

PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE MEDIDOR E ANALISADOR DE ENERGIA ELÉTRICA COM CONTROLE DE DEMANDA

PROJECT AND IMPLEMENTATION OF A PROTOTYPE OF METER AND ANALYZER OF ELECTRIC ENERGY WITH CONTROL OF DEMAND

PEDRO ROGÉRIO PEREIRA NEVES^{1*}, NÁGILA RIBEIRO DE MENEZES²

1. Acadêmico do curso de graduação em Engenharia Elétrica da UNINGÁ - Centro Universitário Ingá; 2. Engenheira de Controle e Automação pelo CESUMAR - Centro de Ensino Superior de Maringá. Especialista em Projeto de Circuitos Integrados Analógicos pela USP - Universidade de São Paulo. Mestrado em andamento em Engenharia Elétrica na USP - Universidade de São Paulo. Docente da UNINGÁ - Centro Universitário Ingá.

* Avenida Eid, 697, Paranacity, Paraná, Brasil. CEP: 87660-000. p.pedrorogério@hotmail.com

Recebido em 27/09/2016. Aceito para publicação em 16/11/2016

RESUMO

Os medidores de energia atuais possuem como objetivo somente quantificar a energia elétrica consumida em um período de 30 dias para atender a necessidade de faturamento das concessionárias de distribuição de energia. Com o avanço no desenvolvimento tecnológico na distribuição de energia e introdução das *Smart Grids* (redes inteligentes) associados à necessidade da sociedade em acompanhar de perto o seu orçamento, surge a necessidade de medidores que disponham de valores instantâneos de medição de energia, para o acompanhamento de períodos de consumo, apresentando valores em watt-hora e também valores monetários. O objetivo deste trabalho é demonstrar a possibilidade de criação de medidores de energia que atendam a necessidade tanto das concessionárias de energia quanto dos consumidores, tornando as informações mais fáceis e práticas para ambas as partes. No protótipo foi possível obter leituras com erro menores que 2%, tornando-se um desvio pouco significativo, e possibilitando o usuário a fazer um bom acompanhamento no orçamento mensal do consumo de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo de energia, gerenciamento, interação, economia.

ABSTRACT

The current energy meters are aimed only quantify the electricity consumed in the period of 30 days to meet the need goes sales of power distribution utilities. With the advancement in technological development in energy distribution and introduction of Smart Grids (intelligent network) associated with the need of society to closely monitor your budget, the need for meters that have instantaneous power measurement values arises for monitoring periods of consumption, with values in watt hour and also monetary values. The objective of this study is to demonstrate the possibility of creating energy meters that meet the need of both utilities as consumers, making the in-

formation easier and practical for both parties. In the prototype it was possible to obtain readings with lower error than 2%, making it a very significant shift, and allowing the user to do a good follow-up in the monthly budget of energy consumption.

KEYWORDS: Consumption of energy, management, interaction, economy.

1. INTRODUÇÃO

Diante da crise energética que se vive no momento, torna-se evidente a real necessidade de se reduzir o desperdício de energia¹.

Para que haja melhor compreensão da atual crise energética brasileira, faz-se necessário conhecer o funcionamento do sistema elétrico brasileiro desenvolvido para que se utilize da vasta disponibilidade de recursos hídricos que o país possui².

Nos períodos úmidos com excesso de chuvas, a participação das hidrelétricas para que se atenda a demanda do consumo de energia chega aos 90%, entretanto nos períodos com escassez de chuva esta capacidade de fornecimento pode diminuir, sendo necessário o suprimento de energia por outras fontes, vez que a demanda de consumo permanece a mesma³.

No Brasil, esta necessidade é suprida por usinas termelétricas e outras fontes, sendo as termelétricas as que respondem por maior parte deste fornecimento secundário, disponibilizando para consumo 30% da demanda³.

Assim, considerando que as hidrelétricas são as principais fontes energéticas brasileiras, uma diminuição muito significativa no volume de água de seus reservatórios, poderá ocasionar racionamentos, vez que as termelétricas e demais fontes energéticas, não suportam a demanda de consumo².

Além das condições de fornecimento da energia

para o consumo, outros fatores contribuem para crise energética, como o crescimento populacional e o aquecimento causado pelas ondas de calor em regiões de clima menos intenso, causando um aumento do consumo devido à utilização de equipamentos para climatização de ambientes, como exemplo o ar-condicionado^{2,3}.

Devido a este acréscimo no consumo, há necessidade de investimentos em projetos para aumento da capacidade de fornecimento de energia elétrica, mas como os recursos monetários de implantação são grandes e o tempo para execução também são longos, fica como saída para o consumidor, fazer o controle do seu consumo evitando os desperdícios e acréscimo nas tarifas de energia elétrica. O controle do consumo de energia está atrelado a custos, que por sua vez está atrelado ao benefício, que submete o consumidor a pensar na qualidade da energia que consome³.

Um dos elementos que podem influenciar na qualidade da energia, é o nível de desbalanceamento da tensão que pode ser observado através de uma variação em torno de seu valor eficaz (tensão nominal), estes devem trabalhar dentro de níveis aceitáveis, os quais são estipulados por órgãos que fiscalizam e regulamentam o fornecimento de energia elétrica^{4,5,6}.

