

Protótipo de um Medidor de Energia Elétrica Monofásico e Bifásico para Monitoramento de Consumo Residencial, utilizando a ESP32

Rachel Batalha de Lima
Sidia Samsung Instituto de P&D da Amazônia
Manaus, Brasil
rachel.l@samsung.com

Prof. Dr. Edgard Luciano Oliveira da Silva
Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
Manaus, Brasil
elsilva@uea.edu.br

Abstract—This article describes a prototype of an electric meter in the single-phase and two-phase levels, with the purpose of monitoring residential consumption based on a microcontroller of low cost, which through sensors will obtain the values referring to current and voltage to find the variants of power and cost. The communication takes place through a web server developed in the C language in conjunction with the arduino libraries.

Index Terms—IoT, esp32, measurer, current, voltage, electric power

I. INTRODUÇÃO

O desperdício da energia elétrica no Brasil atinge anualmente a cota de 50 mil gigawatts/hora que são equivalentes a 12,6 bilhões de reais, valor estimado à partir da tarifa cobrada no ano de 2014 [1]. Por causa desses preocupantes dados se faz necessária a implementação do uso consciente da energia elétrica, com políticas públicas para que a população tenha consciência do seu próprio gasto e também investimentos no desenvolvimento de pesquisas sobre eficiência energética.

O número de consumidores do setor elétrico residencial vem crescendo a cada ano [2], com mostra na tabela I o que consequentemente impacta no aumento o consumo de energia elétrica neste setor. Os consumidores são divididos conforme o nível de tensão em que utilizam a energia. A regra diz que quanto maior o consumo, maior o nível de tensão: Grupo A - Classe A1(230 kV ou mais), Classe A2(88kV a 138kV), Classe A3(69kV) e Classe A4(2,3 a 25 kV); Grupo B - Baixa Tensão (Inferior a 2,3kV) e Residencial (110 a 220 V) [3].

O desenvolvimento do protótipo do medidor de energia elétrica nos níveis monofásico e bifásico é importante por vários fatores. Primeiramente, sabe-se que a medição do consumo de energia elétrica é feito por um leiturista que utiliza um formulário específico ou um aparelho eletrônico chamado coletor de dados. Após coletar as leituras, o leiturista volta à concessionária, onde serão processadas as informações necessárias ao cálculo da próxima fatura de energia elétrica após a emissão da fatura, a concessionária entregará no endereço que consta no cadastro do cliente. Esse processo é feito no período de 30 dias [4].

Devido a esse processo, o protótipo do medidor elétrico de baixo custo é importante pois viabilizará ao consumidor ter controle do consumo de energia elétrica de sua residência em tempo real podendo fazer a comparação da quantidade de consumo de kWh (Quilowatt-hora) e custo do serviço cobrados pela concessionária com o do próprio cliente. Evitando assim cobranças indevidas e reduzindo o desperdício de energia.

Nesse contexto, as principais contribuições desse trabalho são: desenvolver um medidor inteligente que seja eficaz e de baixo custo, utilizando conceitos IoT; comparar e analisar o trabalho desenvolvido com soluções preexistentes no mercado, apresentando as vantagens e desvantagens da metodologia empregada.

O trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a fundamentação teórica necessária para compreensão deste trabalho, a seção 3 aponta os principais trabalhos relacionados com este artigo, a seção 4 descreve a abordagem do medidor proposto, a seção 5 expõe os experimentos e resultados obtidos, e, por fim, a seção 6 apresenta as conclusões e possibilidades de trabalhos futuros.

Tabela I
NÚMERO DE CONSUMIDORES POR ANO

	2012	2013	2014	2015	2016
Residencial	61.697	63.862	66.007	67.746	69.277

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Sistemas Monofásico e Bifásico

Nos sistemas monofásicos, a rede elétrica é construída com dois fios: uma fase e um neutro. A tensão elétrica máxima que pode ser ofertada por esse sistema é de 127V a 60Hz, frequência adequada para a distribuição a curta distância nos eletrodomésticos [5].

As redes monofásicas necessitam respeitar um limite de soma das potências de todos os equipamentos de uma residência igual a um valor máximo de 8000W, caso na residência exista uma quantidade de equipamentos que ultrapasse esse valor, o usuário pode solicitar o aumento de carga,

transformando em uma rede bifásica que utilizam potências nos valores de 12000W até 25000W [6].

