

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA - EST
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

RACHEL BATALHA DE LIMA

**PROTÓTIPO DE UM MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA MONOFÁSICO E
BIFÁSICO PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO RESIDENCIAL,
BASEADO EM MICROCONTROLADOR DE BAIXO CUSTO**

Manaus

2018

RACHEL BATALHA DE LIMA

**PROTÓTIPO DE UM MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA MONOFÁSICO E
BIFÁSICO PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO RESIDENCIAL,
BASEADO EM MICROCONTROLADOR DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à banca avaliadora do Curso de Engenharia
de Computação, da Escola Superior de
Tecnologia, da Universidade do Estado do
Amazonas, como pré-requisito para obtenção
do título de Engenheiro de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Edgard Luciano Oliveira da Silva

Manaus

2018

Universidade do Estado do Amazonas - UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

Cleinaldo de Almeida Costa

Vice-Reitor:

Cleto Cavalcante de Souza Leal

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Roberto Higino Pereira da Silva

Coordenador do Curso de Engenharia de Computação:

Salvador Ramos Bernardino da Silva

Coordenador da Disciplina Projeto Final:

Raimundo Corrêa de Oliveira

Banca Avaliadora composta por:

Data da Defesa: 18/06/2018.

Prof. Dr. Edgard Luciano Oliveira da Silva (Orientador)

Prof. M.Sc André Luiz Printes

Prof. M.Sc José Ruben Sicchar Vilchez

CIP – Catalogação na Publicação

L864a LIMA, Rachel Batalha de

Protótipo de um Medidor de Energia Elétrica Monofásico e Bifásico para Monitoramento de Consumo Residencial, baseado em Microcontrolador de Baixo Custo / Rachel Lima; [orientado por] Prof. Dr. Edgard Luciano Oliveira da Silva – Manaus: UEA, 2018.

240 p.: il.; 30cm

Inclui Bibliografia

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação).

Universidade do Estado do Amazonas, 2018.

CDU: _____

RACHEL BATALHA DE LIMA

**PROTÓTIPO DE UM MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA MONOFÁSICO E
BIFÁSICO PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO RESIDENCIAL,
BASEADO EM MICROCONTROLADOR DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à banca avaliadora do Curso de Engenharia
de Computação, da Escola Superior de
Tecnologia, da Universidade do Estado do
Amazonas, como pré-requisito para obtenção
do título de Engenheiro de Computação.

Aprovado em: 18/06/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edgard Luciano Oliveira da Silva, Doutor.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Prof. M.Sc André Luiz Printes, Mestre.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Prof. M.Sc José Ruben Sicchar Vilchez, Mestre.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

Resumo

Este trabalho de conclusão de curso visa planejar e implementar o protótipo de um medidor de energia elétrica nos níveis monofásico e bifásico, com o intuito de monitorar o consumo residencial baseado em um microcontrolador de baixo custo, o qual através de sensores obterá os valores referentes a corrente e tensão para encontrar as variantes de potência e o custo. A comunicação ocorre através de um servidor *web* desenvolvido na linguagem C em conjunto com as bibliotecas do arduino que aceita requisições de cliente *HTTP* e responde enviando os dados que o consumidor ganhará acesso por meio de uma aplicação *web*. No desenvolvimento da plataforma *web* foram utilizadas as seguintes tecnologias: *HTML5*, *JavaScript*, *AJAX* e *CSS*.

Palavras Chave: Medidor de Energia Elétrica, *ESP32*, Potência, Tecnologias *Web*.

Abstract

This work aims to plan and implement the prototype of an electric meter in the single-phase and biphasic levels, with the purpose of monitoring the residential consumption based on a microcontroller of low cost, which through sensors will obtain the values referring to current and voltage for find the variants of power and cost. The communication occurs through a web server developed in the C language in conjunction with the arduino libraries that accepts HTTP client requests and responds by sending the data that the consumer will gain access through a web application. In the development of the web platform we used the following technologies: *HTML5, JavaScript, AJAX and CSS*.

Key-words: Electric Power Meter, *ESP32*, Power, Web Technologies.

Sumário

Lista de Tabelas	vii
Lista de Figuras	ix
1 Introdução	1
1.1 Descrição do Problema	1
1.2 Objetivos Gerais	2
1.2.1 Objetivos Específicos	3
1.3 Justificativa	3
1.4 Metodologia	4
2 Fundamentação Teórica	6
2.1 Eficiência Energética	6
2.2 Sistemas Monofásicos e Bifásicos	8
2.3 Grandezas Elétricas	9
2.4 Sistemas Microprocessados	10
2.4.1 Arduino Uno	10
2.4.2 ESP WROOM 32	12
2.5 Comunicação Cliente-Servidor	13
2.6 Tecnologias Web	14
2.7 Medidores de Energia	16
2.8 Trabalhos Relacionados	17

3 Solução Proposta	19
3.1 Processo de desenvolvimento	19
3.1.1 Processo Unificado Ágil	19
3.1.2 Requisitos Funcionais	20
3.1.3 Casos de Uso	21
3.2 Protótipo do Medidor Elétrico	22
3.2.1 Modo Monofásico	22
3.2.2 Modo Bifásico	23
4 Experimentos e Resultados	25
4.1 Protótipo do Medidor Elétrico Monofásico	25
4.1.1 Medições Modo Monofásico	27
4.1.2 Comunicação com a Plataforma Web Modo Monofásico	29
4.1.3 Resultados do Modo Monofásico	29
4.2 Protótipo do Medidor Elétrico Bifásico	31
4.2.1 Medições Modo Bifásico	31
4.2.2 Resultados do Modo Bifásico	31
4.2.3 Comunicação com a Plataforma Web Modo Bifásico	32
4.3 Custo dos Protótipos	33
5 Considerações Finais	34
5.1 Visão Geral dos Resultados e Conclusões	34
5.2 Publicações Realizadas	35
5.3 Trabalhos Futuros	35
A Artigos Publicados	38

Lista de Tabelas

2.1	Ranking das Tarifas Residenciais do Grupo B1. Fonte: (ANEEL, 2018)	10
4.1	Comparação de Medições do Protótipo e do PZEM-061	31
4.2	Comparação de Medições entre o Protótipo e DT266	32
4.3	Custo dos Principais Componentes dos Protótipos	33

Lista de Figuras

2.1	Corrente Elétrica em uma Rede Monofásica. Fonte: (AGOSTINI, 2016)	8
2.2	Corrente Elétrica em uma Rede Bifásica. Fonte: (AGOSTINI, 2016)	9
2.3	Arquitetura dos Sistemas Microprocessados. Fonte: (GIMENEZ, 2002)	11
2.4	Arduino Uno. Fonte: (ARDUINO, 2017)	11
2.5	ESP WROOM 32. Fonte: (EXPRESSIF, 2018).	13
2.6	Modelo TCP/IP. Fonte: Própria autora.	13
2.7	Comunicação Cliente Servidor. Fonte: (TANENBAUM, 2003)	14
2.8	Medidor Eletromecânico. (ELETROBRAS, 2017).	16
3.1	Diagrama de Caso de Uso Consultar Medições. Fonte: Própria autora.	21
3.2	Diagrama de Caso de Uso Apresentar Gráficos. Fonte: Própria autora.	21
3.3	Fluxograma do Protótipo do Medidor monofásico. Fonte: Própria autora.	22
3.4	Medidor Elétrico Monofásico. Fonte: Própria autora.	23
3.5	Prototipação Medidor Elétrico Monofásico. Fonte: Própria autora.	23
3.6	Medidor Elétrico Bifásico. Fonte: Própria autora.	24
3.7	Prototipação Medidor Elétrico Bifásico. Fonte: Própria autora.	24
4.1	Protótipo Monofásico 1.0 Utilizando o Arduino Uno. Fonte: Própria autora. . .	26
4.2	Protótipo Monofásico: Medição e Comunicação. Fonte: Própria autora.	26
4.3	Protótipo Monofásico: Comunicação Cliente-Servidor. Fonte: Própria autora. . .	27
4.4	Medição do Protótipo Monofásico em uma Televisão. Fonte: Própria autora. . .	27
4.5	Medição do Protótipo Monofásico em um Carregador de Celular. Fonte: Própria autora.	28

4.6	Medição do Protótipo Monofásico em uma Lâmpada. Fonte: Própria autora.	28
4.7	Plataforma Web com as Medições da Televisão. Fonte: Própria autora.	29
4.8	Plataforma Web com as Medições do Carregador. Fonte: Própria autora.	29
4.9	Plataforma Web com as Medições da Lâmpada. Fonte: Própria autora.	30
4.10	Protótipo Bifásico: Medições Fonte: Própria autora.	31
4.11	Protótipo Bifásico: Comunicação. Própria autora.	33

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo, serão apresentados as principais problemáticas sobre o aumento do consumo residencial no Brasil, dificuldades na medição elétrica residencial e como podem ser amenizados com a abordagem proposta por este trabalho. Os objetivos, justificativa e metodologia também serão detalhados nesse capítulo a fim de mostrar a importância deste trabalho e as etapas em que ele será desenvolvido.

1.1 Descrição do Problema

O consumo de energia elétrica no Brasil vem crescendo substancialmente ao longo dos anos. Embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, a intensa expansão do consumo de energia tem aspectos negativos. O impacto ambiental produzido por essa atividade e a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia são dois desses aspectos. Finalmente, um terceiro são os elevados investimentos exigidos na pesquisa de novas fontes e construção de novas usinas. Uma das maneiras mais modernas e utilizadas no mundo para conter a expansão do consumo sem comprometer qualidade de vida e desenvolvimento econômico tem sido o estímulo ao uso eficiente da energia elétrica.

No setor residencial esse crescimento é justificado por fatores como o aumento no número de consumidores residenciais, cuja previsão é de que passará de 69,4 milhões em 2016 para cerca de 88,6 milhões de unidades em 2026, e a posse de eletrodomésticos também cresce de forma

perceptível devido ao crescimento da renda média das famílias (MME/EPE, 2017). O setor residencial(Consumidores do grupo B(Baixa Tensão) que consiste dos consumidores ligados em tensão inferior a 2,3kV(110V, 220V e 440V), do subgrupo B1 (Residencial e Residencial de Baixa Renda) corresponde a cerca de 25,6% do consumo total de eletricidade no Brasil (EPE, 2017).

Entretanto, mesmo sendo responsável, o consumidor residencial não tem a noção do seu consumo de energia em tempo real em uma hora deixando uma luz acesa, assistindo televisão, deixando equipamentos no modo “*stand by*”, utilizando o chuveiro elétrico, forno de microondas entre outras atividades dependentes da energia elétrica. Sem esta noção, consumo de forma eficiente parece ser um objetivo difícil de se alcançar.

O preço pago pelo consumidor final, para o recebimento da energia elétrica, é estabelecido individualmente e varia, em cada concessionária, conforme a classe de consumo em que se enquadra, bem como em função dos montantes, características requeridas e impostos (ANEEL, 2016). Para quantificar toda essa energia, em seus diferentes percursos até o consumidor final, utiliza-se um equipamento denominado “Medidor”. A energia elétrica, na grande maioria dos consumidores residenciais, é medida de forma direta, onde o fornecimento é feito na baixa tensão (127V/220V).

Os medidores de energia utilizados hoje, não retornam nenhuma informação sobre os níveis de tensão, corrente, potência e o custo do consumo elétrico nas unidades consumidoras residenciais em tempo real. O consumidor só obtém essa informação do montante ao final de cada mês, dificultando conhecer o real consumo elétrico existente.

1.2 Objetivos Gerais

Planejar e implementar o protótipo de um medidor de energia elétrica nos níveis monofásico e bifásico para monitoramento de consumo residencial com uma plataforma embarcada de baixo custo.

1.2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Identificar as tecnologias mais apropriadas para desenvolver o protótipo do medidor de energia elétrica;
- Prototipar o circuito do medidor monofásico para as devidas medições dos fatores de corrente e tensão, como prova de conceitos dos mesmos;
- Exemplificar o circuito do medidor elétrico bifásico com a intenção de obter o consumo elétrico (kWh) e do custo (R\$);
- Implementar um cliente com tecnologias web com o intuito de o usuário obter um controle do consumo elétrico de sua residência;
- Desenvolver um servidor web para a comunicação entre o microcontrolador e o cliente na plataforma Web.

1.3 Justificativa

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 (ELETROBRAS, 2017).

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.