A energia elétrica pode ser vista como uma das matérias primas necessárias para o conforto dos consumidores, porém, ao contrário das demais, não é possível realizar os procedimentos de recebimento ou de inspeção, ou seja, controle de qualidade. As demais matérias primas utilizadas em uma indústria, por exemplo, podem ser rejeitadas caso não estejam conforme padrões especificados, pois podem provocar danos a equipamentos que estão consumindo, bem como contribuir no aumento do custo⁶.

Este trabalho traz o desenvolvimento de um protótipo tarifador com controle de demanda, capaz de apresentar, em tempo real, os valores tarifários e o consumo, com erro máximo de 2%, possibilitando ao consumidor realizar o monitoramento do seu consumo diário.

Os valores podem ser observados sempre que o usuário desejar, e com a opção de fazer o uso de controles da demanda de consumo, quando se fizer necessário.

Ademais, este possui uma solução para monitorar a qualidade da energia devido às variações de tensão, pois é interessante notar o grau de importância que se dá para estas ocorrências no sistema elétrico. Naturalmente, quanto mais grave for a ocorrência, mais interessante será analisar e detectar as causas. Para melhor compreensão do trabalho, as perturbações que se relacionam com a qualidade de energia são classificadas como sobretensão e subtensão.

Dessa forma, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo principal de disponibilizar os valores de tarifação da energia elétrica, eventualmente monitorar a qualidade da energia, e se necessário, fazer um controle

de consumo através do controle de demanda.

A evolução dos medidores de energia elétrica

A quantificação de energia reconhecida pela ciência teve seu início no século XIX, com equipamentos sem precisão, pois se tratavam de equipamentos que quantificavam a energia de maneira estimada com uma carga constante, ou seja, sem variação da corrente, com variação somente do período de consumo⁷.

Esta quantificação do consumo de energia elétrica teve início com o medidor para corrente contínua, desenvolvido e patenteado por Samuel Gardiner, no ano de 1872. Este medidor tinha como unidade de medida, uma variável denominada lâmpada-hora, que originou o nome medidor de lâmpada-hora. O medidor indicava o período que uma lâmpada permaneceria ligada, considerando que a carga era conhecida, obtendo a energia consumida através do produto entre o tempo ligado e a potência nominal da carga⁸.

Em 1878, foi desenvolvido um medidor por J.B. Fuller, um medidor de lâmpada-hora que operava em corrente alternada, composto por um mecanismo que era acionado por um par de bobinas que vibravam com a frequência da alimentação, desta forma houve um avanço da contagem no relógio-registrador, e com isto o registro da energia⁹.

Entre 1878 e 1880, Thomas Edison desenvolveu o primeiro medidor de quantidade de energia consumida, baseado na deterioração química de duas placas de zinco interligadas pelo circuito do cliente, em determinado período as placas eram substituídas e pesadas, a diferença com relação a uma placa nova resultava na quantidade de energia consumida^{7,8}.

Em 1885, o professor italiano Galileo Ferraris, com a descoberta do princípio da indução, facilitou o desenvolvimento de medidores mais precisos. Tais medidores baseiam-se no fluxo magnético produzido por duas bobinas agindo sobre um rotor metálico que produz uma força e o faz girar (Princípio de Ferraris). Este é o princípio de funcionamento dos medidores eletromecânicos de corrente alternada fabricados até os dias de hoje⁷.

Na década de 1970, com a evolução da eletrônica, começam a introdução de medidores e registradores eletrônicos na tarifação da energia elétrica, que além de informar o consumo de energia elétrica, possuem informações de qualidade e disponibilidade da energia elétrica.

Os medidores de energia eletrônicos terão um crescimento em sua utilização devido à expansão nos projetos de conexão a redes inteligentes (*Smart Grids*) e a necessidade de informação solicitada pelo cliente do seu consumo em tempo real⁹.

No Brasil, a iniciativa prática dos medidores eletrônicos, ainda limita-se a projetos pilotos. Um destes projetos é o estudo de uma possibilidade de alteração regu-

latória no consumo em baixa tensão, a optar pela tarifação horária¹⁰.

Sensor de corrente não invasivo

O sensor de corrente não invasivo trata-se de um transformador de corrente (TC), que permite aos instrumentos de medição ou proteção funcionarem adequadamente, sem que sejam submetidos às correntes nominais do circuito de potência ao qual estão ligadas as cargas.

Os TC's transformam, através do fenômeno de conversão eletromagnética, correntes elevadas que circulam no seu primário, em pequenas correntes secundárias, segundo uma relação de transformação.

A corrente primária a ser medida, circulando nos enrolamentos primários, cria um fluxo magnético alternado que faz induzir forças eletromotrizes nos enrolamentos primário e secundário¹¹.

Sensor de corrente por efeito hall

O efeito Hall trata-se de uma diferença de potencial em um condutor elétrico, transversal ao fluxo de corrente submetido a um campo magnético perpendicular. Este fenômeno foi observado pela primeira vez por Edwin H. Hall em 1879¹².

