

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS EMBARCADOS  
PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

RENATO DIAS DE CARVALHO

**INTERFACE LIN – BLUETOOTH LOW ENERGY: controle de perfis  
de motoristas e aquisição de dados**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2017

RENATO DIAS DE CARVALHO

**INTERFACE LIN – BLUETOOTH LOW ENERGY: controle de perfis  
de motoristas e aquisição de dados**

Monografia de Especialização,  
apresentado ao Curso de Especialização  
em Sistemas Embarcados para a  
Indústria Automotiva, do Departamento  
Acadêmico de Eletrônica, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR,  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Especialista.

Orientador: Prof. André Schneider de  
Oliveira

CURITIBA  
2017



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Curitiba

DIRPPG  
DAELN  
CESEB



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**INTERFACE LIN – BLUETOOTH LOW ENERGY – CONTROLE DE PERFIS DE  
MOTORISTAS E AQUISIÇÃO DE DADOS**

por

**RENATO DIAS DE CARVALHO**

Esta Monografia foi apresentada em 18 de dezembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. André Schneider de Oliveira  
Orientador

---

Prof. Dr. Edenilson José Da Silva  
Membro titular

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Coordenador do Curso

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e vontade de aprender. Agradeço aos meus pais por sempre me incentivarem em meus estudos e vida profissional. Agradeço também à minha esposa pelo incentivo, suporte e compreensão.

## RESUMO

DIAS DE CARVALHO, Renato. **INTERFACE LIN – BLUETOOTH LOW ENERGY: controle de perfis de motoristas e aquisição de dados**. 2017. 28f. Monografia (Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo que tem por objetivo fazer a interface de uma rede LIN automotiva com um dispositivo Bluetooth Low Energy, visando automatizar ajustes do veículo baseado em um perfil do motorista conectado, além de transmitir as mensagens do barramento LIN a um dispositivo através de uma conexão sem fio. Serão apresentadas as considerações sobre o hardware a ser utilizado, sua montagem e o desenvolvimento do firmware. Mais adiante é mostrado como o dispositivo foi testado, como se comportou durante os testes e que modificações podem ser feitas para melhorias nas funcionalidades.

**Palavras chave:** LIN. Bluetooth. Interface. Rede veicular.

## **ABSTRACT**

DIAS DE CARVALHO, Renato. **LIN – Bluetooth Low Energy Interface**. 2017. 28f. Monografia (Curso de Especialização em Sistemas Embarcados para a Indústria Automotiva), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

This paper presents the development of a device with the purpose of interfacing an Automotive LIN network with a Bluetooth Low Energy device, aiming for automating vehicle adjustments based on the connected driver profile, as well as transmitting LIN Bus messages to another device via a wireless connection. It will be presented the considerations about the hardware used, the assembly and the firmware development. Further below it is shown how the device was tested, how it worked during the tests and what modifications can be made to improve the devices' features.

**Keywords:** LIN. Bluetooth. Interface. Vehicle network.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura de um frame LIN .....	15
Figura 2- Circuito de integração do Master BLE à LIN.....	17
Figura 3- Master BLE instalado seccionando o barramento .....	18
Figura 4: Master BLE instalado como um nó em paralelo.....	18
Figura 5- Fluxograma dos estados .....	19
Figura 6- Serviço do usuário e suas características vistas pelo aplicativo .....	22
Figura 7- Circuito de testes .....	23
Figura 8- Circuito de testes montado .....	24
Figura 9- Operação de escrita na característica Perfil.....	26

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 – Mensagens enviadas pelo Master LIN.....</b>	<b>23</b>
---	-----------



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
ID	Identificador
LIN	<i>Local Interconnect Network</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i>

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 PROBLEMA .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	12
1.2.1 Objetivo Geral .....	12
1.2.2 Objetivos Específicos .....	13
1.3 JUSTIFICATIVA .....	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
<b>2 LIN E BLUETOOTH LOW ENERGY .....</b>	<b>14</b>
2.1 INTRODUÇÃO A LIN .....	14
2.2 MÉTODO DE TRANSMISSÃO.....	14
2.3 INTRODUÇÃO AO BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE) .....	15
<b>3 INTEGRAÇÃO LIN – BLE .....</b>	<b>16</b>
3.1 ESTUDO DA INTEGRAÇÃO FÍSICA LIN - BLE .....	17
3.2 DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE.....	18
3.2.1 FUNCIONALIDADES POSSÍVEIS .....	20
3.2.2 SERVIÇO PARA COMUNICAÇÃO BLE.....	21
3.3 CIRCUITO DE TESTES .....	22
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
4.1 DESCRIÇÃO GERAL DOS RESULTADOS .....	25
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Inicialmente os veículos eram 100% mecânicos. Com o passar dos anos, a eles foram adicionadas as partes elétricas e eletrônicas, visando melhor desempenho e conforto. Funções simples como acionar um motor ou comutar chaves passaram a ser comandadas por processadores e sensores, dispositivos estes presentes cada vez em maior quantidade e que, em muitos casos, estão conectados à uma rede. Estando os dispositivos em rede é possível atuar e obter informações sobre várias partes do veículo de forma centralizada e mais detalhada.

Assim como informações podem estar centralizadas em um carro, com o mundo possuindo cada vez mais dispositivos conectados, grande parte das informações necessárias a uma pessoa no seu dia a dia pode ser adquirida também de forma centralizada em um único dispositivo, seu smartphone. Além da facilidade de acesso à informações, há uma grande variedade de dispositivos que podem ser controlados através de smartphones, inclusive algumas funções em veículos, sendo as mais comuns delas a capacidade de reproduzir músicas do telefone e atender à ligações utilizando o sistema multimídia do carro através de uma conexão *Bluetooth*.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo que possibilita a conexão de uma rede veicular LIN à dispositivos Bluetooth Low Energy, principalmente um smartphone, sendo possível que dispositivos que são controlados através da rede sejam configurados e recebam comandos de acordo com o motorista conectado automaticamente, além de captar as mensagens que trafegam no barramento e enviá-las, fornecendo assim informações que possibilitem diagnósticos caso pretendido.