Do ponto de vista da Engenharia de Computação este trabalho de conclusão de curso, contribui com métodos e técnicas desta área de conhecimento aplicadas à resolução de um problema em um contexto real, relacionado com outras áreas de conhecimento, tais como: eficiência energética, sistemas microprocessados, sistemas de medição e desenvolvimento de software para plataforma *web*.

1.4 Metodologia

A metodologia utilizada no decorrer deste trabalho de conclusão de curso é especificada a seguir com seus respectivos métodos e técnicas:

1. Estudo de medidas elétricas em circuitos monofásicos e bifásicos;
2. Identificar tecnologias mais apropriadas para o desenvolvimento dos protótipos;
3. Submissão e apresentação do artigo completo intitulado: *Protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico para monitoramento de consumo residencial, baseado em microcontrolador de baixo custo* no IV Encontro Regional de Informática - ERIN/2017 - EST/UEA
4. Prototipação e confecção dos circuitos monofásico e bifásico;
5. Implementação do cliente na plataforma Web;
6. Submissão e aprovação do artigo completo chamado: *Monitoramento de Energia Elétrica em Aparelhos de Baixa Potência Através de um Medidor Inteligente* no Brazilian Technology Symposium - BTSym/2017 - Unicamp
7. Escrever o trabalho de conclusão de curso I;
8. Defesa do trabalho de conclusão de curso I;
9. Desenvolver servidor web para a comunicação entre o microcontrolador e o cliente na plataforma web;

10. Escrever o trabalho de conclusão de curso II;
11. Defesa do trabalho de conclusão de curso II.

Todos os algoritmos estão codificados na linguagem de programação *C* com o auxílio de algumas bibliotecas do arduino. A biblioteca *EmonLib* foi utilizada para realizar os devidos cálculos de medição e para o desenvolvimento da plataforma *web* foram necessárias as seguintes tecnologias: *HTML5*, *CSS*, *AJAX* e *JavaScript*. O paradigma de programação utilizado foi o Procedural.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão abordados os principais conceitos de Eficiência Energética, posteriormente sobre Sistemas Monofásicos e Bifásicos, Medidas Elétricas, a Comunicação Cliente-Servidor, a seguir os Sistemas Microprocessados utilizados. Por fim, serão apresentadas as tecnologias empregadas no desenvolvimento da Plataforma *Web*. Estas definições são necessárias para uma boa compreensão do trabalho desenvolvido.

2.1 Eficiência Energética

A utilização racional de energia chamada também de eficiência energética consiste em obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia (CELPE, 2017). O fato é que as principais atividades na sociedade moderna necessitam do uso intensivo de alguma forma de energia, seja por meio de usinas hidrelétricas, solares, eólicas, termelétricas, entre outras. Consequentemente, se faz necessário o estudo de sistemas, metodologias, tecnologias, materiais e equipamentos com o intuito de evitar perdas e desperdício na produção e no uso da energia.

Devido a preocupação com o uso de energia no Brasil, políticas públicas foram traçadas como a Lei Nacional de Eficiência Energética (UNIFEI ELEKTRO; FUPAI, 2012) que busca atingir os seguintes objetivos:

- Retirar do mercado, no médio e longo prazo, os equipamentos menos eficientes energeti-

camente;

- Obter economia de energia ao longo do tempo;
- Promover o desenvolvimento tecnológico, através da fabricação de equipamentos energeticamente mais eficientes;
- Promover o aumento da competitividade industrial do país;
- Reduzir os gastos dos consumidores; e
- Contribuir para a redução dos impactos sócio-ambientais através do uso de equipamentos que consomem menos energia.

Existem também investimentos em programas de eficiência energética como o Programa Brasileiro de Etiquetagem(PBE), coordenado pelo Inmetro. Que visa classificar os produtos como mais eficientes, no sentido de utilizar melhor a energia, menor impacto ambiental e menor valor a ser pago no produto (INMETRO, 2018). Outro programa é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, o Procel é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobras, possui várias áreas de atuações: equipamentos e eletrodomésticos, edificações, iluminação pública, indústria e comércio, poder público, e conhecimento (PROCEL, 2018).

A população tem parte fundamental na utilização consciente de energia, podendo contribuir com pequenas mudanças em seus hábitos que irão gerar um grande impacto no final, como as seguintes atitudes: evitar acender lâmpadas no decorrer do dia, utilizando a iluminação do sol com as janelas abertas, desligar os aparelhos da tomada, evitar abrir seguidas vezes a porta da geladeira, entre outras (EPE, 2018).

Com a utilização do uso eficiente de energia espera-se postergar a necessidade de construir novas usinas geradoras e sistemas elétricos relacionados, viabilizando recursos para outras áreas, assim como colaborando para a preservação do meio ambiente, diminuindo consideravelmente o uso de recursos naturais.

2.2 Sistemas Monofásicos e Bifásicos

Nos sistemas monofásicos, a rede elétrica é construída com dois fios: uma fase e um neutro, como pode ser observada na figura 2.1. 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 (JUNIOR, 2018).

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 (AGOSTINI, 2016).

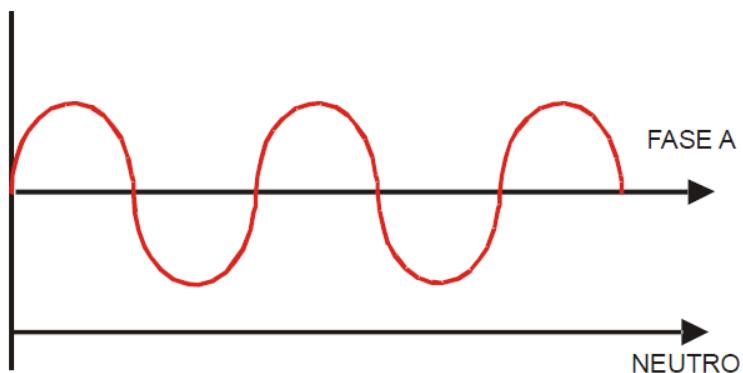


Figura 2.1: Corrente Elétrica em uma Rede Monofásica. Fonte: (AGOSTINI, 2016)

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 (AGOSTINI, 2016). Na figura 2.2 pode-se observar a corrente elétrica em uma rede bifásica.

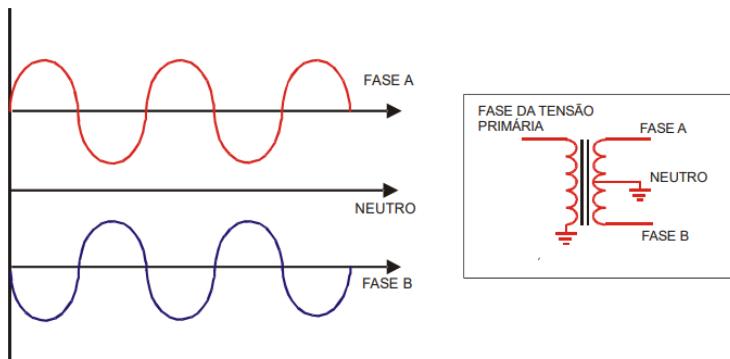


Figura 2.2: Corrente Elétrica em uma Rede Bifásica. Fonte: (AGOSTINI, 2016)

2.3 Grandezas Elétricas

A energia é a capacidade de algo realizar trabalho, ou seja, gerar força num determinado corpo, substância ou sistema físico (ALEXANDER; SADIKU, 2013). Alguns conceitos técnicos sobre grandezas elétricas são necessários para um melhor entendimento do trabalho. São estes: corrente(A), tensão(V), potência real(W), fator de potência e preço do kWh.

A tensão elétrica é a diferença de potencial entre dois pontos. Sua unidade de medida é o volt(V) e é usualmente representada nas equações e circuitos geralmente pelas letras U e V. Esta é fornecida ao circuito por meio de um gerador. Em circuitos eletrônicos normalmente os geradores são baterias, que transformam a energia química em elétrica. Há também geradores mecânicos, solares, térmicos, magnéticos, etc.

A corrente elétrica pode ser definida como o fluxo de elétrons em um condutor quando submetido a uma diferença de potencial controlada por um gerador, a unidade de medida é ampère(A), é usualmente utilizada a letra I para representá-la em circuitos elétricos e equações.

A potência real é definida como a taxa de energia(U) que é transformada ou transferida pelo tempo, é igual ao produto da corrente no elemento pela tensão em seus terminais. É medida em unidades de joules/second, também conhecido como Watts(NILSSON; RIEDEL, 2008).

O fator de potência é a razão entre a potência ativa e a potência aparente. Ele representa a eficiência do uso da energia. Um alto fator de potência indica uma eficiência alta e o seu inverso, um fator de potência baixo indica baixa eficiência energética. Caso o fator de potência seja muito baixo pode ser corrigido trazendo benefícios como: melhoria na tensão, diminuição

do efeito joule, redução significativa do custo de energia, entre outros (ROTONDO, 2018).

O preço atual do kWh no Amazonas segundo a Aneel é de R\$ 0,604 (ANEEL, 2018) para as tarifas residenciais do grupo B1, cada estado sofre seu reajuste dependendo da concessionária e da distribuição de energia no território nacional, como pode ser observada na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Ranking das Tarifas Residenciais do Grupo B1. Fonte: (ANEEL, 2018).

Distribuidora	UF	Tarifa
Sulgipe	SE	0.643
Eful	SC	0.626
Enel (RJ)	RJ	0.623
EFLJC	SC	0.606
AmE	AM	0.604
Celpa	PA	0.599
Cemig-D	MG	0.587
Light	RJ	0.575
EMT	MT	0.568
Chesp	GO	0.566

2.4 Sistemas Microprocessados

Um sistema embarcado é um sistema microprocessado completamente encapsulado, onde sua arquitetura pode ser vista na Figura 2.3, é dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla (ARCHITECTS, 2017). 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 (GIMENEZ, 2002).

2.4.1 Arduino Uno

O Arduino Uno, como pode ser visto na Figura 2.4, é uma placa de microcontrolador baseada no ATmega328P. Possui 14 pinos de entradas/saídas digitais (dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada para fonte externa de energia, e um botão de reset (ARDUINO, 2017).

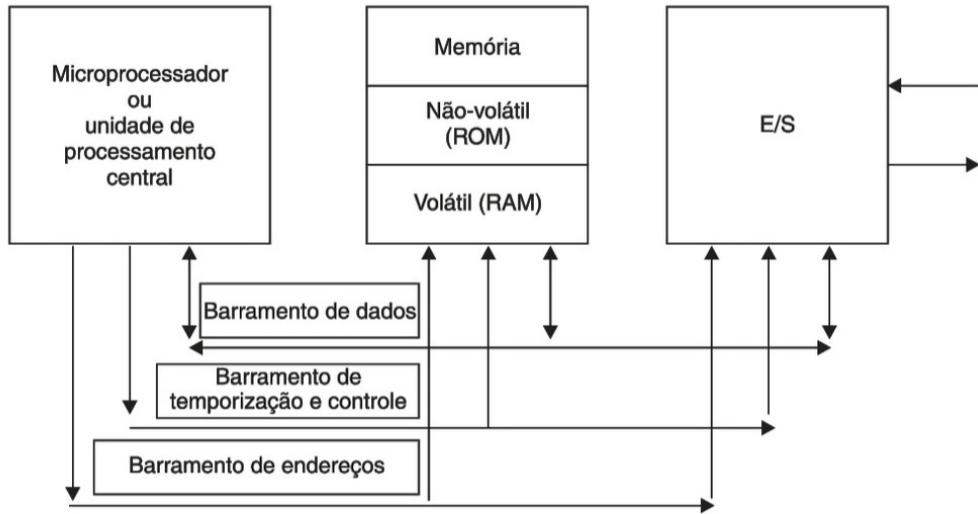


Figura 2.3: Arquitetura dos Sistemas Microprocessados. Fonte: (GIMENEZ, 2002)

É chamado de plataforma de hardware livre com várias bibliotecas e documentação, possui o ambiente de desenvolvimento de software livre e gratuito, com uma linguagem de programação bastante similar à Linguagem C, adicionando funções nativas que facilitam o desenvolvimento dos projetos.



(ATMEL, 2017).

2.4.2 ESP WROOM 32

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 (EXPRESSIF, 2018). 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, o microcontrolador pode ser visto na figura 2.5.