Nos sistemas bifásicos, geralmente, há uma fase da tensão primária e um transformador com tomada central aterrada. Em uma rede bifásica com neutro é sempre possível ter duas tensões: uma medida entre a fase e o neutro, neste caso é como se fosse uma tensão medida em rede monofásica. Outra tensão medida entre duas fases: neste caso a tensão é sempre o dobro da tensão medida entre fase e neutro, visto que a defasagem entre as duas fases é de 180 graus [6].

B. Sistemas Microprocessados e ESP 32

Um sistema embarcado é um sistema microprocessado completamente encapsulado, onde sua arquitetura é dedicada ao dispositivo ou sistema que ele controla [7]. Diferente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, geralmente com requisitos específicos. O microcontrolador, presente neste sistema, é um dispositivo semicondutor em forma de um circuito integrado em um único chip que integra todas as unidades básicas de um microcomputador [8].

É o novo microcontrolador da *Espressif*, possui um poder de processamento três vezes superior se comparado com o do arduino uno, com mais memória, bluetooth, sensores capacitivos, módulo de *Wi-Fi* integrado e baixo consumo de energia [9]. Principais características:

- Processador principal: LX6 32-bit Dual-core, operando 2-240 MHz.
- Processador secundário: ULP(*Ultra Low Power coprocessor*) 8MHz e consome 150uA.
- FLASH: 4MB.
- RAM: 520kB.
- GPIO: 34, com 3.3V e 12mA.
- ADC: 18, com resolução de 12-bit.
- DAC: 2, com resolução 8-bit.
- *Wi-Fi*: 2,4 GHz, 802.11 b/g/n.
- *Bluetooth Low Energy* v4.2 (BLE).
- 10 sensores de touch capacitivo.
- 1 sensor de temperatura interno.

Essa arquitetura permite que a *ESP 32* possa ser programada de forma independente, sem a necessidade de outras placas microcontroladoras como o Arduino, por exemplo. Dentre as principais características deste dispositivo, as principais vantagens de utilização são: baixo consumo de energia, alto desempenho de potência, amplificador de baixo ruído, robustez, versatilidade e confiabilidade.

C. Comunicação Cliente-Servidor

O modelo de comunicação TCP/IP(Protocolo de Controle de Transmissão) é dividido em camadas: interface a rede, rede, transporte e aplicação. As camadas mais inferiores têm a função de transmitir os dados enviados pela camada de aplicação de maneira confiável, mas não fornecem serviços diretos aos usuários. No modelo TCP/IP não há as camadas de sessão e apresentação, que na maioria das aplicações são

pouco usadas. Essas duas camadas estão incluídas na camada de aplicação.

O cliente com o seu software aplicativo específico possibilita a comunicação com o servidor. O servidor com o seu software específico permite receber a mensagem, interpretá-la e devolver a resposta para o cliente e a rede, o componente de hardware que permite a comunicação entre o cliente e o servidor.

Para que uma página de internet seja inicializada, o utilizador usa um browser(por exemplo, *Google Chrome*, *Internet Explorer*, *Netscape*, entre outros) que funciona como um cliente em relação a um servidor web, a comunicação é feita sobre o TCP/IP, onde é usado um protocolo de alto nível denominado HTTP(Protocolo de Transferência de Hipertexto), funciona como um protocolo de requisição-resposta [10].

III. TRABALHOS RELACIONADOS

No trabalho de (Lima, Rachel Batalha) [11], apresenta um medidor com a utilização de um sensor de corrente em conjunto com o arduino, enviando dados a uma plataforma web com o custo de R\$ 180,00.

Segundo exemplificado no trabalho de (Pereira, Luiz Henrique Júnior) [12], intitulado *Monitoramento do Consumo de Energia Elétrica e Controle de Equipamentos Via Aplicativo*, foi utilizado um sensor de corrente ASC12 e um relé, com o auxílio da ESP8266 enviando os dados a uma planilha no Google Docs, e a implementação do protocolo de IoT MQTT Dash.

