

SISTEMA DE ACIONAMENTO DE CARGAS POR ACESSO REMOTO UTILIZANDO PROTOCOLO MQTT

Resumo: Diante do racionamento dos recursos naturais e a conseqüente necessidade de fontes alternativas de energias e, sobretudo, as fontes de energias limpas, há cada vez mais a conscientização da sociedade em busca de se evitar o desperdício desenfreado de recursos, principalmente de água e de energia elétrica que abastecem as residências. O objetivo deste trabalho é mostrar como um protótipo de uma tomada inteligente pode ser útil no cotidiano das pessoas, seja em residências ou edifícios, no campo ou na cidade. O protótipo trata-se de um sistema embarcado que utiliza um microcontrolador ESP8266 para acionamento de um relé através um sistema web para interação com o usuário final utilizando protocolo MQTT, dispondo de gráficos de potência e de corrente em tempo real bem como um sistema de agendamento do funcionamento da carga que está conectada. Desta forma, serão mostradas as ferramentas e tecnologias utilizadas na elaboração desse sistema, que, ao final, se mostrou como uma forma de automação residencial/predial de baixo custo.

Palavras-chave: Tomada inteligente. Sistema embarcado. ESP8266. Protocolo MQTT. Automação predial de baixo custo.

1 INTRODUÇÃO

A descoberta da energia elétrica foi, sem dúvidas, um fator importantíssimo para o desenvolvimento da sociedade contemporânea. Equipamentos eletroeletrônicos, como computador, televisão, aparelhos de som, aquecedores e diversos outros, só existem graças à energia elétrica. Esta pode ser definida como a capacidade de uma corrente elétrica realizar trabalho.

Até o século passado não se existia uma preocupação minuciosa da sociedade em geral de se saber o consumo instantâneo de cada equipamento conectado à rede elétrica a fim de se evitar gastos desnecessários. Ligar ou desligar um equipamento era realizado exclusivamente de forma manual, ou nos melhores casos poderia se ter um controle remoto que daria a opção de realizar o acionamento do dispositivo a alguns poucos metros de distância.

A partir da segunda metade do século XX com o advento da Internet cabeada (Ethernet) e posteriormente com o advento da Internet sem fio (Wireless), houve uma revolução na forma de comunicação na sociedade como um todo.

Apesar de seu forte poder de impacto nos últimos anos e atualmente, o termo Internet das Coisas (em inglês: *Internet of Things*, abreviadamente, IoT) surgiu em 1999, proposto por Kevin Ashton do MIT, sendo definido, conforme líder mundial em pesquisa e aconselhamento sobre tecnologia – a Gartner, como a rede de objetos físicos que contém tecnologia incorporada para comunicar e sentir ou interagir com seus estados internos ou com o ambiente externo. Em outras palavras, é uma rede gigante de coisas conectadas, incluindo também pessoas. Assim, tem-se a relação coisas-coisas, coisas-pessoas e pessoas-pessoas.

Dentro de todo esse contexto, é esperado que todo e qualquer eletroeletrônico seja num ambiente residencial ou predial possa estar conectado de forma inteligente à Internet, uma vez que a imensa maioria dos produtos entregues pela indústria ainda não está integrada à Internet das Coisas.

Waka (2015) em seu trabalho de conclusão de graduação desenvolveu um controle remoto de tomadas de energia elétrica, utilizando a plataforma de prototipagem Intel Galileo e tecnologias de software livre como o openHAB, um framework para automação residencial, e o middleware de comunicação Mosquitto utilizando o protocolo MQTT para envio e recebimento de mensagens.

Soares et al (2017) desenvolveram um circuito para leitura, monitoramento e cálculo do consumo de energia elétrica de equipamentos conectados a uma tomada de uso geral com o objetivo de ser um protótipo de baixo custo e de tamanho físico pequeno a fim de poder ser inserido nas tomadas residenciais convencionais. Para isso, utilizaram um microcontrolador da família PIC, o DSPIC3012, um sensor de corrente ACS712 e um módulo Xbee Pro 900HP S3B, para transmitir os dados sem a necessidade de fios e possibilitar o controle e monitoramento à distância. Tudo isso conectado a um software desenvolvido de autoria própria dos autores, baseado na linguagem de programação LabVIEW.

