original)	R\$120 (Brasil)	R\$48 (Brasil)	R\$45 (Brasil)

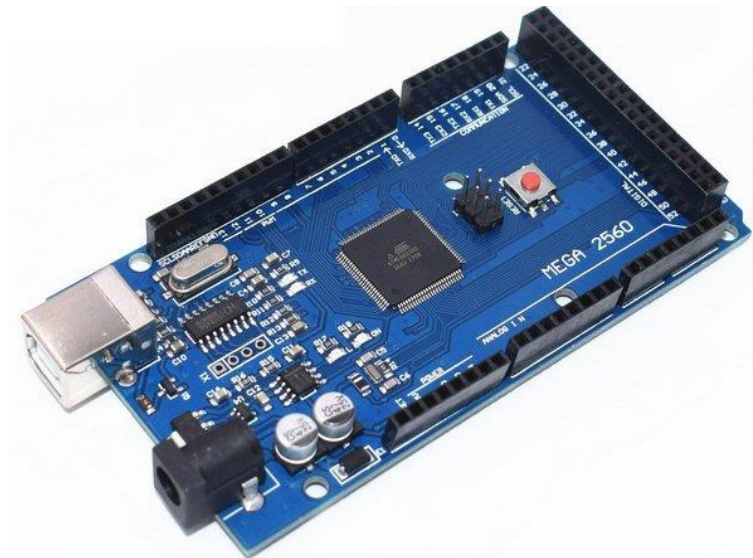


Figura 29 - Arduino Mega 2560 (Eletrogate, 2017)

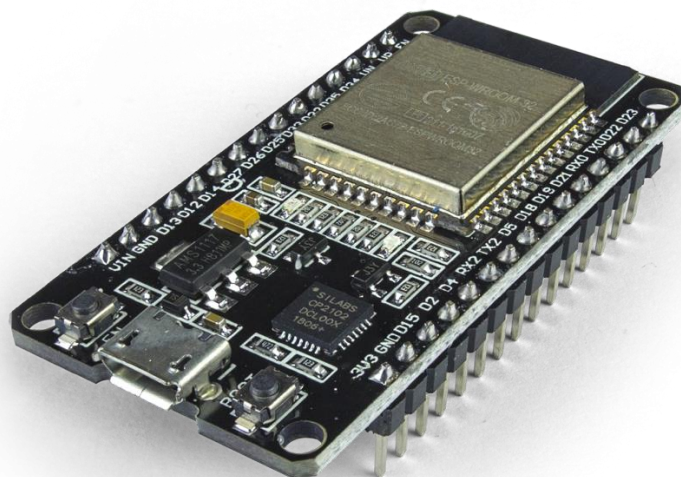


Figura 30 - ESP-WROOM-32 (Robocore, 2021)

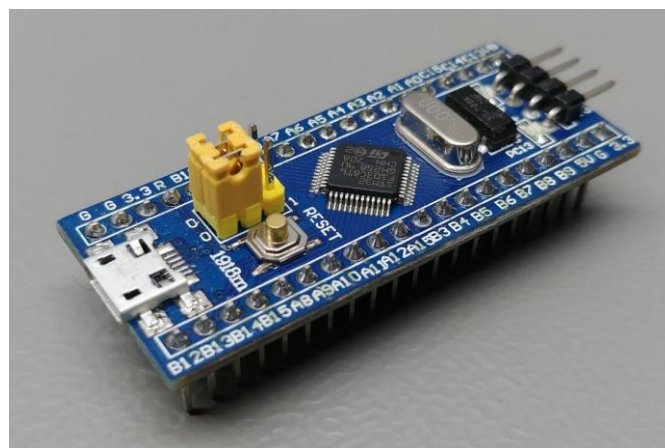


Figura 31- STM32F103C8T6 (STM32-base, 2021)

Ao final deste estudo comparativo notou-se que o ESP32 e o STM32 são componentes muito similares, porém o STM32 além de precisar do investimento de um gravador para debugar o código sua memória flash é muito inferior quando comparamos com o ESP32. Portanto, escolheu-se o ESP32 (representado na figura 22) pelas seguintes características:

- Possui controlador CAN
- Fácil integração com Arduino IDE
- Memória Flash de 4 Mb
- Opera em até 240 MHz

3.4. Transceiver

O transceiver possui a importante responsabilidade na camada física do protocolo de converter os bits das mensagens CAN em sinais diferenciais no barramento, sendo assim sua implementação é imprescindível para a implementação do protocolo CAN. Utilizou-se o transceiver TJA1050 da Philips para o nosso projeto, pois atendia nossos requisitos como:

- Até 110nós podem ser conectados
- Atende ao padrão ISO 11898
- VIN 3,3V~5V
- Até 1Mb de velocidade
- Custo médio de R\$ 15,00

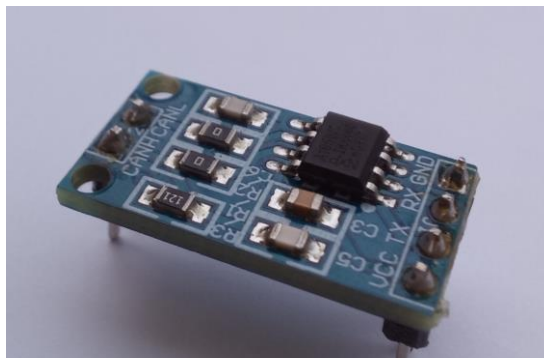


Figura 32 - Transceiver CAN TJA1050 (Próprio Autor, 2021)

3.5. Arquitetura eletrônica

Baseando-se nos componentes apresentados nos tópicos anteriores, foi projetado uma nova arquitetura eletrônica com o fundamento de otimizar todos os componentes e disposição para implementação de novos sensores e novas ECUs. Assim como apresentado na figura 6, a atual arquitetura eletrônica é composta por apenas um microcontrolador limitando a inclusão de novos sensores e novas ECUs, além de impossibilitar a inclusão do protocolo CAN.

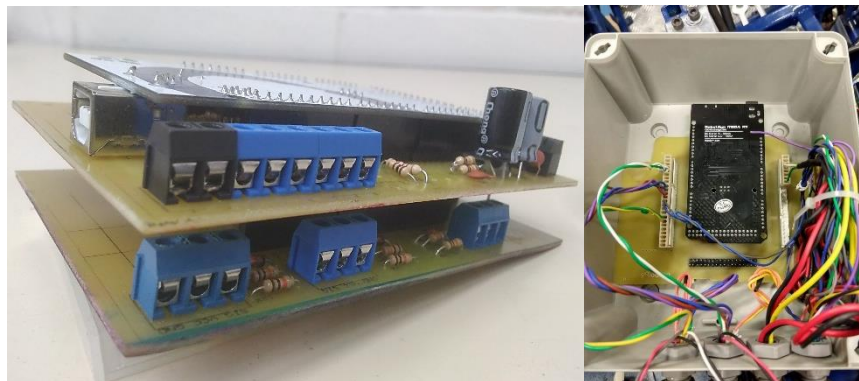


Figura 33- Atual ECU com Arduíno Mega 2560 (USJT BAJA, 2020)

A atual ECU atendeu a proposta de implementação dos sensores e display no veículo na competição de 2020, com isto foi estudado seu funcionamento para que tornar se o mais parecido possível. Com isto, para uma melhor robustez do sistema, foi distribuído os componentes em dois microcontroladores ESP32, conforme figura 34.