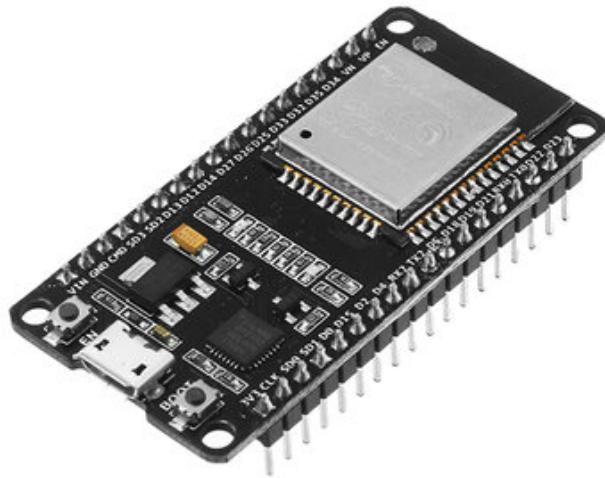


Figura 2.5: ESP WROOM 32. Fonte: (EXPRESSIF, 2018).

2.5 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, exemplificado na figura 2.6. 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 seção e apresentação, que na maioria das aplicações são pouco usadas. Essas duas camadas estão incluídas na camada de aplicação.



Figura 2.6: Modelo TCP/IP. Fonte: Própria autora.

O cliente com o seu software aplicacional 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, como pode ser observada na figura 2.7.

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 (TANENBAUM, 2003).

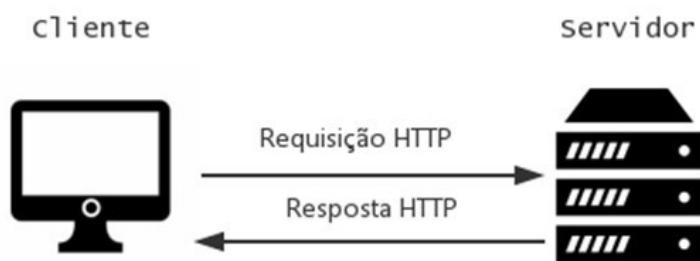


Figura 2.7: Comunicação Cliente Servidor. Fonte: (TANENBAUM, 2003)

2.6 Tecnologias Web

Para o desenvolvimento do cliente na plataforma web foram empregadas tecnologias, tais como:

O *Hypertext Markup Language* (HTML5), é uma linguagem de marcação disponível nos principais navegadores de internet. Surgiu a partir de um consórcio entre a W3C (World Wide Web Consortium) e a WHATWG (Web Hypertext Application Technology Working Group). As principais características (MOZILLA, 2017) são, em relação a:

- Semântica: permite você descrever mais precisamente o seu conteúdo.
- Conectividade: permite uma comunicação com o servidor de formas modernas e inovadoras.
- Offline e armazenamento: Permite que páginas web armazenem dados localmente do lado do cliente e opere de forma offline mais eficientemente.

- Multimídia: Viabiliza a utilização de áudio e vídeo de forma primorosa na Web Aberta.
- Gráficos e efeitos 2D/3D: viabiliza um leque diversificado de opções de representação gráfica.
- Performace e integração: fornece grande otimização de velocidade e melhor utilização do hardware do computador.
- Acesso ao dispositivo: viabiliza a utilização de diversos métodos e dispositivos de entrada e saída.

O *JavaScript* é uma linguagem de script multiplataforma, orientada a objetos. O Netscape inventou o JavaScript . O núcleo do JavaScript contém um núcleo de objetos, como Array, Date, e Math, e um núcleo de elementos de linguagem como operadores, estruturas de controle, e declarações. Podendo ser utilizado (MDN, 2017):

- No lado do cliente extende o núcleo da linguagem fornecendo objetos para controlar um navegador e seu Document Object Model (DOM). Por exemplo, permitem a uma aplicação colocar elementos em um formulário HTML e responder a eventos de usuários como cliques de mouse, entrada de dados e navegação na página.
- No lado do servidor extende o núcleo da linguagem fornecendo objetos relevantes à execução de JavaScript no servidor. Por exemplo, permitem a uma aplicação comunicar-se com um banco de dados relacional, proporcionar continuidade de informação de uma invocação da aplicação para outra, ou executar manipulações de arquivos em um servidor

O *Cascading Style Sheets* (CSS), é uma "folha de estilo" composta por "camadas" e utilizada para definir aparência em páginas da internet que adotam para o seu desenvolvimento linguagens de marcação (como XML, HTML e XHTML) (W3C, 2017). O CSS define como serão exibidos os elementos contidos no código de uma página da internet e sua maior vantagem é efetuar a separação entre o formato e o conteúdo de um documento.

O CSS também permite que as mesmas marcações de uma página sejam apresentadas em diferentes estilos, conforme os métodos de renderização (como em uma tela, impressão, via voz,

baseadas em dispositivos táteis, etc.). A maioria dos menus em cascata, estilos de cabeçalho e rodapé de páginas da internet, por exemplo, atualmente são desenvolvidos em CSS.

2.7 Medidores de Energia

O princípio de funcionamento do medidor eletromecânico de energia, como pode ser visto na figura 2.8, é o mesmo que o de um motor de indução, ou seja, sua rotação, juntamente com o disco existe um eixo em conexão com uma rosca sem-fim que provoca rotação dos registradores, os quais fornecerão a leitura. O consumo nesse tipo de medição é realizado mensalmente, as leituras devem ser subtraídas do mês anterior para se ter o consumo real(CREDER, 2007).



Figura 2.8: Medidor Eletromecânico. (ELETROBRAS, 2017).

Os medidores eletrônicos realizam a leitura das variáveis através de amostragem em pequenos intervalos de tempo utilizando conversores analógico para digital (A/D). A classe de exatidão do equipamento é determinada pela quantidade de bits nos conversores A/D e precisão de processamento, possibilitando a estes serem mais precisos do que os medidores eletromecânicos. Para realizar as leituras dos equipamentos é utilizado um protocolo de comunicação entre o medidor e um equipamento utilizado por um leiturista para armazenamento dos registros de

leitura, ou através de protocolos de comunicação de rede enviando os dados diretamente para um banco de dados da concessionária(SILVA, 2010).

A implementação dos medidores eletrônicos tem ocorrido progressivamente devido ao alto custo de equipamentos. Em 2012 foi regulamentada a resolução da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) para sistemas de medição eletrônica de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B (residencial, rural e demais classes, exceto baixa renda e iluminação pública)(ANEEL, 2017).

2.8 Trabalhos Relacionados

Os medidores de energia elétrica residêncial utilizados atualmente são do tipo eletromecânicos tradicionais, onde os campos gerados pelas bobinas de corrente e de potencial, induzem correntes em um disco, provocando a sua rotação (CREDER, 2007). Nesse tipo de medidor há muitos elementos envolvidos o que aumenta a probabilidade de erros assim como o furto de energia, pois a concessionária não conseguirá identificar naquele instante essa perda, sendo necessário aguardar no mínimo até a próxima medição do faturamento.

No caso dos medidores inteligentes há uma nítida evolução no processo de medição, os mesmos podem realizar medição, cálculos, calibração e comunicação por meio de hardware e software. Para tal, devem ser projetados para armazenar e transmitir dados de acordo com padrões estabelecidos pelos órgãos responsáveis. Uma das principais vantagens da medição inteligente é o monitoramento em tempo real para o abastecimento de um banco de dados o qual deve possibilitar a melhoria do serviço prestado e permitir ao consumidor conhecer melhor seu consumo (SILVA, 2016).

Neste panorama o trabalho de (LEMOS, 2014) apresenta os conceitos de hardware livre com a utilização da plataforma Arduino e um sensor de corrente SCT-013-100. Para as devidas medições elétricas foi utilizado a biblioteca emonLib que faz parte de um projeto open source denominado Open Energy Monitor (OPENENERGYMONITOR, 2011), o qual é um programa de monitoramento de código aberto para entender a energia explorando o contexto das energias renováveis e zero carbono. Os dados obtidos com o sensor de corrente são enviados através

da placa ethernet shield que está conectada em conjunto com o arduino para um servidor desenvolvido em ruby on rails onde são apresentados o cálculo da energia consumida e demais resultados.

O presente trabalho se diferencia dos anteriormente citados, pois propõe uma conexão em tempo real com a aplicação cliente desenvolvida através do protocolo *HTTP* e a plataforma *Web* com tecnologias como: *HTML*, *JavaScript*, *AJAX* e *CSS* nos níveis monofásico e bifásico. Para validar os resultados utilizou-se um medidor de energia AC 4 em 1 PZEM-061, o qual possui as funções de wattímetro, voltímetro, amperímetro e além de medir o consumo de energia.

Capítulo 3

Solução Proposta

Neste capítulo, com o intuito de prover uma solução para melhorar a perspectiva de custos em relação ao consumo elétrico do consumidor. Este trabalho se propõe a implementar um protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico e bifásico para monitoramento de consumo residencial, baseado em microcontrolador de baixo custo.

As seções a seguir apresentam o processo de desenvolvimento aplicado e abordagem proposta empregada no desenvolvimento do trabalho nos modos monofásico e bifásico, assim como a prototipação dos circuitos do experimento, mostrando o que foi desenvolvido e o que será realizado nas próximas etapas.

3.1 Processo de desenvolvimento

3.1.1 Processo Unificado Ágil

É um processo de desenvolvimento iterativo e incremental. O mesmo utiliza um paradigma evolucionário para o desenvolvimento. O ciclo de vida iterativo é baseado em refinamentos e incrementos sucessivos a fim de convergir para um sistema adequado. Em cada iteração incrementa-se um pouco mais o produto, baseando-se na experiência obtida nas iterações anteriores e no *feedback* do usuário, no caso do protótipo do medidor o *feedback* foi baseado em pesquisas de trabalhos anteriores e no *feedback* da desenvolvedora. Cada iteração pode ser

considerada um miniprojeto de duração fixa, sendo que cada um destes inclui suas próprias atividades de análise de requisitos, projeto, implementação e testes (PRESSMAN, 2011). O Processo Unificado Ágil organiza suas iterações em quatro fases principais:

- **Concepção:** o objetivo desta fase é levantar, de forma genérica e pouco precisa, o escopo do projeto. Não deve existir aqui a pretensão de especificar de forma detalhada requisitos, a idéia é ter uma visão inicial do problema e determinar se o projeto é viável e merece uma análise mais profunda.
- **Elaboração:** na fase de elaboração todos (ou a grande maioria dos requisitos) são levantados em detalhes. Numa primeira iteração um ou dois requisitos, os de maior risco e valor arquitetural, são especificados em detalhes. Estes são implementados e servem como base de avaliação junto ao usuário e desenvolvedores para o planejamento da próxima iteração.
- **Construção:** implementação iterativa dos elementos restantes de menor risco e mais fáceis e preparação para a implantação.
- **Transição:** testes finais e implantação.

3.1.2 Requisitos Funcionais

Os principais requisitos funcionais do sistema são apresentados da seguintes forma:

- O usuário deve conseguir ter acesso aos dados das medições
- O sistema deve fornecer tela apropriada para a leitura das variáveis de corrente, tensão, potência e custo no caso do protótipo do medidor monofásico
- O sistema deve fornecer uma tela designada para a apresentação dos gráficos no protótipo do medidor monofásico e bifásico
- O sistema deve fornecer tela apropriada para a leitura das variáveis de correntes, tensão, potência real, fator de potência e custo no caso do protótipo do medidor bifásico

- O sistema deve utilizar os dados obtidos a partir dos sensores e interpretá-los para realizar a navegação.

3.1.3 Casos de Uso

De acordo com as funcionalidades do sistema, Os principais casos de uso são o de consulta de medições do usuário e apresentação de gráficos:

1. **Módulo Consultar medições.** Neste módulo o ator principal é o usuário, o qual tem acesso a todos os dados das medições. Ilustrada no caso de uso da figura 3.1.

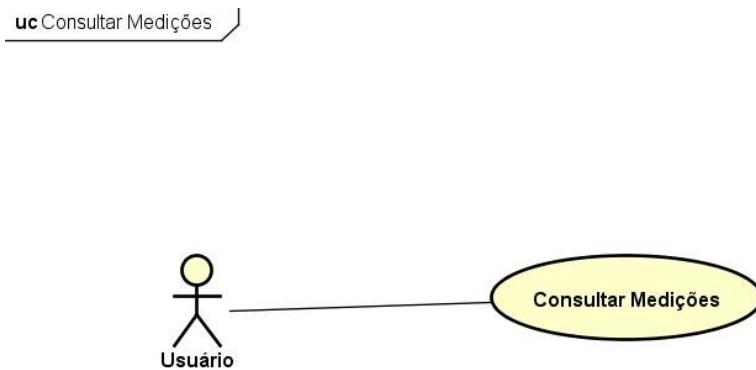


Figura 3.1: Diagrama de Caso de Uso Consultar Medições. Fonte: Própria autora.