Este trabalho visa demonstrar uma tomada inteligente como um elemento a ser utilizado em uma automação residencial/predial a fim de posteriormente estar conectada a um medidor de energia inteligente, que incorpora recursos para monitorar parâmetros de energia de equipamentos e realizar funções como monitoramento de energia em tempo real, fator de potência e alertas contra sobretensão e sobrecorrente, conforme desenvolvido por Griner, Guimarães e Freitas (2015).

Assim, este artigo está estruturado nos seguintes tópicos: Introdução, em que é demonstrado o contexto social e a problemática a ser explicitada; Materiais e tecnologias envolvidas no protótipo da tomada inteligente, no qual se fundamenta toda a teoria envolvida no escopo do protótipo; Resultados, que explicita o passo-a-passo da construção da tomada inteligente em si; Conclusão, no qual são retomadas as ideias principais apresentadas e mostradas as possíveis soluções da problemática inicial bem como explicitadas possíveis propostas de otimização das tecnologias abordadas buscando o estado da arte no assunto abordado.

2 MATERIAIS E TECNOLOGIAS ENVOLVIDAS NO PROTÓTIPO DA TOMADA INTELIGENTE

Uma tomada inteligente pode ser aqui definida como um sistema embarcado conectado diretamente a Internet a fim de gerar informações em tempo real da carga acionada. O sistema nada mais é que a integração entre hardware utilizando microcontrolador ESP8266 e uma aplicação web desenvolvida pelos autores, embarcado numa caixa de montagem.

Na parte de hardware, tem-se um NodeMCU 1.0 (ESP12E) que recebe informações de um sensor de corrente ACS712 a fim de enviar suas informações para um broker MQTT que, por sua vez, envia informações para gráficos de tempo real numa página web. Ainda ligado ao NodeMCU, tem-se um relé optoacoplado que interliga a parte de potência com a parte de controle do protótipo. A alimentação da parte de controle do sistema é fornecida por uma fonte regulada de 220 Vca para 5 Vcc.

2.1 O Microcontrolador ESP8266

Hoje em dia o lema é conectividade e mobilidade. Estamos vendo coisas cada vez mais móveis e conectadas, principalmente referente à Internet. E dentre os inúmeros módulos que surgiram recentemente para explorar a onda da Internet das Coisas, o que mais se destaca é o ESP8266, da empresa Espressif.

O ESP8266 é um *System-On-Chip* (Soc) com WiFi embutido, dispendo de conectores GPIO, barramentos I2C, SPI, UART, entrada ADC, saída PWM e sensor interno de

temperatura. Sua CPU opera em 80 MHz, com possibilidade de operar em 160 MHz. Possui uma arquitetura RISC de 32 bits, sendo 32 Kbytes de RAM para instruções, 96 KBytes de RAM para dados e 64 KBytes de ROM para boot. Sua tensão de alimentação é de 3,3 V e consome até 300 mA. Dispõe de um tamanho físico muito pequeno bem como seu preço de mercado que custa em torno de 25 reais, dependendo de seu modelo.

Os módulos ESP8266 são fornecidos numa ampla variedade de modelos, com diferenças perceptíveis principalmente no que tange à quantidade de IOs (entradas e saídas) disponíveis para acesso externo, e no tamanho do módulo.

2.2 Sensor de corrente ACS712

O ACS712 é um transdutor de corrente baseado no Efeito Hall, sendo invasivo, fabricado pela Allegro. Geralmente é utilizado para medição de corrente contínua (CC), mas também pode ser utilizado para medição em corrente alternada (CA) o que o torna muito versátil. Utiliza 5 Vcc para sua alimentação. A saída analógica do ACS712 fica grampeada sobre uma tensão de aproximadamente $V_{cc}/2$ (2,5 Vcc), quando há corrente circulando a saída irá tender a esse ponto.