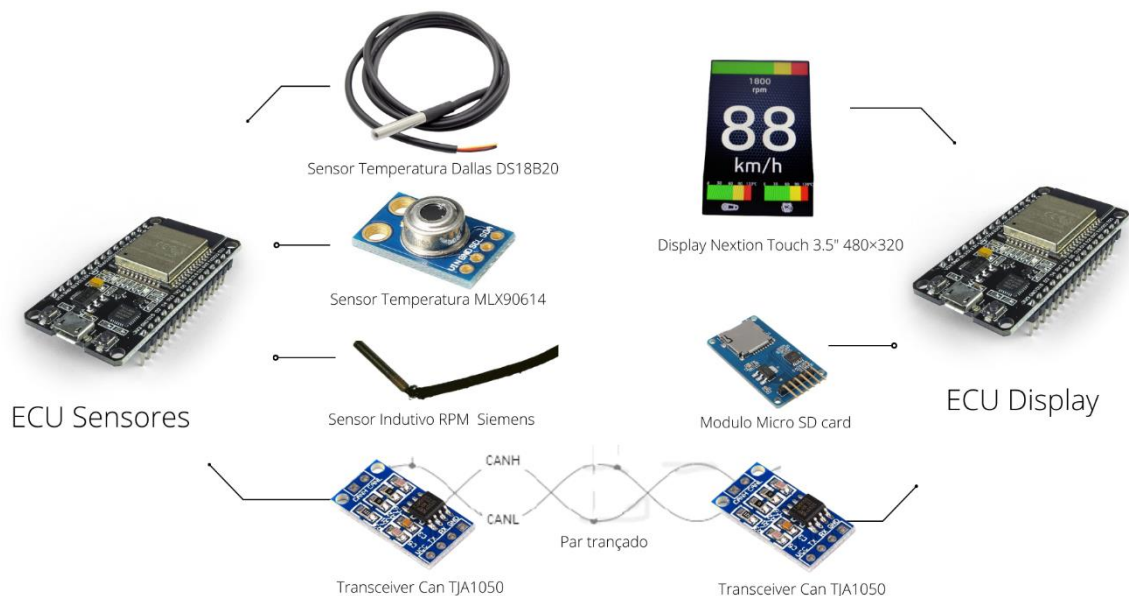


Figura 34 - Arquitetura Eletrônica com Protocolo CAN (Próprio autor, 2021)

Distribuiu-se as entradas dos dados na ECU Sensores e em seu código estas informações são enviadas pelo barramento CAN em 500Kbps para a ECU Display, onde esses dados são recebidos e convertidos informações decimais para que o Display Nextion possa transmitir na tela LCD e o Micro SD card armazenar os dados no micro SD card.

4. Resultados

4.1. PCB

Para o layout da PCB, foi utilizado o software Proteus, uma ferramenta profissional para este tipo de desenvolvimento.

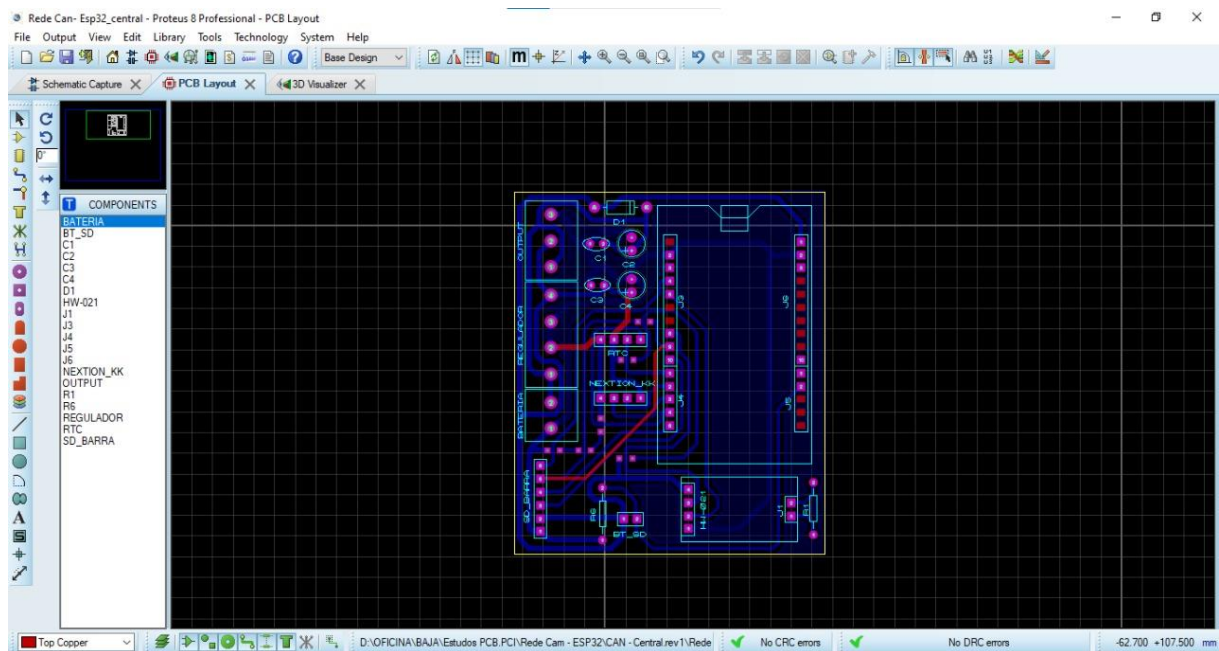


Figura 35- Interface do Proteus Fonte (Próprio Autor, 2021)

As trilhas foram desenvolvidas conforme norma, por conta da dificuldade em sua manufatura caseira, superdimensionamos as trilhas para não apresentarem falhas de continuidade durante a sua produção. Anexo 3 temos demonstra o gráfico usado para determinar a largura das trilhas das placas relacionadas a temperatura e corrente.

4.1.1. PCB ECU Display

Esta placa foi projetada para inclusão dos cabos do display, micro SD, transceiver CAN e microcontrolador ESP32.

