

SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA CONECTADO À INTERNET DE BAIXO CUSTO

Maycon Jean de Moura¹, Francisco Magno Monteiro Sobrinho²

Resumo: Com as crises hídricas vividas nos últimos anos e o consequente aumento nas tarifas de consumo de energia elétrica brasileira, impacta a crescente busca por eficiência energética. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um dispositivo de baixo custo para monitorar a potência e calcular o consumo de residências monofásicas de baixa tensão possibilitando o acompanhamento dos valores medidos em tempo real remotamente pela internet e da visualização do histórico de consumo com a resolução de segundos para que seja possível tomar conhecimento do consumo diário, algo quase impossível atualmente já que a concessionária fornece os dados mensalmente e é dispendioso coletar os dados manualmente. Verificou-se que o circuito escolhido para monitorar a defasagem apresentava um erro que inviabilizava a medição da mesma. Além de verificar o baixo custo do projeto, a robustez do servidor e do software usado para processar e exibir os dados.

Palavras-chave: *NodeMCU*; Monitoramento remoto; Medidor de Energia

1. INTRODUÇÃO

Em menos de dez anos, a energia elétrica aumentou em 10% a sua participação no consumo residencial final de energia e em 5% no consumo energético total do setor comercial [1]. Um crescimento constante mesmo com variações negativas do PIB no período. Além disso, as crises hídricas, que afetam a principal fonte usada na geração de energia elétrica brasileira, aumenta o valor pago pelo consumo, tornando interessante o seu uso eficiente da mesma até mesmo para pequenos consumidores. Dado esta crescente busca por eficiência, o setor pode gerar negócios de US\$ 260 bilhões e mais de 1,2 milhão de empregos direta e indiretamente, o que mostra a preocupação da sociedade com o tema [2]. Com isso em mente, existe alguma forma de aumentar a eficiência energética de uma residência a um baixo custo?

Uma das formas de aumentar a eficiência energética seria evitar desperdícios e, para isso, é necessário conhecer bem o consumo a todo momento para que gastos desnecessários sejam evitados e se crie consciência sobre o uso da energia elétrica. Além disso, com a criação de novas tarifas como a tarifa branca, que cria tarifas diferentes para períodos do dia e dias diferentes [3], torna-se imprescindível a visualização do consumo em uma resolução maior. A concessionária fornece, através de sua fatura, o valor consumido nos últimos 12 meses, o que não é suficiente para identificar problemas pontuais e nem grandes problemas forma rápida, já que o reflexo será visto apenas na fatura do mês posterior. Com isso, o consumidor que em sua maioria considera o preço da energia muito caro ou caro não consegue visualizar formas de reduzir o consumo [4].

Então, para solucionar esse problema, foi proposto um sistema no qual será ligado à entrada de energia elétrica para monitorar a potência ativa consumida e enviar esses dados para a nuvem, para que os mesmos sejam exibidos em gráficos de fácil visualização para que o usuário possa identificar possíveis perdas e problemas no circuito em um tempo menor do que seria possível com os dados da concessionária, podendo haver o aumento do aproveitamento de energia elétrica em questão. Tal ideia pode ser encaixada em uma das definições possível de para o *Smart-meter* [5], um dispositivo que vai além do medidor convencional, já que seria possível observar o consumo em tempo real e de qualquer lugar.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um dispositivo de baixo custo para o monitoramento da potência ativa consumida em uma residência monofásica de 220V, e através dele medir o consumo de energia elétrica com uma resolução de apenas poucos segundos, maior que a fornecida pela concessionária. Também será criado um aplicativo para exibir os dados medidos de fácil visualização e interpretação por meio de gráficos para resumir a grande quantidade de dados obtidos com a medição.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Medidor Inteligente ou *Smart-meter*

Mesmo já existindo versões comerciais, ainda não se tem um conceito definido para os medidores inteligentes, sendo definido como aqueles que além da medição de consumo e processamento digital das informações, possuem uma ou mais funções [5], como:

- Ler automaticamente o consumo para a geração da fatura;
- Medição de outro tipo de consumo com água e gás;
- Monitoramento em tempo real.

Mesmo com um conceito amplo, os medidores inteligentes são primordiais para as *Smart Grids* além de ser uma forma de conscientização do consumo, já que o mesmo pode ser visto em tempo real ao invés de apenas ao fim do mês. [6]

Existem produtos nacionais e internacionais que se classificam como Smart meter, um dos mais famosos é o *emonPi* um medidor baseado no *Raspberry Pi* de código e hardware aberto financiado pelo *Kickstarter* e vendido atualmente por R\$ 584,64, convertidos diretamente [7]. Um produto nacional semelhante é o *Ecomonitor* fabricado pela Rede Industrial®, ele mede o consumo de água, energia elétrica e gás e é oferecido em planos mensais a partir de R\$ 35,00 [8].

2.2. ESP8266

Um chip com WiFi integrado, compacto e com baixo consumo de energia elétrica ideal para internet das coisas, ele conta com um processador da série L106 Diamond da *Tensilica* de 32bits que possui *clock* de 80MHz, podendo alcançar 160MHz. Ele ainda conta com uma antena de micro fita e suporta o protocolo 802.11 b/g/n, possibilitando um alcance máximo de aproximadamente 70 metros [9]. Além disso, ele tem um baixo custo podendo ser adquirido por menos de 3 dólares em sites de compras internacionais [10].

Aceitando uma alimentação de até 3,6V, ele opera em 3,3V, tem 11 portas GPIO, sendo que 4 delas são PWM, e uma porta com ADC com 10 bits de precisão e 1 V de tensão máxima [9].

Além disso, é possível encontrá-lo em várias versões com configurações e tamanhos diferentes. Como, por exemplo, o ESP-01 que possui antena impressa em placa de circuito e apenas duas *GPIOs*, pinos de entrada e saída de uso geral, sendo usado tanto sozinho quanto como *shield* WiFi para Arduino. Já o ESP-05 é utilizado apenas como *shield* Wifi para Arduino. Diferentemente do ESP-12 que conta com 11 *GPIOs* e 1 pino com ADC, com isso ele é utilizado sozinho, sem a necessidade de outro microcontrolador [11].

2.3. NodeMCU

É uma placa de desenvolvimento baseada no ESP-12E, uma versão do chip ESP-12, que já possui comunicação WiFi. Além do ESP em si, a placa ainda conta com um regulador de tensão que permite uma tensão de alimentação entre 4,5V e 9V, uma interface CH340 e uma porta micro USB para comunicação com o computador. Além disso foi adicionado um divisor de tensão na porta ADC, elevando a tensão máxima de 1V para 3,3V [12]. A Figura 1 apresenta a função de cada pino presente no dispositivo.

