

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

Bruno Luiz da Silva

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE ESTAÇÃO DE
CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Florianópolis

2016

Bruno Luiz da Silva

**ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE ESTAÇÃO DE
CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS**

Monografia submetida ao Programa
de Graduação em Engenharia Elétrica
para a obtenção do Grau de Enge-
nheiro Eletricista.

Orientador: Eduardo Augusto Bezerra

Florianópolis

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

da Silva, Bruno Luiz

Estudo e Implementação de estação de carregamento de veículos elétricos. / Bruno Luiz da Silva;
Orientador, Eduardo Augusto Bezerra -
Florianópolis, SC, 2017.

79 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Elétrica.

Inclui referências

1. Engenharia Elétrica. 2. Veículos Elétricos 3. EVSE
4. Microcontroladores. I. Augusto Bezerra, Eduardo.
- II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Estudo e Implementação de estação de carregamento de veículos elétricos

Bruno Luiz da Silva

ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DE ESTAÇÃO DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Esta Monografia foi julgada aprovada para a obtenção do Título de “Engenheiro Eletricista”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 15 de Dezembro 2016.

Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr. Eng.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jefferson Luiz Brum Marques
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dra. Daniela Ota Hisayasu Suzuki
Universidade Federal de Santa Catarina

When Henry Ford made cheap, reliable cars people said, 'Nah, what's wrong with a horse?' That was a huge bet he made, and it worked

Elon Musk

Resumo

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo o estudo de estações de carregamento de veículos elétricos (EVSE), com foco em seu *software*. A implementação utiliza o protocolo OCPP, ao qual caminha para se tornar padrão oficial, assim como MODBUS para integrar os diversos dispositivos utilizados no projeto.

Palavras-chave: Engenharia Elétrica, Veículos Elétricos, Eletroposto, EVSE, Comunicação, Sistemas Embarcados

Abstract

This Final Year Project aims the study of EVSEs (Electric Vehicle Supply Equipment), focusing on its software. It implements the OCPP protocol, which may become standard for EVSEs, as it implements MODBUS to integrate all devices used in the project.

Keywords: electronics, EVSE, electric vehicles, charging stations, embedded systems, beaglebone

Lista de Figuras

Figura 1	Conektor Tipo 2 - Mennekes	27
Figura 2	Conektor Tipo 2 - CCS Combo	28
Figura 3	Conektor CHAdeMO	28
Figura 4	Conektor Tesla Supercharger	29
Figura 5	BeagleBone Black e OSSO Cape	31
Figura 6	Medidor Kron da série Mult-K	32
Figura 7	Linha de IHMs MT da WEG	33
Figura 8	Leitor RFID LotusSmart	34
Figura 9	Requisição MODBUS do mestre para o escravo	35
Figura 10	Resposta MODBUS do escravo para o mestre	35
Figura 11	Frame de Comunicação MODBUS	37
Figura 12	Diagrama de conexão entre os dispositivos da EVSE ...	40
Figura 13	Sequência de Inicialização	44
Figura 14	Diagrama de Inicialização de uma Transação pelo usuário	46
Figura 15	Diagrama de Finalização de uma Transação pelo usuário	47
Figura 16	Disposição dos dispositivos na bancada de testes	49
Figura 17	Disposição dos dispositivos na estação protótipo	50

Lista de Tabelas

Tabela 1	Function codes / Operações do MODBUS	36
Tabela 2	Operações OCPP suportadas pela EVSE	41

LISTA DE SIGLAS

TCC Trabalho de Conclusão de Curso

MCU Micro Controller Unit

RFID Radio-frequency Identification

IP Internet Protocol

EV Electric Vehicle

EVSE Electric Vehicle Supply Equipment

OCPP Open Charge Point Protocol

TCP/IP Transmission Control Protocol/Internet Protocol

WSDL Web Services Description Language

SOAP Simple Object Access Protocol

TC Transformador de Corrente

IHM Interface Humano-Máquina

CLI Command Line Interface

OASIS Organization for the Advancement of Structured Information Standards

OCA Open Charge Alliance

CC Corrente Contínua

CA Corrente Alternada

PWM Pulse Width Modulation

XML eXtensible Markup Language

SOAP Simple Object Access Protocol

IO Input/Output - Entrada e Saída

Sumário

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	MOTIVAÇÃO	21
1.2	OBJETIVOS	21
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	23
2.2	MODOS DE CARREGAMENTO	24
2.2.1	Modos Europeus	24
2.2.1.1	Modo 1 - Carregamento Lento	24
2.2.1.2	Modo 2 - Carregamento Lento	24
2.2.1.3	Modo 3 - Carregamento Rápido CA	24
2.2.1.4	Modo 4 - Carregamento Rápido CC	25
2.2.2	Modos Americanos	25
2.2.3	Outros modos	25
2.2.3.1	Indução	25
2.2.3.2	Troca de Baterias	26
2.2.3.3	Tesla Supercharge	26
2.3	PADRÕES DE CONECTORES	26
2.3.1	Tipo 2 - Mennekes	27
2.3.2	Tipo 2 - CCS Combo	27
2.3.3	CHAdEMO	28
2.3.4	Tesla Supercharger	28
2.4	PROTOCOLO OCPP	29
3	DESENVOLVIMENTO	31
3.1	DISPOSITIVOS UTILIZADOS	31
3.1.1	BeagleBone Black e OSSO Cape	31
3.1.2	Medidor de Energia Kron Mult-K	32
3.1.3	Phoenix EM-CP-PP-ETH Controller	32
3.1.4	IHM WEG MT	32
3.1.5	Leitor de RFID LotusSmart	33
3.2	MÉTODOS E FERRAMENTAS UTILIZADAS	34
3.2.1	MODBUS	34
3.2.1.1	Funcionamento	34
3.2.1.2	Mapa de Memória	36
3.2.1.3	Envio de informações	36
3.2.2	WSDL e SOAP	37
3.2.3	JUnit e Automação de testes	38

3.2.4	Guice e Injeção de Dependências	38
3.3	ESTRUTURA DO PROJETO	39
3.3.1	Especificações da estação	40
3.3.2	Sistema operacional	40
3.3.3	Comunicação entre periféricos	41
3.3.4	Comunicação entre estação e servidores	41
3.3.5	IHM e do sistema central	42
3.4	SOFTWARE	42
3.4.1	Principais Classes	42
3.4.1.1	AuthHandler	42
3.4.1.2	OcppManager	42
3.4.1.3	ChargePointServer	42
3.4.1.4	ChargePointClient	43
3.4.1.5	HmiManager	43
3.4.1.6	ConnectorSupervisor	43
3.4.1.7	ConnectorManager e Connector	43
3.4.1.8	TransactionManager e Transaction	43
3.4.2	Inicialização	44
3.4.3	Inicialização e Finalização de Transações pelo Usuário	44
3.5	TESTES E RESULTADOS	48
3.5.1	Ferramentas de teste	48
3.5.2	Implementações e testes iniciais	48
3.5.3	Testes na estação protótipo	49
4	CONCLUSÃO	53
	Referências	55

1 INTRODUÇÃO

Desde o início dessa década, empresas automobilísticas veem o mercado de veículos elétricos com outros olhos. Antes, esse mercado era limitado por questões tecnológicas relacionadas a bateria e sistemas embarcados, porém hoje essas limitações vem sendo superadas, o que reaqueceu o setor.