No sensor de corrente por efeito Hall a diferença de potencial que surge devido ao deslocamento dos portadores de carga é da ordem de milivolts (mV). O sensor ACS712 30A utilizado é de 66mV para cada ampère (A) que circular no condutor da carga.

Sensor de tensão com transformador

O transformador possui dois enrolamentos acoplados por um circuito magnético comum, se um deles for alimentado por uma fonte de tensão alternada, produzirá uma tensão alternada com as mesmas características fasoriais, porém, com amplitude definida pela relação de transformação que é dada pela Equação 1, para um transformador ideal¹³.

$$a = \frac{N1}{N2} = \frac{V1}{V2} \quad (1)$$

Sendo:

a = Relação de transformação;

N1= Quantidade de espira do primário;

N2= Quantidade de espira do secundário;

V1= Tensão no primário;

V2= Tensão no secundário.

Sensor de tensão por divisor de tensão

O sensor por divisor de tensão consiste em um arranjo de resistores, que fornece a tensão desejada conforme a disposição e valores das resistências em série, com uma fonte de tensão e adicionando uma carga RL em paralelo com o resistor R2 ao circuito, conforme

disposto nas Figuras 1 e 2. Quanto maior for a resistência R1 menor será a tensão no resistor R2 (VR2), que será a tensão na carga VL¹⁴.

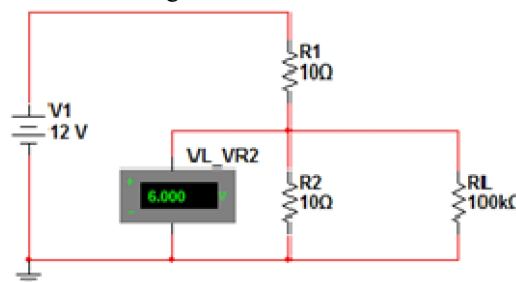


Figura 1. Demonstração do divisor de tensão R1=10Ω .

Fonte: Próprio autor utilizando software Multisim.

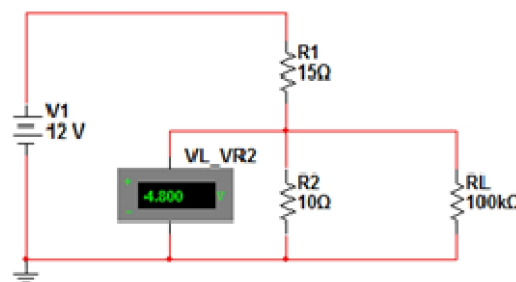


Figura 2. Demonstração do divisor de tensão R1=15Ω .

Fonte: Próprio autor utilizando software Multisim.

A tensão de saída (VL_VR2) resulta da Equação 2.

$$VL = VR2 = \frac{R2}{R1 + R2} \cdot V1 \quad (2)$$

Qualidade da energia elétrica

A qualidade da energia elétrica pode ser definida como a medida de quão bem a energia elétrica pode ser utilizada pelos consumidores. Essa medida inclui características de continuidade no fornecimento, em que certos parâmetros desejáveis para a operação segura sejam atendidos, tanto no fornecimento como no consumo. Entre os parâmetros a considerar, tem-se a variação da tensão como primordial em um consumo residencial, que caracteriza-se como subtensão e sobretensão⁴.

Com o avanço da tecnologia utilizada pelos consumidores, a qualidade da energia tem sido considerada um fator primordial no fornecimento de energia elétrica, pois com uso de equipamentos eletrônicos para controle de processo e acionamentos de potência, as perturbações no fornecimento e consumo da energia, se tornam um problema devido à sensibilidade de leitura e ação destes equipamentos¹⁵.

Assim, para o atendimento de um consumo com maior segurança e disponibilidade de energia elétrica, os consumidores necessitam de um fornecimento com os

melhores índices de qualidade e menor custo possível.

Neste contexto, as distribuidoras do produto energia elétrica são estimuladas, tanto pelas agências regulamentadoras, como pelo próprio mercado, a prestar informações sobre as condições de operação do fornecimento de energia elétrica e detalhes sobre eventos ocorridos e que afetaram os consumidores. Essa é uma das necessidades do monitoramento e da análise da qualidade de energia elétrica^{4,15}.

Nos dias atuais a energia elétrica é considerada um bem comum e necessário para o desenvolvimento e relacionamento da sociedade¹⁵.

O comprometimento na qualidade da energia elétrica pode causar perturbações que prejudicarão o funcionamento de equipamentos, tais como os efeitos de cintilação de lâmpadas e redução da vida útil de equipamentos eletroeletrônicos^{4,15}.

Limites de variação da tensão

Os limites de variação da tensão são definidos dentro de uma faixa de valores de tensão que possam atender adequadamente a necessidade do consumidor, esta variação deve permanecer entre limites aproximados de 4,1% para sobretensão e 8,6% para subtensão^{4,16}.

O fornecimento de energia possui variações e devem ser feitas algumas considerações a depender do estado definido do fornecimento: Considerado precário quando está entre 4% a 6% para sobretensão e 8,6% a 14% para subtensão, e crítico quando ultrapassados os limites de 6% para sobretensão e 14% para subtensão, conforme demonstrado na Tabela 1, com dados das tensões limites para fornecimento em baixa tensão em redes monofásicas, com valores padronizados no Brasil¹⁶.