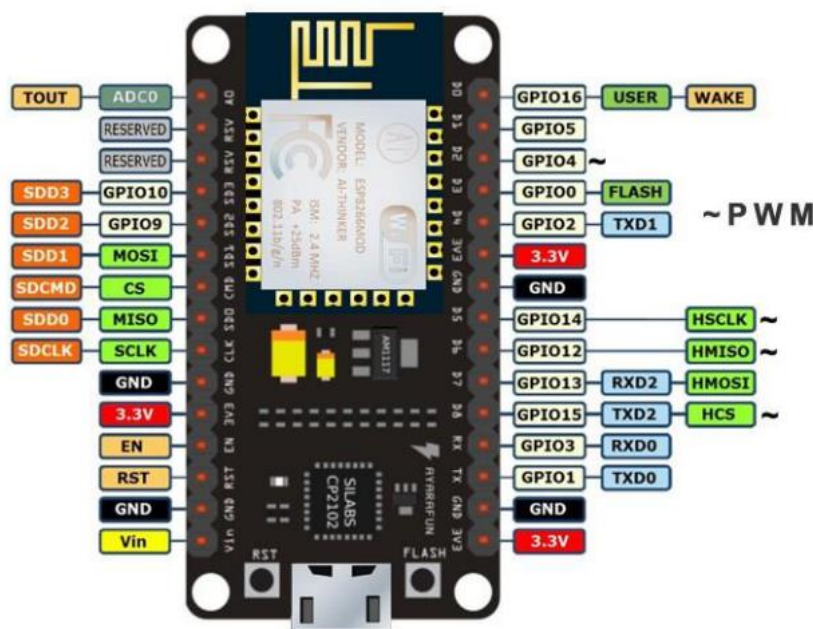


Figura 1. Diagrama com função de pinos *NodeMCU*. [12]

2.4. Fator de Potência

Em corrente alternada a potência é dada de uma forma diferente do que a potência em corrente contínua, isso se deve pela forma da onda que ao simplificar por relações trigonométricas é obtido a Equação 1. Com ela é

possível perceber que apenas o resistor dissipa potência, já que capacitores e indutores defasam em 90° a tensão da corrente [13].

$$P_{méd} = V_{rms} * I_{rms} * \cos(\theta) \quad (1)$$

Onde $P_{méd}$ é a potência média;

V_{rms} é a tensão eficaz;

I_{rms} é a corrente eficaz e

θ é o ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente

A potência média descrita na Equação 1 é também chamada de potência ativa, enquanto a potência consumida pelos capacitores e indutores é chamada de potência reativa. A soma vetorial das potências consumidas por resistores, capacitores e indutores é chamada de potência aparente e é dada pela multiplicação da tensão eficaz e a corrente eficaz.

A relação entre potência ativa e potência aparente é chamada de fator de potência que é um número entre 0 e 1 calculado pelo cosseno do ângulo de defasagem entre o fasor das ondas de tensão e corrente [13]. Quanto maior o fator de potência, maior será a potência ativa que poderá ser transferida no circuito sem sobrecarregá-lo. Então, para o consumidor final, a Agência Nacional de Energia Elétrica determina que o fator de potência não deve ser inferior a 0,92 [14], aplicando multa se houver algum consumo de potência reativa excedente ao estipulado.

Para consumidores de baixa tensão B1 a concessionária realiza apenas a medição da potência ativa através um wattímetro mecânico ou eletrônico cobrando apenas a potência ativa consumida pelo mesmo [14]. Então, para que seja apresentada informações precisas do consumo, é necessário medir a potência ativa ao longo do tempo. Algo que será feito com um medidor de fator de potência e da potência aparente, calculada através da multiplicação da tensão e da corrente. Assim, com os dados da defasagem e da potência aparente é possível calcular o fator de potência e encontrar, pela Equação 1, a potência ativa consumida em cada instante de tempo.

2.5. Consumo de Energia Elétrica

Valor usado como base para a tarifação da concessionária no qual tem como unidade o kWh, que é dado pela Equação 2. Normalmente apresentado na fatura o valor consumido no mês, ele pode ser medido mecanicamente através de um pequeno motor à indução que gira à medida que ligado a um contador ou eletronicamente por uma aproximação da Equação 2 onde os valores são medidos em pequenos intervalos de tempo, aproximando a uma integral numérica [6].

$$E = \int_T P_{méd}(t) dt \quad (2)$$

Onde $P_{méd}$ é a potência média instantânea;

T é o período em que se quer o consumo e

E é o consumo de Energia Elétrica.

2.6. Sensor de Corrente

Existem várias formas de medir corrente elétrica, sendo que o objetivo em todas é que chegue ao circuito de medição valores adequados para o circuito.

Uma forma muito comum e barata é utilizando um resistor shunt. Segundo a lei de ohm, vista na Equação 3, na qual mostra que ao passar uma corrente por um resistor é provocado uma queda de tensão. Assim, ao adicionar um resistor conhecido em série com o circuito é possível medir sua queda de tensão que será proporcional ao valor da corrente. Como a resistência está em série, ela afetando o circuito, sendo que é recomendável utilizar valores muito abaixo da impedância do circuito [6]. Como a potência dissipada por um resistor é proporcional ao quadrado da corrente, este método não é utilizado para medir altas correntes, mas as vantagens deste método são seu baixo custo e sua alta linearidade, já que o resistor tem resistência fixa em operação normal [15].

$$v(t) = R \cdot i(t) \quad (3)$$

Onde $v(t)$ é a queda de tensão;

R é a resistência elétrica e

$i(t)$ é a corrente.

Mas a forma mais utilizada nas medições de grandes correntes é através de um transformador de corrente, ou TC. Ele consiste em um transformador elevador ligado em série ao circuito em que se deseja medir a corrente, assim, no secundário é ligado o instrumento de medição. Isso reduz o custo com o instrumento ligado já que como a corrente medida será uma fração da corrente original, é requerido uma isolação menor para medir a corrente. Ele

é muito utilizado em circuitos com altas correntes como em subestações, mas um dos grandes problemas dessa tecnologia é a sua não linearidade, já que a histerese torna a saída a ser deformada em relação a entrada. Além disso existem outros erros provenientes do próprio transformador, como na relação de espira que precisa ser a mais precisa possível para garantir um menor erro na medida [6]. Além disso, como as perdas pela magnetização do núcleo não variam com a corrente aplicada, este tipo de dispositivo pode apresentar grandes erros em pequenas correntes se o mesmo não for bem dimensionado e calibrado [15].

2.7. Detector de fase

Na medição do consumo, a detecção de fase é primordial já que é através dela que será possível calcular a defasagem entre tensão e corrente e, conseqüentemente, o fator de potência. Existem diversas técnicas possíveis, desde de mecânicas à digitais.