O dispositivo consiste em um circuito de sensor Hall linear preciso com uma trilha de condução de cobre localizado próximo à superfície da entrada invasiva. A corrente aplicada que flui através desta trilha de condução de cobre gera um campo magnético que é detectado pelo circuito Hall integrado e é convertida em uma tensão proporcional. A sensibilidade de saída é 66, 100 ou 185 mV/A para os ACS712 de 30 A, 20 A ou 5 A, respectivamente.

2.3 Relé optoacoplado

O relé é um módulo de acionamento que permite integração com um grande número de sistemas microcontroladores. É alimentado por uma tensão de 5 Vcc e pode controlar cargas de corrente contínua ou alternada de até 10 A (ou mais), dependendo do modelo. Suas saídas são: contato reversível NA (normal aberto), NF (normal fechado) e C (comum).

A vantagem de o relé ser optoacoplado é o fato de isolar a região de controle da região de potência, funcionando como uma proteção em casos de descargas elétricas (raios), protegendo o sistema microcontrolado.

2.4 Protocolo MQTT

O MQTT, acrônimo de *Message Queue Telemetry Transport*, é um protocolo de sistema de mensagens assíncrono desenvolvido pela IBM ainda no final dos anos 90 com o propósito de vincular sensores em pipelines de petróleo a satélites. Tal protocolo, segundo Michael Yuan (2017), desacopla o emissor e o receptor da mensagem tanto no espaço quanto no tempo e, portanto, é escalável em ambientes de rede que não são confiáveis. Apesar de seu nome, ele não tem nada a ver com filas de mensagens, na verdade, ele usa um modelo de publicação e assinatura. No final de 2014, ele se tornou oficialmente um padrão aberto OASIS, com suporte nas linguagens de programação populares, usando diversas implementações de software livre.

Os motivos pelos quais se utiliza, com maior frequência, o MQTT ao invés do HTTP no mundo da Internet das Coisas é fato de este ser um protocolo síncrono, unidirecional, com mensagens unicast e possuir muitos cabeçalhos e regras, enquanto aquele foi projetado para ambientes de comunicação assíncrona, muito utilizado na maioria dos sistemas de alto desempenho, os quais usam um barramento do sistema de mensagens assíncrono, em vez de serviços da web, para trocas de dados internas.

Ainda conforme Michael Yuan (2017):

O protocolo MQTT define dois tipos de entidades na rede: um broker e inúmeros clientes. O broker é um servidor que recebe todas as mensagens dos clientes e, em seguida, roteia essas mensagens para os clientes de destino relevantes. Um cliente é qualquer coisa que possa interagir com o broker e receber mensagens. Um cliente pode ser um sensor de IoT em campo ou um aplicativo em um data center que processa dados de IoT.

O princípio de funcionamento do MQTT ocorre através de publicação e assinatura. Após se conectar com o servidor, o cliente pode assinar qualquer tópico de mensagem do broker. Vale salientar que esta conexão pode ser realizada através de TCP/IP ou por uma conexão TLS. Assim, o cliente publica sua mensagem em um determinado tópico, informando ao broker o referido tópico e a mensagem propriamente dita. Em seguida, o broker encaminha a mensagem a todos os clientes que assinam esse tópico.

2.5 Protocolo NTP

O protocolo de tempo de rede, em inglês *Network Time Protocol* é um protocolo padrão da Internet utilizado a fim de organizar e manter um conjunto de servidores de tempo e caminhos de transmissão, como uma sub-rede de sincronização. É especificamente projetado para manter a precisão e confiabilidade, mesmo quando usado em caminhos típicos da Internet, envolvendo vários gateways e redes não confiáveis. Conforme David L. Mills, idealizador do NTP:

A integridade dos dados é fornecida pelas somas de verificação IP e UDP. Nenhuma instalação de gerenciamento de circuito, de detecção duplicada ou de retransmissão é fornecida ou necessária. O protocolo pode operar em vários modos apropriados a diferentes cenários envolvendo estações de trabalho privadas, servidores públicos e várias configurações de rede. Um recurso leve de gerenciamento de associação, incluindo acessibilidade dinâmica e mecanismos de intervalo de sondagem variável, é usado para gerenciar informações de estado e reduzir os requisitos de recursos.