2. **Módulo Apresentar Gráficos.** Neste módulo o ator principal é o usuário, o qual tem acesso a todos os gráficos das medições. Ilustrada no caso de uso da figura 3.2.

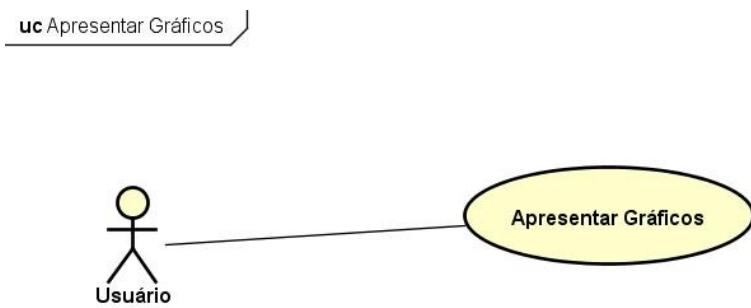


Figura 3.2: Diagrama de Caso de Uso Apresentar Gráficos. Fonte: Própria autora.

3.2 Protótipo do Medidor Elétrico

O protótipo do medidor elétrico foi dividido em dois modos: monofásico e bifásico. 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 3.3. Seus estágios são: (i) primeiramente, é obtida 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.

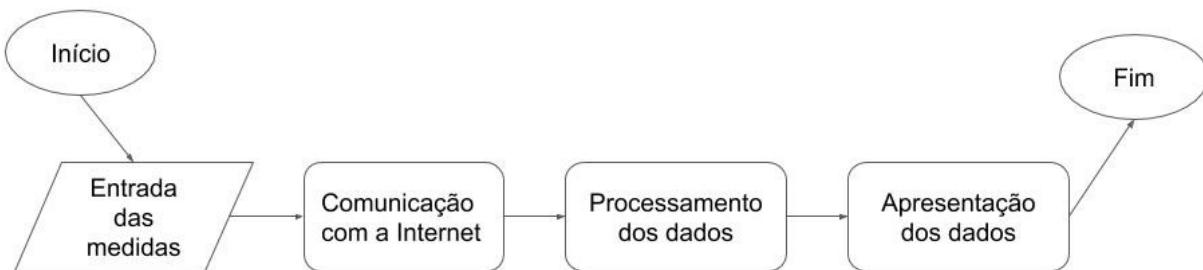


Figura 3.3: Fluxograma do Protótipo do Medidor monofásico. Fonte: Própria autora.

3.2.1 Modo Monofásico

No modo monofásico o protótipo possui três fases: a medição, comunicação e a apresentação dos dados. Na fase da medição, ocorrerá a aferição das variantes de corrente e tensão nos respectivos aparelhos elétricos, na fase da comunicação ocorrerá o envio de informações à plataforma *Web* por meio do microcontrolador de baixo custo *ESP WROOM 32* e na terceira fase o usuário poderá visualizar as informações por meio de uma plataforma *Web*. A figura 3.4 ilustra como o medidor funcionará.

Essa configuração passa pelos seguintes estágios:

1. O primeiro estágio consiste na medição das variáveis de corrente e tensão, por meio dos sensores *SCT-013* e *P8* para o envio ao microcontrolador *ESP 32*;

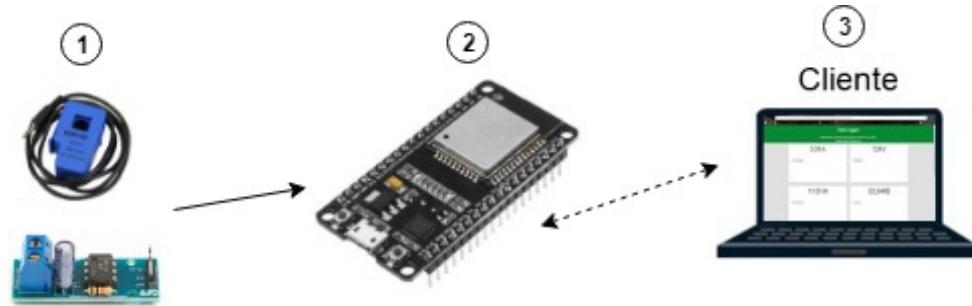


Figura 3.4: Medidor Elétrico Monofásico. Fonte: Própria autora.

2. A comunicação com a internet e o processamento fica a cargo da placa *ESP 32*;
3. Por fim, os dados serão apresentados em uma plataforma web cliente para uma melhor visualização dos dados.

3.2.1.1 Prototipação do Circuito

O circuito do modo monofásico apresenta na figura 3.5, a seguinte prototipação:

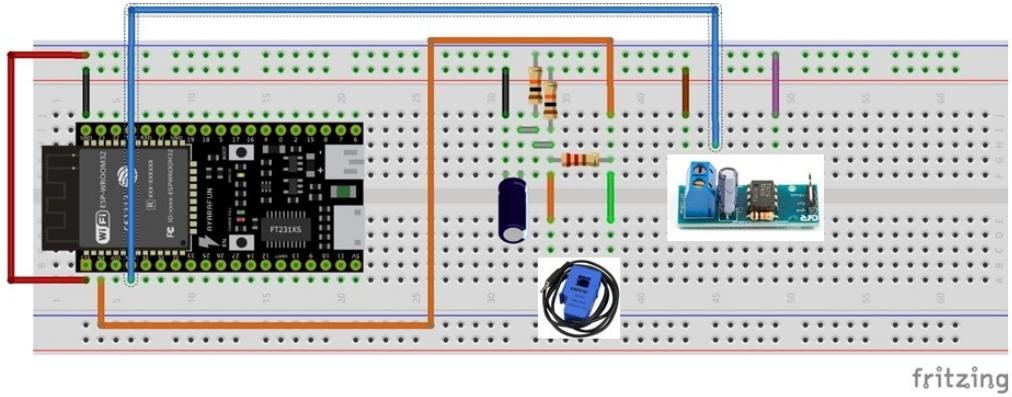


Figura 3.5: Prototipação Medidor Elétrico Monofásico. Fonte: Própria autora.

3.2.2 Modo Bifásico

O modo bifásico apresentado na figura 3.6, caracteriza-se de forma semelhante do monofásico mas com suas devidas particularidades. Na fase de medição, utiliza dois sensores de corrente *SCT-013* e o valor de tensão é estático igual a 127 V. A comunicação e processamento ocorrem com o auxílio da *ESP 32* e do protocolo *HTTP*.

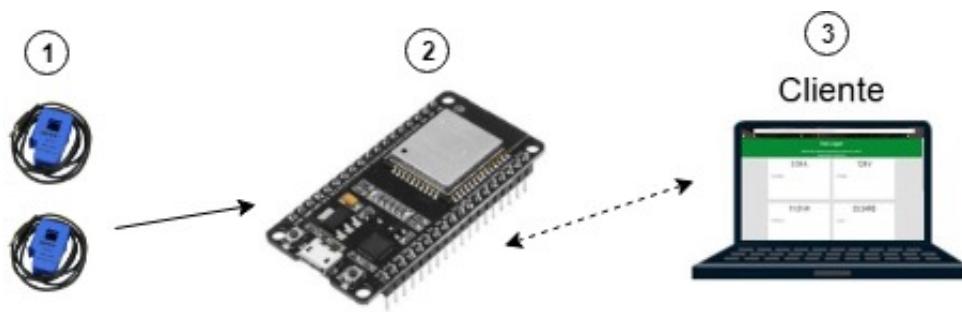


Figura 3.6: Medidor Elétrico Bifásico. Fonte: Própria autora.

Essa configuração passa pelos seguintes estágios:

1. O primeiro estágio consiste na medição das variáveis das diferentes correntes, por meio do sensor *SCT-013*;
2. A comunicação com a internet e o processamento fica a cargo da placa *ESP 32*;
3. Por fim, os dados serão apresentados em uma plataforma web cliente para uma melhor visualização dos dados.

3.2.2.1 Prototipação do Circuito

O circuito demonstrado na figura 3.7 do modo bifásico, apresenta a seguinte prototipação:

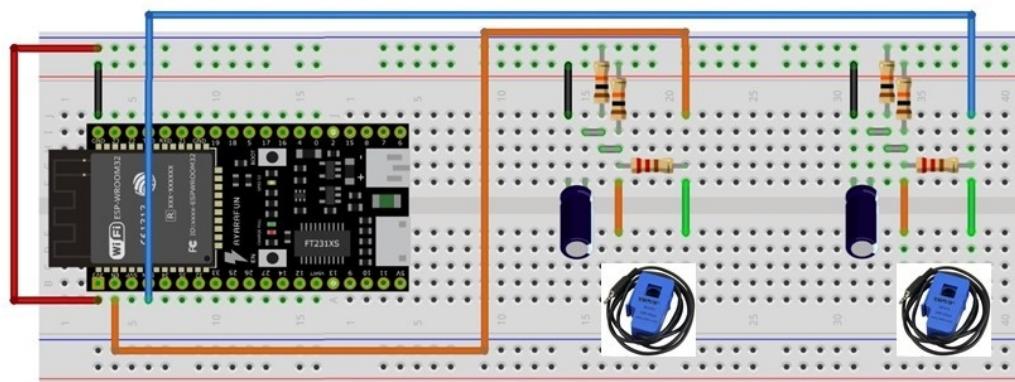


Figura 3.7: Prototipação Medidor Elétrico Bifásico. Fonte: Própria autora.

Capítulo 4

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.

4.1 Protótipo do Medidor Elétrico Monofásico

O protótipo foi dividido em duas fases: a medição e a comunicação com a plataforma web. Na primeira versão do protótipo utilizou-se o microcontrolador Arduino Uno, como pode ser visto na figura 4.1 por ser muito popular entre a comunidade e pelo baixo custo entretanto no decorrer do protótipo foi necessário a utilização de um microcontrolador *ESP-WROOM32*.

Esse microcontrolador possui um poder de processamento superior, integração com *Wi-Fi*, disposição de mais portas analógicas para a futura implementação de novas funcionalidades, como por exemplo realização de estudo e codificação de algum protocolo deste novo paradigma de internet das coisas, podendo dar ao usuário a autonomia de consultar seu histórico de consumo elétrico residencial.

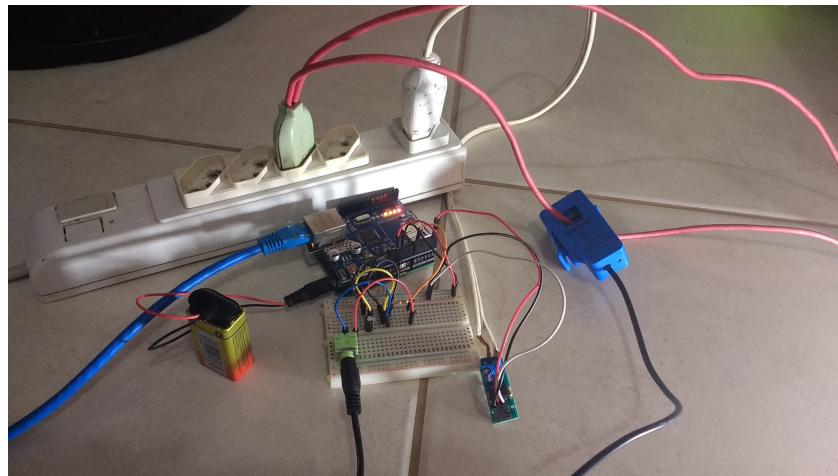


Figura 4.1: Protótipo Monofásico 1.0 Utilizando o Arduino Uno. Fonte: Própria autora.

O protótipo atual como pode ser visto na figura 4.2, 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 $10\mu F$ e um conector p2 para um melhor acoplamento do sensor.