O princípio do Sincroscópio é utilizado para verificar a fase e frequência de alternadores a fim de ligá-los em paralelo. Ele funciona com uma bobina fixa e outra móvel, onde cada uma é alimentada por uma das fontes, se as duas fontes estiverem na mesma frequência a bobina é deslocada em um valor da diferença de fase entre as tensões indicando qual está adiantada e qual está atrasada. Outra forma mecânica de medir o valor da defasagem, presente na maioria dos dispositivos analógicos de medição de fator de potência é o método das bobinas cruzadas, nele existem duas bobinas cruzadas móveis onde a tensão é aplicada em uma delas enquanto a corrente é aplicada na bobina fixa, que envolve as bobinas móveis. Assim é induzida uma corrente defasada 90° na bobina cruzada com que não recebe a tensão e surge um torque no conjunto proporcional a defasagem entre a tensão e a corrente medidas. Normalmente usadas em dispositivos analógicos e calibrado para mostrar o valor do cosseno da defasagem, o método apresenta uma resolução próxima a 1° [16].

2.7.1. Detector de passagem por zero

Na detecção da defasagem é necessária uma referência comum às ondas analisadas. Considerando que as mesmas podem ter amplitudes diferentes e não conhecidas, a referência mais simples e comum às duas é o zero. Então, a partir da diferença entre o momento em que cada onda atinge o valor zero é possível determinar sua defasagem.

Esse sinal normalmente é uma onda quadrada em que a borda de subida coincide com a passagem de um valor negativo para um positivo e uma borda de descida no evento oposto. Com o sinal de saída de cada onda é possível, através de uma porta lógica XOR, medir a defasagem a partir da média do sinal de saída [16]. É possível observar na Figura 2 as entradas e a saída do processo de detecção por passagem por zero.

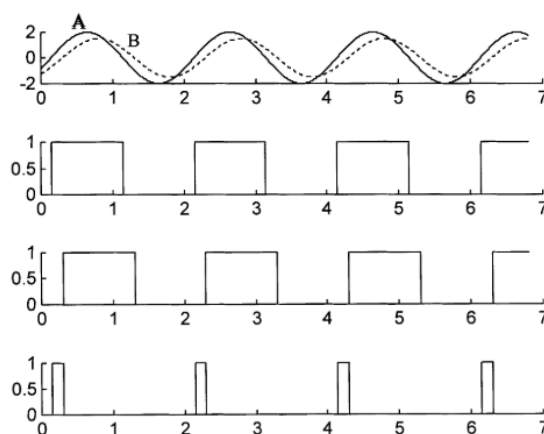


Figura 2. Sinais de entrada, sinal A tratado, sinal B tratado e saída do fasímetro respectivamente. [16]

2.8. Firebase

Uma solução completa do Google para a construção de banco de dados na internet, contando com autenticação direta e através de outros serviços famosos como Google e Facebook [17]. Ele conta com banco de dados em tempo real e serviço de armazenamento de arquivos a fim de ser uma solução completa quando o assunto é infraestrutura de aplicativos *web* e multiplataforma. Usando um banco de dados não relacional, ele pode aceitar um grande fluxo de informação e organizá-las pela sua ordem de chegada, garantindo uma chave única para cada entrada mesmo que sejam criadas ao mesmo tempo [18].

A comunicação com o mesmo é feita através de requisições *http*, sendo que é possível ter acesso como uma *api RESTful*, gerada automaticamente, adicionando a expressão “*.json*” ao final do endereço do banco. As respostas às requisições são em *Json* [18], um formato de dados usado entre plataformas por ser semelhante a estrutura de dados de várias das principais linguagens de programação usadas atualmente. Sendo fácil de ler e escrever por

humanos, também é facilmente interpretada por computadores se tornando, por esse motivo, um dos formatos mais utilizados para comunicação entre servidores web e dispositivos diversos [19].

2.8.1. Banco de dados não relacional

Considerando a lei de Moore e a lei de Kryder, é possível perceber que a quantidade de armazenamento aumenta mais rápido que a velocidade de processamento, forçando os desenvolvedores a encontrar novas soluções para problemas antigos. Assim, nessa conjuntura, surgiu os bancos de dados não relacionais que ao invés de segmentar os dados para reduzir a quantidade de memória gasta, salva todas as informações passadas mesmo que isso signifique repetir uma informação. Dessa forma, o banco ocupa um espaço maior, mas suas requisições são executadas mais rápidas já que toda a informação necessária está em um único objeto, diferente dos bancos de dados relacionais [20].

2.9. Power BI

Uma solução de análise de dados da Microsoft no qual permite a visualização de dados complexos através de gráficos e outros tipos de representações facilmente criadas rapidamente na interface intuitiva do *software* [21]. Um software gratuito que permite usar dados de diversas fontes locais e online, assim como trata-los para obter informações relevantes de conjuntos numerosos de dados. Com ele é possível combinar informações de diferentes fontes para ajudar a tomar decisões melhores e com mais clareza com relação aos dados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi dividido em três módulos, como é possível observar na Figura 3, para facilitar o entendimento e separar partes fundamentais do mesmo. Ele consiste em um medidor de corrente, um medidor de defasagem e uma forma de enviar os dados para o servidor e processá-los. Não é possível obter a potência apenas com os dados enviados e para isso, assumiu-se que a tensão na rede seria 220V. Essa consideração foi feita pois a placa usada tem apenas uma entrada com ADC, que será usada para medir a corrente eficaz do circuito. Com essa consideração é possível usar apenas a placa *NodeMCU* para a prototipagem, reduzindo custos e simplificando o modelo, mas sem perder a qualidade da informação. Além disso, como a informação do consumo não será usada para a geração de faturas, não é necessária uma precisão tão alta na medição.

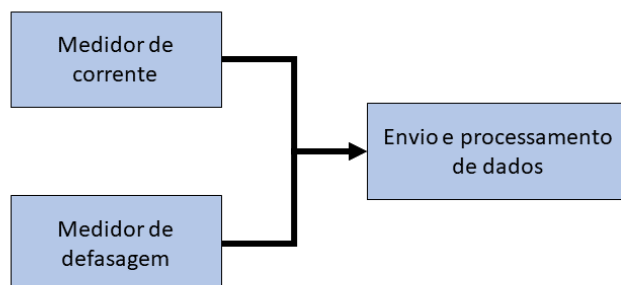


Figura 3. Esquema proposto para o trabalho. (Autoria própria)

3.1. Medidor de corrente

Para a medição da corrente foi utilizado o SCT-013, um transformador de corrente que suporta até 100A com saída máxima de 50mA. Como é possível observar, a tensão induzida será alternada, já que a forma da corrente é senoidal. Com isso é necessário realizar adaptações para que o ADC, que tem tensão máxima de 3,3V e mínima de 0V, consiga medir com a melhor resolução possível sem ultrapassar os parâmetros máximos do mesmo. Para isso, além do transformador de corrente é necessário um circuito para aquisição dos dados do sensor de corrente, como pode ser visto na Figura 4.