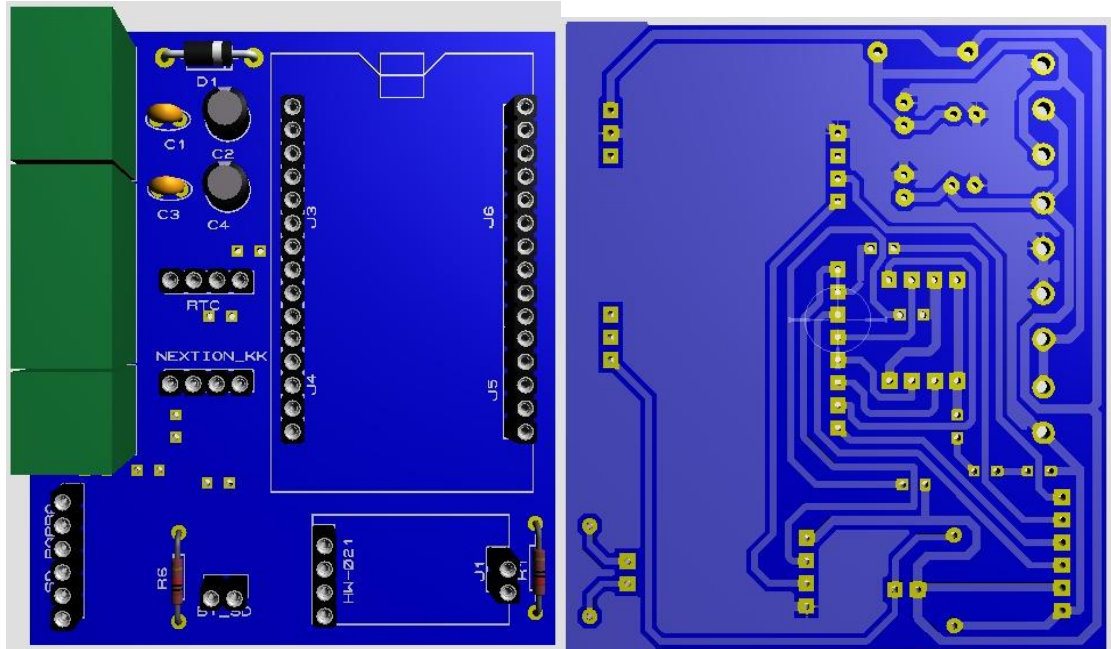


Figura 37 - PCB ECU Display (Próprio Autor, 2021)

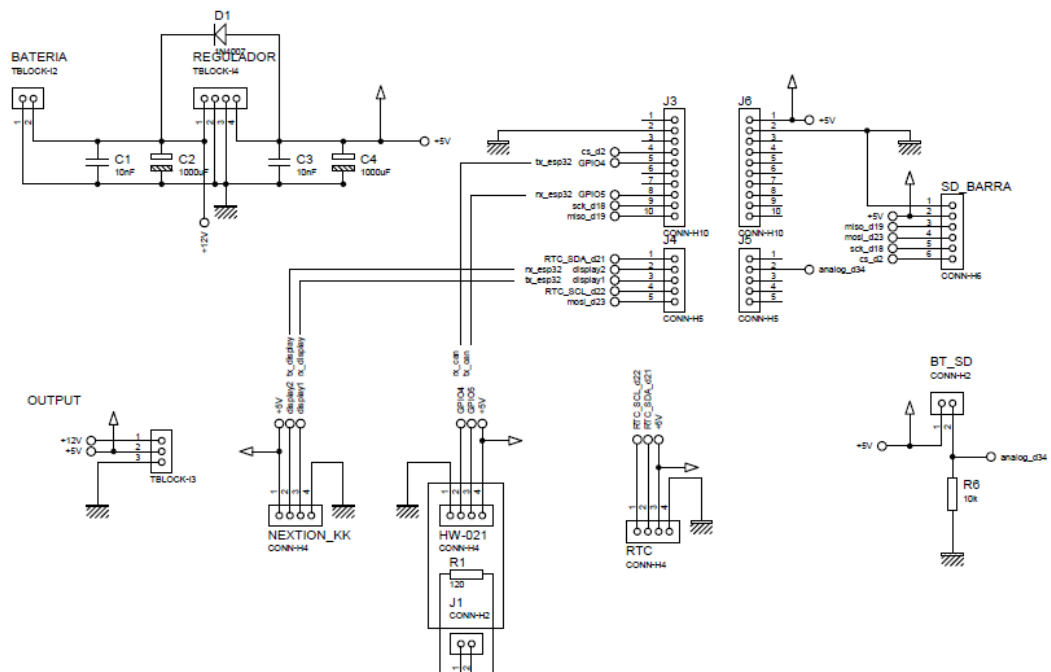


Figura 36 - Circuito Eletrônico ECU Display (Próprio Autor, 2021)

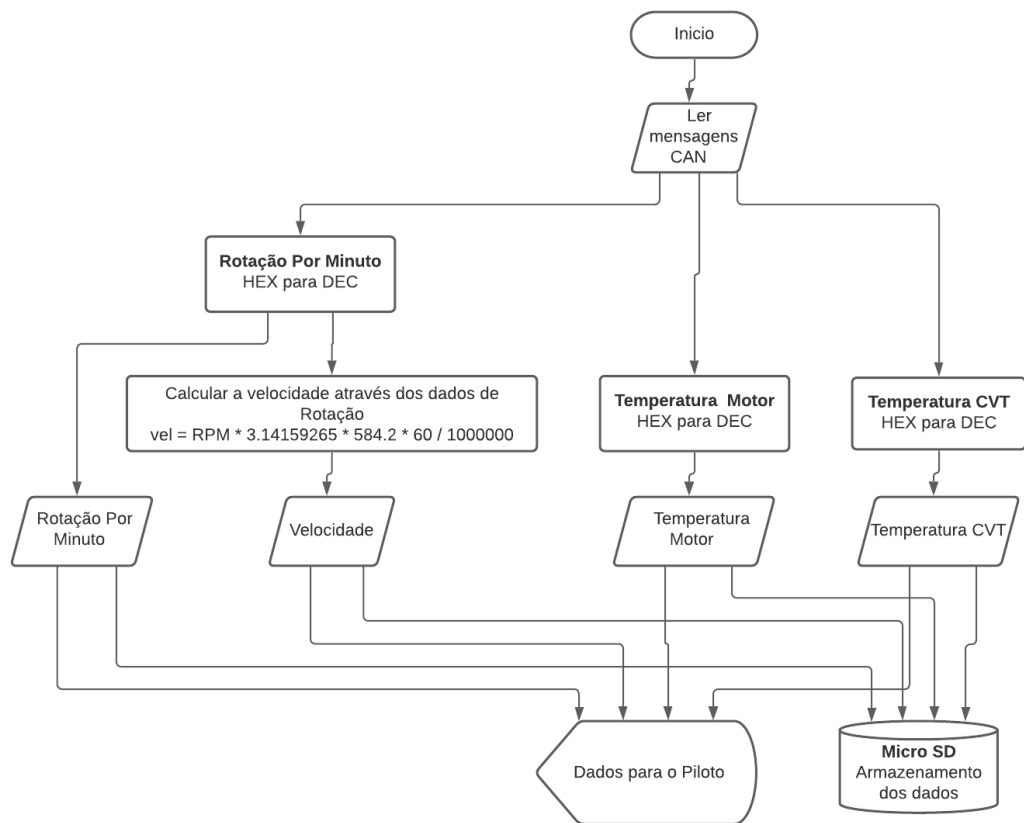


Figura 38 – Diagrama de Blocos ECU Display (Próprio autor, 2021)

4.1.2. PCB ECU Sensores

Esta placa foi projetada para inclusão dos sensores, transceiver CAN e microcontrolador ESP32.