Buscando desenvolver um protótipo para medição de energia elétrica (Silva, Igor Alexandre Dutra) [13], apresenta um protótipo com um custo de R\$ 108,00. Formado por um sensor de corrente não invasivo e um filtro de tensão, para o envio de dados ao computador foi utilizado um sensor de bluetooth.

O presente trabalho se diferencia dos anteriores devido a utilização de um sensor de tensão para melhorar aferição das variantes e a substituição do Arduino Uno pela ESP32, a qual tem um poder de processamento superior, acarreta também em um protótipo com o preço mais acessível e faz uso de conceitos de IoT para que o usuário obtenha uma melhor experiência com o uso do software.

IV. ABORDAGEM DA PROPOSTA

A proposta do desenvolvimento do protótipo do medidor de baixo custo, consiste em dois modos:

1) Modo Monofásico

- Composto por um sensor de corrente, um de tensão e a ESP32.

2) Modo Bifásico.

- Composto por dois sensores de corrente e a ESP32.

A ideia do modo monofásico consiste em poder aferir o consumo nos equipamentos conectados nas tomadas da residência enquanto que no modo bifásico a medição ocorre no quadro geral de energia.

O fluxograma do funcionamento do medidor proposto no trabalho pode ser visto na Figura 1. Seus estágios são: (i)

primeiramente, é obtida a a entrada dos dados, através dos sensores. Os dados são enviados pela internet (ii) por meio, da comunicação cliente-servidor através do protocolo HTTP com o auxílio da *ESP 32*. O processamento é feito pela *ESP 32* e com algumas bibliotecas do *arduino*(iii), o medidor enviará os dados para uma plataforma Web (iv), para um melhor controle de visualização dos dados do usuário.

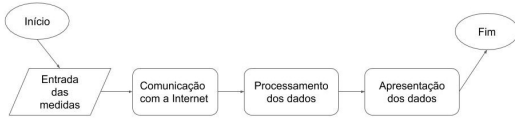


Figura 1. Fluxograma do Protótipo do Medidor monofásico. Fonte: Própria autora.

V. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Os experimentos feitos nesse trabalho tiveram como finalidade validar as medições do protótipo no modo monofásico com o auxílio do medidor PZEM-061, o qual possui função de medição de quatro parâmetros elétricos: tensão, corrente, potência ativa e energia, tendo uma faixa de medição de energia de 100A/22000W e classe de precisão igual a 1.0, cada protótipo ficaria alocado em uma tomada da residência e no caso das medições do modo bifásico, o protótipo ficaria alocado no quadro geral da residência e as validações ocorreram com o auxílio do alicate amperímetro digital DT266.

O protótipo atual como pode ser visto na figura 2, na fase da medição o hardware é composto por um microcontrolador *ESP-WROOM32*, um sensor de corrente SCT-013 não invasivo, podendo suportar uma corrente máxima de 100A, este sensor utiliza das propriedades magnéticas para gerar uma corrente alternada induzida que é proporcional a corrente alternada total do circuito.

Outro componente é o sensor de tensão P8, o qual detecta a passagem de tensão CA(Corrente Alternada) e possui um optoacoplador, este módulo assegura o isolamento da rede, conseguindo suportar uma tensão de entrada máxima de 127/220V, também é composto por resistores, um capacitor 10μF e um conector p2 para um melhor acoplamento do sensor.

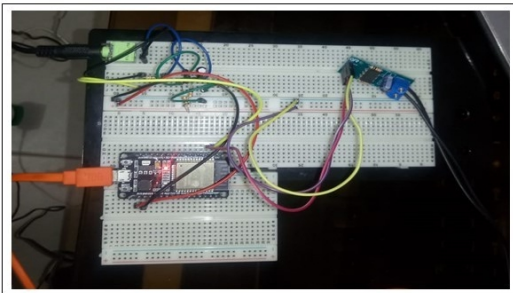


Figura 2. Protótipo Monofásico: Medição e Comunicação. Fonte: Própria autora.

Na fase da comunicação pode-se observar na figura ??, o servidor web desenvolvido na linguagem C em conjunto com as bibliotecas do arduino, aceita as requisições do cliente pelo protocolo HTTP e responde enviando os dados para a plataforma web cliente.