Como a saída do SCT-013 é uma corrente que depende da corrente de entrada é preciso utilizar um resistor shunt para que possa ser medido uma tensão correspondente a corrente na saída do transformador que corresponde, respectivamente a uma corrente no condutor medido.

Assim, como o seno tem uma simetria ímpar é preciso elevar a tensão para que o sinal se torne contínuo. Assim, para obter a maior resolução possível foi escolhido elevar a mesma para metade da tensão máxima para que a distância seja máxima. Foi usado dois resistores iguais como divisor de tensão conectados em 3,3V para obter a componente DC do sinal. Já o resistor shunt foi projetado para que a corrente de pico máxima, somada com a componente DC, não ultrapasse a tensão máxima suportada pelo ADC. Assim, é possível obter o valor de $23,33\Omega$

como o máximo para manter a corrente máxima de 100A. Já o valor utilizado foi menor do que o calculado, garantindo, assim, uma menor resolução, mas garantindo que mesmo na corrente máxima, a entrada ADC não receberá uma tensão maior que a tensão máxima. Como o resistor utilizado foi de 22Ω , a corrente máxima eficaz medida pelo ESP será de 106A, podendo assim usar toda a capacidade do sensor. O circuito final pode ser visto na Figura 5 onde A0 é o pino analógico do *NodeMCU*.

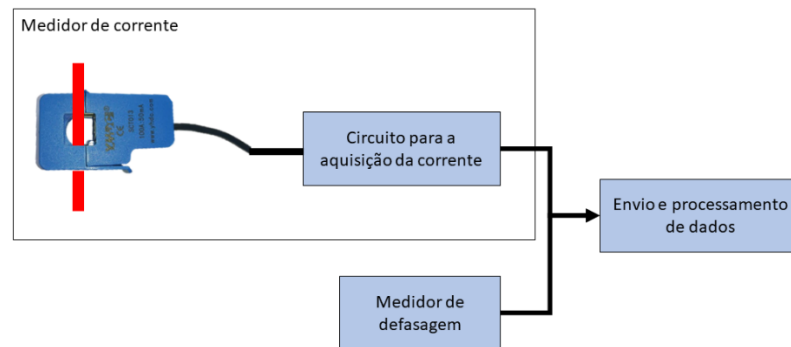


Figura 4. Esquema resumido do módulo medidor de corrente. (Autoria própria)

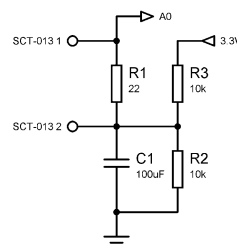


Figura 5. Circuito para a aquisição da corrente. (Autoria própria)

Para o cálculo da corrente eficaz foi utilizado uma biblioteca aberta para Arduino chamada *Emonlib*, de um projeto de monitor de energia de código aberto. Assim é possível abstrair o cálculo computacional realizado pela biblioteca reduzindo a complexidade do projeto.

3.2. Medidor de defasagem

Para detectar a defasagem foi utilizada a técnica da passagem por zero descrita em [16] onde os sinais, tensão da rede elétrica e a saída do transformador de corrente, são transformados em pulsos quadrados onde a saída é alta quando o sinal é positivo e baixa quando o sinal é negativo.

Para a detecção da tensão foi escolhido o circuito proposto por [22] visto na Figura 6 que usa opto-acoplador para isolar o *NodeMCU* das altas tensões, em comparação com as tensões nominais do aparelho, de entrada possibilitando uma leitura segura do sinal. Como a forma de saída, quando simulada, não foi a mesma descrita por [16] foi utilizado um Flip-Flop JK como um contador assíncrono biestável para detectar a borda de subida do sinal e garantir na saída um pulso quadrado como mostrado na Figura 2.

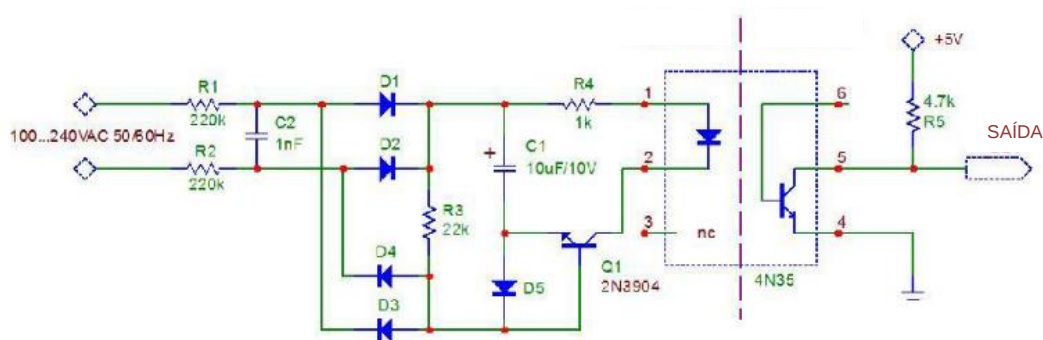


Figura 6. Circuito de detecção de passagem por zero com opto-acoplador. (Adaptado de [22])

Já para a corrente, como a medição já é indireta e projetada para não ultrapassar a tensão máxima das entradas

da placa, foi escolhido um circuito mais simples, descrito em [23], e visto na Figura 7, que utiliza apenas um amplificador operacional como comparador onde saída será 5V se a tensão na entrada não inversora for maior que a tensão na entrada inversora e 0V se ocorrer o oposto.

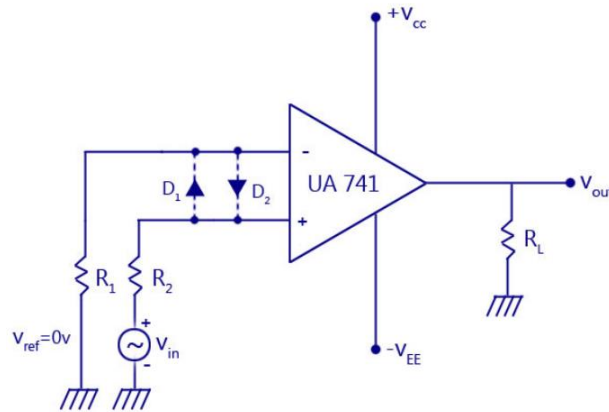


Figura 7. Circuito comparador para detecção de passagem por zero. [23]