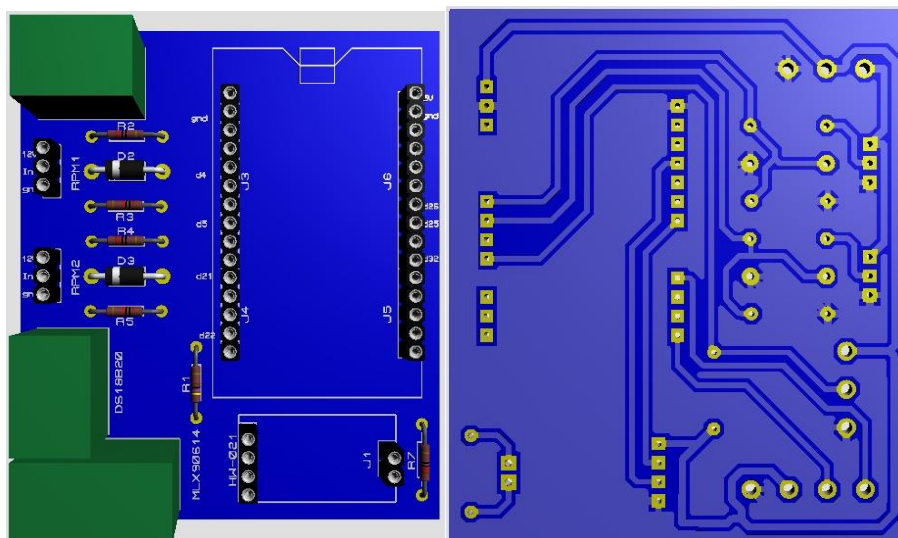


Figura 39- PCB ECU Sensores (Próprio Autor, 2021)



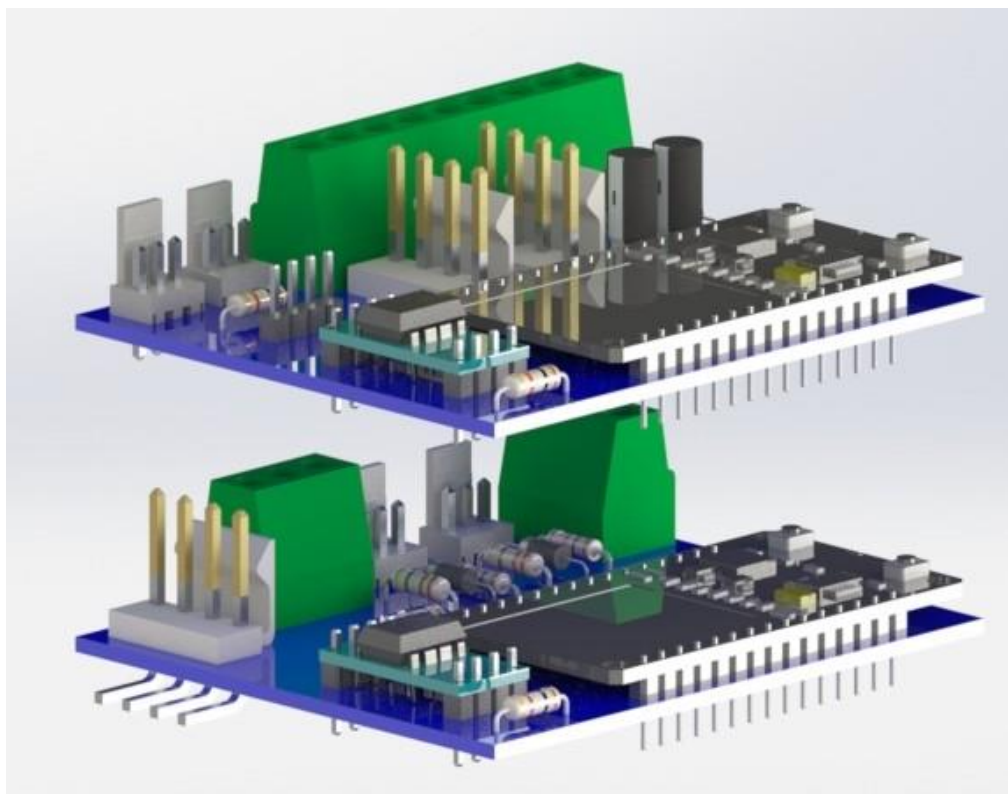


Figura 42 - ECU em 3D com componentes (Próprio Autor, 2021)

Iniciou-se a montagem dos componentes em duas protoboards simulando as duas PCBs que serão desenvolvidas para comportar os componentes. Com a arquitetura disposta nas protoboards, iniciou-se o desenvolvimento do software de ambas ECUs. Toda lógica de programação foi realizada no Arduino IDE.

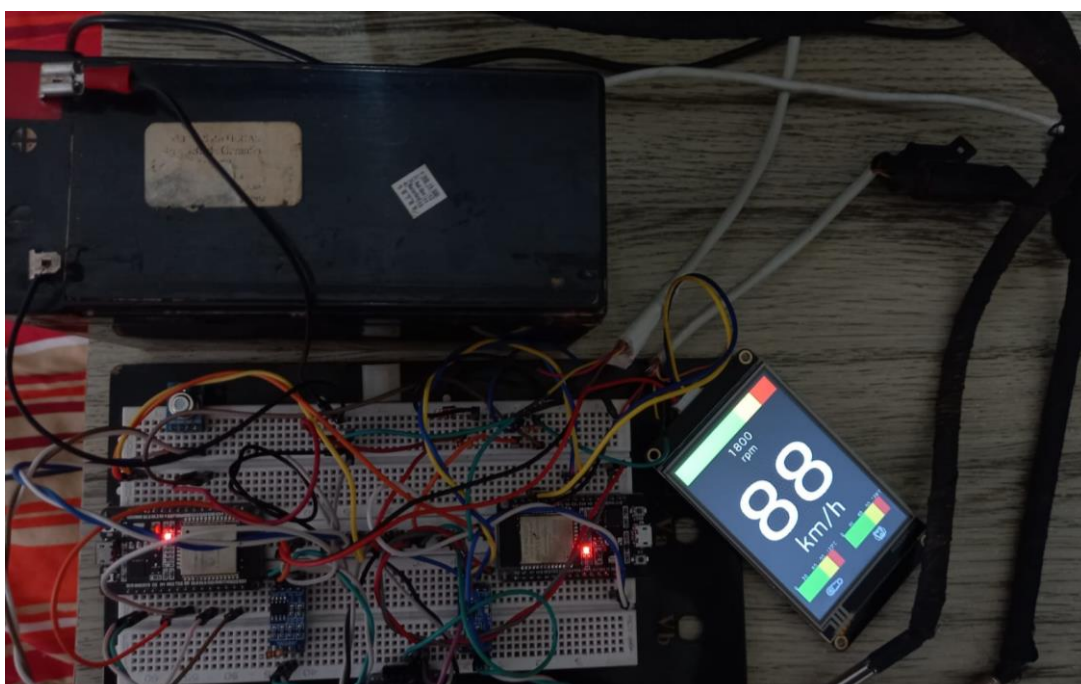


Figura 43- ECUs dispostas na Protoboard (Próprio Autor, 2021)