Uma *Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE)* traz não só desafios na área de eletrônica de potência, mas também na área de sistemas embarcados e *software* em geral, visto que a estação é feita de múltiplos dispositivos que precisam comunicar-se entre si e com servidores na nuvem. Esse projeto explora a área do *software* de uma *EVSE*.

1.1 MOTIVAÇÃO

Existem diversos aspectos que podem ser tratados nesse tipo de projeto. Há, dentro da estação, dispositivos que permitem medir e atuar sobre os carregamentos. Todos precisam ser controlados por um *software*, o que requer do desenvolvedor conhecimentos de comunicação e projeto de *software*. Além disso, a maioria dos sistemas contemporâneos são conectados a servidores externos, e no caso das *EVSE* não é diferente.

Este trabalho acadêmico explora a implementação do *software* que integra os periféricos da *EVSE* e realiza a comunicação entre o posto de carregamento e um sistema central na nuvem. Tais tarefas permitem um aprendizado mais profundo sobre engenharia de *software*, protocolos de comunicação e integração de múltiplos dispositivos.

1.2 OBJETIVOS

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo apresentar e implementar um protótipo de estação de carregamento elétrica, que permitirá ao usuário iniciar e cancelar carregamentos, assim como visualizar os dados correspondentes.

A comunicação com o servidor também será implementada, de modo que este possa receber leituras dos sensores e atualizações dos carregamentos, assim como possibilitar o gerenciamento remoto da es-

tação.

Para isso serão utilizadas tanto tecnologias já consolidadas, assim como outras mais recentes. O projeto será implementado em uma placa de desenvolvimento que permita acesso remoto (via *Ethernet*), rodando o sistema operacional *Linux*.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aprimorar técnicas de desenvolvimento de *software* embarcado
- Conhecer mais sobre as tecnologias envolvidas em sistemas de veículos elétricos
- Explorar e implementar protocolos de comunicação de *EVSE*
- Desenvolver e aprender novas habilidades de engenharia de *software*
- Implementar um *software* para controle de uma *EVSE*

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

O mercado de veículos elétricos, desde o início da década, está aquecido. Nos Estados Unidos, de 2010 à 2014 houve um aumento de 71% no volume de vendas (286.390 mil veículos em números absolutos) (BLOCK; HARRISON; BROOKER, 2015). Na China, em 2015, houve um aumento de 4,2 vezes na produção de carros movidos a bateria, e 3,3 vezes quando incluir outras categorias de *Electric Vehicle (EV)* (CAAM, 2016).

Já na União Europeia, de 2013 para 2014 houve um crescimento de 31,5%, com a venda de 22,6 mil veículos. Embora o crescimento aparente ser grande, está longe de ser maioria no mercado: menos de 1% da atual frota é constituída de veículos elétricos e a adoção destes depende muito dos incentivos dados em cada país. No contexto Europeu, porém fora da União Europeia, a Noruega se destaca, com uma fatia de 22,5 % de veículos elétricos nas vendas de 2015. (EAA, 2016)

Embora esse mercado apresente potencial, ainda há uma grande dependência em fatores externos. Exemplo disso são os atuais fabricantes possuírem poucos modelos, sendo em alguns casos somente uma adaptação de um modelo movido a combustão, pois ainda estão testando o mercado e avaliando seus investimentos.

Alguns fatores influenciam a adoção de veículos elétricos, como:

- Regulamentações exigindo os fabricantes automotores a reduzir emissões de CO₂
- Incentivos fiscais e financeiros para a aquisição de veículos e operações relacionadas
- Preços de combustíveis
- Custos de baterias e evolução da tecnologia
- Infraestrutura do ecossistema de veículos elétricos (pontos de carregamento e manutenção)

Alguns países Europeus, como a Alemanha, já afirmaram que desejam abolir vendas de veículos a combustão (SCHMITT, 2016). Outros países planejam seguir a mesma linha, o que força os fabricantes a

iniciarem pesquisas na área e desenvolver as tecnologias relacionadas a esse mercado.

2.2 MODOS DE CARREGAMENTO

2.2.1 Modos Europeus

Os modos de carregamento europeus seguem o padrão IEC 62196 (IEC, 2014), que apresenta quatro modos de operação.

2.2.1.1 Modo 1 - Carregamento Lento

Utiliza o conector de tomada residenciais, o qual não pode exceder 16 A de corrente e 250 V Corrente Alternada (CA) monofásica ou 480 V CA de tensão trifásica. Normalmente demanda de 6 à 8 horas para carregar completamente o veículo, o que é considerado um carregamento lento. Como é utilizada uma tomada comum, não é necessária uma *EVSE* para fazer o controle desse carregamento. Porém, como esse padrão utiliza uma proteção diferencial e requer uma proteção aterrada na residência, muitos países não o adotam, visto que há boa parte das residências não possuem aterramento.

2.2.1.2 Modo 2 - Carregamento Lento

É necessária uma caixa de controle no conector ou no cabo, sendo que esta faz a comunicação com o veículo por meio de *Pulse Width Modulation (PWM)*. Graças a essa comunicação, o carro pode informar o status de sua bateria e assim o carregamento pode ser adaptado de acordo com esse dado. Utiliza o mesmo conector do Modo 1 e possui as mesmas limitações elétricas de tensão, porém permite um máximo de até 32 A de corrente. Dentro dessa caixa de controle há também um circuito de proteção, o que permite o uso desse modo em locais não aterrados. É utilizado em alguns locais públicos da Europa e é considerado uma solução de transição nos EUA.

2.2.1.3 Modo 3 - Carregamento Rápido CA

O cabo é conectado à uma *EVSE*, sendo que essa precisa estar habilitada à comunicação *PWM* e possuir uma proteção elétrica. O carregamento pode ser ajustado de acordo com os dados recebidos pelo pino de controle da estação, o que possibilita o ajuste do carregamento (lento ou rápido). Com o uso de 400 V trifásico com 63 A de corrente, é possível carregar certos carros em menos de uma hora. Esse modo está se tornando cada vez mais comum, porém requer um equipamento de eletrônica de potência adequado à tensão e corrente máxima desejadas. O desenvolvimento desse modo possui um grande investimento da empresa japonesa *CHAdeMO*, sendo as vezes referido como padrão *CHAdeMO* (LONGO et al., 2016).

2.2.1.4 Modo 4 - Carregamento Rápido CC

Este modo ultra-rápido permite tensões de 400 V e corrente de 200 A, utilizando Corrente Contínua (CC) para tal. Esse modo requer um inversor para converter a entrada da rede de CA para CC. Estações que permitem carregamento no modo 4 custam muito mais caro que estações modo 3, em parte devido aos requisitos de segurança, porém essas estão se tornando cada vez mais atrativas devido a velocidade de seus carregamentos.