Assim, O NTP em seu propósito principal é capaz de garantir as propriedades necessárias ao relógio de quaisquer dispositivos para o bom funcionamento das aplicações. Para tanto, todos os subsistemas envolvidos mantêm, em suas principais funções, a monotonicidade do tempo; Identificação de servidores de tempo conhecidos e confiáveis, evitando possíveis ataques; formação, em conjunto com outros servidores NTP, de uma topologia simples, confiável, robusta e escalável para a sincronização de tempo.

2.6 Plataforma Angular

Segundo seu *site* oficial, o Angular é uma plataforma que facilita a criação de aplicativos com a web, combinando modelos declarativos, injeção de dependência, ferramentas de ponta a ponta e práticas recomendadas integradas para resolver desafios de desenvolvimento. Além de permitir que desenvolvedores criem aplicativos que estejam na Web, em dispositivos móveis ou na área de trabalho.

O Angular possui código-fonte aberto e *front-end* baseado em *TypeScript*, o que evidentemente utiliza *CSS*, *HTML* e *JavaScript* para elaboração de interfaces *front-end*. Sua equipe de desenvolvedores é liderada pela Equipe Angular do Google e por uma comunidade de colaboradores espalhados por todo o mundo. Angular é uma reescrita completa do AngularJS, feito pela mesma equipe que o construiu, sendo lançado oficialmente em 14 de setembro de 2016 e atualmente está em sua versão 7.

3 MONTAGEM DO PROTÓTIPO DA TOMADA INTELIGENTE

Neste projeto, para a elaboração do protótipo da tomada inteligente, toda a parte de montagem do hardware foi elaborada dentro de um laboratório de eletrotécnica, o qual dispunha de todos os equipamentos para medição e análise de circuitos eletrônicos. A parte de montagem do hardware foi composta de: uma placa NodeMCU 1.0, que utiliza o microcontrolador ESP8266; um sensor de corrente ACS712; uma fonte regulada de transformação de tensão de 220 Vca para 5 Vcc; um relé de um canal optoacoplado; uma caixa de montagem para embarcar todo o sistema; um plug de tomada macho e um plug fêmea. Todos esses materiais custaram pouco menos de 100 reais. A parte de software contou com softwares livres e de código aberto em sua imensa maioria, apenas foi utilizado o broker CloudMqtt, mas em versão não paga. O protótipo é mostrado na Figura 1.

Figural- Protótipo da tomada inteligente.



Fonte: própria.

3.1 Calibração do sensor de corrente

Uma das primeiras tarefas na montagem do protótipo da tomada inteligente foi calibrar o sensor de corrente ACS712, invasivo, a fim de ter seus valores de corrente medidos pelo ESP8266 e enviados para a aplicação, a qual irá gerar os gráficos de corrente e potência da carga inserida no sistema. O ACS712 utilizado tem sensibilidade de 185 mV/A, pois faz leitura de correntes de -5 A a 5 A.

Inicialmente, foi conectado o ACS712 ao ESP8266 e a uma fonte de tensão ajustável no valor de 5 V, utilizada somente para alimentar o sensor e assim permitir verificar se a curva de tensão por corrente da folha de dados do sensor teórica realmente estava de acordo com o circuito utilizado. Lembrando que a tensão foi mantida constante nos cálculos utilizados.

Ainda, segundo folha de dados do sensor, quando a corrente lida pelo sensor tivesse o valor 0A, a saída digital do sensor deveria apresentar uma tensão de 2,5 V. Desse modo, foram realizados os testes com o sensor sem carga conectada e observado que a tensão na saída do seu terminal era coerente com o valor informado na folha de dados.

Visto que o sensor estava calibrado, foi feito um teste com um conjunto de resistências de 100 ohms, montada através da associações série e paralelo, conforme figura 2, em que foi validado o sensor, dando uma precisão de 99,6% visto que o erro foi de 0.4%, pois o valor obtido foi 2.49 V.

Figura 2 - Teste do sensor de corrente.