## 1.1 PROBLEMA

A grande maioria dos veículos que possuem controles eletrônicos de janelas, retrovisores e ajuste de posição de bancos, os faz por meio de circuitos microprocessados que atuam em motores de corrente contínua. Basicamente, estes circuitos recebem uma entrada por meio de um botão e, de acordo com o momento em que o botão foi pressionado, ou o tempo em que botão permaneceu pressionado, o motor é atuado e é feita uma estimativa da posição do dispositivo com base na contagem de pulsos de ruído do motor. Esta informação é utilizada

durante o processamento. Para atuar nesses tipos de dispositivos, é necessária uma ação do usuário, ou que outro dispositivo reproduza os níveis de tensão necessários na entrada do circuito de cada um dos dispositivos.

Em veículos nos quais estes dispositivos são controlados por meio da LIN, a quantidade de informação a ser recebida e enviada aumenta. Os comandos continuam inicialmente sendo apenas níveis lógicos ou tensões analógicas, mas estes são codificados como mensagens seriais que trafegam em uma rede, com sincronismo, endereçamento e verificação de erros. Os circuitos microprocessados passam a ler todas as mensagens que são enviadas ao barramento, e caso a mensagem seja direcionada a um dispositivo, este a interpreta e realiza a tarefa correspondente para a qual foi programado, podendo neste caso ser atuar em um motor. A informação de posição que é calculada também pode ser enviada como mensagem de resposta a rede, para que outros dispositivos tenham conhecimento desse dado, além da possibilidade de enviar o código de algum erro que tenha ocorrido durante o funcionamento do dispositivo. Diferentemente do que foi apresentado no parágrafo anterior, como os dispositivos estão em rede, basta que as mensagens corretas trafeguem pela rede para que se possa atuar em um deles, necessitando apenas do gerador das mensagens.

Diante do apresentado acima, pretende-se criar um dispositivo que, inserido na rede, gere as mensagens que farão atuar os dispositivos do veículo automaticamente ao conectar-se ao smartphone do motorista, ajustando-os de acordo com suas preferências, além de poder enviar as mensagens recebidas via BLE para outros dispositivos. Tal dispositivo será doravante chamado Master BLE.

## 1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho, relativos ao problema anteriormente apresentado.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um dispositivo que possa ser conectado à LIN e identificar as mensagens que por ela trafegam, podendo enviar estas mensagens e receber comandos via BLE e enviar mensagens a outros dispositivos na rede.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar os materiais necessários para a construção do hardware que possa se comunicar com a LIN;
- Desenvolver o protótipo do dispositivo;
- Desenvolver o firmware.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O mundo está em plena era da conectividade. Interatividade, informação e automações são constantes de forma a oferecer mais conforto e percepção de sofisticação aos usuários. Introduzir tal dispositivo seria mais um opcional ao motorista dentro da tendência atual, possuindo um veículo conectado e que se adapte, com a vantagem de ser um dispositivo de baixo custo.

O Master BLE também cria a possibilidade do desenvolvimento de outros produtos que possam interagir com o veículo, como por exemplo um sensor que possua BLE e seja instalado em uma cadeirinha para bebê, caso haja algum peso sobre a cadeirinha, o dispositivo fica ativo. Se o carro for desligado e trancado, o Master BLE se comunica com o dispositivo na cadeirinha, caso ainda haja peso sobre ela, o dispositivo envia uma notificação ao Master BLE e este pode enviar uma mensagem na rede para ativar o alarme do carro ou enviar uma notificação para o telefone do condutor e assim chamar sua atenção.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho terá a estrutura abaixo apresentada:

**Capítulo 1 - Introdução:** serão apresentados o tema, o problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.

**Capítulo 2 – LIN e Bluetooth Low Energy:** serão apresentados os funcionamentos das tecnologias.

**Capítulo 3 – Interface LIN – BLE:** será apresentado o desenvolvimento do estudo, como se deu a criação do protótipo para testes e descrição do firmware.

**Capítulo 4 – Apresentação e Análise dos Resultados:** apresenta os resultados obtidos quando o Master BLE é conectado à LIN e a um smartphone, que configurações são utilizadas.

**Capítulo 5 – Considerações finais:** serão retomados a pergunta de pesquisa e os seus objetivos e apontado como foram solucionados, respondidos, atingidos, por meio do trabalho realizado. Além disto, serão sugeridos trabalhos futuros que poderiam ser realizados a partir do estudo realizado.

## 2 LIN E BLUETOOTH LOW ENERGY

Para que se possa desenvolver o dispositivo proposto neste trabalho, é necessário compreender como é formado um barramento LIN e como se dá a transmissão de dados por meio dele, assim como o funcionamento de dispositivos Bluetooth Low Energy, que serão mostrados neste capítulo.

### 2.1 INTRODUÇÃO A LIN

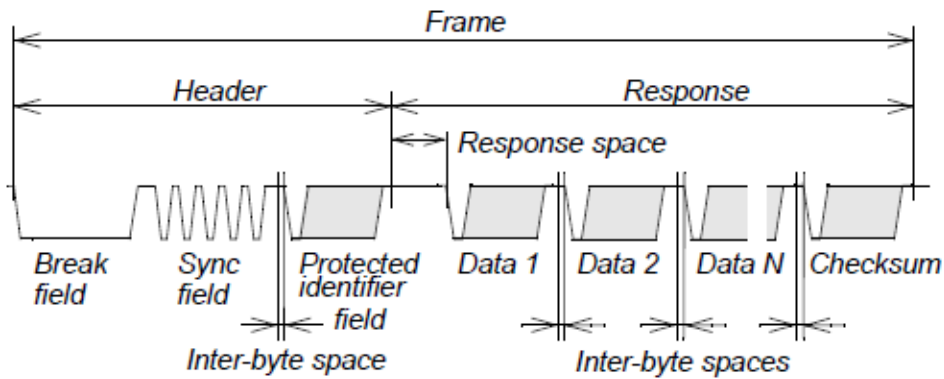
A LIN foi desenvolvida pelo consórcio LIN, composto por cinco fabricantes (BMW, Volkswagen Group, Audi Group, Volvo Cars, Mercedes-Benz) para criar um padrão simples e de baixo custo para comunicações em redes automotivas. As aplicações típicas da LIN são os controles de dispositivos não críticos do veículo, como retrovisores, travas, bancos e tetos solares. A LIN é baseada na arquitetura Master/Slave, contendo um nó master e até 16 nós slave utilizando um único condutor, chamado de barramento LIN. As mensagens transmitidas fazem parte de uma tabela com tempos bem definidos implementada no nó master, desta forma, a cada intervalo de tempo pré-determinado, as mensagens são repetidas, sendo elas, comandos ou requisições de dados.