2.2.2 Modos Americanos

- Nível 1: assim como o modo 1 europeu, utiliza um conector residencial (americano) para o carregamento, fornecendo até 120 V CA ao veículo.

- Nível 2: pode fornecer 240 ou 208 V CA e de 20 à 100 A. Em instalações residenciais, normalmente acaba limitado à 30 A, podendo oferecer até 7.2 kW de potência. Este é o modo mais comum de instalação em residências americanas.

Há ainda modos de corrente contínua, sendo que esses são idênticos ao Modo 4 Europeu.

2.2.3 Outros modos

2.2.3.1 Indução

O veículo pode ser carregado sem precisar estar conectado à uma estação, o que oferece maior segurança e comodidade para o motorista. Há três maneiras de realizar o carregamento:

- Estática: veículo é carregado enquanto está estacionado
- Quasi-estática: o veículo é carregado enquanto há pessoas dentro, porém em locais específicos (parado no trânsito, por exemplo)
- Dinamicamente: enquanto o veículo está em movimento, como em uma rodovia

Ainda há muita pesquisa nesse modo, principalmente devido a sua baixa eficiência quando comparado aos modos cabeados.

2.2.3.2 Troca de Baterias

Há a possibilidade de carregamento por troca de baterias, onde o veículo para em uma estação e um sistema automatizado remove a bateria atual do carro e a substitui por uma carregada. Essa opção oferece segurança para o motorista e não sofre do problema de eficiência do carregamento por indução.

2.2.3.3 Tesla Supercharge

Nos modos cabeados, ainda há o modo proprietário da fabricante Tesla, o *Tesla Supercharge*, que permite o carregamento de 50% da bateria do Tesla S (85kWh) em menos de 20 minutos. Para possibilitar tal carregamento, os carregamentos são realizados em corrente contínua, assim como o Modo 4 Europeu.

2.3 PADRÕES DE CONECTORES

Diversos tipos de conectores estão disponíveis hoje no mercado. Um dos padrões mais aceitos para o carregamento lento é o Tipo 2 -

Mennekes. Já foi submetido para se tornar padrão oficial desse tipo de carregamento na Europa (MCKINSEY, 2014).

Para carregamentos rápidos porém, existem três conectores que são bastante usados: o CHAdeMO, o CCS Combo e o Tesla Supercharger. Normalmente, as estações fornecem o conector Mennekes e uma ou duas opções de carregamento rápido, o que é similar ao que ocorre em estações para veículos movidos a combustão (gasolina e álcool no mesmo posto).

2.3.1 Tipo 2 - Mennekes

Proposto pela empresa Mennekes, permite carregamentos CA monofásicos/trifásicos e CC (de baixa e média potências), além de ser retro-compatível com conectores Tipo 1, mesmo possuindo 7 pinos (contra 5 do tipo 1). Permite que a corrente flua de forma bi-direcional, o que permite que os *EV* possam fornecer energia para a estação, previsto no modelo de *Vehicle-to-Grid*. É muito utilizado em carregamentos de modo 2 e modo 3, o que o tornou padrão na Europa (MENNEKES, 2013), porém para o modo 4 outros tipos são necessários.



Figura 1 – Conector Tipo 2 - Mennekes

2.3.2 Tipo 2 - CCS Combo

Permite carregamentos rápidos em CC e CA, sendo uma evolução do Tipo 2 - Mennekes. O conector possui o mesmo layout de pinos do Mennekes, porém é acrescido de dois pinos extras na sua parte inferior para permitir carregamentos CC.



Figura 2 – Conector Tipo 2 - CCS Combo

2.3.3 CHAdeMO

Utilizado em carregamentos modo 3 e 4, foi o primeiro conector que possibilitou carregamentos rápidos e CC. Hoje, porém, outros padrões como o CCS Combo (2.3.2) estão oferecendo um suporte satisfatório para carregamentos rápidos (LONGO et al., 2016). Visto a preocupação da CHAdeMO com segurança e o alto nível de tensão, esse conector possui 10 pinos.



Figura 3 – Conector CHAdeMO

2.3.4 Tesla Supercharger

Fornecido pela *Tesla Motors*, foca em carregamentos rápidos em CC - modo 4 - e empresas como Nissan e BMW já negociam um acordo

com a Tesla para a utilização do conector em seus veículos, o que permite que sua frota utilize a infra-estrutura de carregamentos *Tesla Supercharge*.



Figura 4 – Conector Tesla Supercharger

2.4 PROTOCOLO OCPP

As estações de carregamento normalmente se comunicam com um servidor central, que pode gerenciar N estações. Para tal tarefa, é necessário um protocolo de comunicação. Embora ainda não exista um padrão oficial, o *Open Charge Point Protocol (OCPP)* é um padrão *de facto* e já existem esforços para o tornar um padrão oficial junto a Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) (OCA, 2016).

Mantido e criado pela *Open Charge Alliance (OCA)*, o *OCPP* está presente em mais de 50 países. Na Europa, todas estações comercializadas precisam ser compatíveis com o *OCPP* e, na América, o interesse da indústria aumentou nos últimos anos (KELLY-DETWILER, 2014).

O protocolo prevê um sistema central que recebe dados de N estações. Caso for necessário, o sistema central pode atuar sob *EVSE* específicas com ações como reservar a estação, cancelar algum carregamento ou até desligá-la. Caso a estação perca conectividade, o protocolo prevê um modo de funcionamento autônomo, somente registrando alguns dados para envio posterior (início e finalização de carregamentos) (OCA, 2012).

As requisições da versão 1.5 podem ser via *Simple Object Access Protocol (SOAP)* ou *WebSocket*, enquanto a versão 1.6 já adiciona

suporte a *JSON*. A versão 2.0, em desenvolvimento, tem em mente a padronização do protocolo e retrocompatibilidade com versões anteriores.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 DISPOSITIVOS UTILIZADOS

3.1.1 BeagleBone Black e OSSO Cape

A BeagleBone Black é uma placa de desenvolvimento *open-source*, desenvolvida pela *Texas Instruments*, do tamanho aproximado de um cartão de crédito. Embora possua um tamanho reduzido, possui os recursos de hardware necessários para viabilizar a execução de distribuições *Linux* como, por exemplo, o Debian (que foi a utilizada nesse projeto).



Figura 5 – BeagleBone Black e OSSO Cape

A BeagleBone permite expansões por meio de *capes*, placas não-oficiais que permitem melhor explorar o uso das saídas e entradas. Nesse projeto, foi utilizada a OSSO Cape, que dispõe de:

- Oito entradas digitais opto-acopladas
- Oito saídas digitais por meio de relés
- Saída RS-485 integrada
- Alimentação de fontes externas com tensões entre 5 à 24V

3.1.2 Medidor de Energia Kron Mult-K

O medidor de energia é essencial para informar tanto ao usuário, quanto ao sistema central, quanta energia foi consumida durante os carregamentos. O dispositivo escolhido foi o Kron Mult-K, pois esse permite a medição da energia consumida e outros dados, todos disponibilizados via MODBUS-RTU (conexão RS-485).