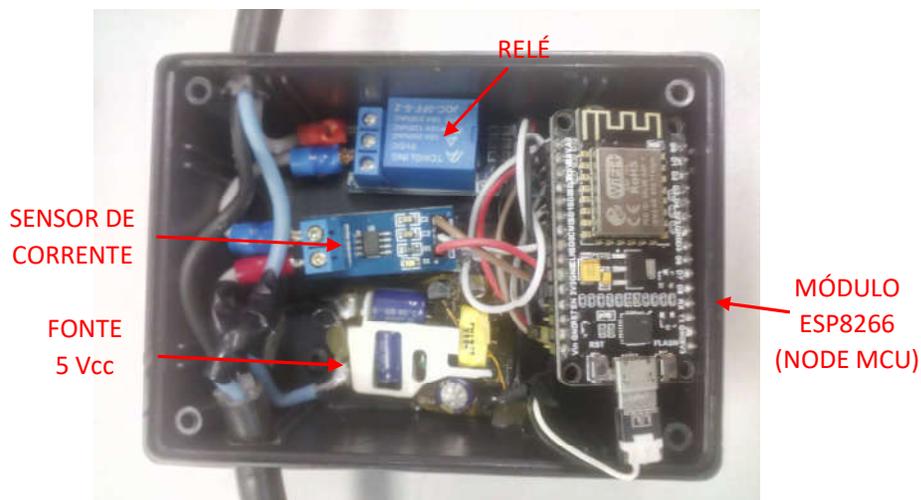


Fonte: própria.

3.2 Disposição final do circuito

Na Figura 3, tem-se a disposição dos dispositivos da tomada inteligente. Um cabo tripolar (fase, neutro e proteção) do tipo PP de 2,5mm² alimenta todo o sistema. Para alimentar a parte de controle, há uma fonte de tensão regulada que, ao converter a tensão da rede elétrica para 5 V, alimenta a placa NodeMCU 1.0 através da porta mini USB. O sensor de corrente ACS712 é ligado em série com a fase do circuito, sendo conectado também ao módulo ESP8266, que receberá as informações de valor de corrente. Nesse contexto, o ESP8266 através da placa NodeMCU aciona um relé, que está conectado em série com a fase de alimentação do circuito. Pelo fato desse relé já possuir optoacoplador, há o isolamento da parte de potência da parte de controle.

Figura 3 - Circuito da tomada inteligente.



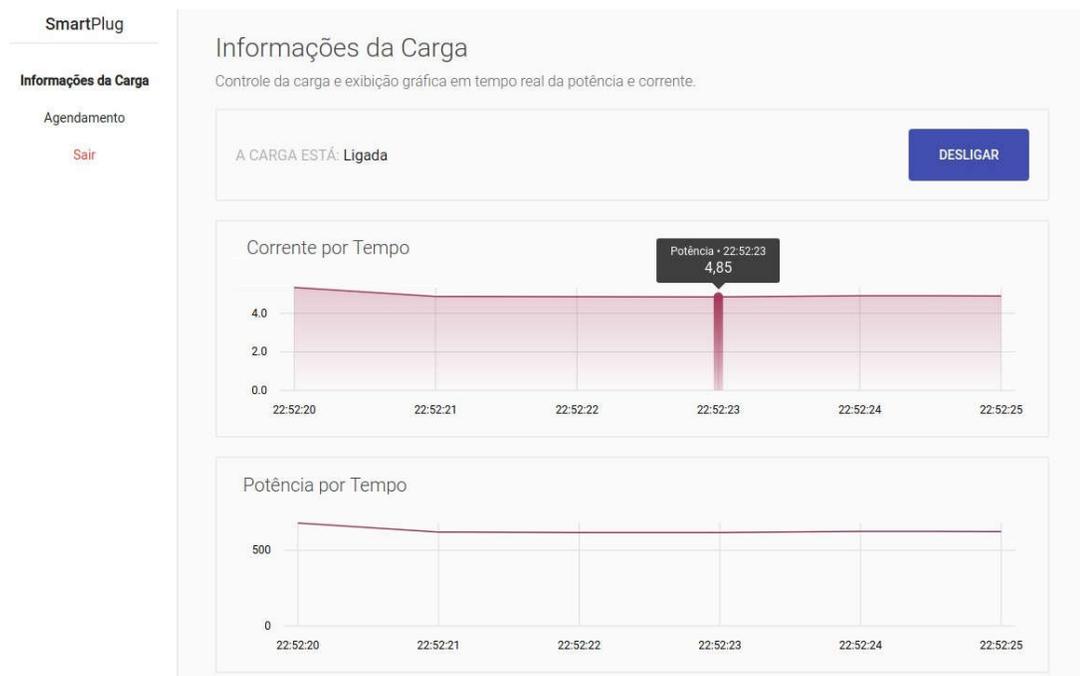
Fonte: própria.