Assim, existem dois pulsos quadrados em que o sinal é alto quando a onda é positiva e zero quando o sinal é negativo. Com isso usando uma porta XOR como proposto por [16] é possível obter um sinal referente a defasagem, onde o tempo do pulso é o mesmo da defasagem. Com mais portas com ADC disponíveis, seria trivial a sua medição já que seria preciso apenas conhecer a tensão média para obter o *duty cycle* e consequentemente a defasagem mostrada pelo do mesmo. Mas como, para reduzir o custo do projeto, foi utilizado um *NodeMCU* o parâmetro foi medido de uma forma diferente, a borda de subida do sinal é reconhecida via software e nesse momento é salvo o valor do contador de ciclos do processador da placa, sendo feito o mesmo, também, para a borda de descida. Com o valor do contador no início e fim do pulso é possível encontrar o valor do tempo. Sabendo que o *clock* do ESP-12E usado é de 80MHz, é possível determinar, como mostrado na Equação 4, o tempo de um ciclo e, assim, aferir com a melhor precisão disponível na placa usada, através da quantidade de ciclos passados em determinado estado, o valor do tempo em que o pulso estava em alto. Esse artifício é possível pois o microcontrolador possui um registrador especial no qual conta os ciclos efetuados. Sendo do tipo inteiro de 32bits ele sofre overflow a cada 53,69s [24]. Por isso, é possível medir apenas pequenos intervalos de tempo.

$$t_{medido} = n^o_{ciclos} * t_{min} = n^o_{ciclos} * \frac{1}{80 * 10^6} = n^o_{ciclos} * 12,5ns \quad (4)$$

Onde, n^o_{ciclos} é a quantidade de ciclos e

t_{medido} é o tempo em que ocorreu a quantidade de ciclos contados.

O circuito final do módulo pode ser visto na Figura 8 onde F e N são fase e neutro, respectivamente e D1 é a entrada digital onde a saída da porta XOR foi conectada.

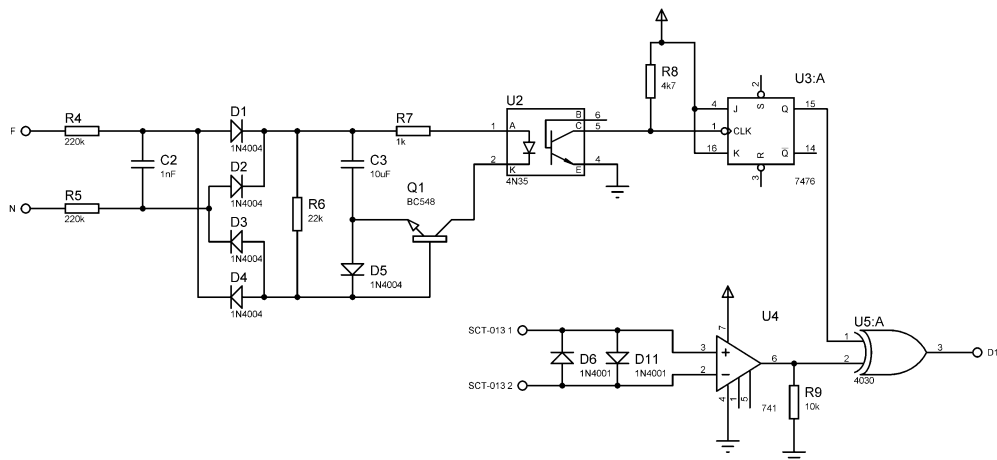


Figura 8. Módulo de aquisição de dados da defasagem. (Autoria própria)

3.3. Envio e processamento de dados

Já para o meio do envio dos dados, foi escolhido o Wifi, utilizando a principal vantagem do ESP que é já contar com um módulo Wifi integrado. E para armazenar os dados foi escolhido o *Realtime database* do *Firebase*, que por sua simplicidade e atualizações em tempo real se encaixou perfeitamente nos requisitos do projeto, sendo mais eficientes que banco de dados relacionais tradicionais nesse tipo de situação [25]. Os dados escolhidos para serem enviados foram: data, corrente, fator de potência. Com eles é possível calcular a potência ativa, plotar gráficos em relação ao tempo, calcular consumo em qualquer intervalo de tempo disponível e identificar cada momento do dia no gráfico de consumo. A Figura 9 mostra um resumo do processo de envio e processamento de dados.

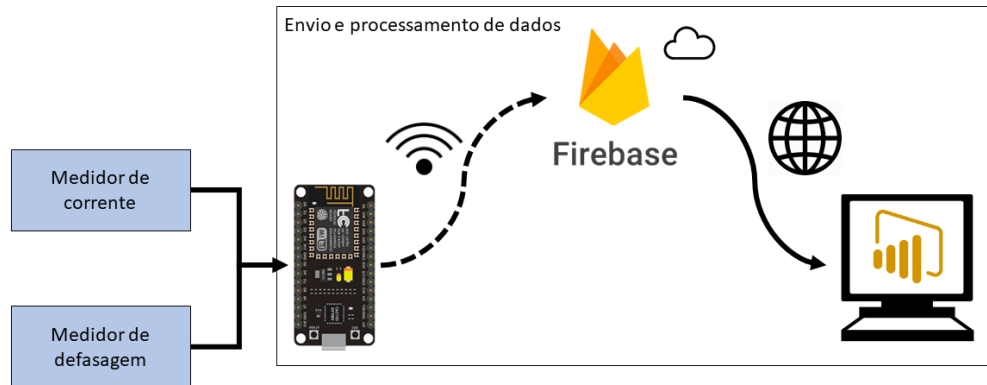


Figura 9. Esquema resumido do processo de envio e processamento de dados. (Autoria própria)

Como a data da medição é enviada, é possível ter um atraso no envio sem que o dado perca seu valor, já que não depende da hora que entra no servidor. A data é obtida de um servidor *ntp*, que significa *Network Time Protocol* ou Protocolo de Tempo para Redes e permite a sincronização de dispositivos eletrônicos em uma rede [26], brasileiro, para reduzir a latência, em *Unix Timestamp*. Com isso é possível enviar toda a informação de data e hora em apenas um inteiro de fácil interpretação para o computador.

O dispositivo foi configurado para medir a corrente eficaz no circuito em intervalos de 10s para que fosse possível executar todo o programa nele presente e para que o servidor não ficasse sobrecarregado de informações já que em apenas um dia seriam enviadas mais de 8000 requisições com objetos contendo os dados mencionados.

Para o fator de potência foi feita a média entre os valores obtidos em cada ciclo completo medido e usando a Equação 5 para calcular o ângulo da defasagem. Após encontrar o ângulo é aplicado o cosseno, obtendo assim o número do tipo ponto flutuante.

$$\theta = \frac{t_{on}}{t_{ciclo}} * 180^\circ \quad (5)$$

Onde, t_{on} é o tempo em que o sinal está no nível lógico alto;

t_{ciclo} é o tempo total de um ciclo do sinal

θ é o ângulo de defasagem entre os dois sinais.