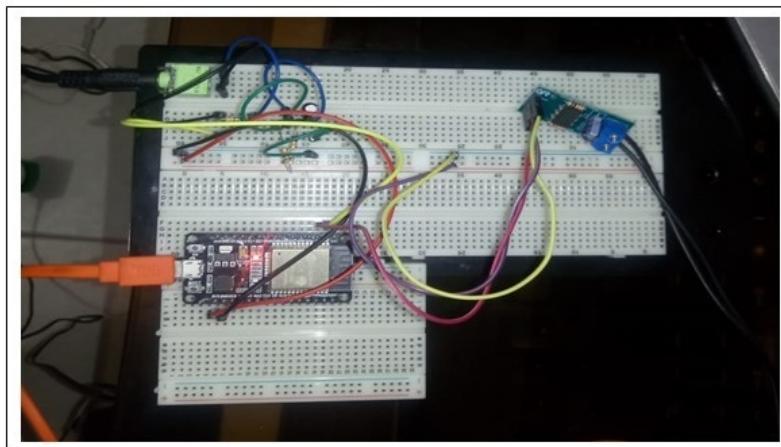


Figura 4.2: Protótipo Monofásico: Medição e Comunicação. Fonte: Própria autora.

Na fase da comunicação pode-se observar na figura 4.3, 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.

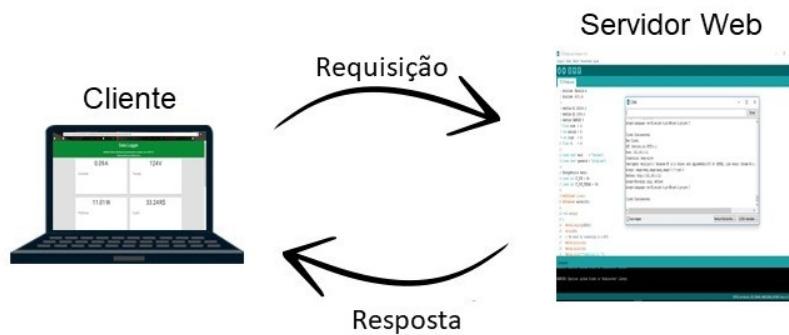


Figura 4.3: Protótipo Monofásico: Comunicação Cliente-Servidor. Fonte: Própria autora.

4.1.1 Medições Modo Monofásico

Nesta etapa foram feitos três experimentos, as medições foram realizadas em uma televisão LCD 32 Sony Bravia modelo kdl-32bx425, em um carregador motorola/lenovo e em uma lâmpada artek de 20W:

- **Televisão:** O sensor de corrente SCT-013 foi acoplado no fio de energia da televisão, a tensão está sendo medida pelo sensor de tensão P8 com o auxílio de um filtro de linha, para validar os resultados o medidor PZEM-061, como pode ser visto na figura 4.4.



Figura 4.4: Medição do Protótipo Monofásico em uma Televisão. Fonte: Própria autora.

- **Carregador Motorola/Lenovo:** O sensor de corrente SCT-013 foi acoplado no fio do carregador de celular, a tensão está sendo medida pelo sensor de tensão P8 e a validação

ocorre com o auxílio do medidor PZEM-061, como pode ser observado na figura 4.5.



Figura 4.5: Medição do Protótipo Monofásico em um Carregador de Celular. Fonte: Própria autora.

- **Lâmpada:** O sensor de corrente SCT-013 foi acoplado no fio da lâmpada, a tensão está sendo medida pelo sensor de tensão P8 com o auxílio de um filtro de linha e os dados são enviados por meio da comunicação entre o servidor web e a plataforma web cliente, com o auxílio da ESP32, exemplificado na figura 4.6.



Figura 4.6: Medição do Protótipo Monofásico em uma Lâmpada. Fonte: Própria autora.

4.1.2 Comunicação com a Plataforma Web Modo Monofásico

Os dados são enviados para uma plataforma *web* cliente, com os seguintes parâmetros: tensão, corrente, potência e custo instantâneo que o usuário irá pagar pelo consumo, baseado no preço da tarifa do kWh = R\$ 0,604 (ANEEL, 2018).

- **Televisão:** A figura 4.7 apresenta os dados e seu respectivo gráfico.

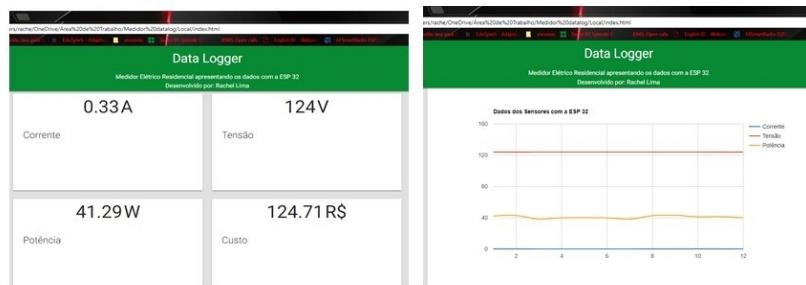


Figura 4.7: Plataforma Web com as Medições da Televisão. Fonte: Própria autora.

- **Carregador Motorola/Lenovo:** Mais um exemplo da utilização da plataforma web na figura 4.8.

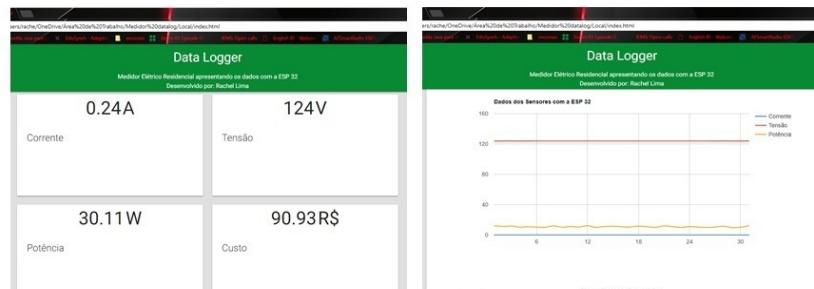


Figura 4.8: Plataforma Web com as Medições do Carregador. Fonte: Própria autora.

- **Lâmpada:** Na figura 4.9 apresenta a utilização da interface de dados para a medição de uma lâmpada.

4.1.3 Resultados do Modo Monofásico

As medições apresentadas foram satisfatórias, comparadas com as medições do PZEM-061, como pode ser observada na tabela 4.1. Para calcular o erro foi utilizada a seguinte fórmula

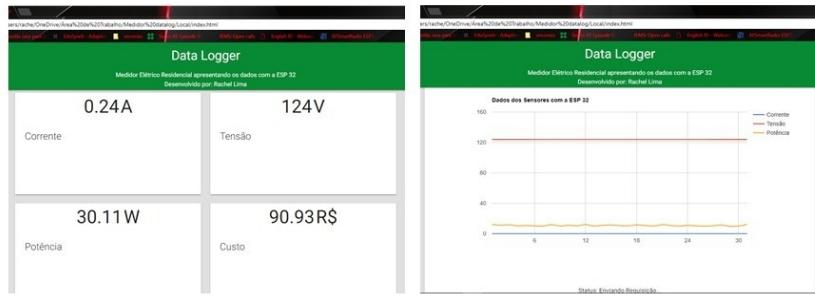


Figura 4.9: Plataforma Web com as Medições da Lâmpada. Fonte: Própria autora.

para a tensão 4.1, corrente 4.2 e potência 4.3:

$$Erro(\%) = \frac{T_{PZEM} - T_{Prot}}{T_{PZEM}} \quad (4.1)$$

Onde:

T_{Prot} = Tensão do Protótipo

T_{PZEM} = Tensão do PZEM

$$Erro(\%) = \frac{C_{PZEM} - C_{Prot}}{C_{PZEM}} \quad (4.2)$$

Onde:

C_{Prot} = Corrente do Protótipo

C_{PZEM} = Corrente do PZEM

$$Erro(\%) = \frac{P_{PZEM} - P_{Prot}}{P_{PZEM}} \quad (4.3)$$

Onde:

P_{Prot} = Potência do Protótipo

P_{PZEM} = Potência do PZEM

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.

Tabela 4.1: Comparaçao 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	-	-

4.2 Protótipo do Medidor Elétrico Bifásico

No modo bifásico, o protótipo é acoplado nas fases localizadas quadro geral de energia da residênci. 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.

4.2.1 Medições Modo Bifásico

O modo como foram executadas as medições podem ser observadas a seguir na figura 4.10:

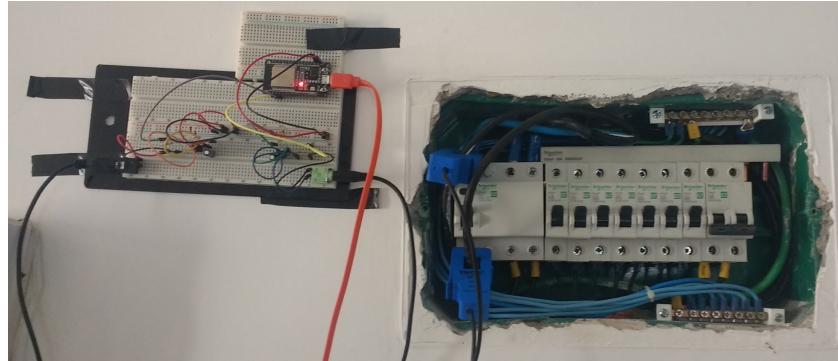


Figura 4.10: Protótipo Bifásico: Medições Fonte: Própria autora.

4.2.2 Resultados do Modo Bifásico

As medições apresentadas foram satisfatórias, comparadas com as medições do alicate amperímetro digital DT266, como pode ser observada na tabela 4.2. Para calcular o erro foi utilizada a seguinte fórmula para a corrente1 4.4, corrente2 4.5, tensão 4.6:

$$Erro(\%) = \frac{C1_{DT266} - C1_{Prot}}{C1_{DT266}} \quad (4.4)$$

Onde:

$C1_{Prot}$ = Corrente 1 do Protótipo

$C1_{DT266}$ = Corrente 1 do DT266

$$Erro(\%) = \frac{C2_{DT266} - C2_{Prot}}{C2_{DT266}} \quad (4.5)$$

Onde:

$C2_{Prot}$ = Corrente 2 do Protótipo

$C2_{DT266}$ = Corrente 2 do PZEM

$$Erro(\%) = \frac{T_{DT266} - T_{Prot}}{T_{DT266}} \quad (4.6)$$

Onde:

T_{Prot} = Tensão do Protótipo

T_{DT266} = Tensão do PZEM

Tabela 4.2: Comparaçāo 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.

4.2.3 Comunicação com a Plataforma Web Modo Bifásico

A comunicação no modo bifásico ocorre de forma semelhante ao monofásico, comunicação entre o servidor web e a plataforma web cliente, obtendo os dados como na figura 4.11:

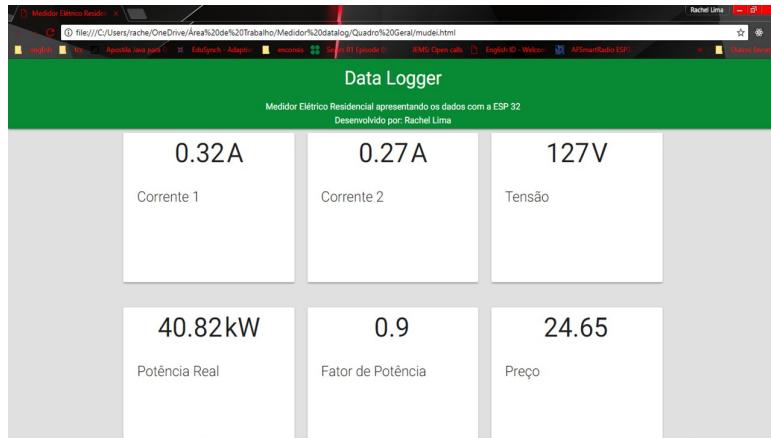


Figura 4.11: Protótipo Bifásico: Comunicação. Própria autora.

4.3 Custo dos Protótipos

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 4.3:

Tabela 4.3: 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

Capítulo 5

Considerações Finais

Neste capítulo é relatada uma visão geral dos resultados e conclusões, as publicações alcançadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso e propostas de trabalhos futuros.

5.1 Visão Geral dos Resultados e Conclusões

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.

5.2 Publicações Realizadas

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, alguns resultados tiveram apresentação e publicação nacional e internacional. Como pode ser observada, a seguir:

1. LIMA, R. B.; SILVA, E. L. O.; Protótipo de um Medidor de Energia Elétrica Monofásico para Monitoramento de Consumo Residencial, Baseado em Microcontrolador de Baixo Custo. In: IV *Escola Regional de Informática da Região Norte I*, 2017, Manaus. Anais da IV Escola Regional de Informática: Regional Norte 1, Amazonas e Roraima. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2017. p. 1-215.
2. LIMA, R. B.; SILVA, E. L. O.; Electrical Power Monitoring of Low-Power Devices Using a Smart Meter. In: 3rd Brazilian Technology Symposium, 2017, Campinas. Proceedings of the 3rd Brazilian Technology Symposium; Emerging Trends and Challenges in Technology. Springer International Publishing. 2018. p. 1-293.