### 2.2 MÉTODO DE TRANSMISSÃO

Cada transmissão completa na LIN é chamada de *frame*, e é composta de um cabeçalho (*header*) enviado pelo master e uma resposta enviada pelo próprio master ou um slave, conforme mostrado na Figura1.

O cabeçalho é composto de um *break*, que indica o início de um novo *frame*, um byte de sincronismo e um byte de identificação protegido (PID). O byte de sincronismo é o byte 0x55, e é usado pelos slaves para sincronização com o clock do master. O PID possui 6 bits para identificação do *frame* e 2 bits de paridade. O PID indica o conteúdo de uma mensagem, mas não o destino. Um ou mais slaves

devem ser programados para executar uma tarefa ao lerem que o PID correspondente foi enviado pelo master. A resposta pode conter até 8 bytes de dados e o checksum é utilizado para a verificação de que a resposta foi corretamente recebida.



**Figura 1: Estrutura de um frame LIN**  
**Fonte: LIN Consortium, 2010**

Existem algumas diferentes formas de se enviar dados em uma LIN, por diferentes tipos de *frames*. Neste trabalho é tratado apenas o *frame* incondicional, que é o mais utilizado e é por ele que são enviados os dados de operação dos dispositivos. Tomemos o exemplo de um slave de controle de retrovisor esquerdo, ele pode receber comandos para ajuste de posição através da mensagem de ID 0x05 e pode enviar dados com a posição em que o espelho se encontra através da mensagem de ID 0x06 (os valores dos IDs e suas funções não são padrão, são definidos pelo desenvolvedor do sistema). Quando o master envia o cabeçalho que contém o ID 0x05, o slave ao recebê-lo entra no estado de recepção e interpreta o próximo byte recebido como um comando de ajuste de espelhos. Os outros slaves no barramento simplesmente ignoram o resto da mensagem. Para esta mensagem específica, o próprio master envia a resposta que é lida pelo slave. Quando o master envia um cabeçalho e o slave reconhece o ID 0x06, o slave entra em estado de envio e responde para a rede a posição do espelho, que por sua vez é recebida pelo master e outros slaves que necessitem desta informação. Mensagens que não possuem um cabeçalho associado são simplesmente descartadas.

### 2.3 INTRODUÇÃO AO BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE)

Quando o Bluetooth teve sua especificação 4.0 emitida, foi introduzida uma nova categoria, o Bluetooth Low Energy (BLE), também conhecido como Bluetooth Smart. Embora seja parte do mesmo protocolo, O BLE não é compatível com

versões anteriores do Bluetooth, sendo portanto tratado como um novo protocolo. O objetivo dessa nova categoria é transmitir pequenas quantidades de dados com um consumo reduzido de energia. O *Bluetooth Special Interest Group* (SIG), responsável pela tecnologia, estima que em 2018, mais de 90% dos smartphones terão suporte ao BLE, que opera na faixa de frequência de 2,4 a 2,4835 GHz ISM e possui uma taxa de dados de 1 Mbps. Seu alcance mínimo de acordo com a especificação é de 10 m, podendo alcançar mais de 100 m em áreas abertas.

- Todo dispositivo BLE utiliza o Generic Attribute Profile (GATT), que introduz os termos:
- **Cliente** – é o dispositivo que envia as solicitações, sejam de conexão ou comandos, geralmente é um smartphone ou tablet;
- **Servidor** – é o dispositivo que recebe as solicitações e envia uma resposta. Geralmente é um dispositivo que possui dados que serão acessados;
- **Serviço** – é uma coleção de dados e comportamentos associados para a realização de uma determinada função. Em uma balança inteligente, por exemplo, o serviço pode conter dados de peso, índice de massa corporal, porcentagem de gordura e informações do usuário;
- **Característica** – é um valor utilizado em um serviço e pode ser transmitido entre um cliente e um servidor. Ainda com o exemplo da balança, o valor do peso, da massa corporal, da gordura corporal e a identificação do usuário seriam características;
- **Descritor** – fornece informações adicionais sobre uma característica. O descritor é opcional, e pode indicar, por exemplo, que a unidade para a característica “peso” é o quilograma (kg).

Serviços, características e descritores são chamados de atributos, e cada um deles é identificado por um número único de 128 bits, chamado *Universally Unique Identifier* (UUID).

### 3 INTEGRAÇÃO LIN – BLE

Este capítulo apresenta o estudo e desenvolvimento do dispositivo capaz de fazer a interface entre uma LIN e um dispositivo BLE, e está dividido nas seguintes partes:



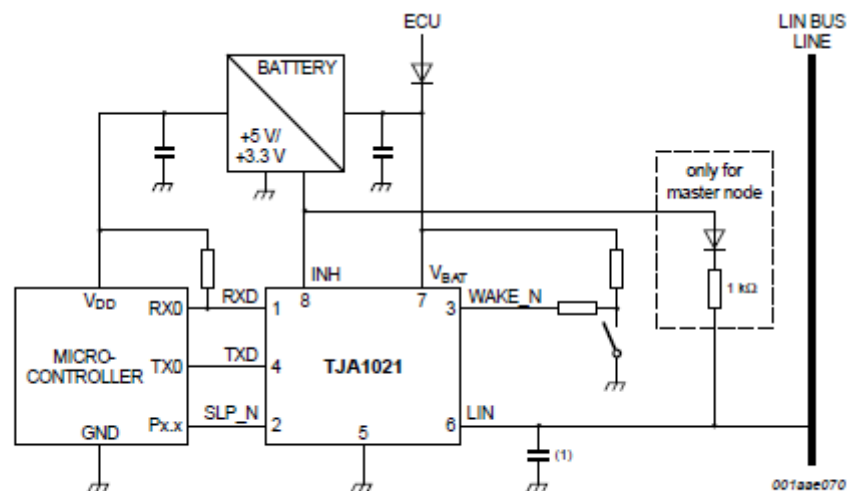
**Estudo da integração física LIN – BLE:** serão mostradas as considerações feitas para a escolha dos componentes que compõem o hardware e suas conexões.