3.3 Interface gráfica para controle da tomada inteligente

A fim de ser uma ferramenta de fácil uso, foi desenvolvida uma aplicação web utilizando o *framework* Angular, que utiliza a linguagem JavaScript. Nesta aplicação há a funcionalidade principal de acionamento da carga em que o usuário pode ligar ou desligar a carga que está

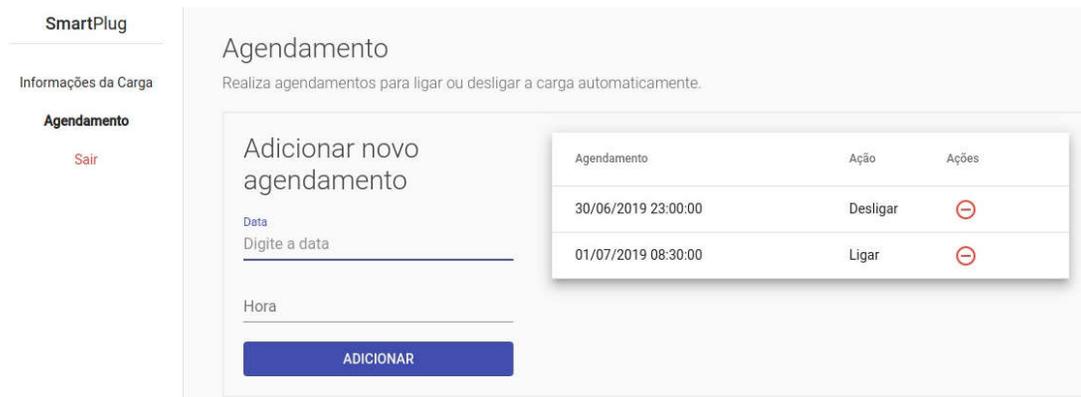
sendo acionada pela tomada inteligente, tendo a informação *feedback* do status da carga (ligada ou desligada). Além disso, há um sistema de agendamento em que é possível agendar um momento futuro para a carga ser acionada. Isso garante uma maior comodidade para o usuário final que poderá realizar o acionamento da carga via Internet, onde quer que esteja. Esse sistema também conta com gráficos de corrente e potência da carga acionada em tempo real, fornecendo, de forma intuitiva ao usuário, informações de consumo de energia elétrica e, consequentemente, seu gasto na conta mensal de energia do aparelho controlado. Nas Figuras 4 e 5 são exibidas as interfaces da aplicação web, denominada pelos autores de SmartPlug, para uma determinada carga:

Figura 4 - Interface de informações da carga.



Fonte: própria.

Figura 5- Interface de agendamento da carga.



Fonte: própria.

4 PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO DA TOMADA INTELIGENTE

A ideia de otimização desse protótipo de tomada inteligente é utilizar componentes ainda menores a fim de todo o protótipo caber dentro de uma caixa convencional de uma tomada de energia elétrica, possibilitando que projetos elétricos convencionais possam receber a inteligência de poder ter suas cargas monitoradas em tempo real por aplicações web. Uma dessas formas de otimizar é utilizar um módulo ESP01, que é uma versão do microcontrolador ESP8266 menos robusta, de menores dimensões.

Uma outra grande otimização a ser realizada e que na verdade é uma continuação deste projeto é integrar a tomada inteligente a um medidor de energia inteligente conforme desenvolvido por Griner, Guimarães e Freitas (2015) na figura abaixo:

Figura 6 - Medidor de energia inteligente utilizando ADE7758.