Tabela 1. Tensões nominais, faixa de variação entre tensões de leitura e nominal.

Tensão Nominal		Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à tensão Nominal		
Ligação	Volts	Tensão de atendimento ADEQUADA	Tensão de atendimento PRECÁRIA	Tensão de atendimento CRÍTICA
Monofásica	220	$(201 \leq TL \leq 229)$	$(189 \leq TL < 201$ ou $229 < TL \leq 233)$	$(TL < 189$ ou $TL > 233)$
	127	$(116 \leq TL \leq 132)$	$(109 \leq TL < 116$ ou $132 < TL \leq 135)$	$(TL < 109$ ou $TL > 135)$

Smart Grid ou redes inteligentes

Os sistemas de distribuição e de transmissão de energia elétrica que possuem recursos de informática e de elevado grau de automação recebem o nome de *Smart Grid* ou redes inteligentes¹⁷.

Graças ao alto nível de tecnologia agregado, as *Smart Grids* conseguem responder a várias demandas da sociedade moderna, tanto no que se referem às necessidades energéticas, quanto em relação ao desenvolvimento sustentável, ampliando a eficiência operacional¹⁸.

Os medidores eletrônicos inteligentes são equipamentos de maior importância para seu perfeito funcio-

namento, pois estes possuem capacidade de leitura e disponibilidade de informações mais abrangentes que os medidores convencionais, além da disponibilidade da medição remota, leitura e envio de alarmes e eventos^{17,18}.

Os benefícios para os consumidores não param por aí. Os clientes de uma concessionária de energia podem realizar um acompanhamento detalhado do consumo, muitas vezes obtendo as informações de forma instantânea¹⁸.

Desta forma, não será preciso esperar a conta de energia chegar ao término do mês para tomar providências com relação ao consumo.

Além disso, com a utilização da medição inteligente surge a programação remota de acionamentos e desligamentos de aparelhos eletrodomésticos, de forma a permitir um aproveitamento do consumo de energia nas residências através de um controle de demanda e a real necessidade da utilização do equipamento¹⁷.

Com a tecnologia ao seu dispor, o consumidor tem o poder de decisão sobre o seu consumo e uma visão sobre a real situação do sistema de distribuição quanto a oscilações e cortes temporários de fornecimento, blecaute, situações estas inaceitáveis por uma sociedade altamente dependente da continuidade e qualidade do suprimento de energia elétrica¹⁸.

Na *Smart Grid* com o uso de medidores inteligentes, os *Smart Meters*, o consumidor possui o controle da sua demanda de consumo da energia elétrica em tempo real, podendo obter além de seu controle de orçamento, voz ativa quanto ao fornecimento ou consumo da energia elétrica¹⁹.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este projeto foi desenvolvido por meio de um conjunto de componentes eletrônicos, dividido em controle, interface com o usuário e dispositivos de leitura das variáveis de energia.

O Arduino foi o hardware de controle escolhido devido a gran-

de capacidade de conectividade e possibilidade de interação com os demais componentes, sendo responsável pelo tratamento de todos os dados recebidos e enviados, bem como a leitura, cálculos de energia e disponibilização dos mesmos para interface via Touch Screen, com o usuário.

Os sensores para leitura de corrente e tensão utilizados foram selecionados para atender os ranges de leitura de cargas residenciais com demanda baixa, porém com rangeabilidade confiável.

Sensor de corrente

O sensor de corrente não invasivo TA12-100 possui

fácil calibração, porém o range máximo é de 5 Ampère não atendendo a demanda de cargas utilizadas em uma residência, com isso seria necessário um transformador de corrente (TC) externo para condicionamento do sinal de corrente para maior demanda.

O sensor de corrente utilizado no protótipo é o ACS712 que funciona por efeito Hall, entre os dois sensores estudados para utilização no protótipo, este destaca-se devido ao maior range de leitura.

O sensor ACS712 possui um erro inicial na leitura de valores de 117mA, que não influencia no funcionamento do protótipo, porém torna a sua calibração no código de leitura trabalhosa, vez que há grande sensibilidade na variação do ciclo da corrente alternada.

Para amortecimento de ruídos da rede, houve a necessidade da inclusão de um capacitor entre a saída analógica de sinal e o terra de referência de alimentação do sensor (GND – filtro graduado de densidade neutra, do inglês *graduated neutral density filter*).

Sensor de tensão

O sensor de tensão utilizado no protótipo é uma combinação entre o sensor por divisor de tensão e o sensor de tensão com transformador, que se faz necessário para proporcionar exatidão e maior nível de segurança.

O transformador utilizado possui relação 25/1, primário de 225 VCA e secundário de 9 VCA.

A variação no secundário é de menor intensidade, assim possibilita maior exatidão nas leituras tanto para circuito em 220 VCA quanto para 127 VCA, sem alteração dos resistores utilizados no divisor de tensão e os capacitores de filtro após retificação, mantendo as características do circuito de potência na leitura dos valores de tensão da rede.