**Desenvolvimento do firmware:** será apresentado como o firmware foi desenvolvido para apresentar as funcionalidades desejadas.

**Montagem do circuito de testes:** será apresentado como o circuito de testes foi montado e configurado.

### 3.1 ESTUDO DA INTEGRAÇÃO FÍSICA LIN - BLE

A LIN é uma rede que utiliza apenas um fio para comunicação do tipo UART, desta forma, somente é possível realizar uma transmissão ou recepção por vez. Para que um microcontrolador possa se comunicar com esta rede através de suas portas Rx e Tx, é necessário um transceptor. Para este trabalho foram utilizados transceptores TJA1021 da NXP semicondutores, de acordo com a proposta da NXP (2011, p. 16).



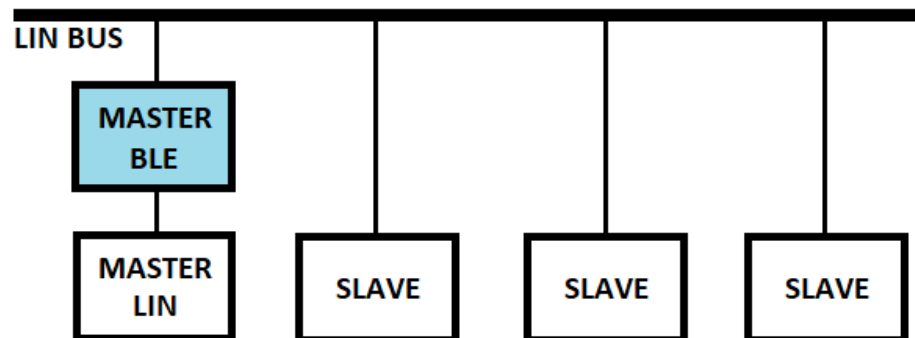
(1) Master: C = 1 nF; slave: C = 220 pF.

**Figura 2- Circuito de integração do Master BLE à LIN**  
Fonte: NXP, 2011

Há duas formas de se conectar o Master BLE ao barramento LIN:

- Entre o nó Master e o barramento LIN: desta forma, todas as mensagens enviadas e recebidas pelo nó Master LIN dependem do gerenciamento feito pelo Master BLE. Ele deve ser rápido o suficiente para repassar os dados recebidos para a outra parte do barramento. As mensagens recebidas podem ser modificadas antes de serem encaminhadas. A comunicação do Master LIN também

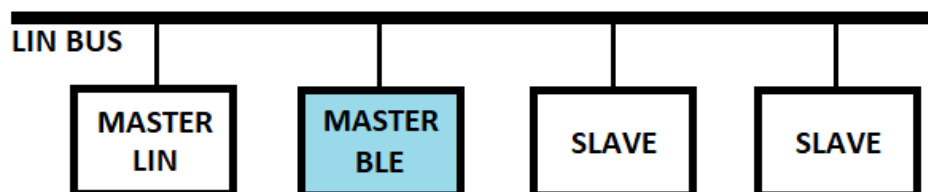
pode ser totalmente interrompida e o Master BLE assumir seu papel na rede por um curto período de tempo para envio de mensagens específicas.



**Figura 3- Master BLE instalado seccionando o barramento**  
 Fonte: Autoria própria

- Em paralelo no barramento: desta forma, o Master BLE está conectado ao barramento como os demais slaves, todas as mensagens que trafegam pela rede podem ser lidas, mas não podem ser modificadas.

Em ambas as formas de conexão, o Master BLE pode transmitir as mensagens para outro dispositivo BLE cliente, servindo assim como uma ferramenta de diagnósticos.