Como o *Firebase* dispõe de uma *api RESTful* para acessar os dados armazenados, foi escolhido o *Power BI* como visualizador. Assim, para o envio seria feito uma requisição http do tipo POST onde é passado como parâmetro o objeto *Json* contendo a data, o valor da corrente medida pelo circuito e o fator de potência. Já para a leitura, feita pelo *Power BI*, é realizada uma requisição GET que retorna todos os elementos salvos no banco em *Json*, essa resposta é reordenada em tabelas e seus dados, valor da corrente e da data, convertidos em valores de fácil leitura para humanos. Assim, é possível usar os dados tratados no *Power BI* para criação de representações que sintetizem as informações enviadas pelo ESP para o servidor de forma clara e simples. Podendo assim ser usada para a conscientização e redução do consumo por parte dos usuários.

3.4. Aquisição de dados

Para testar o protótipo, o mesmo foi ligado a um quadro geral de distribuição, como mostra a Figura 10, durante o período de 28 de outubro a 22 de dezembro. O teste se propunha observar a resposta do servidor e dos dispositivos ao uso contínuo durante o período do mesmo, mas ocorreu antes da finalização do projeto do módulo de medição de defasagem, para que fosse possível testar as partes finalizadas pelo maior tempo possível. Assim, os dados enviados para o servidor foram apenas a corrente medida e a data da medição em *Unix Timestamp*. Além disso, foi também colhido o uso do servidor durante o período para que fosse possível entender o impacto do constante envio de dados para o mesmo. Para a alimentação e para reduzir a quantidade de componentes que podiam ocasionar erro, foi utilizado uma fonte comercial com saída *MicroUSB* para alimentar o *NodeMCU* durante o teste.

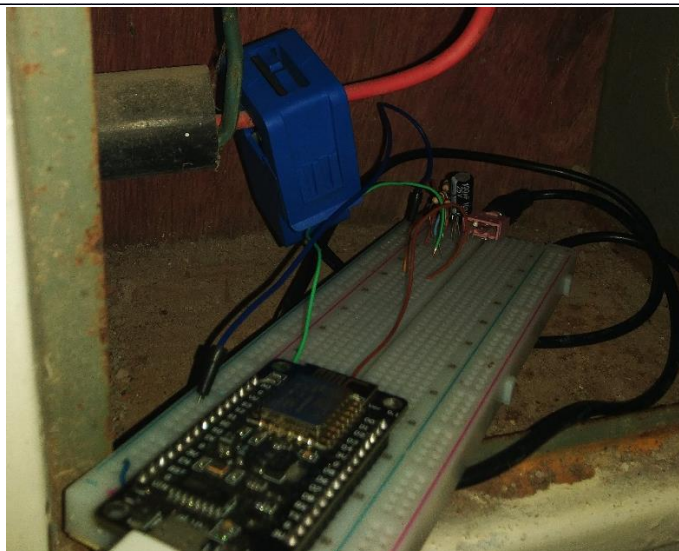


Figura 10. Protótipo montado no quadro de distribuição. (Autoria própria)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Custo total do circuito

A Tabela 1 resume os valores unitários de cada componente e o total gasto na confecção do protótipo do circuito projetado. Foi priorizado componentes de baixo custo e de acesso local para a fácil construção do dispositivo.

Tabela 1. Custo de componentes utilizados na construção do protótipo. (Autoria própria)

Quantidade	Componente	Custo Unitário
1	<i>NodeMCU</i>	R\$ 49,90
1	SCT-013	R\$ 59,90
1	BC548	R\$ 0,50
1	4n35	R\$ 8,00
9	Resistores de 1/4W	R\$ 0,25
7	1n4004	R\$ 0,30
1	7473	R\$ 5,00
1	741	R\$ 1,00
1	4030	R\$ 2,00
1	Conector P2	R\$ 2,00
1	Capacitor cerâmico	R\$ 0,40
2	Capacitor eletrolítico de 16V	R\$ 0,50
Total		R\$ 132,05

O custo final do protótipo poderia ser reduzido consideravelmente se os componentes fossem adquiridos em sites de compras internacionais. Mas mesmo com os componentes comprados, o valor do protótipo é uma fração da alternativa internacional e representa menos do que quatro meses de mensalidade do Ecomonitor. Os valores mostrados na Tabela 1 são de componentes acabados e próprios para a prototipagem, o custo real de um dispositivo com as mesmas características seria menor já que não seriam necessárias todas as interfaces por eles oferecidas, podendo, assim, usar dispositivos mais baratos como o próprio ESP8266 no lugar do *NodeMCU*, com a devida adaptação, mas sem perder qualidade no produto final.

4.2. Resultado do módulo da defasagem

Ao simular o circuito descrito na Seção 3.2 deste trabalho foi notado uma diferença intrínseca entre as saídas dos circuitos de detecção de zero. Como na saída da porta XOR o sinal representa apenas a defasagem e não qual sinal está adiantado do outro, não é possível utilizar diretamente a porta XOR para obter o pulso com um erro aceitável. Assim, o circuito descrito anteriormente para medir a defasagem não apresenta uma fidelidade aos parâmetros medidos, já que pela diferença na forma de detectar a passagem implica em momentos diferentes de subida. Ao simular, o erro encontrado estava em torno de 1ms por ciclo, o que resulta em um erro de aproximadamente 10° no ângulo de defasagem. Como o cosseno é uma função ímpar não é possível deduzir se o

ângulo de defasagem está 10° acima ou abaixo do valor medido.

A Figura 11 exibe os sinais no osciloscópio do simulador onde é representado o sinal de entrada, a saída do detector de passagem por zero da tensão e da corrente e saída da porta XOR respectivamente.

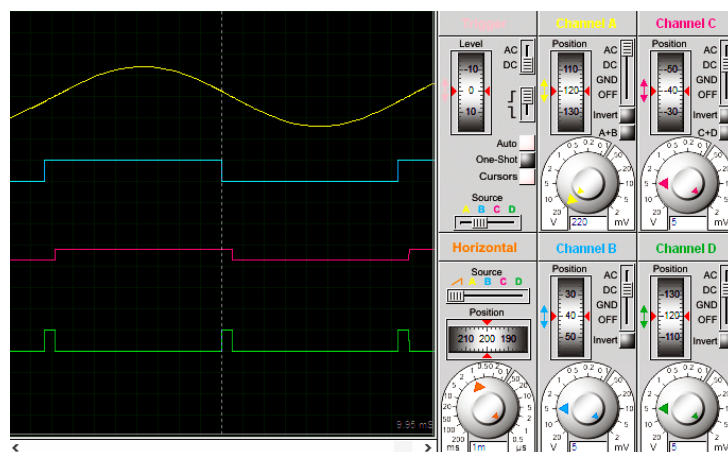


Figura 11. Osciloscópio com sinais simulados. (Autoria própria)

Além do problema com a defasagem, o circuito comparador com amplificador operacional não se comportou de maneira adequada com as baixas correntes medidas. Como o valor medido de corrente era, geralmente, uma ordem de magnitude abaixo do valor do fundo de escala do equipamento, não houve tensão suficiente nos testes para que o amplificador tivesse o comportamento esperado.