Para realizar as leituras no *Arduino* foi necessária a retificação do sinal de tensão, para haver compatibilidade com o range da entrada analógica do *Arduino* (0 a 5 VCC). Na Figura 3 pode-se observar, então, o circuito desenvolvido para o sensor de tensão acrescido do circuito de retificação.

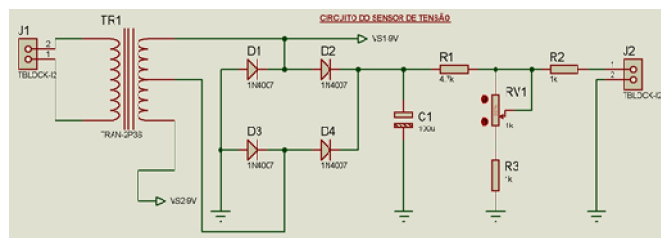


Figura 3. Demonstração do circuito do sensor de tensão por divisão de tensão.

Fonte: Próprio autor utilizando o software Proteus.

Fonte de Alimentação do Protótipo

A alimentação do protótipo foi criada a partir do próprio transformador do circuito de medição, através do condicionamento dos níveis de tensão para alimentar o micro controlador do *Arduino* e os demais componentes do protótipo (sensores, módulo de saída à relé e LCD *touch screen*), e está descrita a seguir:

- Alimentação principal do micro controlador – originada do circuito CA (Corrente Alternada) e condicionada através do transformador Center Tap, com relação de 220 VCA / 2 x 9 VCA, tornando-se em 18 VCA que é a soma dos dois secundários e posteriormente é retificada por diodos em ponte e regulada para 12VCC através do regulador 7812.

- Alimentação secundária do micro controlador com circuito de proteção – realizada por uma bateria de 9 VCC com utilização momentânea quando há falta de energia na rede elétrica.

- A fonte de alimentação externa de 5VCC – utilizada nos componentes de entrada e saída do *Arduino*, e se fez necessária devido ao consumo destes ser maior que o limite de corrente de fornecimento da fonte disponível no *Arduino*. Esta é derivada da mesma ponte retificadora da alimentação principal do micro controlador, porém é regulada para 5VCC através do regulador 7805.

Na Figura 4 está o esquemático do circuito de alimentação dos componentes de entrada e saída do protótipo e o circuito de alimentação do *Arduino*.

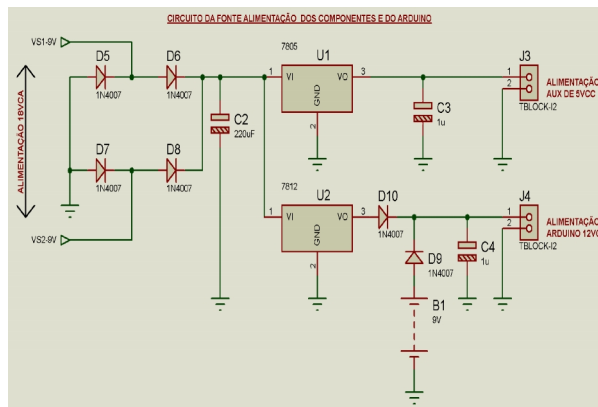


Figura 4. Fonte de alimentação auxiliar 5VCC e do *Arduino* 12VCC. Fonte: Próprio autor utilizando o software Proteus.

Leitura de corrente

A leitura da corrente é realizada em uma porta analógica do *Arduino*, que possui range de sinal elétrico de 0 a 5VCC e resolução de 10 bits equivalente a um valor entre 0 e 1023 decimal. O sensor de corrente ACS712 utilizado no protótipo possui range de leitura de -30 a 30A, onde -30A equivale a 0 decimal ou 0VCC do sinal elétrico e 30A a 1023 decimal ou 5 VCC, sendo assim a leitura no meio da faixa é 0A com valor decimal de 511 e 2,5 VCC.

Para obter a leitura da corrente eficaz (*I*_{rms}) no

ACS712 que possui sensibilidade de leitura de 66mV/A no sinal elétrico, utiliza-se da Equação 3 a seguir.

$$I_{rms} = [I_m \cdot (\frac{5VCC}{1023})] / \text{sensibilidade_sensor} \tag{3}$$

Onde:

I_{rms} – É a corrente média ou eficaz;

I_m – É o valor médio das amostras de amplitude de corrente no ciclo senoidal;

$5VCC/1023$ – Resolução da porta do Arduino;

Sensibilidade_sensor – Sensibilidade do sensor ACS712, capacidade de leitura em milivolt por Ampère, neste sensor 66mV/A.

Leitura de tensão

Assim como na leitura de corrente, a leitura de tensão também é realizada em uma porta analógica do Arduino, com mesmo range de sinal elétrico e resolução, o que diferencia é o seu range de leitura e a equação. O range do sensor de tensão é baseado no valor da tensão de pico da rede de alimentação, no protótipo este foi definido para uma rede de alimentação com valor eficaz (V_{rms}) de 220VCA, que possui valor de pico igual a seu valor eficaz (V_{rms}) multiplicado por raiz de 2 que resulta em $VP = 312VCA$.