Durante a montagem do mesmo observou-se que alguns sensores são alimentados em 12Vdc e foi incluído alguns componentes como regulador de tensão L7805 para regular a tensão para os demais componentes, que em sua maioria são alimentados em 5V.

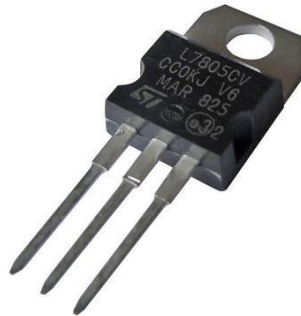


Figura 44 - Regulador de Tensão (USJT BAJA SAE, 2021)

Foi disposto na protoboard todos os componentes, conectados da seguinte forma

USJT BAJA - PROJETO: Protocolo CAN	
PLACA: SENSORES	
COMPONENTE	Possíveis portas (SINAL)
DS18B20	D32
CAN_RX	D4
CAN_TX	D5
MLX90614_SCL	D22
MLX90614_SDA	D21
RPM 1	D26
PLACA: CENTRAL	
COMPONENTE	Possíveis portas (SINAL)
NEXTION_RX	TX0
NEXTION_TX	RX0
CAN_RX	D4
CAN_TX	D5
MICRO_SD-MISO	D19
MICRO_SD-MOSI	D23
MICRO_SD-SCK	D18
MICRO_SD-CS	D5

Figura 45 - Pinout ECUs (Próprio Autor, 2021)

Ao alimentar a protoboard, conectou-se no barramento CAN a ferramenta de análise de protocolo CAN, PEAK-CAN, através de um conector DB9 são conectados uma derivação da CAN High e CAN Low.

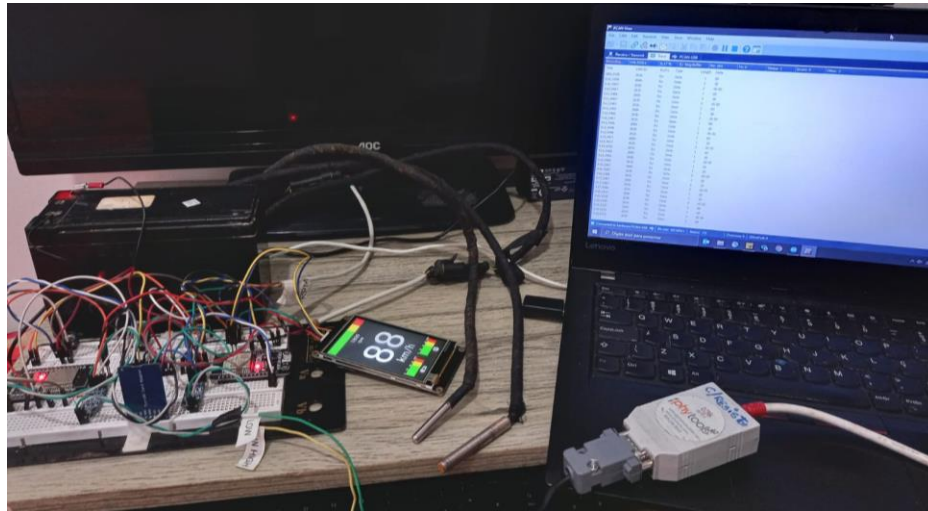


Figura 46 - Ferramenta de Análise de Protocolo CAN conectado no Barramento (Próprio Autor, 2021)

Através do cabo USB é conectado no computador o PEAK CAN, onde o mesmo terá a visualização dos dados através do software PCAN-VIEW. Ao inicializar o Software deve-se selecionar a velocidade de 500Kbps e inicializar a comunicação. Os dados poderão ser visualizados na tela na área “Reciver” com seu respectivo CAN ID e sua mensagem em 8 bits.

CAN-ID	Type	Length	Data	Cycle Time	Count
200h		1	1A	997,9	56
201h		1	00	998,0	51
202h		2	00 18	998,0	46

Figura 47 - PCAN-View resumo das mensagens recebidas no barramento (Próprio Autor, 2021)

Por ser uma aplicação simples os dados serão transmitidos em apenas 4 bits.

As mensagens foram determinadas da seguinte forma:

- **CAN ID 200:** Temperatura CVT
- **CAN ID 201:** Temperatura Motor
- **CAN ID 202:** RPM

As mensagens CAN poderão ser visualizadas na área “receive”, mostrando o CAN-ID, tamanho da mensagem, os dados em hexadecimal, periodicidade e quantas vezes ela foi transmitida. Na Aba Trace podemos ver as mensagens sendo enviadas uma a uma, podendo ser observada em tempo real, e verificando interações no barramento.