Figura 6 – Medidor Kron da série Mult-K

3.1.3 Phoenix EM-CP-PP-ETH Controller

Os padrões de carregamento rápido utilizam protocolos de comunicação entre carro e estação e, visto a variedade destes, foi escolhido utilizar um controlador externo para agilizar o desenvolvimento do protótipo. O Phoenix EM-CP-PP-ETH permite gerenciar carregamentos AC trifásicos e realizar todo controle necessário para o sequenciamento de inicialização e finalização dos carregamentos.

3.1.4 IHM WEG MT

Para o usuário utilizar a EVSE, é necessária uma interface que apresente informações de forma descomplicada e, além disso, seja ro-

busta a intempéries como calor excessivo e chuva. Para tal, foi escolhida a Interface Humano-Máquina (IHM) da WEG, linha MT.

Utilizando o *software EasyBuilder 8000*, é possível definir as telas que serão exibidas para o usuário, assim como os dados que serão exibidos. Os dados e o controle da IHM podem ser realizados por meio de diversos protocolos, dentre eles o MODBUS-TCP, o qual foi escolhido para o projeto.



Figura 7 – Linha de IHMs MT da WEG

3.1.5 Leitor de RFID LotusSmart

De acordo com a especificação do OCPP, para iniciar o carregamento na estação é necessária a utilização de cartões Radio-frequency Identification (RFID), sendo necessário a utilização de um leitor compatível. O dispositivo escolhido, *LotusSmart*, permite apenas a leitura de cartões de 13.56 MHz, visto que há uma variedade de frequências de operação.

Os dados da *tag* são armazenados em um *buffer*, semelhante

ao *buffer* de teclado de computadores, e enviados serialmente para o sistema, sendo entregues em formato *ASCII*.

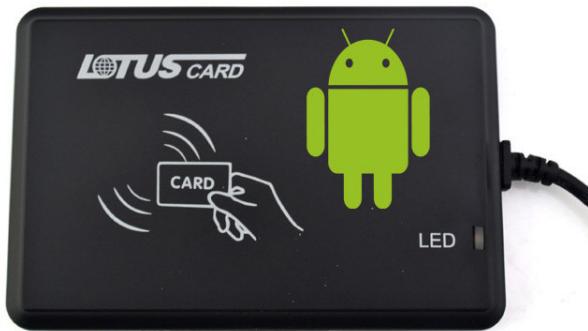


Figura 8 – Leitor RFID LotusSmart

3.2 MÉTODOS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

3.2.1 MODBUS

Em projetos industriais, é requisito que dispositivos diversos consigam comunicar-se entre si. Para tal, existem dezenas de protocolos que permitem a realização dessa tarefa, sendo o MODBUS um dos mais comuns (MODBUS, 2012). Sua implementação inicial era apenas no modo serial, porém hoje também é possível utilizar o stack TCP/IP e outras implementações menos comuns - UDP, PEMEX, Enron.

3.2.1.1 Funcionamento

O protocolo é baseado no modelo mestre-escravo, onde um dispositivo mestre requisita os dados dos dispositivos escravos.

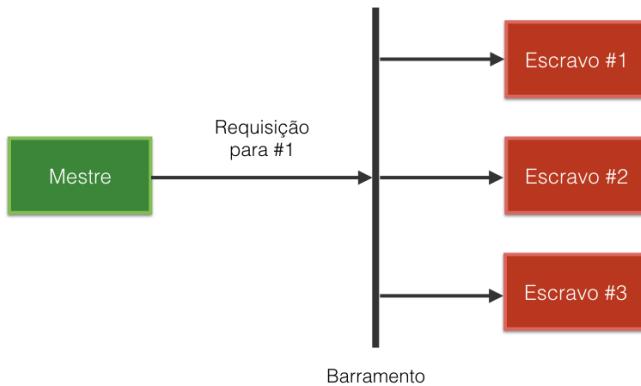


Figura 9 – Requisição MODBUS do mestre para o escravo

Como uma rede pode ter N escravos, cada escravo possui um endereço atribuído. O mestre envia a requisição para o barramento e todos os escravos a recebem, porém somente o endereçado responderá. Há também a opção de se fazer um *broadcast* - endereço 0 - onde todos escravos recebem a requisição, porém nesse caso nenhum escravo deve responde-lá.

Vale notar que em uma rede MODBUS-RTU há somente um mestre, enquanto em uma rede MODBUS-TCP é possível que cada mestre seja um escravo, e vice-versa.

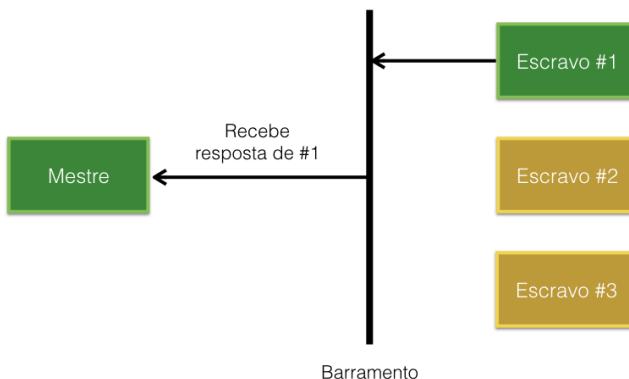


Figura 10 – Resposta MODBUS do escravo para o mestre

Tabela 1 – Function codes / Operações do MODBUS

Operação	Function code
Leitura de Coils	1
Escrita em 1 Coils	5
Escrita em N Coils	15
Leitura de Inputs	2
Leitura de Input Registers	4
Leitura de Holding Registers	3
Escrita em 1 Holding Register	6
Escrita em N Holding Registers	16

3.2.1.2 Mapa de Memória

Toda requisição realizada pelo mestre endereçará um dado no mapa de memória do dispositivo escravo, sendo que tal mapa de memória normalmente deve ser indicado por uma documentação. Os dados requisitados podem possuir quatro tipos distintos:

- *Input*: dado binário que permite apenas leitura
- *Coil*: dado binário que permite leitura e escrita
- *Input Register*: registrador com 16 bits (inteiro) que permite apenas leitura
- *Holding Register*: registrador com 16 bits (inteiro) que permite leitura e escrita

Para a realização de operações nesse mapa de memória, o mestre precisa informar nas suas requisições um *function code*. Este indicará qual dado deseja-se requisitar e se será executada uma operação de leitura ou escrita. A tabela 1 mostra os mais comuns, porém existem mais códigos, aos quais podem ser usados para diagnósticos e entre outras funções.

3.2.1.3 Envio de informações

Cada modo possui alguma diferença, porém o meio que as informações são organizadas e enviadas é o mesmo. Na figura 11 é possível

observar que em ambas implementações é necessária a definição de um *FCode* (*function code*). Logo após vem o campo *Data*, onde devem ser indicados o endereço inicial do mapa de memória, quantos registradores deseja-se requisitar e quais dados serão escritos (no caso de escrita).