Para obter a leitura da tensão eficaz (V_{rms}) do sensor de tensão do protótipo, utiliza-se da Equação 4 a seguir.

$$V_{rms} = [V_m \cdot (\frac{VP}{1023})] \tag{4}$$

Onde:

V_{rms} – É a tensão média ou eficaz;

V_m – É o valor médio das amostras de amplitude da tensão de pico no ciclo senoidal;

$VP/1023$ – Resolução da porta do Arduino (onde VP é a máxima tensão de pico e 1023 é valor máximo decimal da porta do Arduino).

Rotina de programa para cálculo de energia e amostras de leitura

Para garantir exatidão nos dados tratados no protótipo os cálculos de totalização de energia são executados em uma rotina de varredura denominada *interrupt* função onde seu tempo de execução é definido e cíclico e este tempo não é alterado pela execução das demais funções ou rotinas do programa, pois quando é requisitada a execução da *interrupt* é prioritária.

As leituras das variáveis de energia

são tratadas e lidas no código do Arduino na *interrupt* por amostragens em uma frequência de 2KHZ, sendo assim 2000 pontos de leitura de amplitude por segundo ou um ciclo senoidal completo (um período), com isso obtém-se a corrente média eficaz e tensão média eficaz, necessária para o cálculo da potência instantânea ou ativa em Watts.

Cálculo da energia (Wh)

Para realizar o cálculo da energia consumida $Wh = P(W) \cdot t(h)$, é necessário obter a potência ativa do consumidor e o tempo de consumo.

A potência ativa $P(t)$ instantânea em Watt (W) adquire-se do produto da tensão $v(t)$ disponível na rede pela corrente $i(t)$ de consumo, onde $P(t) = v(t) \cdot i(t)$, considerando cargas residenciais com fator de potência unitário.

De posse da variável de potência elétrica $P(W)$, é necessário executar o incremento das variáveis de integração de tempo $t(h)$ para o período de consumo da energia, este é incrementado constantemente no mesmo ciclo da *interrupt* de leitura com contagem de pulso definido para as totalizações dos valores em Wh, onde o $Wh = P(W) \cdot t(h)$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes foram realizados em laboratório utilizando uma carga com potência conhecida, uma resistência de 750W, e como equipamento padrão o medidor de grandezas elétricas MGE144 da ABB (*Asea Brown Boveri*) calibrado e aferido para uso em cubículos de distribuição em subestações. Compartilhando do mesmo circuito elétrico de potência, verificaram-se os resultados das leituras das variáveis elétricas de fluxo (corrente) ligadas em série, e amplitude (tensão) ligadas em paralelo entre os sensores do medidor padrão e protótipo, e estão demonstrados na Tabela 2, nesta também está o erro percentual entre as leituras executadas no MGE144 e as leituras do protótipo.

Tabela 2. Comparação de leituras das variáveis elétricas no medidor padrão e protótipo.

Tensão nominal	Medidor padrão MGE144		Protótipo		Erro		Erro %	
	Tensão	Corrente	Tensão	Corrente	Tensão	Corrente	Tensão	Corrente
127V	125,46 V	5,92 A	124,12 V	5,98 A	1,34 V	-0,06 A	1,08%	-1,00%
220V	Tensão	Corrente	Tensão	Corrente	Tensão	Corrente	Tensão	Corrente
	217,30 V	3,41 A	214,98 V	3,45 A	2,32 V	-0,04 A	1,08%	-1,16%

Como no teste para leitura das entradas de corrente e tensão, a totalização da energia também foi executada utilizando a carga com potência conhecida, uma resistência de 750W, e foi utilizado também o medidor de grandezas elétricas MGE144 como equipamento padrão. Os resultados podem ser observados na Tabela 3, bem como o erro real e percentual.

Tabela 3. Comparação da energia totalizada no medidor padrão e protótipo.

Leituras	Potência ativa instantânea (W)	Energia total em 1 hora (kWh)
Medidor padrão MGE144	740,99	0,740
Protótipo	741,64	0,732
Erro	-0,65	0,008
Erro %	-0,09%	1,08%

Para que possa ser visualizado o resultado físico da construção do protótipo, nas Figuras 5, 6, 7 e 8 estão demonstrados algumas telas do protótipo e o circuito eletrônico desenvolvido.

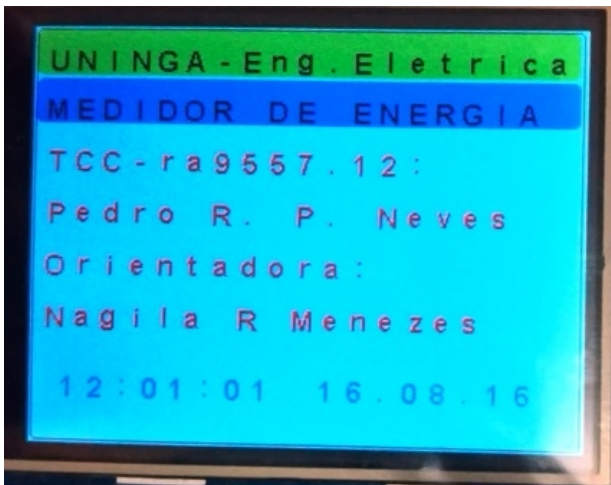


Figura 5. Tela de abertura do protótipo.
Fonte: Próprio autor.