Assim, diante dos problemas citados, não foi possível realizar a medição do fator de potência e consequentemente da potência ativa nos circuitos medidos.

4.3. Processamento de dados

Para processar e analisar os dados provenientes do medidor, foi criada uma página no Power BI, para resumir os dados medidos. Como não foi possível medir o fator de potência do circuito, foi usado dados medidos anteriormente por apresentar um maior período sem interrupções na medição. A Figura 12, 13 e 14 mostra alguns gráficos gerados com os dados medidos durante o teste do módulo medidor de corrente e do envio e processamento de dados, o que corresponde a um total de 475 mil objetos com data e valor da corrente. Com os referidos dados é possível criar várias visualizações, inclusive por períodos menores ou com resoluções diferentes e períodos posteriormente determinados, como a Figura 14, que apresenta um agrupamento de intervalos de horas para representar a manhã, tarde e madrugada.

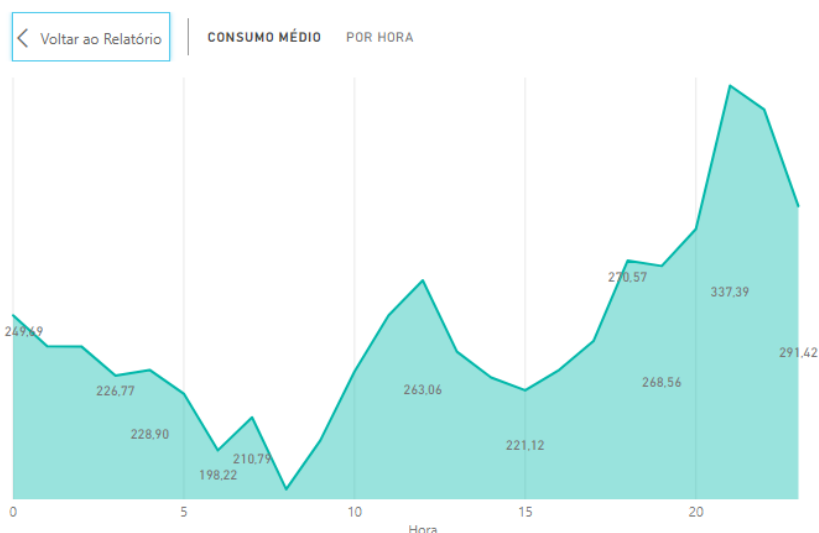


Figura 12. Gráfico de linha do consumo médio do período por hora. (Autoria própria)

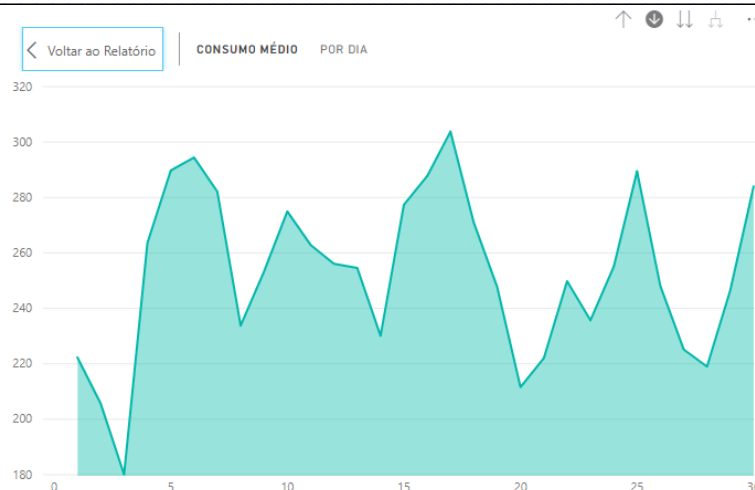


Figura 13. Gráfico de linha do consumo médio de novembro por dia. (Autoria própria)

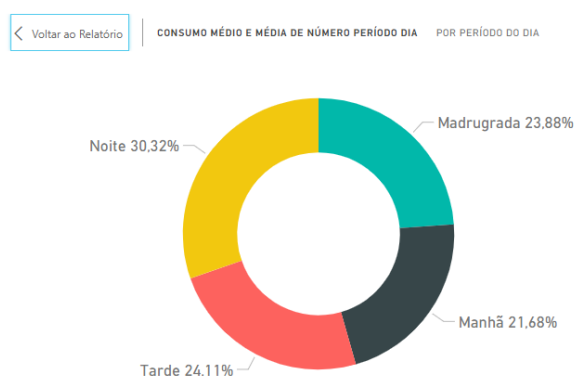


Figura 14. Contribuição do consumo em cada momento do dia. (Autoria própria)

A partir dos dados medidos e considerando um fator de potência igual a 1 já que não foi possível medi-lo, chegou-se ao valor de consumo de 258kWh o que corresponde a um erro percentual de aproximadamente 78% com relação ao valor faturado no mesmo mês. Com isso, é possível perceber a importância da medição do fator de potência para a medição do consumo.

Além disso, é possível perceber pela Figura 15 que mesmo com o volume gigantesco de dados enviados, o armazenamento do banco de dados quase não foi utilizado, devido a forma que o dado foi passado. Mas houve um grande volume de downloads para os dados apresentados, isso se deve ao fato do Power BI, ao buscar novamente os dados para atualizar seus gráficos, baixa todos os dados novamente, provocando um alto tráfego de downloads proporcional a quantidade requisições e de dados disponíveis.

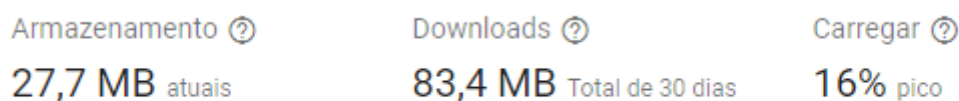


Figura 15. Valores medidos no banco de dados. (Autoria própria)

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho se propôs a projetar e construir um medidor de potência ativa de baixo custo para a obtenção do consumo em uma residência de baixa tensão. Obtendo êxito em dois dos três objetivos propostos, os dados apresentados ainda refletem, em parte, o consumo do local já que o valor medido foi a potência aparente. O circuito proposto tem um custo muito baixo, tendo o seu custo de material próximo ao valor de quatro mensalidades pagas pelo aluguel de equipamentos similares disponíveis no mercado nacional ou de uma fração da alternativa internacional. O Power BI é uma ótima ferramenta para analisar os dados, mas não foi possível utilizar a função de tempo real, já que a atualização automática nos dados só está disponível na versão paga do software. O que resolveria o problema do grande volume de download no banco, mesmo que esse problema possa ser ignorado em pequenas escalas. Mesmo assim, o programa apresentou um comportamento excelente trabalhando com quase

meio milhão de entradas.