A versão completa desses trabalhos encontra-se no Apêndice A.

5.3 Trabalhos Futuros

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 Bibliográficas

AGOSTINI, N. Eletricidade e energia. Sistema Brasileiro de Tecnologia - SIBRATEC, 2016.

ALEXANDER, C. K.; SADIQU, M. N. *Fundamentos de circuitos eléctricos* (5a. [S.l.]): McGraw Hill Mexico, 2013.

ANEEL. Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública. Agência Nacional de Energia Elétrica, v. 7, 2016.

ANEEL. *Consultas Públicas 2017*. 2017. Url = <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta\publica/>>. [Acessado em 23/10/2017].

ANEEL. *Ranking das Tarifas*. 2018. Url = <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. [Acessado em maio/2018].

ARCHITECTS, E. *O que é um sistema embarcado?* 2017. Url = <<http://www.embarc.com.br/p1600.aspx>>. [Acessado em Agosto/2017].

ARDUINO. *ARDUINO UNO*. 2017. Url = <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. [Acessado em Agosto/2017].

ATMEL. *ATmega328/P - Datasheet*. 2017. Url = <<https://goo.gl/QKKpZJ>>. [Acessado em Agosto/2017].

CELPE. *O que é Eficiência Energética?* 2017. Url = <<https://goo.gl/XW9MKW>>. [Acessado em Agosto/2017].

CREDER, H. *Instalações elétricas*. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2007.

ELETROBRAS. *Como fazer sua Leitura*. 2017. Url = <<https://goo.gl/NYP5BW>>. [Acessado em Outubro/2017].

EPE. Balanço energético nacional 2017: Ano base 2016. Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

EPE. *Eficiência Energética*. 2018. Url = <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. [Acessado em maio/2018].

EXPRESSIF. *ESP32 Datasheet*. 2018. Url = <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. [Acessado em maio/2018].

GIMENEZ, S. P. *Microcontroladores 8051: Teoria do hardware e do software/Aplicações em controle digital/Laboratório e simulação*. [S.l.]: Pearson Education do Brasil Ltda, São Paulo, 2002.

- INMETRO. *O Programa Brasileiro de Etiquetagem*. 2018. Url = <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php>. [Acessado em maio/2018].
- JUNIOR, J. S. d. S. *Sistemas monofásicos, bifásicos e trifásicos*. 2018. Url = <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/sistemas-monofasicos-bifasicos-trifasicos.htm>>. [Acessado em maio/2018].
- LEMOS, M. *Medidor de Consumo de Energia Elétrica Conectado à Nuvem com Arduino*. 2014. Url = <<https://github.com/mlemos/energy-monitor-cpbr7>>. [Acessado em Julho/2017].
- MDN, M. *Introdução ao JavaScript*. 2017. Url = <<https://developer.mozilla.org/pt-PT/docs/Web/JavaScript/Guia/Introdução ao JavaScript>>. [Acessado em Setembro/2017].
- MME/EPE. Plano decenal de expansão de energia 2026. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética, 2017.
- MOZILLA. *HTML*. 2017. Url = <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTML/HTML5>>. [Acessado em Setembro/2017].
- NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. *Circuitos Elétricos, 8a. Edição*. [S.l.]: São Paulo, Pearson, 2008.
- OPENENERGYMONITOR. *OpenEnergyMonitor*. 2011. Url = <<https://openenergymonitor.org/>>. [Acessado em Julho/2017].
- PRESSMAN, R. S. Engenharia de software: uma abordagem profissional. 7^a edição. *Ed: McGraw Hill*, 2011.
- PROCEL. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*. 2018. Url = <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. [Acessado em maio/2018].
- ROTONDO, S. *Manual de Correção do Fator de Potência*. 2018. Url = <<http://www.engeletrica.com.br/novo-site/fatordepotencia-manual-fatordepotencia.html>>. [Acessado em maio/2018].
- SILVA, C. M. Medidor inteligente para monitoramento de falhas em redes de baixa tensão. 2016.
- SILVA, M. Rubia da. *Modelação e análise da vida útil (metrológica) de medidores tipo indução de energia elétrica ativa*. 2010. <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/87039>>. Online; acesso em 21/11/2017.
- TANENBAUM, A. S. *Redes de computadoras*. [S.l.]: Pearson Educación, 2003.
- UNIFEI ELEKTRO, E.; FUPAI. *Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações*. 1th. ed. [S.l.]: Campinas- SP, 2012.
- W3C. *WHAT IS CSS?* 2017. Url = <<https://www.w3.org/Style/CSS/Overview.en.html>>. [Acessado em Setembro/2017].

Apêndice A

Artigos Publicados

Protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico para monitoramento de consumo residencial, baseado em microcontrolador de baixo custo

Rachel B. de Lima¹, Edgard Luciano O. da Silva¹

¹Núcleo de Computação – Universidade do Estado do Amazonas (UEA)
CEP 69.050-020 – Manaus – AM – Brasil

{rbdl.eng, elsilva}@uea.edu.br

Abstract. This article describes the prototype of a single-phase electric energy meter in order to monitor the residential consumption in a microcontroller of low cost, which through sensors found in the values referring to the current after that, will send the data to a server and consumer accesses through a web application to achieve real control of the electrical energy consumption of your electrical appliances.

Resumo. Este artigo descreve o protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico com o intuito de monitorar o consumo residencial baseado em um microcontrolador de baixo custo, o qual através de sensores obterá os valores referentes a corrente após isso, enviará os dados para um servidor e o consumidor obterá acesso por meio de uma aplicação web para assim conseguir um controle real do consumo de energia elétrica dos seus aparelhos elétricos.

1. Introdução

O consumo de energia elétrica no Brasil vem crescendo substancialmente ao longo dos anos. Embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, a intensa expansão do consumo de energia tem aspectos negativos. O impacto ambiental produzido por essa atividade e a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia são dois desses aspectos. Finalmente, um terceiro são os elevados investimentos exigidos na pesquisa de novas fontes e construção de novas usinas. Uma das maneiras mais modernas e utilizadas no mundo para conter a expansão do consumo sem comprometer qualidade de vida e desenvolvimento econômico tem sido o estímulo ao uso eficiente da energia elétrica.

No setor residencial esse crescimento é justificado por fatores como o aumento no número de domicílios, cuja previsão é de que passará de 58 milhões em 2009 para cerca de 75 milhões de unidades em 2020, e a posse de equipamentos também cresce de forma perceptível [MME/EPE 2011]. O setor residencial (Consumidores do grupo B (Baixa Tensão) que consiste dos consumidores ligados em tensão inferior a 2,3kV (110V, 220V e 440V), do subgrupo B1 (Residencial e Residencial de Baixa Renda) corresponde a cerca de 24,9% do consumo total de energia elétrica no Brasil [ANEEL 2010].

Entretanto, mesmo sendo responsável, o consumidor residencial não tem a noção do seu consumo de energia em uma hora deixando uma luz acesa, assistindo televisão, deixando equipamentos no modo “stand by”, utilizando o chuveiro elétrico, forno de

microondas entre outras atividades dependentes da energia elétrica. Sem esta noção, consumo de forma eficiente parece ser um objetivo difícil de se alcançar. O preço pago pelo consumidor final, para o recebimento da energia elétrica, é estabelecido individualmente e varia, em cada concessionária, conforme a classe de consumo em que se enquadra, bem como em função dos montantes e características requeridas. Para quantificar toda essa energia, em seus diferentes percursos até o consumidor final, utiliza-se um equipamento denominado “Medidor”. A energia elétrica, na grande maioria dos consumidores residenciais, é medida de forma direta, onde o fornecimento é feito na baixa tensão (127V / 220V).

Na distribuição de energia ocorrem perdas técnicas e comerciais influenciam na qualidade da energia entregue ao consumidor. Soma-se a isto, o fato de que os medidores de energia utilizados hoje, não retornam nenhuma informação sobre nível de tensão e corrente das unidades consumidoras residenciais. Essa falta de monitoramento dificulta a identificação de possíveis pontos de falha pela concessionária, impede uma melhor análise do consumo e não permite o conhecimento em relação a qualidade do produto que está sendo entregue. A concessionária só obtém a medida de consumo da unidade ao final de cada mês o que dificulta o fato de ter o controle das perdas do sistema, furtos de energia e alterações na rede elétrica.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Eficiência Energética

A utilização racional de energia chamada também de eficiência energética consiste em obter o melhor desempenho na produção de um serviço com o menor gasto de energia [CELPE 2017]. O fato é que as principais atividades na sociedade moderna necessitam do uso intensivo de alguma forma de energia, seja por meio de usinas hidrelétricas, solares, eólicas, entre outras. Consequentemente, se faz necessário o estudo de sistemas, metodologias, tecnologias, materiais e equipamentos com o intuito de evitar perdas e desperdício na produção e no uso da energia.

Devido a preocupação com o uso de energia no Brasil, políticas públicas foram traçadas como a Lei Nacional de Eficiência Energética [UNIFEI and FUPAI 2012] que busca atingir os seguintes objetivos:

- Retirar do mercado, no médio e longo prazo, os equipamentos menos eficientes energeticamente;
- Obter economia de energia ao longo do tempo;
- Promover o desenvolvimento tecnológico, através da fabricação de equipamentos energeticamente mais eficientes;
- Promover o aumento da competitividade industrial do país;
- Reduzir os gastos dos consumidores; e
- Contribuir para a redução dos impactos sócio-ambientais através do uso de equipamentos que consomem menos energia.

Com a utilização do uso eficiente de energia espera-se postergar a necessidade de construir novas usinas geradoras e sistemas elétricos relacionados, viabilizando recursos para outras áreas, assim como colaborando para a preservação do meio ambiente.

2.2. Medidas Elétricas

A energia está associada à capacidade de produção de ação e/ou movimento. Para se obter um melhor entendimento sobre o assunto é necessário conhecer alguns conceitos técnicos que envolvem essa temática. São estes: Corrente(A), Tensão(V) e Potência(W).

A tensão é a energia por unidade de carga criada pela separação entre cargas, a qual tem sua unidade de medida em volt(V). A variação dos efeitos elétricos em relação ao tempo causadas por cargas em movimento é denominada corrente a qual tem sua unidade de medida em ampères(A). A potência é a energia por unidade de tempo e é igual ao produto da corrente no elemento pela tensão em seus terminais, a qual é expressa em watt(W) [Nilsson et al. 2009].

2.3. Sistemas Microprocessados

Um sistema embarcado é um sistema microprocessado completamente encapsulado, onde sua arquitetura pode ser vista na Figura 1, é dedicado ao dispositivo ou sistema que ele controla [Architects 2017]. 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 [Gimenez 2002].

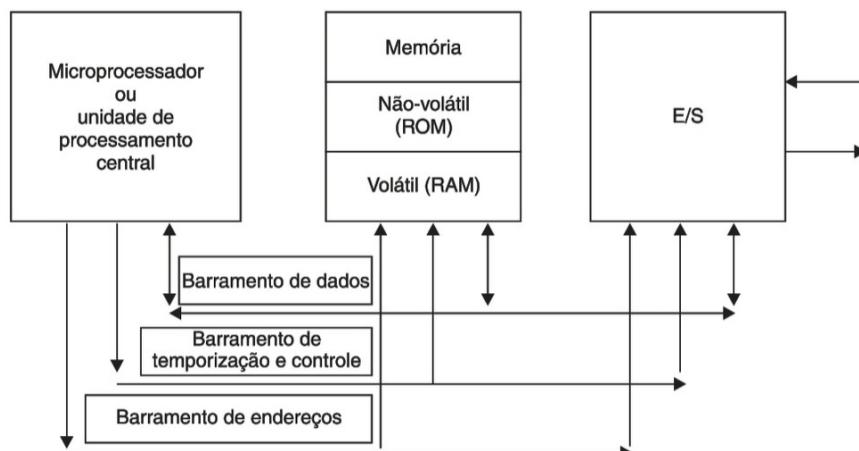


Figura 1. Arquitetura dos Sistemas Microprocessados

Arduino Uno, como pode ser visto na Figura 2, é uma placa de microcontrolador baseada no ATmega328P. Possui 14 pinos de entradas/saídas digitais (dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, uma conexão USB, uma tomada de energia, e um botão de reset [Arduino 2017]. É chamado de plataforma de hardware livre com várias bibliotecas e documentação, possui o ambiente de desenvolvimento de software livre e gratuito, com uma linguagem de programação bastante similar à Linguagem C.