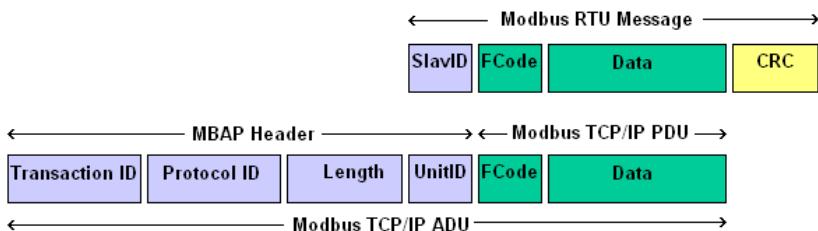


Figura 11 – Frame de Comunicação MODBUS

Como pode-se notar, somente no MODBUS-RTU há o SlavID (endereço), já que os dispositivos MODBUS-TCP são endereçados por seus IPs. O campo CRC é um dado que permite checar se o pacote obtido possui ou não algum erro. Como o protocolo TCP/IP já possui um meio para isso, tal campo não é incluído na requisição.

Esse formato de envio de informações é mantido tanto para requisição quanto para resposta, sendo que as respostas sempre possuem o mesmo *function code* da requisição. Caso diferir, provavelmente ocorreu um erro e este pode ser processado pelo mestre posteriormente.

3.2.2 WSDL e SOAP

O WSDL (W3C, 2001) permite descrever serviços web por meio de um arquivo *eXtensible Markup Language (XML)*. É possível definir os *endpoints* - pontos de entrada para requisições - com o que devem retornar e o que devem receber como parâmetros. Isso permite que um serviço *web* seja desenvolvido por uma equipe que, posteriormente, exporta um *Web Services Description Language (WSDL)* descrevendo de maneira fácil quais são seus *endpoints*, o que facilita a criação de clientes ou servidores compatíveis com o serviço.

Os arquivos WSDL definem suas interfaces em *SOAP* (??), um protocolo que permite trocas de informações entre clientes e servidores de forma padronizada. Sendo baseado em *XML*, é montado em três

partes:

- Envelope: identifica o que é a mensagem e como processá-la
- Cabeçalho: define informações extras sobre a mensagem
- Corpo: define o procedimento a ser chamado e os dados de sua resposta

Como o *WSDL* foi idealizado em *XML*, é facilmente processado por qualquer linguagem de programação, o que garante uma boa portabilidade.

3.2.3 JUnit e Automação de testes

MUDAR ESTE PARÁGRAFO: O *JUnit* é um *framework* que facilita a criação de código para a automação de testes unitários. Pode ser verificado se cada método de uma classe funciona da forma esperada, identificando possíveis erros, podendo ser utilizado tanto para a execução de baterias de testes como para extensão (DEVELOPER.COM, 2004).

Caso os testes falhem, o projeto não é enviado para o ambiente de produção (exemplo: servidor ou placa de desenvolvimento). Isso é de extrema importância para casos onde a equipe precisa modificar diversas classes, porém precisa manter suas funcionalidades. Assim, caso alguma modificação gerar alguma falha durante os testes, o desenvolvedor rapidamente poderá analisar e corrigir a falha, não deixando este se propagar no meio de produção, minimizando a chance de *bugs*.

Um dos problemas da utilização de *frameworks* de automação de teste é que é exigida uma boa dedicação para a criação dos testes, algo nem sempre possível devido a limitações de projeto, como prazos de entrega. Outro é que é necessária uma boa experiência para a criação de testes úteis e assertivos, pois é necessário um balanço entre quanto tempo dedicar e quais funcionalidades são críticas (e devem ser testadas). Além disso, o ideal seria que um terceiro instrumentasse as classes utilizando o *framework*, e não desenvolvedor, pois este estará viciado em seu código, enquanto um terceiro procurará por situações não observados pelo desenvolvedor.

3.2.4 Guice e Injeção de Dependências

A injeção de dependências permite que as classes sejam pouco acopladas entre si. Para tal, a lógica de instanciação das dependências não é gerenciada pela classe que as utiliza. O desenvolvedor só necessitará declarar quais dependências (outras classes) deseja e se preocupar em como utilizá-las na classe.

A tarefa de instanciação e injeção dessas dependências é feita por um *service container*, retirando a responsabilidade das instanciações das classes (o que as torna menos acopladas). Existem algumas ferramentas disponíveis que implementam isso de forma eficiente, como o *Guice* e o *Spring* (THESERVERSIDE, 2010). A escolhida foi o *Guice*, desenvolvida e mantida pelo *Google*.

3.3 ESTRUTURA DO PROJETO

A figura 12 apresenta o diagrama de conexão dos dispositivos. Como todos os dispositivos são compatíveis com MODBUS, esse foi o protocolo escolhido para a comunicação entre eles. Para a comunicação entre servidor e estação, foi escolhido o protocolo OCPP 1.5. O *software* foi desenvolvido em *Java 7*.

A estação possui dois medidores, sendo um de carregamento normal/lento (Med. Kron #1) e outro de carregamento rápido (Med. Kron #2). Cada conector possui seu próprio medidor de energia, porém seus controles se dão de forma diferente: o de carregamento rápido utiliza o controlador *Phoenix* em conjunto com um conector Mennekes, enquanto o conector normal é controlado pela *BeagleBone* e um relé, visto que esse é somente uma tomada comum e não necessita de nada muito elaborado para inicializar carregamentos (diferente do rápido, onde há um protocolo entre estação e carro).

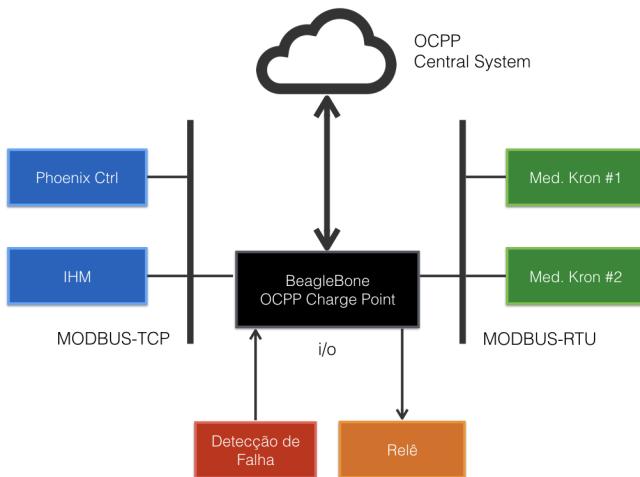


Figura 12 – Diagrama de conexão entre os dispositivos da EVSE

3.3.1 Especificações da estação

TODO: Escrever sobre a parte elétrica da estação e suas especificações

Como a ideia do projeto é o aprendizado e implementação de *software* para *EVSE*, o conector Mennekes não foi implementado nesse projeto acadêmico devido ao tempo limitado de execução, embora já esteja presente na estação protótipo.

3.3.2 Sistema operacional

O sistema que roda na BeagleBone é o Debian 8.6 (Jessie) com kernel Linux específico para a *BeagleBone*. Foi instalado o Java 7 e houveram modificações em sua *device tree* para permitir a manipulação das entradas e saídas digitais.