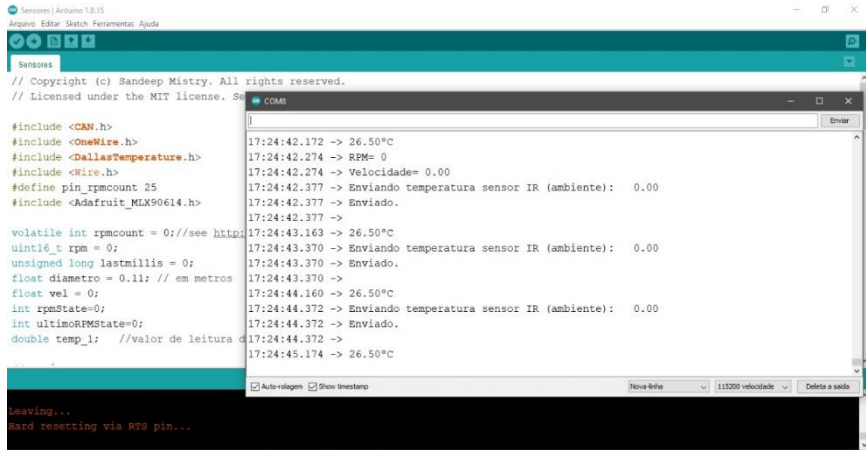
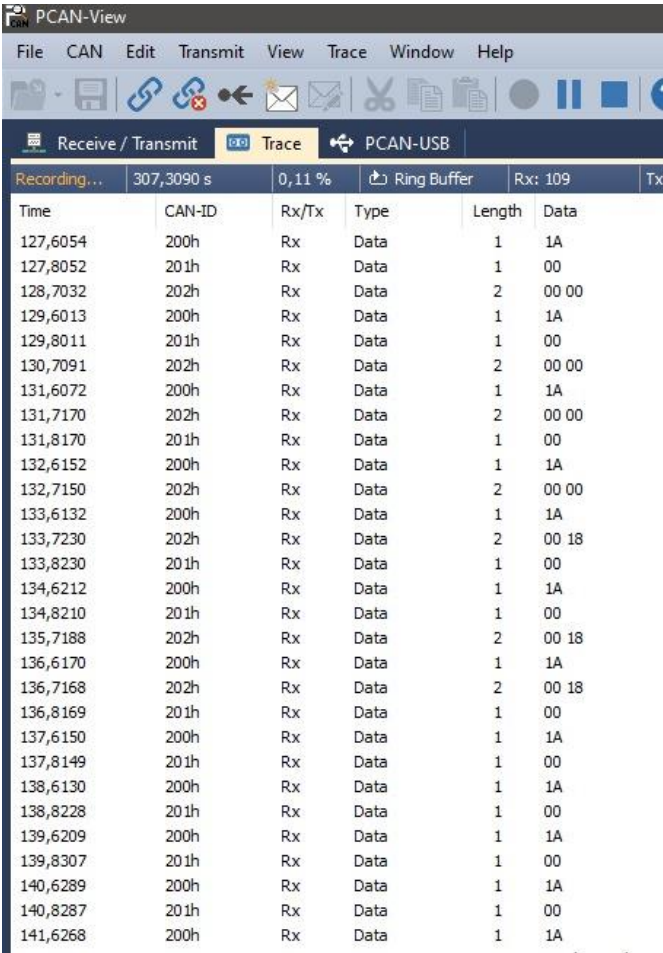


Figura 48 - Mensagens Seriais de Confirmação no Arduíno IDE (Próprio Autor, 2021)



Time	CAN-ID	Rx/Tx	Type	Length	Data
127,6054	200h	Rx	Data	1	1A
127,8052	201h	Rx	Data	1	00
128,7032	202h	Rx	Data	2	00 00
129,6013	200h	Rx	Data	1	1A
129,8011	201h	Rx	Data	1	00
130,7091	202h	Rx	Data	2	00 00
131,6072	200h	Rx	Data	1	1A
131,7170	202h	Rx	Data	2	00 00
131,8170	201h	Rx	Data	1	00
132,6152	200h	Rx	Data	1	1A
132,7150	202h	Rx	Data	2	00 00
133,6132	200h	Rx	Data	1	1A
133,7230	202h	Rx	Data	2	00 18
133,8230	201h	Rx	Data	1	00
134,6212	200h	Rx	Data	1	1A
134,8210	201h	Rx	Data	1	00
135,7188	202h	Rx	Data	2	00 18
136,6170	200h	Rx	Data	1	1A
136,7168	202h	Rx	Data	2	00 18
136,8169	201h	Rx	Data	1	00
137,6150	200h	Rx	Data	1	1A
137,8149	201h	Rx	Data	1	00
138,6130	200h	Rx	Data	1	1A
138,8228	201h	Rx	Data	1	00
139,6209	200h	Rx	Data	1	1A
139,8307	201h	Rx	Data	1	00
140,6289	200h	Rx	Data	1	1A
140,8287	201h	Rx	Data	1	00
141,6268	200h	Rx	Data	1	1A

Figura 49 - Trace do Barramento CAN (Próprio Autor, 2021)

5. Considerações Finais

Em resumo ao que foi proposto, é possível perceber que esta arquitetura eletrônica atribuiu tecnologia ao veículo, possibilitando aprendizado e vivência com ferramentas e teoria que são implementadas nos veículos atualmente, além de possibilitar o aumento de novos sensores e novas ECUs para coleta e análise dos dados

Ao conectar no barramento as ferramentas de análise CAN é possível observar as mensagens sendo enviadas através da aba Trace, com a periodicidade de 500Kbps, as mensagens estão sendo enviadas corretamente nos CAN Ids correspondentes com seus valores sendo enviados nos dois primeiros bits, consequentemente, o objetivo principal está concluído. A arquitetura eletrônica ainda necessita de alguns ajustes de desempenho, pois o mesmo foi testado apenas na protoboard. Os sensores de temperatura MLX e Dallas transmitem seus valores corretamente no barramento sem impedimentos, o sensor de rotação por minuto precisa ser testado com o Ecooder e a CVT para validação de dados, pois testando em bancada não é possível atingir a rotação mínima para obter o valor da velocidade no Display, apenas o valor de rotação é enviado no barramento em 2 bits.

Por fim, é sugerido como trabalhos futuros validação da arquitetura no veículo e nas placas PCBs que serão impressas para a competição, os quais não puderam ser testados a tempo para a apresentação neste trabalho de conclusão de curso, pois os componentes que serão instalados os sensores ainda estão em construção.

Referências

ALAM, Md Swawibe Ul. Securing vehicle Electronic Control Unit (ECU) communications and stored data. 2018. Tese de Doutorado. Queen's University (Canada).

BALDISSERA, Emanuel Nunes. **Decodificador de dados usando protocolo CAN – Padrão SAE**. 2011. Tese (Graduação em Engenharia Elétrica com Ênfase em Eletrônica Telecomunicações). Universidade de Passo Fundo, 2011.

Bates, Martins. Interfacing PIC Microcontrollers. Embedded Design by Interactive Simulation. 2014. Second Edition

Black Box LAB. **Dimensionamento de espessura de trilha por corrente aplicada**. <<https://blackboxlab.wixsite.com/home/single-post/2016/04/18/dimensionamento-de-espessura-de-trilha-por-corrente-aplicada>>. Acesso em 30 Out 2021.

BRAUN, Peter et al. Guiding requirements engineering for software-intensive embedded systems in the automotive industry. **Computer Science-Research and Development**, v. 29, n. 1, p. 21-43, 2014.

CAN in Automation. **History of CAN technology**. <<https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/>> Acesso em: 24 de Novembro de 2021.

CESUR, Idris et al. The effects of electronic controlled steam injection on spark ignition engine. **Applied Thermal Engineering**, v. 55, n. 1-2, p. 61-68, 2013.

Cortese, D., Kumar, S., and Fabbri, P., "Efficient CAN Protocol Development Process," SAE Technical Paper 2008-01-0381, 2008, <https://doi.org/10.4271/2008-01-0381>.

CSS Electronics. **CAN Bus Explained - A Simple Intro (2021)**. Disponível em: <<https://www.csselectronics.com/pages/can-bus-simple-intro-tutorial>> Acesso em: 31 de Outubro de 2021.