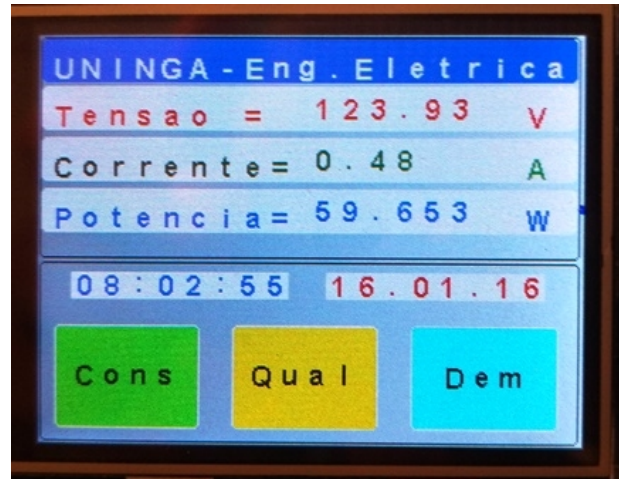


Figura 6. Tela inicial com leitura de dados de leitura em funcionamento com uma lâmpada de 60W no protótipo.
Fonte: Próprio autor.

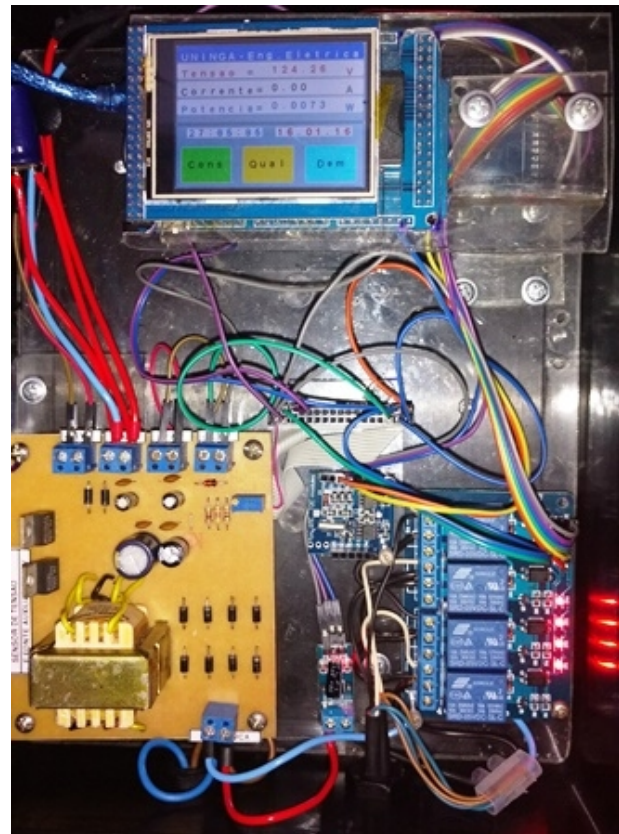


Figura 6. Vista do circuito eletrônico e interligações elétricas do protótipo.
Fonte: Próprio autor.

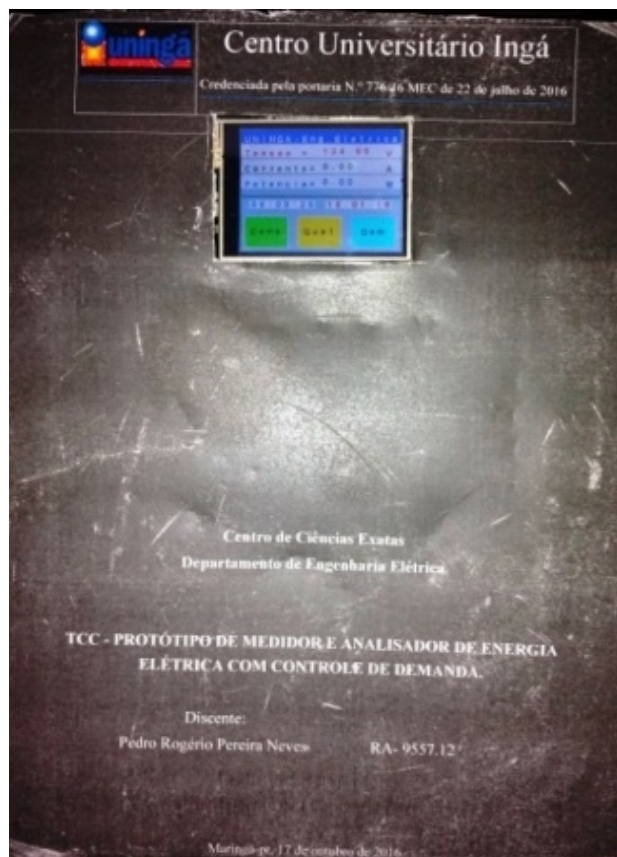


Figura 7. Vista frontal do protótipo.

Fonte: Próprio autor.