Fonte: própria.

O medidor acima utiliza uma placa Arduino para realizar os cálculos de energia provenientes de um processador de energia baseado no circuito integrado ADE7758. A proposta de otimização desse projeto é utilizar o ADE7758 juntamente com o ESP8266 a fim de poder utilizar a rede WiFi para receber os dados de cada tomada inteligente espalhadas dentro de um determinado projeto seja residencial ou predial. Assim, teria-se uma espécie de

arquitetura em estrela em que o medidor de energia inteligente utilizando uma versão atual do CI ADE7758 iria estar integrado a um chip ESP8266, recebendo dados em tempo real das tomadas inteligentes conectadas via rede.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluída a elaboração do protótipo da tomada inteligente, pôde-se constatar que este projeto é viável para a automação de residências ou edifícios a baixo custo. Para chegar a essa conclusão não se levou em consideração os possíveis custos de mão-de-obra intelectual pela elaboração da tomada inteligente. Em análise, foram levados em consideração os custos das matérias-primas envolvidas. Pelo fato de chips e demais componentes eletrônicos estarem muito baratos nos dias atuais, é possível se elaborar projetos robustos com excelente custo/benefício. Em se tratando de um produto final, tem-se um redução do preço unitário do produto em relação ao protótipo elaborado devido quantidade de produtos fabricados, que barateia o custo de produção.

Agradecimentos

Agradecemos à Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte por ceder seu Laboratório de Eletrotécnica para que fosse elaboradas as pesquisas acadêmicas e poder gerar ciências e tecnologias para a sociedade brasileira.

REFERÊNCIAS

- Waka, G. M. Controle remoto de tomadas elétricas baseado nos conceitos da Internet das Coisas. 2015. 54 f. Monografia (graduação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- David L. Mills. Internet Time Synchronization: The Network Time Protocol. IEEE Transactions on Communications, Vol. 39, No. 10, Outubro de 1991.
- Soares, L. F.; Brandt, J.; Godinho, R. A.; Bertencello, R. Monitoramento de variáveis em uma tomada de uso geral - Smart Tug. In: Congresso técnico científico da engenharia e da agronomia, 2017, Belém. Anais. CONTECC, 2017.
- Guimarães, A. M. F. ; Freitas, T. T. ; Griner, H. ; de Almeida, T. H. S. . Smart energy monitoring system with ADE7758 IC. In: 2015 5th International Youth Conference on Energy (IYCE), 2015, Pisa. 2015 5th International Youth Conference on Energy (IYCE), 2015. p. 1-5.
- Curvello, A. Apresentando o módulo ESP8266. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/modulo-esp8266>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- Allegro MicroSystems. ACS712: Fully Integrated, Hall-Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor. Disponível em: <https://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- Yuan, M. Conhecendo o MQTT: Por que o MQTT é um dos melhores protocolos de rede para a Internet das Coisas?. Disponível em: <https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>. Acesso em: 16 abr. 2019.

Google Inc.. Angular: One framework. Mobile & desktop. Disponível em: <https://angular.io>
Acesso em: 30 de abr. 2019.

LOADS ACTUATION SYSTEM BY REMOTE ACCESS USING MQTT PROTOCOL

***Abstract:** Due to the rationing of natural resources and the consequent need for alternative energy sources and, especially, the clean energy sources, there is an increasing awareness of the society in order to avoid the unrestrained waste of resources, especially water and electrical energy that supplies the households. The objective of this work is to show how a smart plug prototype can be useful in the daily lives of people, whether in households or buildings, in the countryside or in the city. The prototype is an embedded system that uses an ESP8266 microcontroller for triggering a relay through a web system for interaction with the end user using Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol, it also shows real time power and current graphics as well as a scheduling system of the load operation that is connected. Thus, the tools and technologies used in the development of this system will be shown, which, in the end, it proved to be a form of low cost residential / building automation.*

***Keywords:** Smart plug. Embedded system; ESP8266. MQTT. Low cost building automation.*