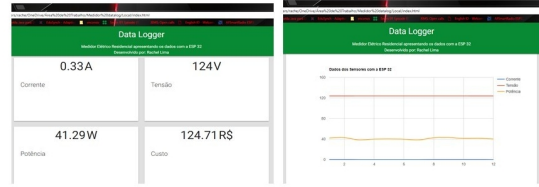


Figura 3. Plataforma Web com as Medições da Televisão. Fonte: Própria autora.

As medições apresentadas foram satisfatórias, comparadas com as medições do PZEM-061, como pode ser observada na tabela II. Para calcular o erro foi utilizada a seguinte fórmula para a tensão 1, corrente 2 e potência 3:

$$Erro(\%) = \frac{T_{PZEM} - T_{Prot}}{T_{PZEM}} \quad (1)$$

Onde:

T_{Prot} = Tensão do Protótipo

T_{PZEM} = Tensão do PZEM

$$Erro(\%) = \frac{C_{PZEM} - C_{Prot}}{C_{PZEM}} \quad (2)$$

Onde:

C_{Prot} = Corrente do Protótipo

C_{PZEM} = Corrente do PZEM

$$Erro(\%) = \frac{P_{PZEM} - P_{Prot}}{P_{PZEM}} \quad (3)$$

Onde:

P_{Prot} = Potência do Protótipo

P_{PZEM} = Potência do PZEM

Tabela II
COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES DO PROTÓTIPO E DO PZEM-061

Variáveis	Protótipo	PZEM-061	Erro (%)
Tensão (V)	124	125	0.8
Corrente (A)	0.35	0.36	2.5
Potência (W)	41.29	42.25	2.2
Custo (R\$)	124.71	-	-

Segundo Aneel, os principais requisitos dos sistemas de medição monofásicos para o grupo B são: classe do medidor A, que possui tolerância de erro de no máximo ± 2.5 , tendo como parâmetro obrigatório apresentação da variável de potência ativa. Portanto, o protótipo do medidor atende aos requisitos propostos.

O protótipo bifásico é acoplado nas fases localizadas quadro geral de energia da residência. É composto pelo microcontrolador *ESP-WROOM32*, dois sensores de corrente SCT-013, um capacitor 10μ, resistores e dois conectores P2 para melhor

acoplamento. Para validar os resultados foi utilizado o alicate amperímetro DT266.

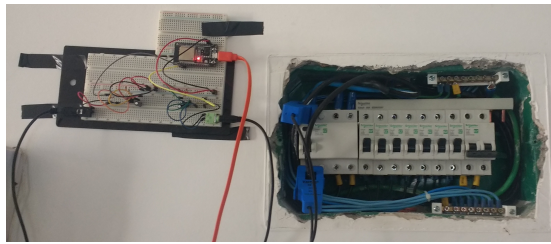


Figura 4. Protótipo Bifásico: Medições Fonte: Própria autora.

As medições apresentadas foram satisfatórias, comparadas com as medições do alicate amperímetro digital DT266, como pode ser observada na tabela III. Para calcular o erro foi utilizada a seguinte fórmula para a corrente1 4, corrente2 5, tensão 6:

$$Erro(\%) = \frac{C1_{DT266} - C1_{Prot}}{C1_{DT266}} \quad (4)$$

Onde:

$C1_{Prot}$ = Corrente 1 do Protótipo

$C1_{DT266}$ = Corrente 1 do DT266

$$Erro(\%) = \frac{C2_{DT266} - C2_{Prot}}{C2_{DT266}} \quad (5)$$

Onde:

$C2_{Prot}$ = Corrente 2 do Protótipo

$C2_{DT266}$ = Corrente 2 do PZEM

$$Erro(\%) = \frac{T_{DT266} - T_{Prot}}{T_{DT266}} \quad (6)$$

Onde:

T_{Prot} = Tensão do Protótipo

T_{DT266} = Tensão do PZEM

Tabela III
COMPARAÇÃO DE MEDIÇÕES ENTRE O PROTÓTIPO E DT266

Variáveis	Protótipo	DT266	Erro (%)
Tensão (V)	127	128	0.7
Corrente 1 (A)	0.32	0.33	3.0
Corrente 2 (A)	0.27	0.28	3.5

Segundo Aneel, os principais requisitos dos sistemas de medição bifásicos para o grupo B são: classe do medidor B, que possui tolerância de erro de no máximo ± 1.5 . Portanto, ainda é necessário alguns refinamentos para obter uma medição mais aprimorada, como por exemplo a implementação do cálculo de tensão.