**Figura 4: Master BLE instalado como um nó em paralelo**  
 Fonte: Autoria própria

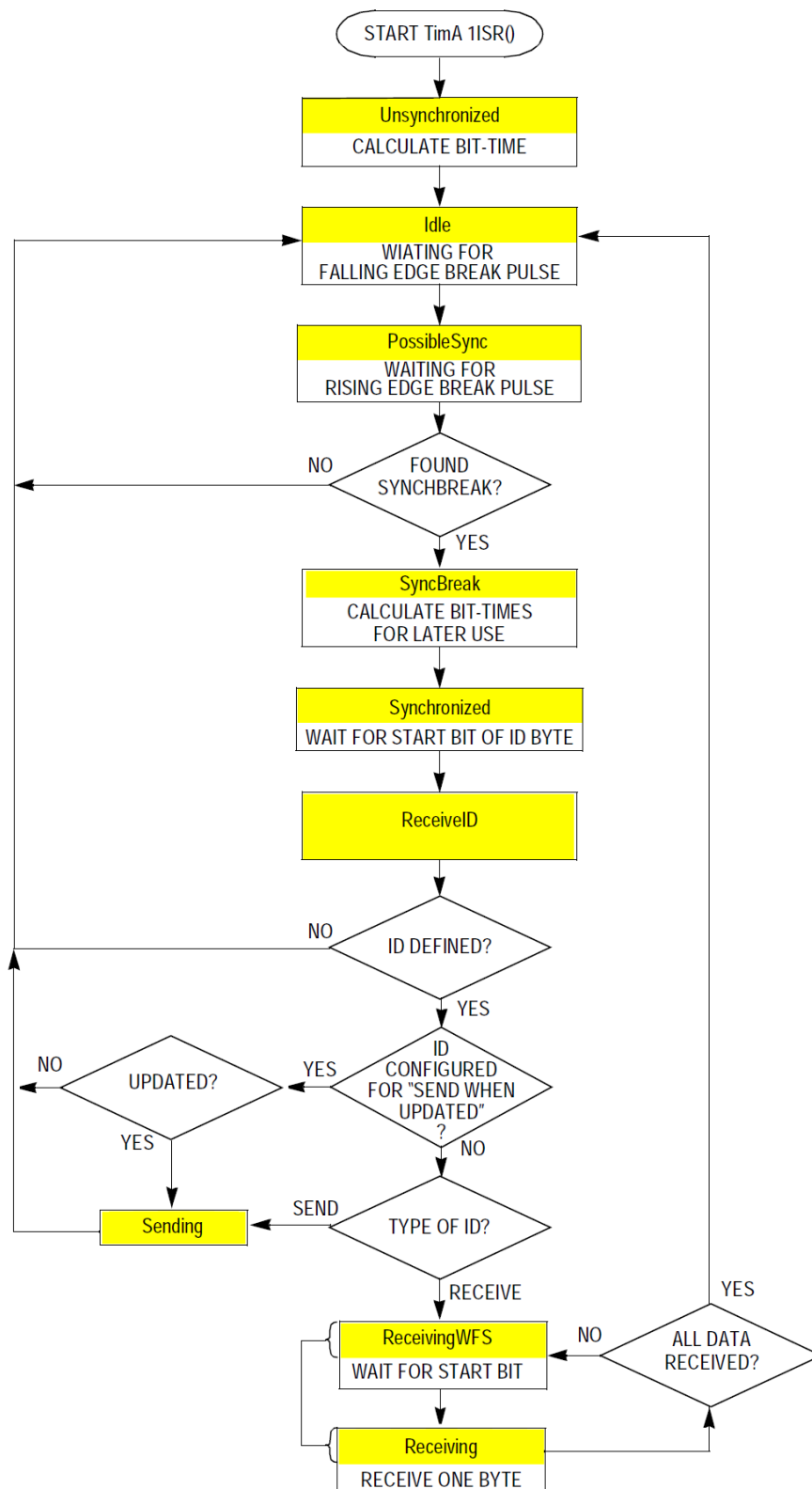
A velocidade máxima de transmissão de uma LIN é de 20Kbps, desta forma, um processador com frequência de clock de 16 Mhz é suficiente para processar os dados e transmiti-los adiante sem que haja perda de sincronismo da rede.

O microcontrolador de 16 MHz e o rádio Bluetooth utilizados estão incluídos em um único dispositivo, o módulo BLE1010 fabricado no Brasil pela Soft Eletrônica, que utiliza como base a plataforma  $\mu$ Energy da CSR.

### 3.2 DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE

O firmware do dispositivo foi desenvolvido através do SDK específico da plataforma  $\mu$ Energy da CSR, utilizando linguagem C.

Para que o Master BLE se comporte como um componente da LIN, seu firmware contempla uma máquina de estados conforme descrito no Application Note AN2599/D (Freescale, 2005) para desenvolvimento de um driver LIN.



**Figura 5- Fluxograma dos estados**

Fonte: Freescale, 2005

Com a implementação da máquina de estados, o dispositivo pode se comportar como um nó slave, sendo desta forma possível programar que tipo de atividade deve ser realizada após a recepção de um ID específico enviado pelo

Master LIN. Sempre que toda a mensagem esperada é recebida, ela é copiada para um buffer e pode ser transmitida via BLE, caso habilitado, possibilitando assim realizar diagnósticos da comunicação.

Em operação normal (com o barramento seccionado pelo Master BLE), toda transição de nível no barramento (transmissão do Master LIN) gera uma interrupção no Master BLE que faz com que ele reproduza o mesmo nível do outro lado do barramento (onde os slaves estão conectados) em 1  $\mu$ s. Utilizando o pior caso com relação a velocidade de transmissão, com uma taxa de 20 kbps o tempo de bit é de 50  $\mu$ s, representando então o atraso de 1  $\mu$ s apenas 2% do tempo de bit. O tempo de atraso também não é acumulativo, ou seja, a diferença entre o instante de transmissão pelo Master LIN e a retransmissão pelo Master BLE será sempre de 1  $\mu$ s.

Em outro modo de operação, o Master BLE pode transmitir um bit diferente do que foi recebido pelo Master LIN, se assim configurado. Tal funcionalidade é possível pois a cada bit recebido, o Master BLE avança em sua máquina de estados e decodifica as mensagens, sabendo exatamente qual a posição de cada bit que está sendo recebido dentro da mensagem. Assim, a saída para o barramento pode ser colocada em nível alto ou baixo no momento correto independente do valor enviado pelo Master LIN.

Quando o Master BLE é instalado em paralelo no barramento, como um nó slave, é mantido o funcionamento da máquina de estados e decodificação das mensagens, para que as mesmas possam ser enviadas a outro dispositivo via BLE.

### 3.2.1 FUNCIONALIDADES POSSÍVEIS

A principal funcionalidade do Master BLE é possibilitar o ajuste automático de equipamentos como espelhos e bancos do veículo de acordo com o condutor, além de possibilitar trancar e destrancar o veículo de acordo com a distância do motorista para o mesmo. Quando um indivíduo vai utilizar o veículo, conecta-se ao Master BLE utilizando seu smartphone. Ao conectar-se, o Master BLE recebe o ID do motorista e busca na memória os dados correspondentes aos ajustes dos equipamentos para aquele condutor. Com os dados corretos, o Master BLE espera até que a rede esteja em estado ocioso, bloqueia a comunicação do Master LIN com o resto do barramento e assume o papel de master na rede. O Master BLE passa

