



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
ENGENHARIA ELÉTRICA

MONALIZA MARA HOLANDA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE PARA MEDIÇÃO, ANÁLISE E
SUPERVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Mossoró – RN

2019

MONALIZA MARA HOLANDA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE PARA MEDIÇÃO, ANÁLISE E
SUPERVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, destinado à obtenção do
Bacharelado em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Prof. Dr. Bruno Emmanuel De Oliveira
Barros Luna.

Mossoró-RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S Silva, Monaliza Mara Holanda Silva.
624d DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE PARA MEDIÇÃO,
ANÁLISE E SUPERVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA / Monaliza Mara Holanda Silva Silva. -
2019.
36 f. : il.

Orientador: Bruno Emmanuel De Oliveira Barros
Luna Luna.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2019.

1. Geração distribuída. 2. Smart grid. 3.
Medidor digital. I. Luna, Bruno Emmanuel De
Oliveira Barros Luna, orient. II. Título.

MONALIZA MARA HOLANDA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE PARA MEDIÇÃO, ANÁLISE E
SUPERVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido – UFERSA, destinado à obtenção do
Bacharelado em Engenharia Elétrica.

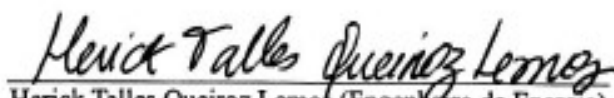
Orientador (a): Prof. Dr. Bruno Emmanuel De Oliveira
Barros Luna.

APROVADA EM: 20 / 03 / 2019

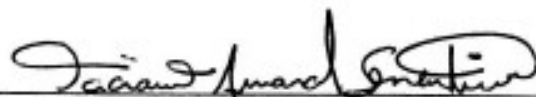
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Bruno Emmanuel De Oliveira Barros Luna – UFERSA
Presidente



Herick Talles Queiroz Lemos (Engenheiro de Energia)
Primeiro Membro



Prof. Dr. Taciano Amaral Sorrentino – UFERSA
Segundo Membro

RESUMO

O crescente consumo de energia tem gerado grandes preocupações para o setor energético brasileiro, e a tecnologia tem apresentado um papel importante para solucionar os problemas do setor. Para atender as necessidades atuais, propostas de melhorias no sistema vem surgindo com o intuito de contornar a situação. Como contribuição para resolução do problema, neste trabalho será desenvolvido um sistema de medição de energia, onde o mesmo através de uma interface web, proporcionará ao consumidor informações adicionais ao consumo diário. A partir dessas informações apresentadas, será analisado com base no comportamento durante o período definido, propostas que venham contribuir e influenciar de forma direta para o melhor uso de energia do cliente, assim como contribuir para um consumo mais consciente e econômico.

Palavras-chave: Geração distribuída. Smart grid. Sistema de medição. Medidor digital.

ABSTRACT

The increased use of energy in the big issues to the Brazilian energetic industry, and the technology has the one paper important to problems the sector problem. To meet current needs, the proposal for improvement is not coming up with the intention of reversing a situation. As this problem solving problem, in this work will be developed an energy metering system, where it will be through a web interface, will provide the memory differences to its daily content. From the updated information, it will be analyzed based on the period during the period of validity, will be better exported and directly influenced to the best energy use of the customer.

Keywords: Distributed generation. Smart grid. Measuring system. Digital meter.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comportamento das ondas experimento TC.....	22
Gráfico 2 – Comportamento das ondas experimento TP.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de tensão obtidos no experimento TC.....	22
Tabela 2 – Especificações do Transformador de potência.....	23
Tabela 3 – Valores de tensão obtidos no experimento TP.....	24
Tabela 4 – Dados da BlackBoard.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo de potência da rede elétrica tradicional.....	13
Figura 2 – Sistema de geração, transmissão e distribuição tradicional.....	14
Figura 3 – Geração distribuída.....	15
Figura 4 – Sistema de medição desenvolvido.....	18
Figura 5 – Sensor de corrente SCT-013.....	20
Figura 6 – Circuito para calibração do TC.....	21
Figura 7 – Circuito para calibração do TP.....	23
Figura 8 – Arduino BlackBoard ROBOCORE.....	26
Figura 9 – Esquema de ligação para o TC.....	27
Figura 10 – Esquema de ligação para o TP.....	28
Figura 11 – Interface para leitura da carga 1.....	29
Figura 12 – Código para calibração de tensão e corrente do Arduino.....	30

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	10
2.OBJETIVOS.....	11
3.REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
3.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE ENERGIA TRADICIONAL.....	11
3.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	14
3.3 SMART GRID E A PROBLEMÁTICA DO SISTEMA TRADICIONAL.....	16
4.MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
4.1 MEDIDOR.....	17
4.1.1 Metodologia do sistema de medição.....	18
4.1.2 Transformador de corrente.....	20
4.1.3 Transformador de potência.....	23
4.2 MONTAGEM DO SISTEMA.....	27
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5.1 EXPERIMENTO 1.....	29
6.CONCLUSÕES.....	31
REFERÊNCIAS.....	33
ANEXO A – DATASHEET SENSOR DE CORRENTE SCT-013.....	34

1. INTRODUÇÃO

Dentro do cenário Brasileiro, com o consumo de energia cada vez mais elevado, o mercado energético tem enfrentado grandes desafios quanto a produção de energia. Os meios pelos quais a energia é gerada hoje no Brasil apresenta uma grande dependência dos fenômenos ambientais, uma vez que maior parte da matriz energética Brasileira é dada pelas hidrelétricas, onde a ocorrência de períodos de seca acaba por deixar a produção baixa, afetando diretamente na conta de energia dos consumidores. A necessidade de se buscar um sistema mais econômico e confiável desde a geração até a transmissão, tem se tornado cada vez mais indispensável para suprir a necessidade e acompanhar o crescimento do consumo de energia, tornando o sistema mais eficaz como um todo.

Com os problemas do sistema elétrico tradicional à necessidade de modernização do mesmo tem se apresentado cada vez mais necessário, com isso, diante a busca para soluções no setor energético, a Geração Distribuída tem sido evidenciada como saída para as problemáticas do sistema atual. A Geração Distribuída (GD), fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou situada no próprio consumidor, pode permitir a redução de perdas no sistema, redução nos impactos ambientais e o aumento da utilização das fontes de energia renováveis na matriz energética.

Diante disso, pelo sistema elétrico ser apresentado possuindo um fluxo de informações e potência de forma unidirecional, o que caracteriza outra diferença do sistema atual com as necessidades requeridas, o surgimento das Smarts Grids pode proporcionar um modelo onde atende as características desejadas para a modernização do mesmo.

As Smarts Grids consiste na supervisão e controle dos elementos do sistema elétrico de potência através de uma rede de telecomunicação, desde a geração até a distribuição para o consumidor final, têm se destacado por ter um conceito baseado em monitoração inteligente, aumentando os ganhos em confiabilidade, eficiência energética, participação dos consumidores e geração de uma energia mais limpa, além de possuir o fluxo de potência de forma bidirecional. Com a transmissão bidirecional, o consumidor pode usar, gerar e vender energia, e ter acesso a informações que possibilita um controle maior sobre seu consumo. O surgimento de redes elétricas inteligentes vem causando uma grande revolução nas redes de energia elétrica.