O custo para a confecção dos protótipos monofásico e bifásico estão de acordo com os valores do mercado de sistemas microprocessados em Manaus. Se comparado com a versão apresentada na primeira etapa do trabalho de conclusão podemos perceber que o protótipo atual tem um melhor custo benefício com a utilização do microcontrolador ESP32, os valores podem ser observados na seguinte tabela IV:

Tabela IV
CUSTO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DOS PROTÓTIPOS

Componentes	Monofásico	Bifásico
ESP 32	R\$ 50,00	R\$ 50,00
SCT 013	R\$ 75,00	R\$ 75,00 * 2 = R\$ 150,00
P8	R\$ 20,00	-
Total =	R\$ 145,00	R\$ 200,00

VI. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho, foi apresentado o protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico e bifásico para monitoramento de consumo residencial, baseado em um microcontrolador de baixo custo.

Como resultados dos experimentos da medição no modo monofásico, todos os requisitos foram atendidos em relação a classe de precisão e parâmetros que o mesmo necessitava possuir. Com relação ao protótipo bifásico, são necessários alguns ajustes principalmente em relação a medição de tensão. Em modo geral, o protótipo do medidor monofásico e bifásico correspondeu as expectativas conseguindo fazer a comunicação com uma plataforma web e sendo consolidado com um baixo custo. A utilização do microcontrolador ESP 32, agregou consideravelmente para que todas as funções de comunicação pudessem ser implementadas com mais facilidade com um custo menor.

Como trabalhos futuros, serão feitas melhorias na medição, assim como o estudo e implementação de um protocolo do paradigma de internet das coisas, com o intuito de adquirir o controle dos dados para a o usuário obter o histórico de consumo elétrico da residência e o desenvolvimento do módulo para sistemas trifásicos.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia - ABESCO. (2018, Set. 15). Desperdício de energia gera perdas de 12,6 bilhões 2017[Online]. Available: <http://www.abesco.com.br/pt/novidade/desperdicio-de-energia-gera-perdas-de-r-126-bilhoes>.
- [2] Empresa de Pesquisa Energética - EPE. (2018, Mar. 23). Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017[Online]. Available: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>.
- [3] Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres - ABRACE. (2018, Abr. 24). Uma Introdução ao Setor Elétrico 2017[Online]. Available: http://www.abrace.org.br/wp-content/uploads/2015/12/manual_energia_eletrica.pdf.
- [4] ELETROBRAS. (2017, Mai. 12). Como fazer sua Leitura, 2017[Online]. Available: <https://goo.gl/NYP5BW>.
- [5] JUNIOR, J. S. d. S. (2018, Mai. 30). Sistemas monofásicos, bifásicos e trifásicos 2018[Online]. Available: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/sistemas-monofasicos-bifasicos-trifasicos.htm>.
- [6] AGOSTINI, N. (2016). Eletricidade e energia. Sistema Brasileiro de Tecnologia - SIBRATEC.
- [7] ARCHITECTS, E. (2018, Jun. 28). O que é um sistema embarcado? 2018[Online]. Available: <http://www.embarc.com.br/p1600.aspx>.
- [8] GIMENEZ, S. P. Microcontroladores 8051: Teoria do hardware e do software/Aplicações em controle digital/Laboratório e simulação. Pearson Education do Brasil Ltda, São Paulo.(2002).
- [9] EXPRESSIF. (2018, Abr. 30). ESP32 Datasheet 2018[Online]. Available: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32datasheeten.pdf>.
- [10] TANENBAUM, A. S. Redes de computadores. Pearson Education, (2003)

- [11] Lima, Rachel Batalha de, Silva, Edgard Luciano da. Protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico para monitoramento de consumo residencial, baseado em microcontrolador de baixo custo., ERIN, (2017).
- [12] Pereira, Luiz Henrique Júnior."Monitoramento do Consumo de Energia Elétrica e Controle de Equipamentos Via Aplicativo"(2018).
- [13] Silva, Igor Alexandre Dutra. "Sensor tensão-corrente inteligente com monitoramento e controle on-line por smartphone."(2016).