Como sugestão para futuros trabalhos fica o estudo de formas para sincronizar os sinais obtidos com o circuito proposto ou circuitos que funcionassem simultaneamente em tensões com duas ordens de grandeza de diferença para mitigar o problema encontrado. Já que não foi possível obter uma resposta satisfatória para esta questão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2018 – Ano base 2017**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt>> Acesso em 7 de novembro de 2018.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA (São Paulo). Abesco - **Eficiência Energética | Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia, com foco em Eficiência Energética**. 2018. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/>>. Acesso em: 5 nov. 2018.
- [3] ASSESSORIA DE IMPRENSA. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifa branca é nova opção para quem tem consumo acima de 250 KWh**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-quem-tem-consumo-acima-de-250-kwh/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 11 fev. 2019
- [4] IBOPE INTELIGÊNCIA. **Pesquisa de Opinião Pública: Energia Elétrica**. Abril de 2018. Disponível em: <<http://www.queroenergialivre.com.br/wp-content/uploads/2018/08/Ibope-Abraceel-2018.pdf>> Acesso em: 8 de novembro de 2018.
- [5] KOPONEN, Pekka et al. **Definition of Smart Metering and Applications and Identification of Benefits**. 1.1 Finland: European Smart Metering Alliance Authors, 2008.
- [6] CESÁRIO JÚNIOR, José Maria. **UM MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTEGRADO EM REDES DE COMUNICAÇÕES** Dissertação. 2014. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.
- [7] OPENENERGYMONITOR. **EmonPi**. Disponível em: <<https://openenergymonitor.com/emonpi-3/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.
- [8] ECOMONITOR (Rio Grande do Sul). **Ecomonitor: Monitoramento do consumo de energia e água, a qualquer momento, em qualquer lugar!**. Disponível em: <<http://ecomonitor.com.br>>. Acesso em: 12 fev. 2019.
- [9] SYSTEMS, Espressif. **ESP8266EX: Datasheet**. 6. ed. Espressif Systems. 2018.
- [10] ALIEXPRESS. **ESP8266 serial WIFI model ESP-12E Authenticity Guaranteed Upgraded version**.
- [11] SQUIX78. **ESP8266 module comparison: ESP-01, ESP-05, ESP-12, ESP-201, Test Board and NodeMCU**. Disponível em: <<https://blog.squix.org/2015/03/esp8266-module-comparison-esp-01-esp-05.html>>. Acesso em: 28 jan. 2019.
- [12] FEZARI, Mohamed. **NodeMCU V3 For Fast IoT Application Development**. Outubro, 2018.
- [13] BOYLESTAD, Robert L. **Introductory Circuit Analysis**. 13. ed. Harlow: Pearson, 2016.
- [14] BRÁSILIA. **Resolução normativa ANEEL. nº 414/2010 de 09 de setembro de 2010**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acessado em 26/01/2011.
- [15] KOON, W. **"Current Sensing for Energy Metering"**. **Analog Devices**. Disponível em http://www.analog.com/static/imported-files/recommended_reading/688920132Current_sensing_for_meteringNew.pdf. Último acesso em 11/12/2013.
- [16] WEBSTER, John G. **The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. Cap. 41. p. 41.1-41.19.
- [17] REDDY, M Sai Prathap. **Implementing smart home using firebase**. v. 6, n. 10, p. 193–199, 2016.
- [18] FIREBASE. **Firestore Realtime Database**. Disponível em: <<https://firebase.google.com/docs/database/?hl=pt-br>>. Acesso em: 10 fev. 2019.
- [19] JSON.ORG. **Introducing JSON**. Disponível em: <<https://www.json.org>>. Acesso em: 09 fev. 2019.
- [20] LI, Yishan; MANOHARAN, Sathiamoorthy. **A performance comparison of SQL and NoSQL databases**. 2013 Ieee Pacific Rim Conference On Communications, Computers And Signal Processing (pacrim), [s.l.], p.14-19, ago. 2013.
- [21] COLABORADORES. **O que é Power BI?** Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/power-bi/power-bi-overview>>. Acesso em: 09 fev. 2019.
- [22] GUPTA, Ankita; THAKUR, Rajeev; MURARKA, Sachin. **An Efficient Approach to Zero Crossing Detection Based On Opto-Coupler**. v. 3, n. 5, p. 834–838, 2013.
- [23] JOJO. **Zero Crossing Detector**. 2014. Disponível em: <<http://www.circuitstoday.com/ZERO-CROSSING-DETECTOR>>. Acesso em: 28 jan. 2019.
- [24] NANONA.FI. **Timing and clocking with ESP8266**. Disponível em: <<http://sub.nanona.fi/esp8266/timing-and-ticks.html>>. Acesso em: 09 fev. 2019.
- [25] VEEN, Jan Sipke Van Der; WAAIJ, Bram Van Der; MEIJER, Robert J. **Sensor Data Storage Performance : SQL or NoSQL , Physical or Virtual**. 2012 IEEE Fifth International Conference on Cloud Computing, p. 431–438, 2012.
- [26] NTP.BR. **O NTP**. Disponível em: <<https://ntp.br/ntp.php>>. Acesso em: 09 fev. 2019.



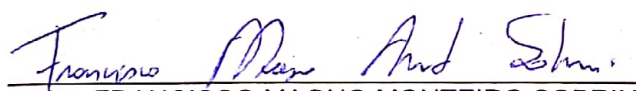
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

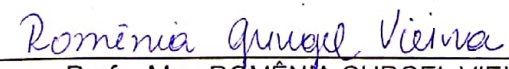
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

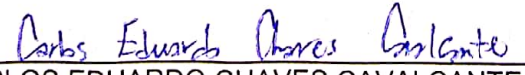
Às 17:58 horas do dia 15/02/2019, Laboratório de energias renováveis da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **MAYCON JEAN DE MOURA** aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° **2016010238** de matrícula com o título *“SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA CONECTADO À INTERNET DE BAIXO CUSTO.”*. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. M.e. FRANCISCO MAGNO MONTEIRO SOBRINHO, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Profa. M.e.. ROMÊNIA GURGEL VIEIRA e o Eng. CARLOS EDUARDO CHAVES CAVALCANTE, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: 10,0 ; 10,0 ; 10,0 . Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral 10,0 . E para constar, eu, FRANCISCO MAGNO MONTEIRO SOBRINHO, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 15 de Fevereiro de 2019.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.


Prof. M.e. FRANCISCO MAGNO MONTEIRO SOBRINHO – UFERSA
Presidente e orientador


Profa. M.e. ROMÊNIA GURGEL VIEIRA – UFERSA
Primeiro Membro


Eng. CARLOS EDUARDO CHAVES CAVALCANTE - EXTERNO
Segundo Membro