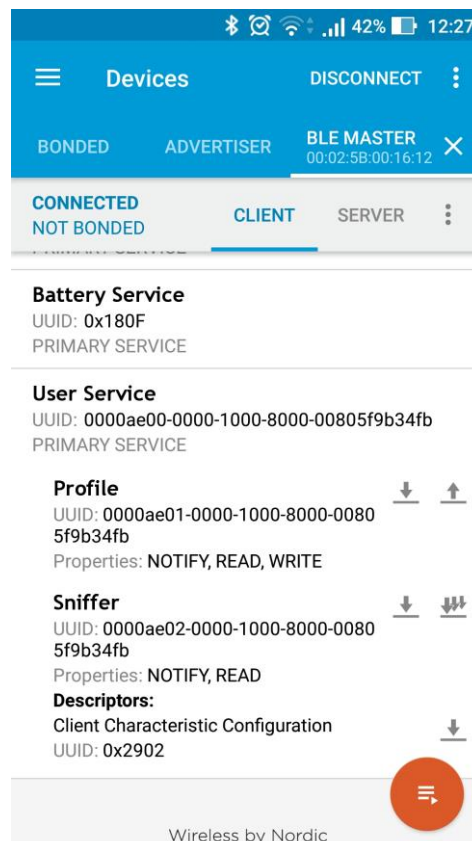
então a enviar as mensagens para ajustes dos equipamentos e receber as respostas com as posições. Enquanto o dado de posição enviado pelo nó slave é diferente do valor salvo em memória para o atual motorista conectado, o Master BLE envia o comando para ajuste em direção a posição definida. Finalizados os ajustes, o Master BLE volta a encaminhar normalmente os bits transmitidos pelo Master LIN para a rede. Após este procedimento, as configurações somente serão aplicadas de forma automática quando o veículo for desligado e ligado novamente. Os comandos manuais para os equipamentos do veículo continuam funcionando normalmente após a configuração. A qualquer momento é possível salvar as configurações atuais do veículo como sendo as de preferência do motorista, utilizando novamente o smartphone e enviando o comando específico para o Master BLE. Afastando-se o motorista do veículo e havendo perda da conexão, é possível configurar o Master BLE para enviar o comando de trava de portas, caso haja um nó slave programado para esta função.

### 3.2.2 SERVIÇO PARA COMUNICAÇÃO BLE

Para que seja possível a comunicação com um smartphone, o Master BLE precisa expor um serviço com características que serão acessadas e terão seus valores modificados pelo usuário. Foi criado o “Serviço de Usuário”, contendo duas características: “Perfil” e “Sniffer”. Quando o motorista, por meio de seu smartphone, envia o comando de salvar configurações, o que o Master BLE recebe é a requisição de escrita de dois bytes na característica “Perfil”, um com o ID do motorista e outro com o comando para gravação de dados. O firmware interpreta que a recepção de dois bytes nessa característica indica uma gravação de configurações caso o primeiro byte seja 0x0F. Ao receber este comando, os dados de posição dos dispositivos que serão automatizados, recebidos durante a operação normal da rede, são salvos em uma estrutura na memória não volátil (NVM) do Master BLE. Quando na mesma característica é recebido apenas um byte, este é interpretado como um possível ID de motorista, caso o ID seja válido, as informações são lidas da NVM e as configurações são realizadas, conforme mencionado na seção 3.2.1.

A característica “Sniffer” funciona de forma diferente. Ela é uma característica de somente leitura, por meio de notificações. Quando o Master BLE

recebe uma mensagem completa pela LIN, esta é salva em um array. É enviada então uma notificação ao smartphone, informando que há novos dados disponíveis naquela característica. Ao receber a notificação, o aplicativo no smartphone executa uma leitura da característica, podendo desta forma exibir a mensagem recebida na tela.



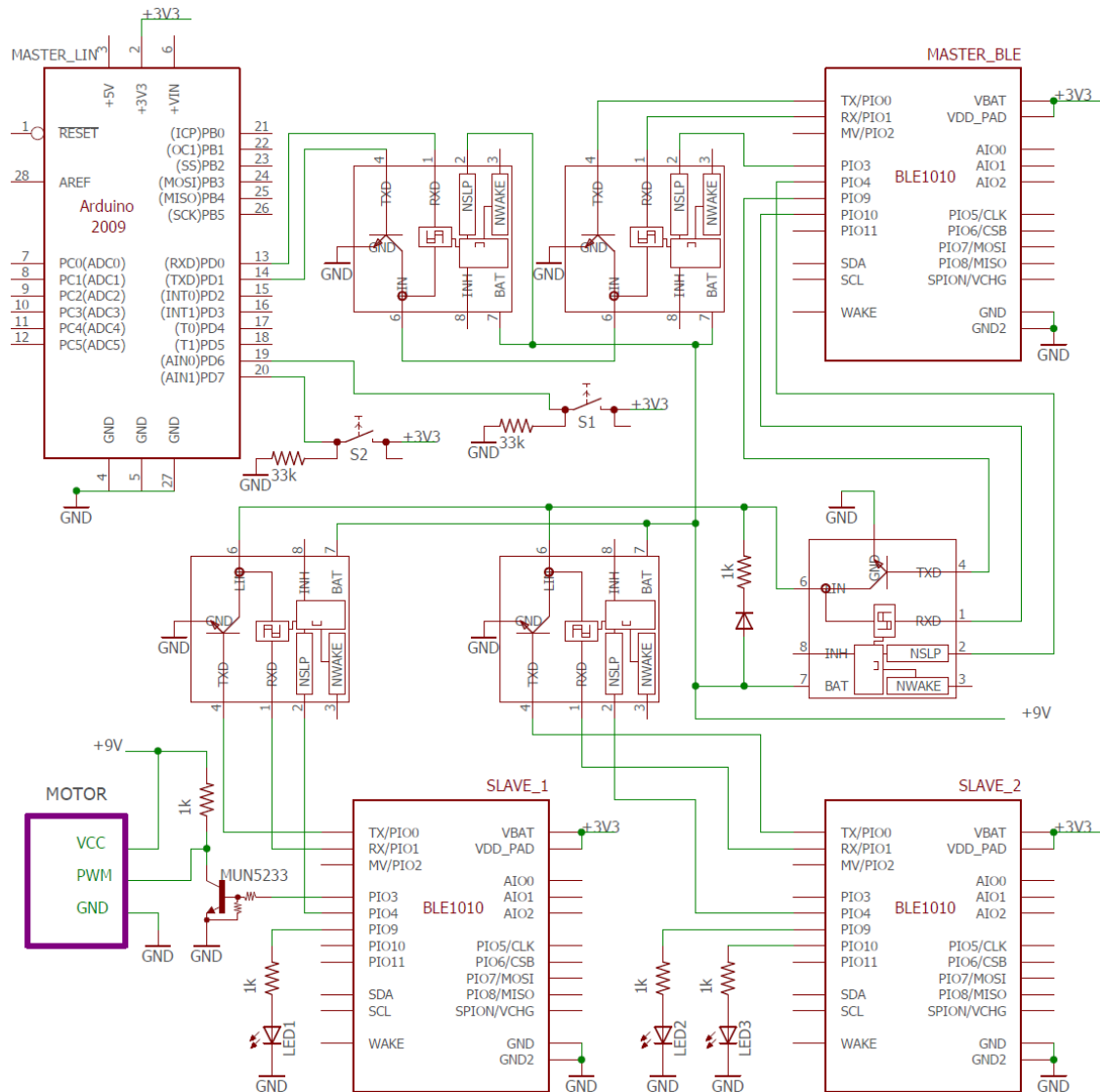
**Figura 6- Serviço do usuário e suas características vistas pelo aplicativo**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 3.3 CIRCUITO DE TESTES