Foram adicionados alguns scripts no boot do sistema para ativar o acesso à internet e executar o programa logo após a inicialização do sistema.

Tabela 2 – Operações OCPP suportadas pela EVSE

Enviada/Recebida	Operação
Enviada pela Estação	BootNotification
Enviada pela Estação	Heartbeat
Enviada pela Estação	StartTransaction
Enviada pela Estação	StopTransaction
Enviada pela Estação	MeterValues
Enviada pela Estação	StatusNotification
Enviada pela Estação	Authorize
Recebida pela Estação	RemoteStartTransaction
Recebida pela Estação	RemoteStopTransaction
Recebida pela Estação	ChangeConfiguration
Recebida pela Estação	GetConfiguration
Recebida pela Estação	ChangeAvailability

3.3.3 Comunicação entre periféricos

Visto que todos dispositivos escolhidos suportam MODBUS, esse foi o protocolo escolhido como padrão. A biblioteca *Jamod* foi utilizada para realizar a implementação do protocolo no projeto.

3.3.4 Comunicação entre estação e servidores

A estação implementa o protocolo *OCPP* 1,5, ao qual é suportado por outras estações comerciais vendidas no Brasil, permitindo comunicação com equipamentos e *software* já existentes. A OCA, responsável pelo protocolo, disponibiliza um arquivo WSDL, onde é possível criar tanto um servidor quanto um cliente *OCPP* facilmente.

Para a utilização desse arquivo em Java, foi utilizada a ferramenta *wsimport*. Essa ferramenta importa os arquivos e cria classes *Java* correspondentes a cada *endpoint*. Nem todas funções especificadas pelo protocolo foram implementadas, sendo que somente as da tabela 2 são suportadas.

3.3.5 IHM e do sistema central

O desenvolvimento da IHM e do sistema central não foi desenvolvido pelo acadêmico, porém são de importância fundamental para o projeto.

3.4 SOFTWARE

3.4.1 Principais Classes

Devido a complexidade do projeto de software e suas diversas classes e implementações, a lista abaixo resume as principais classes que permitem o funcionamento da estação. Essas serão referidas nas seguintes seções sobre o funcionamento da estação.

3.4.1.1 AuthHandler

Gerencia autenticação via *RFID*. Primeiramente verifica se o usuário está habilitado por meio de uma *whitelist* e, caso não encontre nenhum dado nela, faz uma requisição ao servidor *OCPP* para a verificação.

3.4.1.2 OcppManager

Roda em uma instância própria e, a cada período de tempo, executa a lista de comandos que foram criados pelo programa. Implementa o *Dispatcher* do *Command Pattern* (GAMMA et al., 1995), onde os seus comandos são implementações das requisições da tabela 2, e roda em uma instância individual.

3.4.1.3 ChargePointServer

Implementação da classe *WSDL* gerada pelo *wsimport*. Roda em uma instância individual e cria um servidor ao qual o *Central System* pode requisitar dados.

3.4.1.4 ChargePointClient

Implementação da classe *WSDL* gerada pelo *wsimport*. Permite enviar requisições para o *Central System* e é chamado apenas por comandos despachados pelo *OcppManager*.

3.4.1.5 HmiManager

Gerencia os estados da IHM, sendo que todos estados são representados por classes. Implementa o *Context* do *State Pattern* (GAMMA et al., 1995), sendo que cada estado (implementações da classe *ScreenState*) pode modificar qual será o estado da próxima iteração por meio de informações adquiridas do dispositivo IHM ou de dados vindos de outras dependências. Roda em uma instância própria.

3.4.1.6 ConnectorSupervisor

Roda em uma instância, onde checa periodicamente o status dos conectores, envia informações para o servidor sobre dados de medição destes e expira antigas reservas (esse último será implementado em versões futuras).

3.4.1.7 ConnectorManager e Connector

Classe que armazena todos conectores, sendo cada conector um objeto *Connector*. As classes *Connector* gerenciam cada conector da estação, o que possibilita a obtenção de dados e controle por meio de diferentes interfaces (Input/Output - Entrada e Saída (IO) e MODBUS no momento).

3.4.1.8 TransactionManager e Transaction

Classe que armazena transações ativas, sendo que transações são instâncias da classe *Transaction*. Cada transação roda em uma instância individual, sendo que estas são responsáveis pelos processos de inicialização e finalização junto ao *OCPP*, assim como envio periódico de dados da transação.

3.4.2 Inicialização

A figura 13 apresenta como o programa é inicializado. Deve-se levar em conta que a primeira coisa a ser executada, antes mesmo da sequência definida no *main()*, é a inicialização do *Guice*, onde todos *check-ups* iniciais são feitos para verificar se não há nenhuma declaração errada em sua configuração.

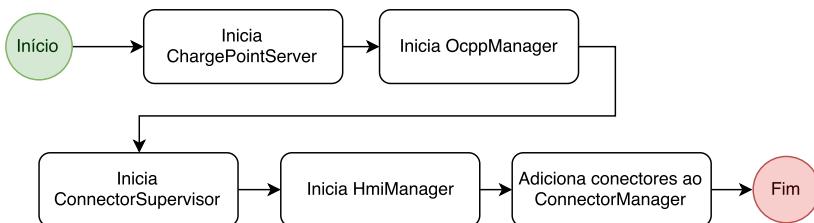


Figura 13 – Sequência de Inicialização

Todas classes que são instâncias independentes são inicializadas, menos a classe *Transaction* que só é inicializada quando há uma transação à ser iniciada. Visando prover agilidade, as configurações dos conectores são declaradas no corpo da classe que contém o *main()*, porém foi observado que poderia ser criada uma classe que adquirisse os dados da configuração do conector (atualmente em *settings.properties*) e adicionasse esses conectores ao *ConnectorManager*.

3.4.3 Inicialização e Finalização de Transações pelo Usuário

Para inicializar uma transação (carregamento), o usuário precisa ser registrado no sistema, sendo que este é validado por meio de uma *tag RFID*. A figura 14 demonstra o processo que o usuário deve executar para inicializar a transação com uma *tag RFID*.

Após encostar a *tag* no leitor, o *HmiManager* chama o *AuthHandler* para verificar se o usuário está ou não habilitado para carregar veículos na estação. Caso não, uma mensagem de erro é exibida e a IHM retorna para a tela inicial.

Após autenticar, o usuário precisa escolher um dos conectores disponíveis. Assim que escolhido, o *HmiManager* chama o *Transacti-*

onManager, ao qual se encarrega de inicializar uma transação (*Transaction*). Ao inicializar a transação, uma *Thread* é criada. A primeira tarefa desta é habilitar o carregamento, chamando a classe *Conector* relacionada para tal. Por fim, o servidor OCPP é notificado da transação e o usuário recebe uma mensagem notificando que seu carregamento foi iniciado.