4. DISCUSSÃO

Como observa-se nos dados disponíveis na Tabela 2 e 3, pode-se considerar que os valores lidos no protótipo possuem um erro muito baixo, comparado ao medidor MGE144, utilizado como padrão, que é ocasionado devido ao erro de leitura dos sensores de tensão e corrente.

5. CONCLUSÃO

Após avaliação dos resultados obtidos do protótipo devido as suas leituras das variáveis de fluxo, amplitude e cálculos de totalização de energia, conclui-se que os objetivos de adquirir informações relativas ao consumo de energia e disponibilizar os valores monetários em tempo real para o consumidor com erro máximo de 2%, juntamente com a capacidade de armazenamento dos eventos que interferem na qualidade da energia, como sobretensão e subtensão, foram atingidos.

Pode-se considerar que o erro obtido no protótipo se torna um desvio pouco significativo, possibilitando fazer um bom estudo para o orçamento mensal do consumo de energia. Utilizando como exemplo uma residência com consumo médio mensal de 120 kWh e considerando o seu valor unitário de R\$0,641419, com o erro de 1,08%

alcançado no protótipo, a diferença na conta é de R\$0,8313 que é um valor pouco significativo para um total de R\$76,97 do consumo mensal, assim sendo com o acompanhamento dia a dia o usuário não terá surpresa quando receber a sua fatura de energia no final do mês.

REFERÊNCIAS

- [1] CARVALHO, T. P. Um Estudo De Caso Sobre Tarifação De Energia Elétrica Visando Sua Utilização Racional No Centro De Tecnologia Da UFRJ: Escola Politécnica UFRJ, 2012.
- [2] MOREIRA FILHO, J. G. Crise energética brasileira. Disponível em <<http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?id=134830>> Acesso em 28 mar. 2016.
- [3] STREET, A. A Crise Energética de 2015. Disponível em <<http://www.anacebrasil.org.br/portal/index.php/compoment/k2/item/2787-a-crise-energ%C3%A9tica-de-2015>> Acesso em 01 abr. 2016.
- [4] ANEEL, Agência Nacional De Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição De Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, módulo 8 rev. 4 – Qualidade de Energia. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em 03 nov. 2013.
- [5] MARTINS, A. A., OLIVEIRA, A. A., ANNUNCIACÃO, F. L., RIBEIRO, R., CAMPOS, W. R. Tarifador de Energia. São Bernardo do Campo: Centro Universitário da FEI, 2005.
- [6] MEHL, E. L. M.. Qualidade da Energia Elétrica. Curitiba: Universidade Federal do Paraná UFPR.
- [7] NAGAMINE, G. K. Estudo Das Perdas Não Técnicas No Sistema Elétrico De Distribuição E As Tecnologias Utilizadas Para Seu Combate. Disponível em <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/308/1/CT_COELE_2011_2_02.pdf> Acesso em 13 mar. 2016.
- [8] WATTHOURMETERS. A brief history of meter companies and meter evolution. Disponível em <<http://watthourmeters.com/history.html>> Acesso em 13mar. 2016.
- [9] MONTEIRO, D. M. Projeto Básico para Instalação de Medidores Inteligentes no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- [10] LEITE, D. R. V. Medidores Eletrônicos: Análise De Viabilidade Econômica No Contexto Das Redes Inteligentes. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/dissertacao_davi_rabelo.pdf> Acesso em 19 mar. 2016.
- [11] WALKER, J. Transformadores de Corrente: São Miguel do Oeste - SC, SENAI - SC, 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAynYAG/trabalho-sobre-transformadores-corrente#>> Acesso em 18 jun. 2016.
- [12] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos De Física Vol. 3 - Eletromagnetismo, Rio de Janeiro - RJ, editora LTC, 2009.

- [13] FITZGERALD, A. E. Máquinas elétricas: com introdução à eletrônica de potência. Editora Bookman 6ª ed., Rio de Janeiro, 2006.
- [14] SADIKU, M. N. O. , ALEXANDER, C. K. Fundamentos de circuitos elétricos. 5º edição. Editora Mc Graw Hill: New York, 2013.
- [15] DECKMANN, S. M., POMILIO, J. A. Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a1.pdf>> Acesso em 13 mar. 2016.
- [16] LIMA, L. C. A. Controle Da Alimentação Elétrica Para Redução Do Tempo Demandado Por Ensaio De Desempenho De Compressores E Avaliação Da Influência Da Qualidade Da Energia Elétrica Nos Resultados Dos Ensaio. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.
- [17] CPFL ENERGIA. Smart Grid. Disponível em <<http://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/sites-tematicos/smart-grid/Paginas/default.aspx>> Acesso em 06 mar. 2016.
- [18] OLIVEIRA, R. D.; VIEIRA JR., J. C. DE M. Benefícios E Desafios De Redes Inteligentes. Revista Eletrônica de Energia, v. 2, n. 1, p. 3-14, 2012.
- [19] FALCÃO, D. M. Smart Grid E Microrredes: O Futuro Já É Presente. Disponível em <<http://docplayer.com.br/3047489-Smart-grids-e-microrredes-o-futuro-ja-e-presente-djalma-m-falcao-coppe-ufjf-brasil.html>> Acesso em 06 mar. 2016.