Para essa comunicação inteligente, entra o desenvolvimento dos medidores inteligentes. Esses medidores, localizados nas residências, disponibilizam um maior número de informação que poderão ser usadas para o controle do sistema. São esses medidores que permitem a comunicação bidirecional com a central de energia. Assim, em vez de o usuário apenas informar o seu consumo de energia mensal, ele passa a receber dados da concessionária, e contribuir de forma direta a gerar uma economia em sua conta de energia.

Para ajudar o consumidor a monitorar os gastos de energia tendo acesso à informação de seu consumo, no presente trabalho, será desenvolvido um sistema de medição de energia elétrica, e através da interface de comunicação do mesmo, proporcionar o acesso as demais informações não só de consumo, e por meio da interpretação dessas informações, propõe-se desenvolver previsões e propostas, a fim de proporcionar como resultado economia ao consumo de energia.

2. OBJETIVOS

Tem-se por objetivo desenvolver um sistema de medição de energia elétrica, e através da interface de comunicação, proporcionar o acesso à leitura de corrente, potência, tensão e fator de potência de determinadas cargas, e por meio da interpretação dessas informações recebidas, desenvolver previsões e propostas, a fim de proporcionar o melhor uso da energia através desse monitoramento.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para melhor compreensão, será apresentado alguns conceitos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE ENERGIA TRADICIONAL

O sistema de medição de energia atual ao longo do tempo tem apresentado grandes conflitos tecnológicos a partir da necessidade de modernização para atender as demandas

atuais e futuras. Por se tratar de um sistema de medição antigo onde se utiliza atualmente medidores eletromecânicos, e um sistema elétrico que apenas permitem transmitir unidirecionalmente o fluxo de informações e potência, a qualidade de energia entregue muitas vezes não está compatível com o esperado.

O setor de energia é um dos mais demandados nos Procons brasileiros. Somente no primeiro semestre desse ano, 27.213 pessoas reclamaram sobre a qualidade oferecida pelas companhias. O que coloca a energia elétrica em 8º lugar do ranking dos piores serviços no Brasil. A implantação dos medidores digitais seria uma das soluções para diminuir as reclamações [FLÁVIA, 2019]. “A transparência vai fazer com que o consumidor saiba se a distribuidora está descumprindo ou não o que prometeu, e isso vai forçar uma pressão por qualidade” [MOURA, 2014]

O processo de medição de energia elétrica nos medidores eletromecânicos está mais suscetível a erros de medição por parte do técnico durante a visita, e ainda pelo responsável pelo faturamento, uma vez que o valor consumido ainda é anotado à mão. Além disso, o fácil acesso a esses tipos de medidores facilita que clientes mal intencionados possam furtar energia [TORRES, 2015]. O fato do sistema de medição fornecer apenas o fluxo unidirecional de potência e informações, aumenta a perda de qualidade do serviço.

Dessa forma, o consumidor não pode interagir diretamente com os serviços prestados pela concessionária, não há interação entre os serviços e os consumidores. O sistema utilizado não permite que o consumidor perceba os reflexos decorrentes da forma de usar a eletricidade e tome ações de acordo com as informações recebidas. O consumidor industrial pode, por exemplo, escolher de onde compra energia, pois recebe informações sobre os preços e origem desta. O consumidor residencial não recebe essas informações e não pode escolher de onde comprar a energia [Lopes et al, 2012].

Figura 1 – Fluxo de potência da rede elétrica tradicional.

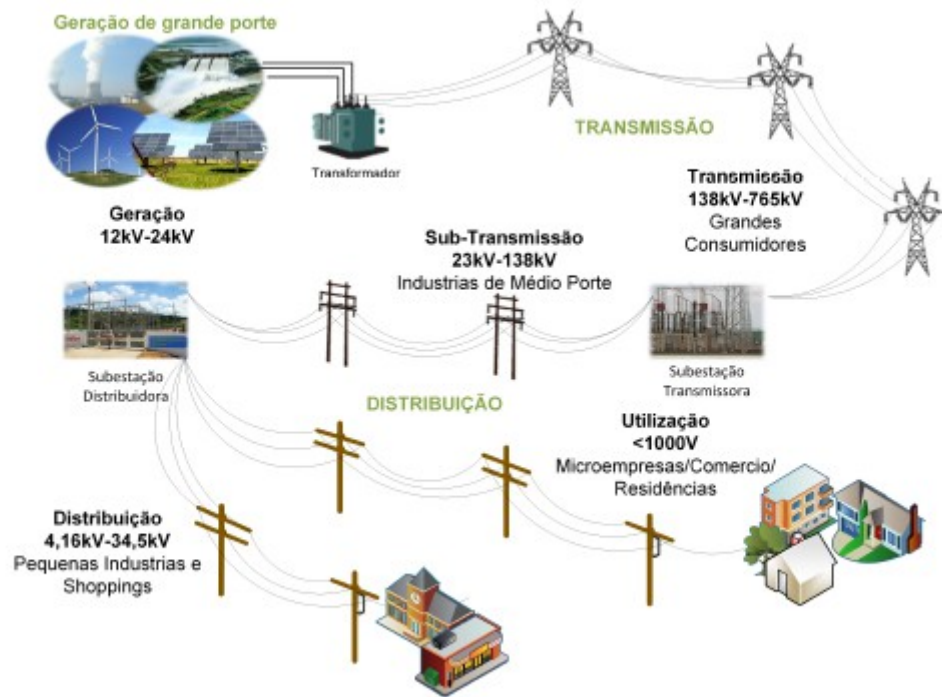


Fonte: Lopes et al, 2012.

Além do conceito unidirecional, o sistema possui uma Geração de energia centralizada. Quando diz-se que a geração de energia é feita de forma centralizada, não significa dizer que a geração é realizada em somente um ponto. Na verdade, a geração é feita em grandes usinas distantes e dispostas em várias regiões. Este conceito é relacionado ao fato de que uma grande quantidade de energia é gerada em poucas usinas muito distante do consumidor, tendo então que ser transmitida por longas distâncias, gerando muitas perdas e com custo elevado. Com isso, essa forma de geração de energia por meios tradicionais não consegue mais acompanhar o crescimento da demanda [Galli et al. 2011, Gungor et al. 2011].

Com isso, pode-se dizer que o sistema atual de fato precisa de uma mudança considerável para atender a crescente demanda de energia dos últimos tempos. Algumas propostas vem sendo apresentadas ao longo dos anos, porém o desenvolvimento torna-se caro, uma vez que o sistema é robusto e incompatível com as tecnologias propostas.

Figura 2 – Sistema de geração, transmissão e distribuição tradicional.



Fonte: Lopes et al, 2012.

3.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da minigeração distribuída de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade [ANEEL, 2019].