Deloitte Development LLC..**Global automotive consumer study 2021**. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/consumer-business/articles/global-automotive-consumer.html>>

Eletrogate.**Arduino Mega 2560**. <<https://www.eletrogate.com/mega-2560-r3-ch340-cabo-usb-para-arduino>> Acesso em: 03 de Maio de 2021.

ELETRU'S. **Sensor-indutivo-3RG4011**. <<https://www.eletruscomp.com.br/produto/sensor-indutivo-3rg4011-7af05/>> Acesso em: 03 de Dezembro de 2021.

EPOCA NEGOCIOS. **Por que a falta de chips para as fábricas?** <<https://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2021/03/epoca-negocios-por-que-a-falta-de-chips-para-as-fabricas.html>> Acesso em: 24 de Novembro de 2021.

ESTADÃO. **Por que a falta de chips tem parado fabricação dos carros?**. <<https://www.estadao.com.br/infograficos/economia,por-que-a-falta-de-chips-tem-parado-a-fabricacao-dos-carros,1156135>> Acesso em: 24 de Novembro de 2021.

Fuhrman, T., Wang, S., Jersak, M., and Richter, K., "On Designing Software Architectures for Next-Generation Multi-Core ECUs," SAE Int. J. Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst. 8(1):115-123, 2015, <https://doi.org/10.4271/2015-01-0177>.

GUIMARÃES, A.D.A. Eletrônica Automotiva Embarcada. São Paulo: Érica

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. Um Roteiro de Implementação de Uma Rede CAN (*Controller Area Network*). 2003. Dissertação (Mestrado em Sistemas Digitais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. **P. 22**

GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. **Um Roteiro de Implementação de Uma Rede CAN (*Controller Area Network*)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Sistemas Digitais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 11898-1:2015: Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 1: Data link layer and physical signalling. Informação e documentação - Referências – Elaboração: ISO, 2015

KMPG LLC. **Automotive Semiconductors: The new ICE age** . Disponível em: <<https://advisory.kpmg.us/articles/2019/automotive-semiconductors.html> >

NAVET, Nicolas; SIMONOT-LION, Françoise (Ed.). Automotive embedded systems handbook. CRC press, 2017.

PEAK CAN. **PCAN-USB**. Disponível em: <<https://www.peak-system.com/PCAN-USB.199.0.html>> Acesso em: 05 de Novembro de 2021.

PHILIPS SEMICONDUCTORS. **TJA1050 Product Specification**. PHILIPS, 2003

RICHARDS, P. A CAN Physical Layer Discussion. 2002

Robert Bosch GmbH. **Data network for the car: The Controller Area Network CAN** <<https://www.bosch.com/stories/the-controller-area-network/>> Acesso em: 24 de Novembro de 2021.

ROBO CORE. **ESP32 - WiFi + Bluetooth**.<<https://www.robocore.net/wifi/esp32-wifi-bluetooth>> Acesso em: 03 de Maio de 2021.

SAE BRASIL. **REGULAMENTO BAJA SAE BRASIL (RATBSB)**. Disponível em: <<https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sudeste/regras-e-relatorios/>> Acesso em: 02 de Novembro de 2021.

SAE Brasil. **Baja Nacional**. Disponível em: <<https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/>>. Acesso em 23 jul. 2021.

SAE International. **About SAE International**. <<https://www.sae.org/about/history>>. Acesso em 30 Set 2021.

SALVADOR, R. P. et al. Influence of accelerator type and dosage on the durability of wet-mixed sprayed concrete against external sulfate attack. **Construction and Building Materials**, v. 239, p. 117883, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117883>>

Saraiva, A.M. Um roteiro de Implementação de Uma Rede CAN (CONTROLLER AREA NETWORK), Artigo – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, **P.5**

Saraiva, A.M. Um roteiro de Implementação de Uma Rede CAN (CONTROLLER AREA NETWORK), Artigo – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, **P.5**

Stevan Jr., S. and Farinelli, F., "CAN-Bus Remote Monitoring: Standalone CAN Sensor Reading and Automotive Diagnostics," SAE Intl. J CAV 2(1):27-46, 2019, <https://doi.org/10.4271/12-02-01-0003>.

STM32-Base.**Blue Pill STM32F103C8T6**.<<https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill.html>> Acesso em: 03 de Maio de 2021.

TANENBAUM, A.S. **Rede de computadores** São Paulo: Pearson Pearson Prentice Hall. 2011

Toulson, R; Wilmschurs, T. Fast and Effective Embedded Systems Design. Applying the ARM mbed. 2012. DOI <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05109-8>

Vector Informatik GmbH. **Introduction to CAN (EN) - Frame Types**. Disponível em: <<https://elearning.vector.com/mod/page/view.php?id=344>>Acesso em: 28 de Outubro de 2021.

Topologia de Redes de dados

Quando há uma rede de computadores, os dados necessitam trafegar por um meio físico, interligando todos os dispositivos que compõe a rede. Os caminhos que os dados percorrem são definidos como topologias. A tabela 1 apresenta as diferentes topologias que pode ser implementada em um veículo.

Tabela 3 – Descrição das Topologias (Lopes, 2007, apud TITTEL, 2003, p. 15).

Topologias de Redes	
Topologia	Descrição
Barramento	Similar a arquitetura de barramento que conecta a memória principal à CPU. Consiste num caminho simples de dados que conecta a ele mesmo todos os dispositivos da rede, de modo que somente um dispositivo por vez pode usar o barramento.
Anel	É uma rede onde cada dispositivo da rede transmite somente para seu vizinho posterior e recebe dados somente de seu vizinho anterior. Caso um dispositivo queira receber dados do seu vizinho posterior mais próximo, estes dados terão que trafegar todo o anel, passando por todos os outros dispositivos até recebê-los.
Ponto-a-Ponto	A rede ponto-a-ponto é o tipo mais simples, para poucos dispositivos. Esta rede é formada por um único enlace entre dois dispositivos. Quando muitos dispositivos precisam se conectar com vários outros dispositivos, várias redes ponto-a-ponto são combinadas, configurando uma estrela ou malha.
Estrela	Nesta configuração, um dispositivo central é conectado a todos os outros dispositivos da rede para realizar a comunicação entre eles.
Malha	Para conectar todos os dispositivos entre si, é necessário $(n-1)/2$ conexões (onde n é o número de dispositivos da rede). Esta rede, apesar de complexa e de custo elevado, tem a vantagem de ser muito rápida, pois um dispositivo na rede tem conexão ponto-a-ponto com qualquer outro dispositivo, transmitindo os dados diretamente. Existem redes chamadas de malha parciais, que eliminam os enlaces raramente usados.
Híbrida	É a combinação de uma ou mais topologias, tentando tirar o melhor proveito de cada uma delas.