Para o desenvolvimento e testes, um barramento LIN foi montado em bancada, possuindo um nó master e 2 slaves. A este barramento foi adicionado mais um dispositivo, o Master BLE, conforme a Figura 7. Um dos slaves foi conectado a um motor, que representa o motor de um retrovisor esquerdo. Os leds nas placas são utilizados para que seja possível visualizar facilmente quando a execução do programa chega a um ponto específico, como por exemplo, se a mensagem com o ID desejado está sendo corretamente recebida após a validação do checksum.

Para realizar a função de Master LIN foi utilizado um Arduino UNO. O mesmo foi programado para enviar mensagens em intervalos regulares respeitando

a especificação LIN para as temporizações de bits. Quatro mensagens são enviadas, conforme a Tabela 1.



**Figura 7- Circuito de testes**  
**Fonte: Autoria própria**

**Tabela 1 – Mensagens enviadas pelo Master LIN**

ID	Descrição
0x13	Mensagem com 4 bytes de dados, utilizada apenas para verificação da correta recepção dos dados.
0x05	Mensagem com 1 byte de dados, contendo um comando para atuação dos retrovisores.
0x06	Mensagem de requisição da posição do retrovisor esquerdo.



0x08

Mensagem de requisição da posição do retrovisor direito.

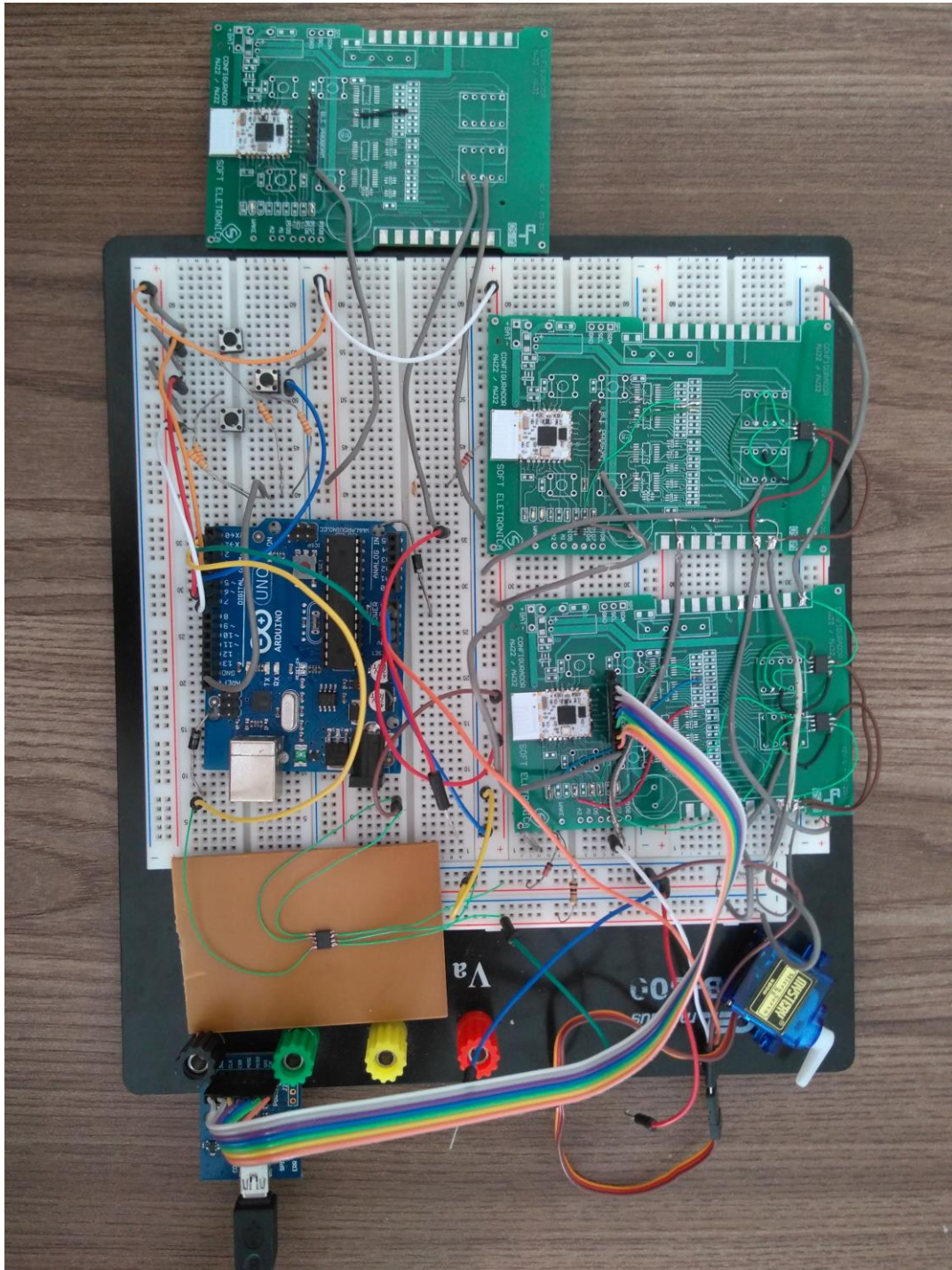


Figura 8- Circuito de testes montado  
Fonte: Autoria própria

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos após o teste do dispositivo desenvolvido.