A geração distribuída ganhou um lugar de destaque desde a necessidade de outras formas de geração de energia precisarem ser acionadas. Tratando-se de que a principal forma de geração de energia atual no Brasil se dá pelas hidrelétricas, uma crise hídrica afeta diretamente a geração da mesma, deixando o sistema dependente de fatores ambientais imprevisíveis. Outro fator que justifica a implantação da GD, se dá pelas regiões do Brasil que enfrentam dificuldades pela localização de difícil acesso, os custos que levam para fornecer energia a tais locais são elevados em comparação ao retorno do serviço prestado.

Dessa forma, para solucionar esse problema, a instalação de outras fontes menores de energia renováveis por parte dos próprios consumidores é a saída, o consumidor passa a gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, e a fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade.

Figura 3 – Geração distribuída.



Fonte: Lopes et al, 2012.

Diante disso, para a implantação das tecnologias para geração de energia de forma distribuída, as redes elétricas e de comunicação deverão passar a interligar milhares de fontes de energia renovável, tornando o sistema burocrático, pois a implantação da GD nas redes de distribuição de energia elétrica necessita de recursos e procedimentos diferenciados em relação às redes convencionais atuais. Desse modo, a implantação da GD não afeta somente a área de energia elétrica, mas também as áreas de telecomunicações, computação, automação, e demais áreas diretamente ligadas ao sistema.

Os sistemas de telecomunicações tem papel fundamental, uma vez que precisarão dar suporte no quesito proteção, além disso, são essenciais para o atendimento a demanda tarifária de forma real, onde o consumidor tenha garantia da demanda consumida e a entregue ao sistema para o livre mercado. Para isso, é indispensável uma rede de comunicação/fluxo de dados seguro e confiável, que possua baixo atraso, possibilitando que o monitoramento e o controle da rede elétrica possam ser realizados de forma verídica.

É incerto de que a integração eficiente da GD seja feita sem alterações no sistema atual. A infraestrutura disponível atualmente está tornando-se cada vez mais incompatível com as necessidades.

3.3 SMART GRID E A PROBLEMÁTICA DO SISTEMA TRADICIONAL

Smart grids, ou “redes inteligentes”, são os sistemas de distribuição e de transmissão de energia elétrica que foram dotados de recursos de Tecnologia da Informação (TI) e de elevado grau de automação, de forma a ampliar substancialmente a sua eficiência operacional. Graças ao alto nível de tecnologia agregado, as smart grids conseguem responder a várias demandas da sociedade moderna, tanto no que se refere às necessidades energéticas, quanto em relação ao desenvolvimento sustentável [CPFL, 2019]. O grande elemento diferencial das smart grids, se dá pela presença dos medidores inteligentes, são medidores mais modernos que os medidores convencionais, que disponibilizam uma série de funcionalidades inovadoras de informações, além da possibilidade de medição remota.

Esse medidor inteligente, permite uma comunicação bidirecional com a central de energia, assim, em vez de o usuário informar somente o seu consumo de energia mensal, ele passa também a receber dados da concessionária, dessa forma, o cliente passa a ter papel importante no fornecimento de energia, passa a interagir diretamente em sua demanda pelo simples fato de receber informações como: O preço da energia ao longo do dia em tempo real e o consumo das cargas. Dessa forma o cliente terá a opção de manipular seu consumo de forma mais econômica, como transferir o consumo de energia para momentos fora do horário de pico, tendo como vantagem também a ciência do preço da energia em tempo real, assim terá como também controlar a carga dos clientes em caso de aumento excessivo da demanda.

Porém, com a infraestrutura do setor energético atual do Brasil, a tecnologia proposta apresenta algumas dificuldades. O Fluxo unidirecional de comunicação e de energia, este é outro grande problema do sistema atual: não há interação entre os serviços e os consumidores. Os medidores só podem transmitir unidirecionalmente. E com isso o consumidor não pode interagir com serviços, fazendo suas próprias escolhas sobre como usar a energia. O sistema utilizado não permite que o consumidor perceba os reflexos decorrentes da forma de usar a eletricidade e tome ações de acordo com as informações recebidas [Lopes et al, 2012].

Nesse sentido, toda a medição, que exigia a presença de um técnico para anotar o consumo de cada medidor analógico nas unidades consumidoras, é substituída por medidores digitais, capazes de se comunicar diretamente com uma central [Lopes et al, 2012].

Com o passar dos anos a infraestrutura de controle, geração, transmissão e distribuição de energia tem ficado atrasada em relação as tecnologias que vem sendo desenvolvidas para o setor, do mesmo modo o consumo de energia vem aumentando, reforçando a necessidade de atualização de todo sistema para atender as demandas do futuro. A única forma viável de atualização do sistema é com a substituição dos equipamentos quando os mesmos não funcionarem mais, caso contrário, torna-se economicamente inviável.

Além desse conflito tecnológico, a rede foi projetada para uma geração centralizada, longe dos grandes centros consumidores, com um fluxo unidirecional de comunicação e de energia. Outro grande problema a ser resolvido no sistema atual é que não há interação entre os serviços e os consumidores [Pepermans et al. 2005].

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção será apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto proposto.