O componente principal da placa Arduino UNO é o microcontrolador ATMEL ATmega328P, um dispositivo de 8 bits da família AVR com arquitetura RISC avançada e com encapsulamento DIP28. Ele conta com 32 KB de Flash (mas 512 Bytes são utilizados



Figura 2. Arduino Uno

pro bootloader), 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM. Pode operar a até 20 MHz, porém a placa Arduino UNO opera em 16 MHz, valor do cristal externo que está conectado aos pinos 9 e 10 do microcontrolador [Atmel 2017].

3. Trabalhos Relacionados

Os medidores de energia elétrica residencial utilizados atualmente são do tipo eletromecânicos tradicionais, onde os campos gerados pelas bobinas de corrente e de potencial, induzem correntes em um disco, provocando a sua rotação [Creder 2007]. Nesse tipo de medidor há muitos elementos envolvidos o que aumenta a probabilidade de erros assim como o furto de energia, pois a concessionária não conseguirá identificar naquele instante essa perda, sendo necessário aguardar no mínimo até a próxima medição do faturamento.

No caso dos medidores inteligentes há uma nítida evolução no processo de medição, os mesmos podem realizar medição, cálculos, calibração e comunicação por meio de hardware e software. Para tal, devem ser projetados para armazenar e transmitir dados de acordo com padrões estabelecidos pelos órgãos responsáveis. Uma das principais vantagens da medição inteligente é o monitoramento em tempo real para o abastecimento de um banco de dados o qual deve possibilitar a melhoria do serviço prestado e permitir ao consumidor conhecer melhor seu consumo [Silva 2016].

Neste panorama o trabalho de [Lemos 2014] apresenta os conceitos de hardware livre com a utilização da plataforma Arduino e um sensor de corrente SCT-013-100. Para as devidas medições elétricas foi utilizado a biblioteca emonLib que faz parte de um projeto open source denominado Open Energy Monitor [OpenEnergyMonitor 2011], o qual é um programa de monitoramento de código aberto para entender a energia explorando o contexto das energias renováveis e zero carbono. Os dados obtidos com o sensor de corrente são enviados através da placa ethernet shield que está conectada em conjunto com o arduino para um servidor desenvolvido em ruby on rails onde são apresentados o cálculo da energia consumida e demais resultados.

O presente trabalho se diferencia dos anteriormente citados, pois propõe uma conexão em tempo real com a aplicação cliente desenvolvida através do protocolo http e o *backend* sendo feito em php e o *frontend* em html e css. Para validar os resultados utilizou-se um medidor de energia AC 4 em 1 PZEM-061, o qual possui as funções de Wattímetro, Voltímetro, Amperímetro e além de medir o consumo de energia.

4. Abordagem da Proposta

O medidor de energia elétrica proposto foi implementado em duas etapas, como pode ser visto na Figura 3:

- Circuito aferidor de corrente;
- Aquisição de dados.

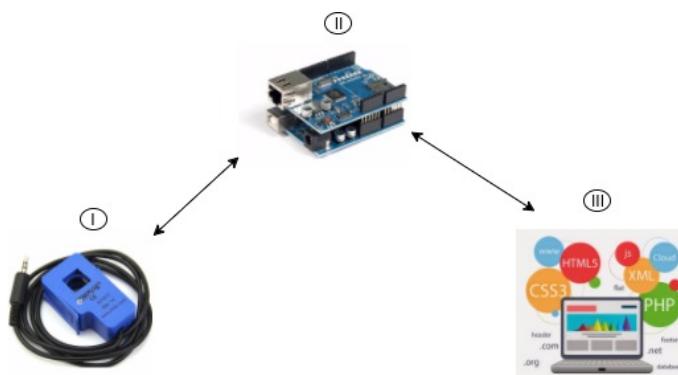


Figura 3. Medidor Elétrico Proposto

Esse sistema é realizado de acordo com as seguintes etapas:

- I. A medição da corrente é realizada pelo sensor de corrente não invasivo 30A SCT-013, o qual envia os dados através do circuito para o Arduino;
- II. A placa ethernet shield está acoplada ao Arduino pronto para fazer a conexão via cabo ethernet com o computador;
- III. A aplicação web cliente recebe os dados, os quais são atualizados em tempo real no navegador da preferência do usuário.

4.1. Circuito aferidor de corrente

O circuito medidor de corrente está ilustrado na Figura 4. O nível de tensão de saída que chega ao sensor de corrente não invasivo tem a capacidade de medir até 30 A, o qual é limitado pelo divisor de tensão formado pelos resistores R1 e R2. O capacitor C1 é utilizado para reduzir o nível de ruído que eventualmente possa existir no sinal de entrada. O conector P2 é utilizado para um melhor acoplamento do sensor com os demais componentes.

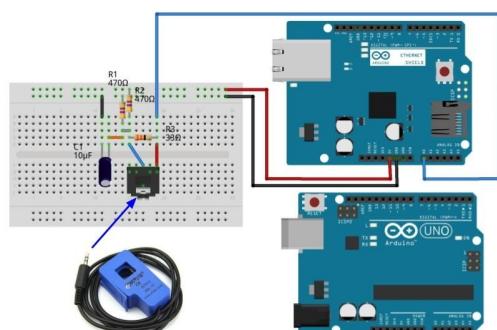


Figura 4. Circuito medidor de corrente

4.2. Fluxograma do Medidor Elétrico Monofásico

O fluxograma do medidor elétrico monofásico proposto no trabalho pode ser visto na Figura 5. Seus estágios são: (i) Entrada de dados por meio da aquisição do sensor de corrente, (ii) Processamento do cálculo da corrente e potência, (iii) Após isso, os dados são enviados para a aplicação web cliente, (iv) onde serão apresentados os resultados que são atualizados a cada 5 segundos no navegador.

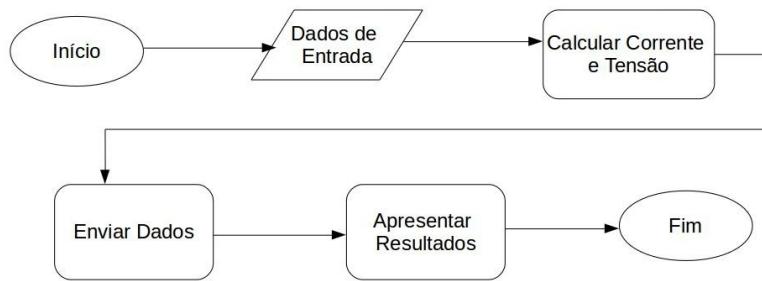


Figura 5. Fluxograma do Medidor Elétrico

5. Experimentos e Resultados

Os experimentos realizados neste trabalho tiveram como objetivo testar o sensor de tensão e a comunicação com a placa ethernet shield. Assim sendo, para efeitos de validação das medições foi utilizado um medidor de energia PZEM-061 AC, no qual pode-se usar nas funções de multímetro, wattímetro e amperímetro, esse medidor possui precisão de 1%. A primeira medição foi em uma lâmpada de 20W, Fator de potência $\geq 0,50$, corrente = 280 mA, tensão= 110V-127V. Na Figura 6, podemos observar a lâmpada ligada a rede elétrica e o sensor de corrente conectado ao circuito, obtendo assim as devidas medidas elétricas.



Figura 6. Medição da corrente e potência na lâmpada

Na aplicação cliente, os dados são recebidos através da placa ethernet shield, utilizando protocolo HTTP que é baseado em requisições e respostas entre clientes e servidores. Os dados apresentados são das últimas dez amostras em uma tabela como pode ser observado na Figura 7. Os valores obtidos de corrente e potencia podem ser vistos, na Tabela 1.



The screenshot shows a Google Chrome window titled "Medidor de Energia - Google Chrome". The address bar displays "Medidor de Energia" and the IP address "192.168.1.177". The page title is "Medidor de Energia Elétrica Versão 1.0". Below the title, it says "Aluna: Rachel Lima". The main content is a table with two columns: "Corrente(A)" and "Potência(W)". The data is as follows:

Corrente(A)	Potência(W)
0.21	26.79
0.23	29.07
0.23	28.96
0.23	28.93
0.23	29.23
0.23	28.89
0.23	29.06
0.24	30.07
0.24	30.40
0.24	29.91

Figura 7. Aplicação web cliente

Corrente(A)	Potência(W)
0.21	26.79
0.23	29.07
0.23	28.96
0.23	28.93
0.23	29.23
0.23	28.89
0.23	29.06
0.24	30.07
0.24	30.40
0.24	29.91

Tabela 1. Valores das medições na lâmpada

Para fins de validação e comparação foi utilizado um medidor de energia AC 4 em 1 PZEM-061, onde são mostrados os valores de tensão, corrente, potência e energia. A faixa de tensão que o mesmo funciona é de 80-260V. A faixa de corrente que o mesmo funciona é de 0-100A. A medição pode ser vista na Figura 8.

**Figura 8. Medidor PZEM-061**

O esquema elétrico pode ser observado na Figura 9. Basicamente a tensão do medidor é ligada e coloca-se o fio da carga por dentro da bobina para aferir a corrente. Há dois fios que são ligados diretamente da bobina ao medidor e os outros dois fios é a ligação da tensão e o outro da corrente.



Figura 9. Ligação do Medidor PZEM-061

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, foi apresentado um protótipo de um medidor de energia elétrica monofásico para monitoramento de consumo residencial, baseado em microcontrolador de baixo custo. Os resultados foram satisfatórios para uma primeira versão. Houve variações nos valores da potência, devido a utilização um valor estático para a tensão, o qual foi definido como 127V.

Com trabalhos futuros será implementado o uso de um sensor de tensão para assim obter medições mais precisas, assim como o estudo para evoluir o presente protótipo até um medidor trifásico para rede residencial com microprocessado de baixo custo, fazendo uso de dois sensores de corrente e tensões, bem como um banco de dados com medidas de consumo de equipamentos domésticos.

Referências

- ANEEL (2010). Direitos e deveres do consumidor de energia elétrica – resolução normativa nº 414. Agência Nacional de Energia Elétrica.
- Architects, E. (2017). O que é um sistema embarcado? url = <http://www.embarc.com.br/p1600.aspx>. [Acessado em Agosto/2017].
- Arduino (2017). Arduino uno. url = <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. [Acessado em Agosto/2017].
- Atmel (2017). Atmega328p - datasheet. url = <https://goo.gl/QKKpZJ>. [Acessado em Agosto/2017].
- CELPE (2017). O que é eficiência energética? url = <https://goo.gl/XW9MKW>. [Acessado em Agosto/2017].
- Creder, H. (2007). *Instalações elétricas*. Livros Técnicos e Científicos.
- Gimenez, S. P. (2002). Microcontroladores 8051: Teoria do hardware e do software/aplicações em controle digital/laboratório e simulação.

- Lemos, M. (2014). Medidor de consumo de energia elétrica conectado à nuvem com arduino. url = <https://github.com/mlemos/energy-monitor-cpbr7>. [Acessado em Julho/2017].
- MME/EPE (2011). Plano decenal de expansão de energia 2020. Ministério de Minas e Energia e Empresa de Pesquisa Energética.
- Nilsson, J. W. R., Nilsson, S. A. J. W., and Riedel, S. A. (2009). Circuitos eléctricos.
- OpenEnergyMonitor (2011). Openenergymonitor. url = <https://openenergymonitor.org/>. [Acessado em Julho/2017].
- Silva, C. M. (2016). Medidor inteligente para monitoramento de falhas em redes de baixa tensão.
- UNIFEI, ELEKTRO, E. and FUPAI (2012). *Eficiência Energética: Fundamentos e aplicações*. Campinas- SP, 1th edition.

Electrical Power Monitoring in Low-Power Devices Using a Smart Meter

Rachel Batalha de Lima^{1[0000-0002-2890-9641]} and Edgard Luciano Oliveira da Silva^{2[0000-0003-2722-2191]}

^{1, 2} University of the State of Amazonas, Manaus AM 69050-010, Brazil
`{rbdl.eng, elsilva}@uea.edu.br`

Abstract. This article describes an intelligent electric energy meter with the use of the Esp8266 microcontroller with the NodeMCU firmware in conjunction with current and voltage sensors connected to the ThingSpeak analysis platform to obtain these values in order to obtain a time control consumption of low-power appliances.