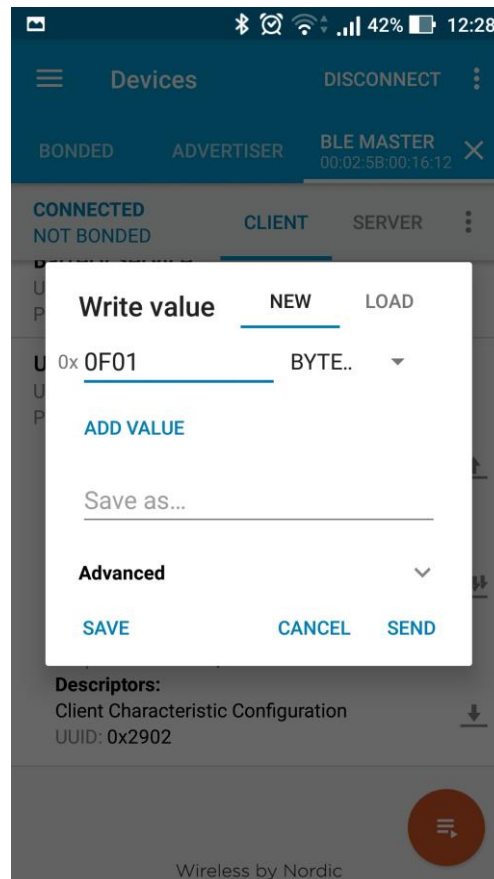
### 4.1 DESCRIÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

Após a montagem e alimentação do circuito, a taxa de dados do Master LIN foi configurada para 2400 bps e o intervalo entre mensagens foi configurado em 50 ms para facilitar a visualização do funcionamento e debug. Foi possível observar pelos LEDs que os slaves estavam recebendo as mensagens enviadas pelo Master LIN, significando que o Master BLE estava retransmitindo as mensagens corretamente. Ao se pressionar os botões, era possível movimentar o motor, indicando que as mensagens correspondentes também estavam sendo enviadas e devidamente recebidas. Utilizando o aplicativo nRF Connect for Mobile (ferramenta genérica para análise de dispositivos BLE) em um smartphone Android foi possível estabelecer uma conexão com o Master BLE, mantendo o comportamento descrito anteriormente. Até este momento, nenhuma informação relativa ao motorista foi transmitida. Com o motor em uma posição qualquer, foi enviado o comando de escrita para a característica “Perfil” através do aplicativo, com os bytes de comando para armazenamento da posição atual no perfil do usuário 1 (0x0F01).

O procedimento foi repetido armazenando-se mais duas posições distintas para os perfis de usuário 2 e 3 (0x0F02 e 0x0F03). A alimentação do barramento foi retirada e fornecida novamente para garantir que os dados foram realmente salvos na memória não volátil do módulo BLE. O smartphone foi conectado novamente ao Master BLE, até este ponto, a rede apresentou o mesmo comportamento descrito anteriormente. Foi enviado então o comando identificador do motorista 1 (apenas o byte com a identificação 0x01). Assim que o comando foi recebido, o motor moveu-se para a posição definida para aquele motorista e foi possível verificar logo após que as mensagens enviadas pelo Master LIN continuavam a serem recebidas pelos slaves, assim como era possível operar o motor por meio dos botões. O teste foi repetido para os outros IDs de motoristas cadastrados e apresentou os mesmos resultados. Dessa forma, para a taxa de

dados e tempo entre mensagens mencionados, o dispositivo comportou-se como esperado.

Também por meio do aplicativo, quando as notificações da característica “Sniffer” foram ativadas, as mensagens da rede podiam ser visualizadas na tela do smartphone conforme circulavam na rede.



**Figura 9- Operação de escrita na característica Perfil**  
 Fonte: Autoria própria

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O problema mencionado na introdução deste trabalho foi parcialmente resolvido, pois embora o dispositivo proposto tenha sido criado, ainda não apresentou o desempenho desejado mostrado no objetivo geral, visto que foi possível realizar a comunicação do smartphone utilizando BLE com a LIN e haver troca de informações entre os mesmos, contudo, durante o desenvolvimento não foi possível a comunicação utilizando a velocidade máxima possível da LIN, limitando a utilização do dispositivo. Dado que as especificações de hardware atendem a

temporização exigida, será necessário apenas uma correção do firmware para seguir a temporização adequada, que será realizado futuramente.

O resultado pode ser considerado satisfatório pois mostra a possibilidade da integração com sucesso entre o veículo e o telefone do motorista, além de possibilitar que o dispositivo seja empregado em outros ambientes em que se deseja utilizar LIN.

Para os testes, foram utilizados IDs arbitrários para as mensagens, em um veículo real torna-se necessário saber a identificação de cada função que se deseja automatizar, além dos dados contidos no *frame*. Como um trabalho futuro, pode-se desenvolver um aplicativo para decodificar as mensagens da rede e poder utilizá-las no Master BLE: as mensagens em uma LIN repetem-se constantemente, cria-se então um filtro para exibir apenas as mensagens onde há alteração de dados, tais alterações seriam causadas por um comando ativado no veículo, como o de ajuste de retrovisores. Desta forma seria possível descobrir o ID da mensagem relativa àquela função, e seria necessário então interpretar os dados recebidos comparando-os com os comandos enviados e documentá-los.

## REFERÊNCIAS

FREESCALE Semicondutores. **Generic LIN Driver for MC68HC908QY4.** Application Note AN2599/D. Rev. 1, 2012.

LIN Consortium. **LIN Specification Package.** Rev 2.2A, 2010.

PHILIPS Semicondutores. **TJA1020 LIN Transceiver.** Application Note AN00093. Rev. 02, 2005.