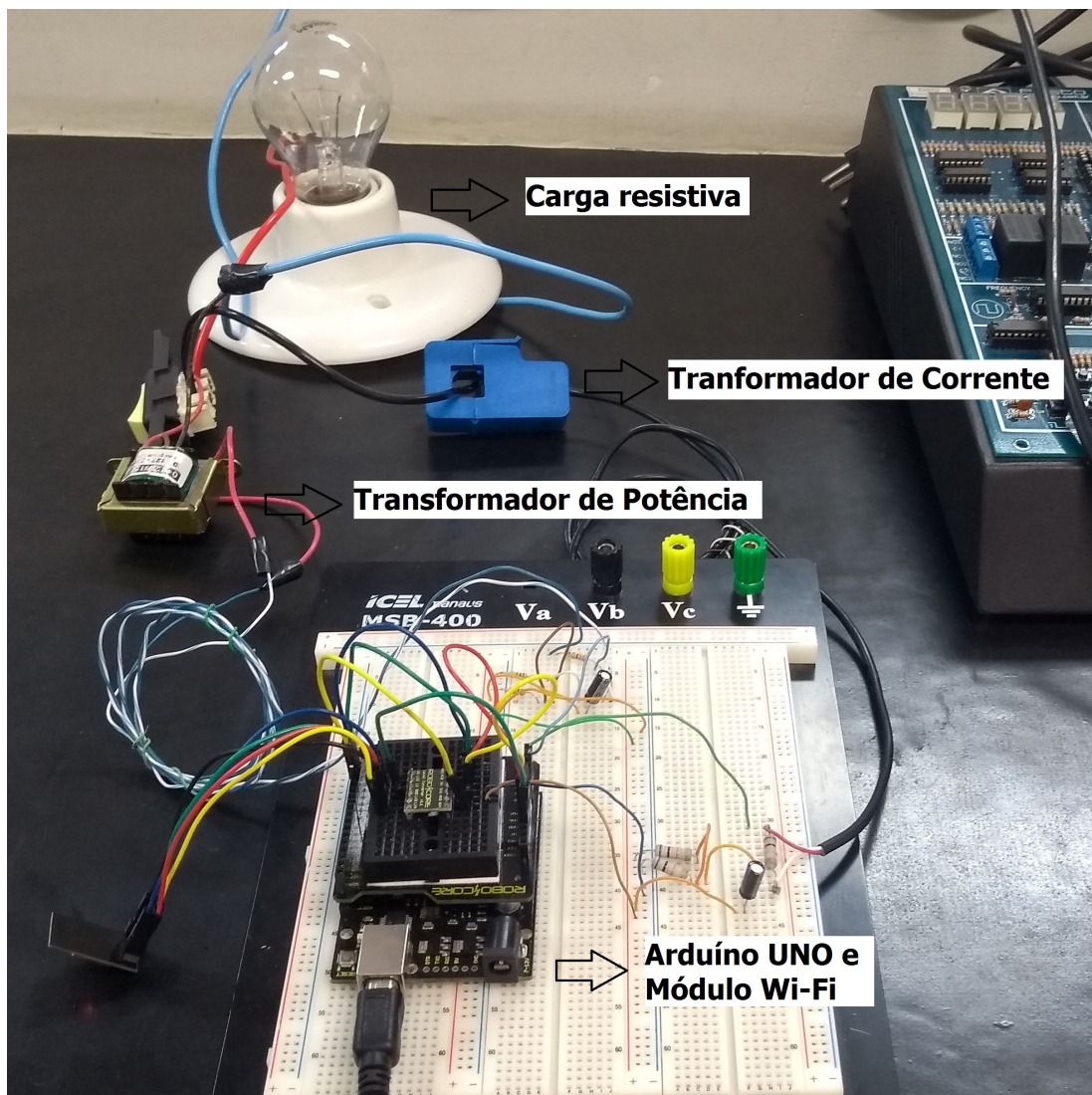
4.1 MEDIDOR

O sistema de medição proposto, diferente do analógico atual, proporcionará ao consumidor informações adicionais e não somente o seu consumo de energia diário. O medidor possuirá uma interface web onde o cliente poderá interagir com a mesma, e o proporcionará informações de corrente, potência, tensão e fator de potência. Essas informações serão de cada circuito conectado ao medidor, de forma que as informações se deem para cada equipamento de forma individual.

O sistema de medição será aplicado a uma carga de teste, onde será observado o comportamento do consumo de energia, e de acordo com o comportamento e as informações dispostas, será feita uma análise para o melhor aproveitamento de energia de acordo com a carga observada.

A figura 4 apresenta a composição completa do sistema de medição, onde cada componente será apresentado nas seções seguintes.

Figura 4 – Sistema de medição desenvolvido.



Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Metodologia do sistema de medição

Antes da descrição dos componentes do sistema, é necessário entender a metodologia do sistema de medição de energia elétrica que fornecerá as informações propostas no projeto. O medidor será utilizado para medir a quantidade de energia necessária ao funcionamento de

uma carga qualquer, ou a um conjunto delas, durante um determinado intervalo de tempo, a unidade comercial para a venda de energia elétrica é o kWh.

Seja respectivamente $v(t)$ e $i(t)$, os sinais da tensão e da corrente em um dado circuito. A potência instantânea é dada pelo produto entre essas duas grandezas, tem-se:

$$P(t) = v(t) i(t) \quad (\text{Eq. 1})$$

Se o equipamento em questão não apresenta nenhum efeito indutivo ou capacitivo considerável, a corrente e a tensão demandada da fonte, seja ela um gerador ou a rede de energia elétrica da concessionária, a potência é igual ao produto da tensão pela corrente, mas se há reatância envolvida no circuito, uma parte da energia é gasta em reatância, definindo a potência reativa, e outra em trabalho útil, definindo a potência ativa, que se somam mesmo as duas agindo de formas diferentes na mesma rede. Para as potências definidas respectivamente, tem-se:

$$Q = VI \sin(\Theta) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$P = VI \cos(\Theta) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

Θ – Ângulo de defasagem entre a corrente e a tensão.

As forças somadas não ficam em fase, elas se cruzam, formando um ângulo chamado ângulo de fase (Θ), que dá origem ao fator de potência, que nada mais é que o cosseno desse ângulo.

$$F_p = \cos(\Theta) \quad (\text{Eq. 4})$$

Quanto mais próximo o fator de potência for de uma unidade, a potência reativa gerada será menor de acordo com o triângulo de potências, pois o ângulo de defasagem (Θ) se aproximará de zero, assim menos energia será perdida para manter o campo magnético. Em alguns casos, o fator de potência pode ser corrigido para melhoria da utilização de energia.

Dessa forma, através dessas informações, a energia dada pelo medidor pode ser adquirida através da multiplicação da potência pela quantidade de tempo em que a mesma é fornecida para a carga.

$$E = P t \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

E – Energia consumida em kWh.

t – Tempo de consumo em horas.

4.1.2 Transformador de corrente

Para proporcionar a leitura de corrente, foi utilizado o sensor de corrente SCT-013, apresentado na figura 5, as especificações do fabricante pode ser encontradas no datasheet no Anexo A. Esse sensor torna-se muito versátil por não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada, ou seja, não precisa abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas “abraçar” um dos fios ligados ao equipamento a ser monitorado.

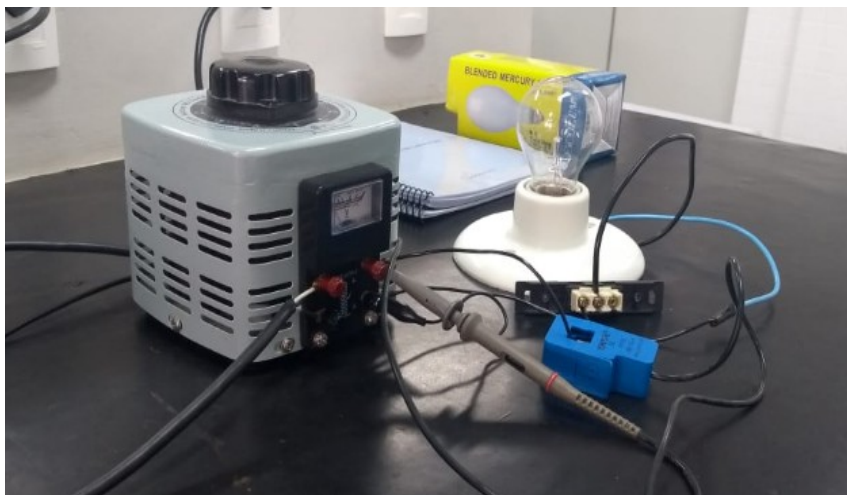
Figura 5 – Sensor de corrente SCT-013.



Fonte: Multilógica, 2019.

Antes de adicioná-lo ao sistema, foi realizado um experimento para calibração do mesmo, para evitar distorções ao resultado das medições. Para isso, foi montado o esquema apresentado na figura 6.