Keywords: esp8266, electric power, internet of things.

1 INTRODUCTION

The electrical energy brings many benefits to society's development, boosting the economy and improving population's quality of life. However, it's necessary to be aware about the energy consumption, production and distribution in Brazil because of some factors as: the depletion of natural resources, environmental impacts and investments on new power plants' constructions. A solution to this is the implementation of an efficient electrical energy usage through public politics to aware people and some research development.

The number of consumers in the residential electrical sector has been growing every year [1], as shown in Table I, which consequently impacts on the increase of electrical consumption in this sector. Consumers are separated according to the voltage level they use. The rule says that the higher the consumption, the higher the voltage level: Group A - Class A1 (230 kV or more), Class A2 (88kV to 138kV), Class A3 (69kV) and Class A4 (2.3 to 25kV); Group B - Low Voltage (Less than 2,3kV) and Residential (110 to 220V) [2].

Consumers, even having an impact on the consumption of electricity, are not aware about the real-time quantity of kilowatt-hours spent by small attitudes like unnecessary lighting, the usage of electric shower, stand by appliances mode, among others. The price paid by the final consumer, about the delivered service, is given monthly by

the concessionaire based on its consumption and the price of kilowatt-hour. To quantify all this energy, in its different routes to the final consumer, a device called “Meter” is used.

Taking in consideration the power measurement, the concessionaires cannot obtain the real-time levels of current and voltage, nor do they have the control of the technical losses during the transmission, nor the theft of energy, since their monitoring of the meters is done only once a month. It affects the improvement of consumption's analysis and the knowledge of the real quality of the service being delivered.

In this context, this paper contributes for: the development of an effective and low cost Smart Meter, using IoT concepts; the comparison and analysis between the developed project and preexisting solutions in the market, presenting advantages and disadvantages of the employed methodology

The paper is organized as follows: Section 2 presents the necessary theoretical basis for the comprehension of this paper, Section 3 points out some of the main related projects about the subject, Section 4 describes the approach used in the proposed meter development, Section 5 exposes the experiments and results obtained, and finally section 6 presents the conclusions and suggestions for further projects.

Table 1. Number of consumers per year.

	2012	2013	2014	2015	2016
Residential	61.697	63.862	66.007	67.746	69.277

2 THEORETICAL BASIS

2.1 Electrical quantities

Energy is the capacity of something to do work, what means, to generate force in a particular body, substance or physical system [Sadiku]. To obtain a better understanding on the subject, it is necessary to know some technical concepts that involve this theme. These are: Current (A), Voltage (V) and Power (W).

The electrical voltage is the difference in electric potential between two points. Its unit of measurement is the volt (V) and is usually represented in the equations and circuits by the letters U or V. This voltage is supplied to the circuit by a generator. In electronic circuits, generators are usually batteries, which transform chemical energy into electric. There are also other types of generator as mechanical, solar, thermal and magnetic generators.

The electric current can be defined as the flux of electrons in a conductor when exposed to a difference in electric potential controlled by a generator, the unit of measurement is Ampère (A), is usually used the letter I to represent it in electrical circuits and equations.

Power is defined as the energy rate (U) that is transformed or transferred by time, is equal to the product of the current in the element by the voltage at its terminals. It is measured in units of joules/second, also known as watts [3].

2.2 Power Meters

The operation principle of the electromechanical energy meter is the same as the induction motor. Its rotation, along with the disk that has an axis connected to an auger, causes registers' rotation which will provide the energy consumption reading. Consumption in this type of measurement is performed monthly, the readings must be subtracted from the previous month to have the actual consumption [4].

Electronic meters read the variables through short intervals of time samples using analog-to-digital (A/D) converters. The accuracy class of the equipment is determined by the number of bits in the A/D converters and processing precision, allowing them to be more accurate than the electromechanical meters. To perform equipment readings, a communication protocol is used between the meter and an equipment used by a reader to store the read registers, or through network communication protocols, sending the data directly to concessionaire's database [5].

The implementation of electronic meters has been progressively done due to the high cost of equipment. In 2012, the Brazilian Electricity Regulatory Agency (in Portuguese, Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL) regulated a resolution for electronic energy metering systems for consumer units of Group B (residential, rural and other classes, except low income and public lighting) [6].

2.3 ESP8266

The ESP8266 is a 32-bit micro-controller that includes a Tensilica L106 microprocessor core that works at the standard 80 MHz frequency and can reach 160 MHz. As communication interfaces, there are serial interfaces synchronous, SPI, I2C and I2S; asynchronous USART and a Wi-Fi interface, which can operate in AP mode, as a client, in ad-hoc or Wi-Fi Direct [7].

The NodeMCU module used in this project is a development board that adds an ESP8266 chip, has development options in Lua language or with the same Arduino IDE. It has two buttons: flash, used in recording firmware, and RST (Reset). On the same side we have the micro USB connector for power and connection to the computer. On the opposite side, the ESP-12E and its built-in antenna, already welded on the board. On the sides are the GPIO pins, external power and communication.

3 Related Projects

The NodeMCU module used in this project is a development board that adds an ESP8266 chip, has development options in Lua language or with the same Arduino IDE. It has two buttons: flash, used in recording firmware, and RST (Reset). On the same side we have the micro USB connector for power and connection to the computer. On the opposite side, the ESP-12E and its built-in antenna, already welded on the board. On the sides are the GPIO pins, external power and communication.

In the project developed by (Paula, Gilberto José de) [8], a residential electricity demand meter with remote access was presented, using an ACS712 current sensor, a voltage sensor module and a w5100 ethernet shield for communication with the web

application in conjunction with the Arduino UNO for measuring voltage and current, obtaining a high cost of R\$ 320.50.

As exemplified in the article by (Marcelino, José Elias Carvalho et al.) [9], entitled prototype of a Smart Meter of electric energy: Applied to residential consumers units, an ASC12 30 A current sensor was used, a voltage sensor 127 / 220V with Arduino UNO getting the voltage and current values, and the PLX-DAQ software to collect the data in a spreadsheet, presenting a total cost payment of R\$ 200.00.

I order to develop a prototype for electric energy measurement (Silva, Igor Alexandre Dutra) [10], presents a prototype with a cost of \$ 108.00. Consisting of a non-invasive current sensor, a voltage filter, and a Bluetooth sensor to send data to the computer.

This work differs from previous ones due to the replacement of the Arduino Uno by NodeMCU, which has a superior processing power, also brings a prototype with the most affordable price and makes use of IoT concepts so the user obtains a better experience with the software usage.

4 Proposed Approach

The proposal of a development of Smart Meter for low-power devices consists of two phases, as shown in figure 4:

1. Hardware Development:
 - Current gauge circuit;
2. Communication with the ThingSpeak platform for analysis of IoT data.

In the hardware development phase, the prototype of the circuit for current acquisition was made using the non-invasive sensor SCT 013-30A.

The ESP8266 NodeMCU module communicates with the ThingSpeak platform over the HTTP network protocol, sending data every 15 seconds.

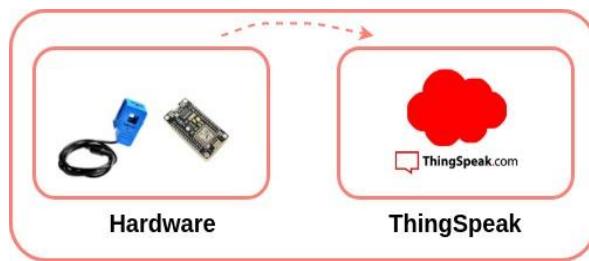


Fig. 1. Presentation of Smart Meter proposal. Figure by Author.

4.1 Current Gauge Circuit

The current gauge circuit is shown in figure 2. It presents the NodeMCU in conjunction with a 4-channel ADS1115 digital analog converter for reading the analog ports, a 330-ohm resistor, and a P2 connector for acquiring the current sensor signal.

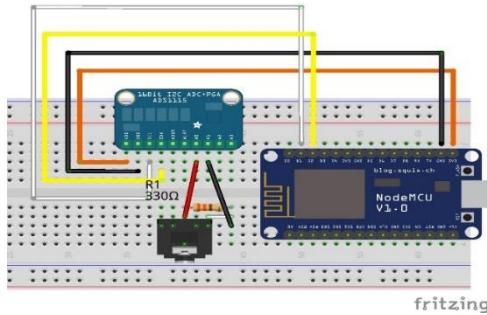


Fig. 2. Current Gauge Circuit. Figure by Author.

5 Experiments and Results

The experiments carried out in this project had the objective of monitoring the current using the SCT 013-30A sensor in conjunction with the ThingSpeak platform.

The first experiment was performed on a lamp with the following characteristics 280 mA and 110V-127V. As can be seen in figure 3.

The data is sent to the ThingSpeak platform which serves as data storage on the web, displaying and storing it as charts. As can be seen in Figure 4. The display is done via browser, and it is possible to view the information from any device that has Internet access and browser available. Another advantage is that the platform is free.



Fig. 3. Measurements on a lamp with the Smart Meter

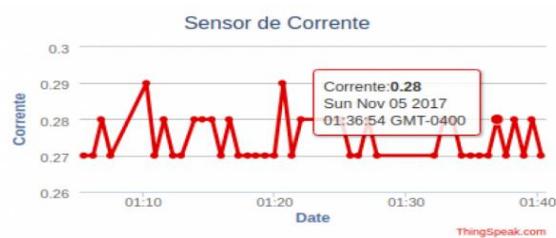


Fig. 4. Chart with Current Sensor data generated by ThingSpeak platform

The data is categorized into ThingSpeak in the form of channels. Due to the large number of information, this form of organization is beneficial. The HTTP protocol is used to send the data, and in this request one of the passed parameters is a unique key (linked to the ThingSpeak channel you want to send the information to). The minimum interval between two submissions is 15 seconds.

Table 2. Values of Current and Power.

	Current(A)	Power(Watts)
1	0.27	33.46
2	0.27	33.46
3	0.28	34.72
4	0.27	33.46
5	0.29	35.96
6	0.27	33.46
7	0.28	34.72
8	0.27	33.46
9	0.27	33.46
10	0.28	34.72

To validate the results, the PZEM-061 AC meter was used, which has the functions of multimeter, wattmeter and amperemeter. Table 2 shows the resulting current and power values.

Regarding cost, compared to other microcontrollers, the approach using Arduino UNO takes advantages because it can achieve same power processing with a lower market cost.

6 Conclusion and Further Projects

In this paper was presented the monitoring of electric power in low power devices through an Smart Meter. The results are satisfactory for a first version. There was a variation in the power values due to the use of an approximated voltage value which was 127V.

As further projects will be implemented the usage of a voltage sensor module to have more accurate measurements, the two-wattmeter method has also been studied to achieve greater accuracy. Thus, the present article aims to evolve the Smart Meter for three-phase installations by coupling it in the residential electric grid, so the user will be able to obtain real-time control of their electric consumption.

References

1. Energy Research Company - EPE, Statistical Yearbook of Electrical Energy 2017, <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>, last accessed 2017/10/23.
2. Brazilian Association of Large Industrial Energy Consumers and Free Consumers - ABRACE, An Introduction to the Electrical Sector, http://www.abrace.org.br/wpcontent/uploads/2015/12/manual_energia_eletrica.pdf, last accessed 2017/10/24.
3. Nilsson, J.W. R., Nilsson, S. A. J.W., and Riedel, T.: Electric Circuits, 10th. Prentice Hall, (2014).
4. Creder, H., T.: Electrical Installations, LTC Editors, (2007).
5. Silva, Marcelo Rubia da. Modeling and Analysis of the useful Life (meters) of Induction type Meters of active Electric Energy. M.S Thesis, Unesp, (2010).
6. National Electric Energy Agency - Aneel. Public Consultations 2017, http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/, last accessed 2017/10/23.
7. Oliveira, Sergio. Things Internet with ESP8266, Arduino and Raspberry PI, São Paulo: Novatec, 2017.
8. Paula, Gilberto José de. Residential Electric Power Demand Meter with Remote Access, 2013.
9. Marcellino, José Elias Carvalho, Costa, T. C. C. and Morais, P. R. R, Prototype of a Smart Electric Meter: Applied to Residential Consumer Units, V SINGEP, 2016.
10. Silva, Igor Alexandre Dutra, Intelligent voltage-current Sensor with Smartphone Monitoring and Control Online, 2016.