Também é possível inicializar uma transação por meio de um aplicativo, por exemplo. Nesse caso, o servidor OCPP mandará uma *RemoteStartTransaction*, que iniciaria o mesmo processo como se fosse uma *tag RFID*, porém feito por meio de um servidor e não fisicamente.

A finalização de um carregamento é dada basicamente da mesma maneira e é apresentada na figura 15. Uma das diferenças é que, após o usuário ser autenticado, é checado se ele possui uma transação ativa. Caso houver, aparecerá o conector que ele pode cancelar o carregamento. Os outros processos são o inverso da inicialização (para a *Thread* e desabilita carregamento).

Um carregamento pode também ser automaticamente finalizado pelo *ConnectorSupervisor*, caso algum erro for detectado ou se o veículo já não estiver mais consumindo nenhuma carga.

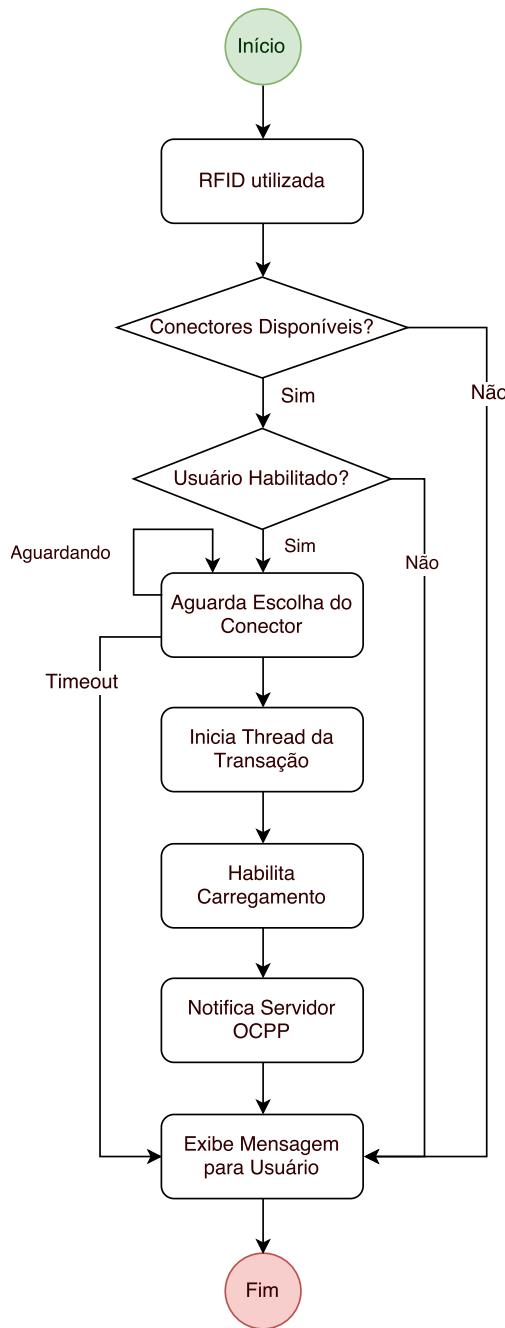


Figura 14 – Diagrama de Inicialização de uma Transação pelo usuário

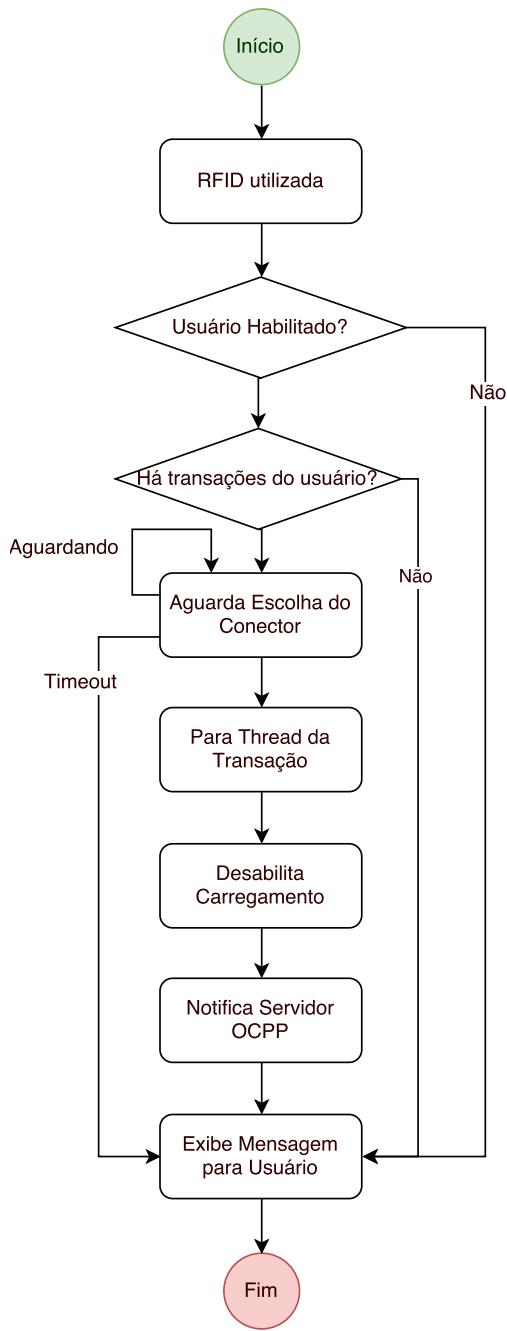


Figura 15 – Diagrama de Finalização de uma Transação pelo usuário

3.5 TESTES E RESULTADOS

3.5.1 Ferramentas de teste

Para testar a implementação realizada, é necessária uma ferramenta para simular um servidor central. Inicialmente, testou-se a ferramenta GIR OCPPJS, porém essa apresentou problemas ao lidar com algumas das requisições vindas da EVSE.

Foi criada então uma ferramenta para testes, disponível em <https://github.com;brnlui/ocpp-tools>, que implementa parcialmente as funções de um sistema central. Todas operações apresentadas na tabela 2 foram implementadas.

Após aberta, a ferramenta ouve todas requisições das estações que conectadas e responde as requisições com dados genéricos, o que possibilita o funcionamento da estação protótipo. Caso o desenvolvedor precise executar alguma requisição às estações, é possível utilizar a Command Line Interface (CLI) para tal (os comandos disponíveis são dados pelo manual da ferramenta).

3.5.2 Implementações e testes iniciais

O desenvolvimento inicial se deu no estudo da base de código anterior, que ainda não implementava nada da EVSE funcionalmente, apenas possibilitava o teste de cada dispositivo isoladamente. Após esse período inicial, iniciou-se a implementação do software da estação.

Alguns testes unitários foram desenvolvidos sob o *framework* de testes *JUnit*, o que permite o programa ser testado antes de ser embarcado. Assim que todos testes passam, o programa é enviado para a *BeagleBone*, a qual está conectada aos dispositivos listados na seção 3.1, porém dispostos em uma bancada de testes (figura 16).

Como as cargas utilizadas durante o teste consumiam pouca energia (fontes CA-CC de dispositivos de baixo consumo, como notebooks), o medidor de energia teve seu multiplicador de corrente configurado em 100, possibilitando assim simular um consumo alto de forma rápida (sem ter que aguardar várias horas para atingir 1 kWh).