Figura 6 – Circuito para calibração do TC.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o esquema apresentado, foi utilizado uma carga resistiva de 60W, conectada ao variador de tensão sendo alimentada pela rede de 220V, onde o TC foi instalado a fase da carga, e o mesmo diretamente conectado a um resistor de $1k\Omega$ acoplado a protoboard, para produzir uma corrente e ser possível a leitura da forma de onda resultante do TC. Para a leitura das formas de onda tanto na fonte como na carga resultante do TC, foi utilizado um osciloscópio, sendo canal 1 para a fonte, e canal 2 para a carga.

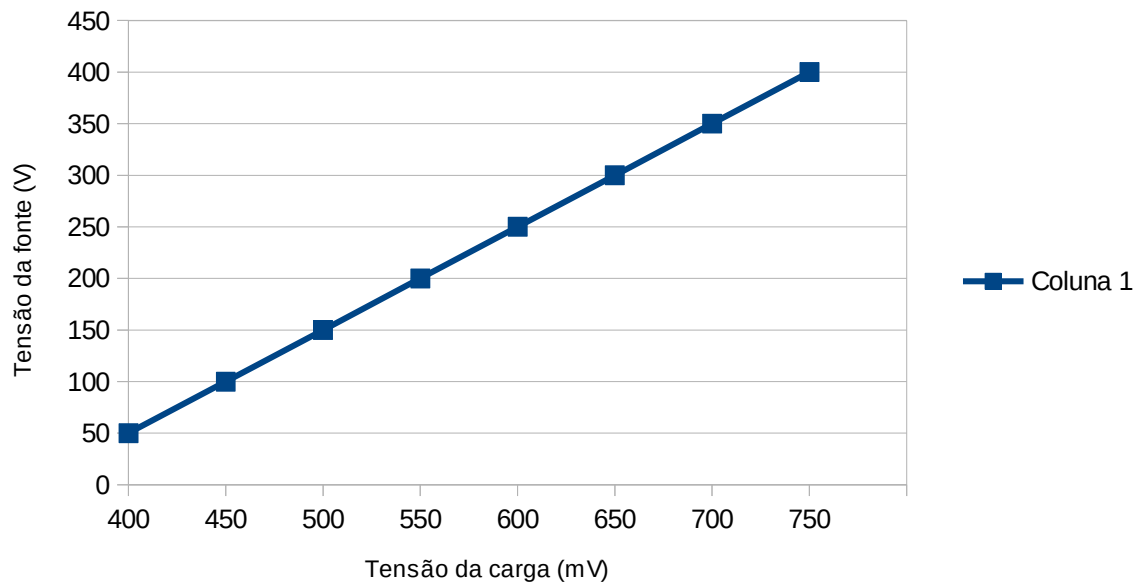
Após a montagem, a tensão na carga foi variada a cada 50V até um valor final de 400V, pois é o valor máximo que o osciloscópio pode medir. Dessa forma foi observado a cada variação a diferença no tempo entre formas de onda, assim como o comportamento das tensões, os valores encontrados são apresentados na tabela 1, e o comportamento entre as ondas no gráfico 1.

Tabela 1 – Valores de tensão obtidos no experimento TC.

Canal 1 Tensão fonte (Vpp)	Canal 2 Tensão carga (mV)
50 V	400 mV
100 V	450 mV
150 V	500 mV
200 V	550 mV
250 V	600 mV
300 V	650 mV
350 V	700 mV
400 V	750 mV

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 1 – Comportamento das ondas experimento TC.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com as informações obtidas, foi observado um comportamento linear entre as formas de onda, e variação no tempo de 4ms a cada 50V. Dessa forma, foi observado uma defasagem angular entre as formas de onda de $86,4^\circ$.

4.1.3 Transformador de potência

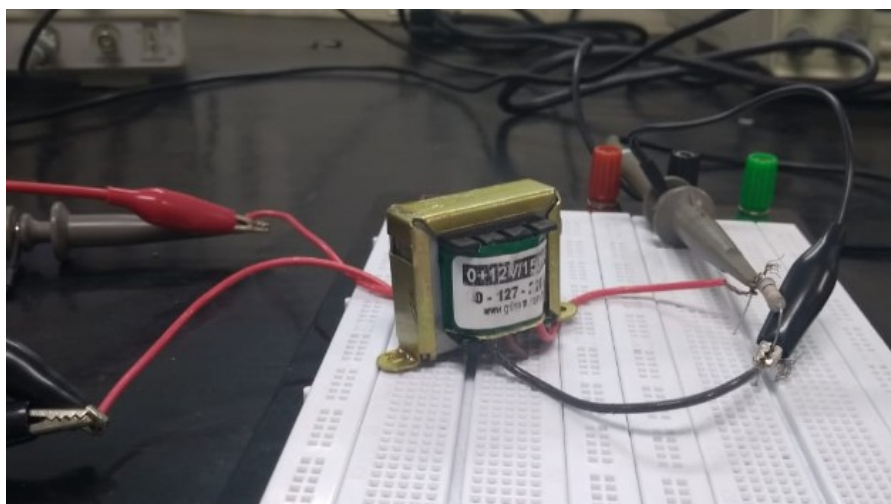
O transformador de potência utilizado possui as especificações apresentadas na tabela 2. Antes de adicioná-lo ao sistema foi necessário realizar a calibração do mesmo, para isso foi realizado um experimento semelhante ao aplicado no TC apresentado anteriormente. O esquema para o experimento é apresentado na figura 7.

Tabela 2 – Especificações do Transformador.

220V – 12V
Relação de Transformação – 18,33
$I_{m\acute{a}x}$ – 150 mA

Fonte: Autoria própria.

Figura 7 – Circuito para calibração do TP.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o esquema, o primário foi alimentado através da rede passando pelo variador de tensão, e o secundário do transformador foi conectado a um resistor de $1k\Omega$ acoplado a protoboard. Para visualizar as formas de ondas da fonte e carga conectada ao secundário do transformador, foi utilizado um osciloscópio, onde canal 1 apresenta a fonte, e canal 2 a carga.