Modelo OSI

O modelo OSI foi desenvolvida pela ISO como primeira implementação a fim de padronizar internacionalmente os protocolos de comunicação que são utilizados em várias camadas (Tanenbaum, 2011 apud Day et Zimmermann, 1983, p. 25). Atualmente este modelo não é um dos mais utilizados, mas sua aplicabilidade pode ser encontrada em diversos segmentos.

Tabela 4 – Modelo de Referência OSI (Tanenbaum, 2003, p. 37)

Camadas do Modelo de Referência OSI	
Topologia	Descrição
7 - Aplicação	Esta camada contém uma série de protocolos comumente necessários aos usuários. Ela é responsável por fornecer uma interface aos softwares de computador, permitindo que estes sejam escritos apenas uma vez e utilizados em diferentes tipos de redes.
6 - Apresentação	Esta camada é a responsável pela tradução dos dados para um formato padrão. ASCII, JPEG e MP3 são alguns exemplos. Ela também é responsável pela compressão, criptografia e decifração dos dados com objetivos de segurança.
5 – Sessão	Esta é a camada responsável por estabelecer, manter e encerrar sessões na rede. É ela quem administra o reconhecimento de nomes e algumas características de acesso, como quando e por quanto tempo um dispositivo pode transmitir.
4 - Transporte	Esta camada é responsável pela preparação dos dados a serem transferidos. É ela quem gerencia o controle de fluxo, a correção de erros e divide os dados trafegados em blocos de tamanhos adequados para a rede.
3 - Rede	A camada de rede é responsável por atribuir um endereço único e global para os dispositivos conectados nesta e prover direções de qualquer ponto a qualquer outro ponto da rede. De modo geral, a qualidade do serviço fornecido (retardo, tempo em trânsito, instabilidade etc.) também é uma questão da camada de rede.
2 - Enlace	A principal tarefa da camada de enlace é transformar um canal de transmissão bruto numa linha que pareça livre de erros para a camada de rede. Ela faz com que o transmissor divida os dados em quadros de dados (em geral, algumas centenas ou milhares de bytes) e os transmita sequencialmente. Também é a camada de enlace que realiza os controles de erro e fluxo, além da atribuição de endereços físicos a cada um dos dispositivos de enlace. Para estes fins a camada de enlace é subdividida em duas outras camadas: LLC (Controle Lógico de enlace) e MAC (Controle de acesso ao meio).
1 – Física	Esta é a camada mais baixa, responsável pela definição e reconhecimento de um bit (dígito binário 0 ou 1), o projeto de rede deve garantir que quando um lado enviar um bit 1, ele seja recebido pelo outro lado como um bit 1, não como um bit 0. Esta também é a camada onde estão definidos os meios de transmissão, inclusive o tamanho dos cabos, interfaces de conexões (Terminações de cabos) e tensão.

GRÁFICO USADO PARA DETERMINAR A CORRENTE, A LARGURA DAS TRILHAS DE COBRE EM VÁRIAS ELEVÇÕES DE TEMPERATURA ACIMA DA TEMPERATURA AMBIENTE

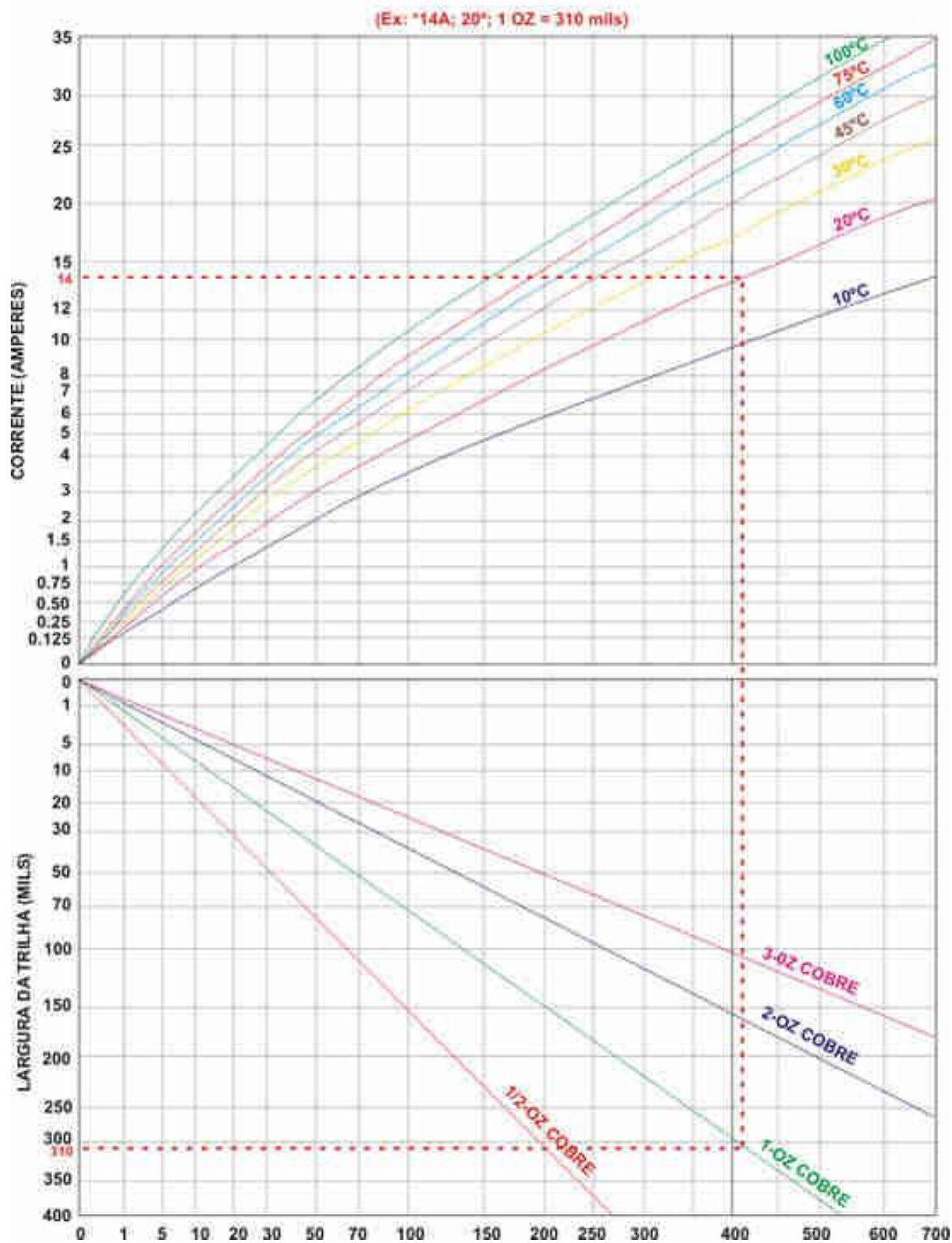


Figura 50 - Dimensionamento de espessura de trilha por corrente aplicada (Black Box LAB)