Todos arquivos, sistema operacional incluso, são colocados em um cartão SD, o que facilita a cópia desses dados para backup (criação de imagens) e permite o intercâmbio do sistema entre a bancada de testes e a estação protótipo.

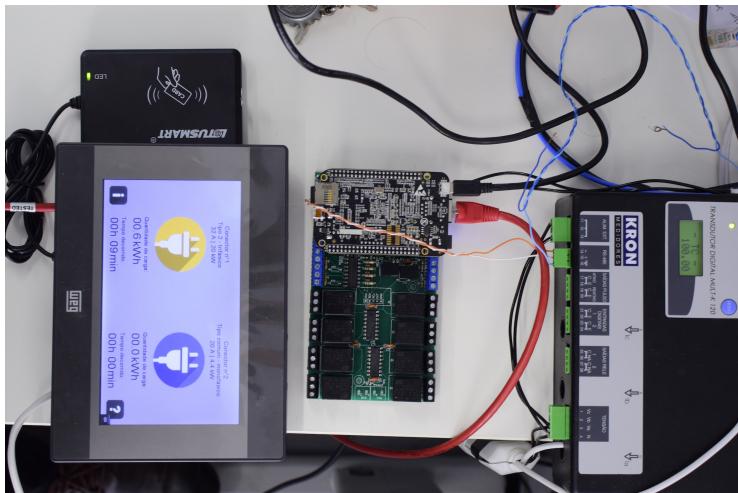


Figura 16 – Disposição dos dispositivos na bancada de testes

3.5.3 Testes na estação protótipo

Após diversos testes, o sistema foi levado para a EVSE protótipo, situada no estacionamento da Fundação CERTI. A disposição dos dispositivos da estação difere com a da bancada de testes (figura 17), porém visto que os dispositivos são os mesmos e o sistema embarcado foi colocado em um cartão SD, só é necessário inserir o cartão na BeagleBone da estação e configurá-la para dar boot pelo cartão, caso já não estiver configurada de fábrica assim.



Figura 17 – Disposição dos dispositivos na estação protótipo

Inicialmente, houveram problemas relativos à configurações de IP estático da BeagleBone da estação e endereçamento dos medidores de energia. O primeiro foi resolvido com a substituição do *connman* e pelo *Network Manager* do Linux embarcado. Já o segundo era um problema na configuração do endereço MODBUS e das configurações seriais, onde foi necessário readequar os parâmetros do sistema embarcado para os da *EVSE*.

Após resolvidos, a *EVSE* funcionou da mesma maneira que funcionava na bancada de testes, o que finaliza as entregas do projeto.

4 CONCLUSÃO

O objetivo de estudar o funcionamento de uma *EVSE* e como implementá-la foi alcançado com sucesso após os testes finais na estação protótipo. Embora essa primeira entrega não permita a utilização do conector Combo, já é possível realizar carregamentos em veículos que não automóveis (como bicicletas) e carregamentos lentos, o que permite a utilização imediata da estação.

A complexidade do *software*, assim como todas tecnologias utilizadas nele, permitiram que os objetivos relacionados à *software* fossem alcançados também.

Referências

- BLOCK, D.; HARRISON, J.; BROOKER, P. **Electric Vehicle Sales for 2014 and Future Projections.** 2015. Disponível em: <<http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-CR-1998-15.pdf>>. Acesso em: 30/12/2016.
- BUAMOD, I.; ABDELMOGHITH, E.; MOUFTAH, H. T. A review of osi-based charging standards and emobility open protocols. In: **2015 6th International Conference on the Network of the Future (NOF).** [s.n.], 2015. p. 1–7. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7333288/>>. Acesso em: 30/12/2016.
- CAAM. **New energy vehicles enjoyed a high-speed growth.** 2016. Disponível em: <<http://www.caam.org.cn-AutomotivesStatistics/20160120/1305184260.html>>. Acesso em: 30/12/2016.
- DEVELOPER.COM. **Automated Unit Testing Frameworks.** 2004. Disponível em: <<http://www.developer.com/java/ent/article.php/3372151/Automated-Unit-Testing-Frameworks.htm>>. Acesso em: 18/01/2017.
- EAA. **Electric Vehicles in Europe.** 2016. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe-download>>. Acesso em: 30/12/2016.
- FOX, G. H. Electric vehicle charging stations: Are we prepared? **IEEE Industry Applications Magazine**, v. 19, n. 4, p. 32–38, July 2013. ISSN 1077-2618. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6507645/>>. Acesso em: 30/12/2016.
- GAMMA, E. et al. **Design Patterns: Elements of Reusable Object-oriented Software.** Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995. ISBN 0-201-63361-2.
- IEC. **International Standard IEC 62196-3.** 2014.
- KELLY-DETWILER, P. **Building Out The Electric Vehicle Charging Infrastructure: Greenlots Advocates For Open**

Standards. 2014. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/peterdetwiler/2014/03/13/building-out-the-electric-vehicle-charging-infrastructure-greenlots-advocates-for-open-standards>>. Acesso em: 29/12/2016.

LONGO, M. et al. Recharge stations: A review. In: **2016 Eleventh International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)**. [s.n.], 2016. p. 1–8. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7476390/>>. Acesso em: 30/12/2016.

MCKINSEY. **Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?** 2014. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/2001/NOTE-wsdl-20010315>>. Acesso em: 04/12/2016.

MENNEKES. **Type 2 charging plug proposed as the common standard for Europe.** 2013. Disponível em: <http://www.mennekes.de/uploads/media/MENNEKES_Media_information_Type_2_charging_plug_proposed_as_the_common_standard_for_Europe.pdf>. Acesso em: 04/01/2017.

MODBUS. **MODBUS Application Protocol Specification v1.1b3.** 2012. Disponível em: <http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf>. Acesso em: 29/12/2016.

OCA. **OCPP 1.5 specification.** 2012. Disponível em: <http://www.openchargealliance.org/uploads/files/protected/ocpp_specification_1.5_final.pdf>. Acesso em: 05/10/2016.

OCA. **Standardization of OCPP.** 2016. Disponível em: <<http://www.openchargealliance.org/oasis/>>. Acesso em: 30/12/2016.

SCHMITT, B. **Germany's Bundesrat Resolves End Of Internal Combustion Engine.** 2016. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/bertelschmitt/2016/10/08/germany-s-bundesrat-resolves-end-of-internal-combustion-engine>>. Acesso em: 29/12/2016.

THESERVERSIDE. **Spring vs. Guice: The Clash of the IOC Containers.** 2010. Disponível em: <<http://www.theserverside.com-feature/Spring-vs-Guice-The-Clash-of-the-IOC-Containers>>. Acesso em: 18/01/2017.

W3C. **Web Services Description Language (WSDL) 1.1.** 2001. Disponível em:
<<http://www.w3.org/TR/2001/NOTE-wsdl-20010315>>. Acesso em: 29/12/2016.