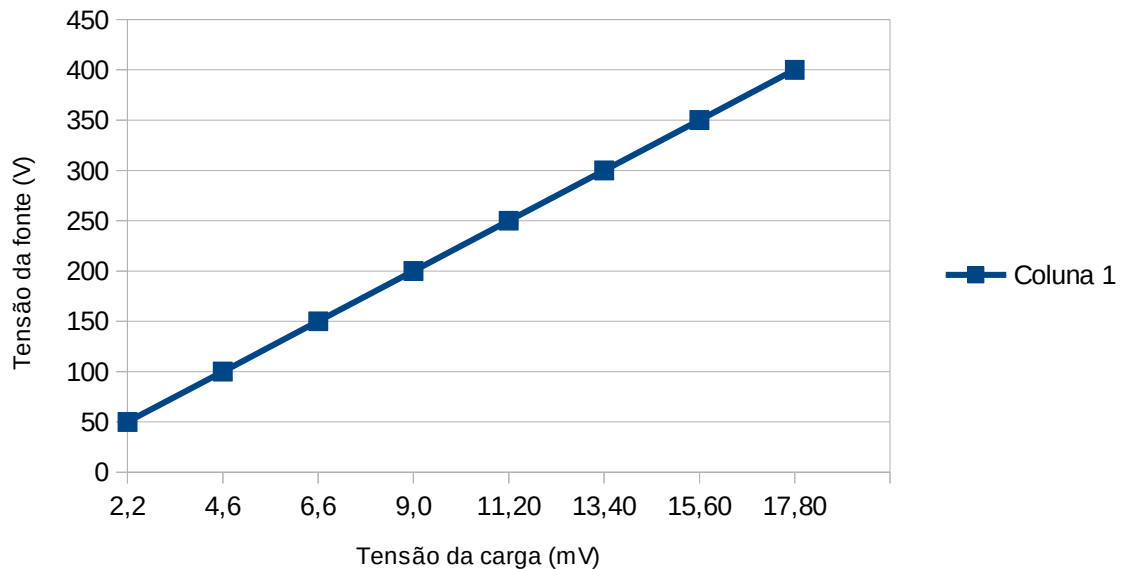
Após a montagem, de forma semelhante ao experimento do TC, a tensão no primário sofreu variação em intervalos de 50 V, onde a cada variação o comportamento das formas de ondas foi observado, assim como a variação no tempo entre elas. Os resultados do experimento estão apresentados na tabela 3, e seu comportamento no gráfico 2.

Tabela 3 – Valores de tensão obtidos no experimento TP.

Canal 1 Tensão fonte (Vpp)	Canal 2 Tensão carga (V)
50 V	2,2 V
100 V	4,6 V
150 V	6,6 V
200 V	9,0 V
250 V	11,2 V
300 V	13,4 V
350 V	15,6 V
400 V	17,8 V

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 2 – Comportamento das ondas experimento TP.



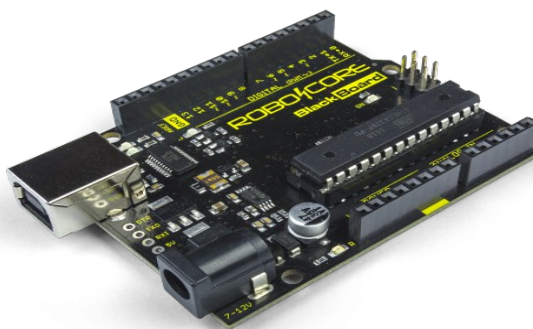
Fonte: Autoria própria.

De acordo com as informações obtidas, diferente do TC, a variação de tensão em cada intervalo não se manteve linear, porém apresentou uma variação muito pequena entre os sinais. Porém, a variação no tempo se manteve constante com valor igual a $800\mu\text{s}$ a cada 50V. Dessa forma, foi observado uma defasagem angular com valor igual a $17,28^\circ$.

4.1.4 Arduíno

Foi utilizado no projeto o Arduíno BlackBoard desenvolvido pela ROBOCORE apresentado na figura 8, o mesmo possui microcontrolador ATmega328P, tensão de operação em 5 V, e tensão de alimentação de 7 a 12 V. Na tabela 4, é apresentado as especificações do componente.

Figura 8 – Arduíno BlackBoard ROBOCORE.



Fonte: Robocore.net, 2019.

Tabela 4 – Dados da BlackBoard.

Tamanho:	5,3cm x 6,8cm x 1,0cm
Microcontrolador:	ATmega328
Tensão de operação:	5V
Tensão de entrada (recomendada):	7-12V
Tensão de entrada (limites):	6-20V
Pinos de entrada/saída (I/O) digitais:	14 (dos quais 6 podem ser saídas PWM)
Pinos de entrada analógicas:	6
Corrente DC por pino I/O:	40mA
Corrente DC para pino de 3,3V:	50mA
Memória Flash:	32KB (dos quais, 0,5KB são usados pelo bootloader)
Velocidade de Clock:	16MHz
Temperatura de operação:	de 10° a 60°C

Fonte: Autoria própria.

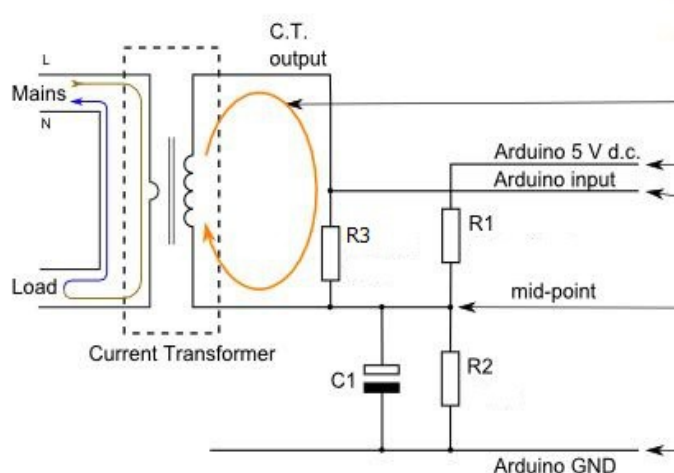
4.2 MONTAGEM DO SISTEMA

Antes da montagem do sistema, os componentes foram calibrados como mostrado na sessão anterior, dessa forma, sendo cada componente calibrado individualmente, as chances de distorção nos resultados diminuem consideravelmente em vista se todo o sistema fosse calibrado de uma só vez, além de aumentar a complexidade do procedimento. Os componentes foram unidos em uma protoboard, como mostrado na figura 4, e conectados por meio de fios.

Para a leitura de corrente o esquema de ligação da figura 9 foi montado. De acordo com o projeto, foi necessário calcular um divisor de corrente, pois a alimentação da carga é feita diretamente pela rede em 220 V, e torna-se incompatível com a tensão máxima que o Arduino pode suportar, então se fez necessário o uso do divisor para reduzir a tensão de alimentação da carga para 5Vpp e tornar possível a leitura de corrente pelo Arduino utilizado.

Os resistores utilizados para o divisor R1, R2 e R3 foram de $1k\Omega$, e o capacitor C1 de $10nF$. O TC foi devidamente acoplado a fase da carga, onde a mesma foi alimentada pela rede em 220 V.

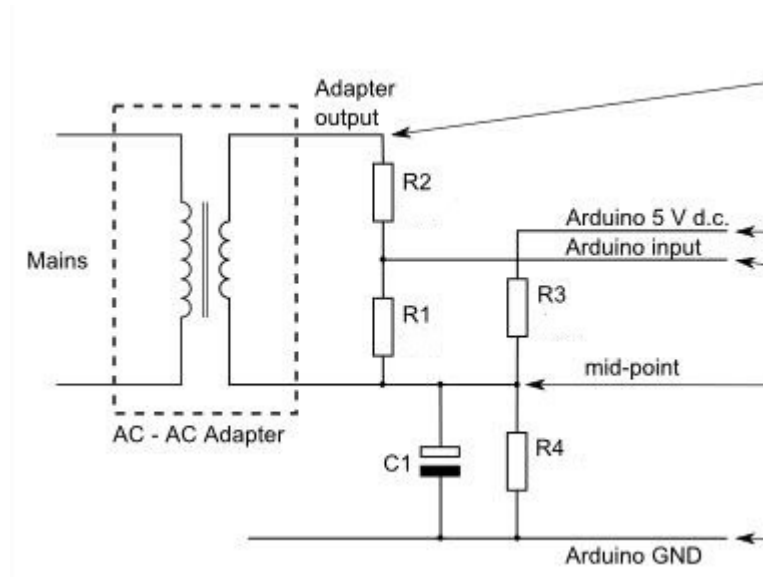
Figura 9 – Esquema de ligação para o TC.



Fonte: learn.openenergymonitor, 2019

Já para o transformador, foi montado o esquema da figura 10, os componentes utilizados foram dimensionados para que o mesmo pudesse trabalhar a uma potência máxima de 500 W. Dessa forma, de acordo com o esquema, os resistores R2 e R1 possuem $100k\Omega$, e o R3 e R4 possuem $3,3k\Omega$ e 330Ω respectivamente.

Figura 10 – Esquema de ligação para o TP.



Fonte: learn.openenergymonitor, 2019

Para possibilitar a comunicação sem fio, foi adicionado ao Arduino um módulo Wi-fi, que se comunica diretamente pela rede sem fio enviando os dados a interface. Foi utilizada para visualização dos dados uma interface já presente na literatura, e pode ser facilmente encontrada na internet.

Os códigos utilizados pelo Arduino para leitura e calibração de tensão e corrente também estão disponíveis na literatura, justificado pela disponibilidade do mesmo.

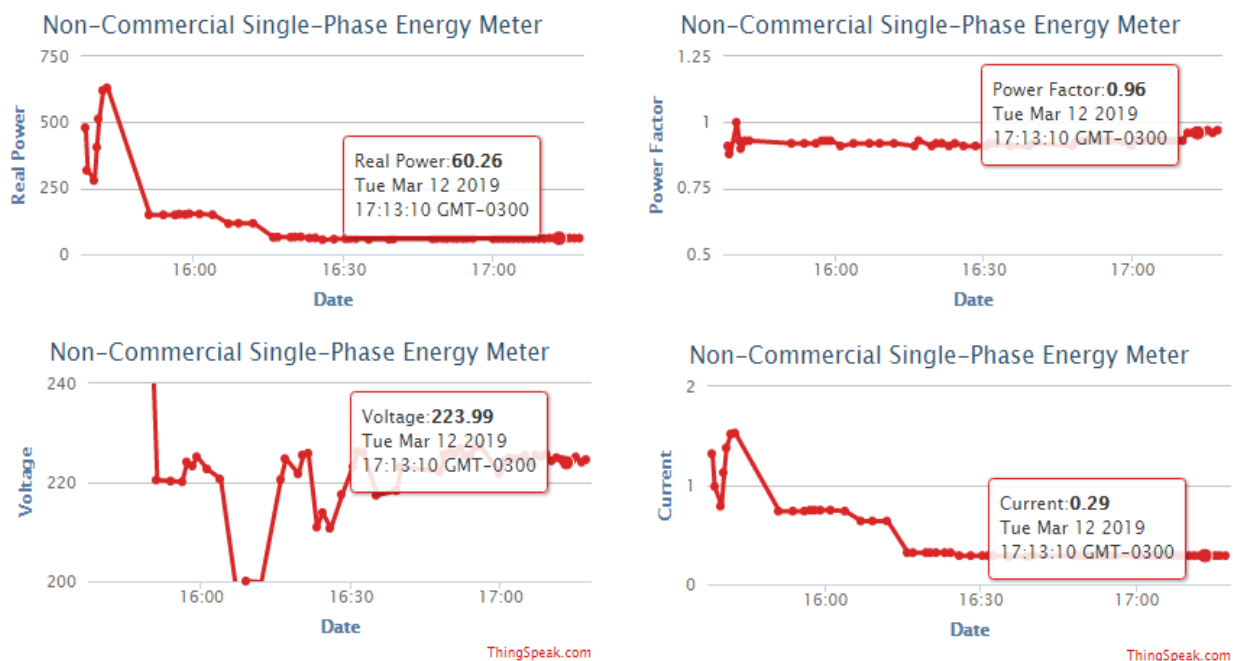
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a montagem do sistema, para a execução do projeto, foi executado o experimento descrito na sessão 5.1 para verificar o funcionamento, e a partir dos resultados apresentados pela interface, analisar os resultados das leituras.

5.1 EXPERIMENTO

Foi utilizado para o experimento uma carga puramente resistiva, uma lâmpada incandescente de 60 W. Para a análise dessa carga foi observado as leituras de tensão, potência, corrente, e fator de potência em intervalos de 1 minuto durante um período fixo de 1 hora. O resultado oferecido pela interface é apresentado na figura 11.

Figura 11 – Interface para leitura da carga 1.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o comportamento das leituras, primeiramente pode-se observar que o fator de potência se manteve próximo a uma unidade, tratando-se de carga resistiva, não há perda de energia por reativo, sendo a energia ativa bem aproveitada, dessa forma validando a leitura correta do sistema. A leitura de potência mostrou-se compatível com a carga utilizada variando em torno de 60 W, assim como a tensão de alimentação em 220V, e a corrente produzida em 0,27A.

Para que as leituras fossem o mais próximo da real, foi necessário realizar a calibração disponível no código do Arduino para tensão e corrente, conforme figura 12, de forma experimental os valores foram ajustados para que as leituras fossem o mais próximo da real.

Figura 12 – Código para calibração de tensão e corrente do Arduino.

```
#include "EmonLib.h"           // Include Emon Library
EnergyMonitor emon1;          // Create an instance

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  emon1.voltage(3, 200, 6.7); // Voltage: input pin, calibration, phase_shift
  emon1.current(5, 0.27);    // Current: input pin, calibration.
}

void loop()
{
  emon1.calcVI(20,2000);      // Calculate all. No.of half wavelengths (crossings), time-out
  emon1.serialprint();        // Print out all variables (realpower, apparent power, Vrms, Irms, power factor)

  float realPower      = emon1.realPower;      //extract Real Power into variable
  float apparentPower  = emon1.apparentPower;  //extract Apparent Power into variable
  float powerFactor    = emon1.powerFactor;    //extract Power Factor into Variable
  float supplyVoltage  = emon1.Vrms;           //extract Vrms into Variable
  float Irms           = emon1.Irms;           //extract Irms into Variable
}
```

Fonte: Autoria própria.

6. CONCLUSÕES

Após a montagem do sistema proposto nesse projeto, fez-se necessário verificar o funcionamento do mesmo, dessa forma, nas sessões anteriores foram desenvolvidos experimentos para que os mesmos pudessem testificar e validar o funcionamento e a aplicabilidade do sistema desenvolvido, o colocando disponível para um uso eficiente e vantajoso para o consumidor.

Para os experimentos desenvolvidos foram encontrados resultados satisfatórios. Para o experimento da sessão 5.1, onde foi utilizado uma carga puramente resistiva, os valores lidos pelos sensores e apresentados na interface mostraram-se compatíveis com os valores reais esperados. Junto com a calibração realizada, os valores apresentados em função do tempo puderam alcançar o cenário real do consumo da carga, algumas variações quanto ao valor real podem ser atribuídas a perdas no sistema por meio das conexões de fios dos circuitos desenvolvidos, porém essas perdas não são suficientes para tornar os resultados longe da realidade.

Partindo do ponto de vista do consumidor, o sistema apresentado aplicado ao seu ponto de consumo apresenta grandes vantagens para o mesmo. A partir do momento em que o consumidor passa a ter um controle sobre seu consumo, com as informações adicionais oferecidas pelo sistema, com um acesso e compreensão facilitado pela interface proposta, o mesmo passa a ter uma visão mais ampla sobre as possibilidades de economia de energia em sua residência.

Primeiramente o consumidor vai poder acompanhar a qualidade de energia que está sendo entregue em sua casa através da leitura de tensão da rede, é comum que as companhias elétricas, como já foi abordado, entreguem uma qualidade de energia inferior ao que o cliente necessita, pondo em risco os equipamentos eletrônicos de seus clientes. Tendo ciência da energia que está sendo consumida, o cliente poderá tomar decisões que regularize, e receber então em sua casa um serviço de qualidade.

A instalação do sistema pode ser feita como já mencionado, para cada circuito da residência de forma individual, aplicando essa configuração, o consumidor poderá também verificar de forma pontual a partir da análise de consumo de cada circuito, onde o mesmo tem um gasto mais acentuado de energia, dessa forma ele poderá então planejar a melhor forma e horário para o consumo de tais cargas. Uma vez que o consumo no horário de pico,

compreendido entre as 17h30 e 20h30, possui o valor da energia mais elevado, modificar a logística de consumo para fora desse horário consequentemente trará ao consumidor uma economia na sua conta ao final do mês.

Além disso, com os dados fornecidos, é possível verificar equipamentos com tempo de vida útil já ultrapassado que acabam gerando um maior consumo, uma vez que o equipamento atinge um certo tempo de uso, o mesmo pode vir a apresentar perdas que consequentemente torna o consumo do equipamento maior que o ideal, dessa forma, ao identificar esses equipamentos através da leitura de consumo, o mesmo poderá ser trocado e assim colaborar para economia de energia.

O sistema ainda pode ser aplicado para acompanhamento do fator de potência para cargas indutivas e capacitivas, como já mencionado, o ideal para se ter um bom aproveitamento de energia é trabalhar com fator de potência o mais próximo da unidade, com a instalação desse sistema em circuitos que geram reativos, é possível acompanhar o comportamento do fator de potência, e ainda sim, quando o mesmo não possuir valores satisfatórios, tomar decisões para melhorar seu valor. Porém, para aplicações residenciais a utilização de cargas indutivas e capacitivas é muito baixa, o cliente não chega a pagar pela utilização de energia reativa, sendo opção do cliente ou não realizar a correção do fator de potência.

De modo geral, foi constatado o pleno funcionamento do medidor proposto pelo projeto, onde seu funcionamento foi garantido através dos experimentos apresentados, e sua aplicação justificada. Dessa forma, o medidor desenvolvido pode proporcionar resultados satisfatórios ao consumidor contribuindo diretamente para economia de energia mensal através da análise oferecida. A utilização do mesmo já possui algumas aplicações no mercado, e de acordo com o cenário apresentado onde há rapidez para pôr em prática um sistema mais econômico, a utilização do medidor torna-se eficiente e de grande contribuição.

REFERÊNCIAS

ANEEL, **Geração distribuída: micro e mini geração distribuídas**. 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 24 janeiro. 2019.

CPFL, **Smart Grid, O que é?** <<https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/sites-tematicos/smart-grid/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 24 Janeiro. 2019.

KUP, Mariana Torres. **Estudo da medição inteligente para consumidores residenciais no brasil. 2015**. 72 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Ufrj, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014242.pdf>> Acesso em: 01 Fevereiro. 2019.

LOPES, Yona & Castro Fernandes, Natalia & Chistina Muchaluat-Saade, et al. (2015). **Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação**. pp, 325.

MORO, Jefferson Zortéa. **Medidor de consumo de energia elétrica descentralizado e com interface WEB**. 2013. 66 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258977>>. Acesso em: 31 Outubro. 2018.

PEPERMANS, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D., et al. 2005. **Distributed generation: definition, benefits and issues**. Energy Policy,

ANEXO A – DATASHEET SENSOR DE CORRENTE SCT-013

Split core current transformer



Model: SCT-013

Rated input current: 5A/100A

Characteristics: Opening size: 13mm*13mm,

Non-linearity: $\pm 3\%$ (100%—120% of rated input current)1m leading wire, standard $\Phi 3.5$ three core plug output.

Current output type and voltage output type (voltage output type built-in sampling resistor)

Purpose: Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc

Core material: ferrite

Mechanical strength: the number of switching is not less than 1000 times(test at 25℃)

Safety index: Dielectric strength(between shell and output)1000V AC/1min

Fire resistance property: In accordance with UL94-Vo

Work temperature: -25℃~+70℃

Outline size diagram: (in mm)

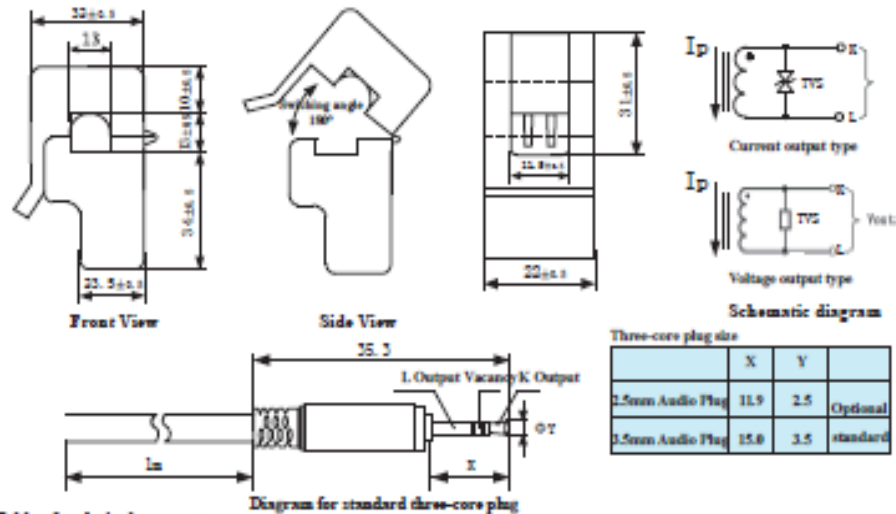


Table of technical parameter:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output type	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
Output type	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

※ Output type: voltage output type built-in sampling resistor, current output type built-in protective diode.

Tel: 86-13933609279 Fax: 86-7929499-804 skype:macymeng1
 Web (China): www.yhdc.com Web (Latvia): www.yhdc.lv