

# Desenvolvimento de um medidor de grandezas elétricas utilizando Arduino

Marcos Antonio Andrade Silva<sup>1</sup>, Francisco Jonatas Siqueira Coelho<sup>2</sup>, Poliana Silva<sup>3</sup>, Ricardo Maia Costa<sup>4</sup>, Paulo Soares Filho<sup>5</sup>.

**Resumo**—A medição de grandezas elétricas na indústria, comércio e residências é realizada por meio de equipamentos eletrônicos que, quando para um nível alto de precisão, normalmente possuem atrelado um alto custo de aquisição. Neste patamar estão os multímetros e wattímetros *True RMS* (valor médio quadrático – do inglês *Root Mean Square*) que, mesmo com a presença de distúrbios no sinal, conseguem fazer o cálculo correto do valor eficaz da grandeza em questão. Neste artigo são apresentados os passos para elaboração de um medidor de energia, com um baixo custo para implementação, utilizando o Arduino. O protótipo montado é capaz de medir o fator de potência e calcular as potências ativa, reativa e aparente, além de também permitir a expansão para transmissão de dados, ou ainda o registro e armazenamento.

**Palavras-Chave**—Medição de grandezas, Arduino, Fator de Potência.

## I. INTRODUÇÃO

PARA mensurar grandezas elétricas como tensão, corrente e potência, é necessária a utilização de instrumentos de medição, sejam digitais com valores discretos, ou analógicos, que assumem infinitos valores dentro de sua faixa de operação. Estes instrumentos analógicos possuem características construtivas comuns, dentre elas a presença de uma agulha móvel, espelho e escala graduada, mas também características que os diferem de acordo com sua aplicação [1].

Os instrumentos analógicos têm, ainda, grande utilização devido a relação custo de fabricação x confiabilidade, sendo empregados na indústria, principalmente em portas de painéis elétricos, tendo como limitação a impossibilidade de interação ou integração com outros sistemas. Neste quesito, destacam-se os instrumentos construídos com o advento da microeletrônica, em que, além da facilidade de utilização associada, se tem a possibilidade de comunicação com outros sistemas [2].

Estes equipamentos eletrônicos, quando para a indústria, necessitam de uma melhor acurácia, devido a presença de distúrbios na rede elétrica, provenientes de um dos reveses da expansão da eletrônica: o chaveamento de circuitos transistorizados. Desta forma, é comum a utilização de equipamentos ditos *eficazes verdadeiros*, que realizam o cálculo do sinal baseado na integral da área da curva, em detrimento aos equipamentos comuns que realizam um cálculo simplificado com o valor de pico e um fator constante [3].

Para desenvolvimento de um equipamento que atenda, tanto as necessidades de uso da indústria, quanto das aplicações

residenciais e comerciais, é proposto um dispositivo baseado em Arduino que, com o uso de sensores, torna possível a medição de valores verdadeiros de tensão, corrente, potência e fator de potência.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada contou com um levantamento bibliográfico, que ajudou a referenciar o assunto, tendo como base as técnicas utilizadas e soluções já adotadas.

Depois do levantamento bibliográfico, foi realizado o esboço do projeto, sendo proposta a montagem de circuito para leitura de tensão, outro para leitura de corrente, assim como, também, para o fator de potência, sendo estes valores processados pelo Arduino e tendo, por fim, a apresentação em um display de LCD.

A partir do esboço iniciaram-se as montagens, primeiramente num ambiente simulado, sendo necessárias algumas modificações no circuito, para adequar ao que se havia proposto num menor custo, como a realização da leitura sem a necessidade de uso de um transformador. As etapas realizadas são descritas nas subseções a seguir:

### A. Leitura de tensão

Inicialmente, pensou-se em utilizar um circuito divisor de tensão associado a um transformador. A ideia era reduzir a amplitude da tensão da rede elétrica para  $6 V_{RMS}$  (tensão de saída do transformador), e utilizando dois resistores em série nessa saída, fazer a leitura da tensão senoidal em valores inferiores a  $5 V_{RMS}$  e superiores a zero.

Para isto, caso fosse decidido manter todo o ciclo da onda senoidal, seria necessária a injeção de um valor de tensão em corrente contínua (C.C.), um *offset*, para excursionar o semiciclo da senóide a um valor acima de 0 V, ou ainda um circuito retificador, para garantir que seriam utilizados apenas sinais positivos [4]. Na implementação, evitou-se a montagem de um circuito divisor de tensão associado a um transformador, devido ao elevado custo de um transformador.

Optou-se por utilizar a tensão de entrada, alimentando diretamente um optoacoplador, com um resistor em série. O objetivo do resistor, é o de reduzir a corrente que passa pelo optoacoplador, fazendo com que o mesmo opere dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante. Este novo circuito, apresentado na Figura 1, tem em sua saída um sinal de meia onda, que é proporcional a tensão de entrada, porém limitado aos 5 V que está alimentando o terminal coletor do componente.

<sup>1,2,3,4</sup>Professores do Instituto Federal do Sertão Pernambucano – IFSertão-PE, Pernambuco, Brasil. <sup>5</sup>Aluno do Curso Técnico em Eletrotécnica no Instituto Federal do Sertão Pernambucano – IFSertão-PE, Pernambuco, Brasil. E-mail: marcos.andrade, jonatas.coelho, poliana.silva, ricardo.maia@ifsertao-pe.edu.br, paulo99.filho@gmail.com.

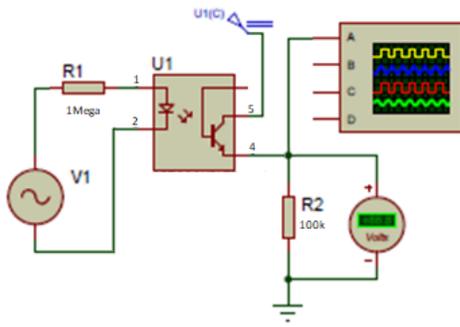


Figura 1. Circuito medidor de tensão.

No circuito implementado, cujo sinal de saída é mostrado na Figura 2, mesmo que ocorra um surto de tensão, as características construtivas do optoacoplador impedem que a tensão de entrada interaja com a da saída, já que seu LED interno produz luz, cujo feixe luminoso é utilizado para excitar a base do fototransistor. Esta característica tem, por consequência, proteger o Arduino dos distúrbios da rede elétrica, já que há uma separação física do circuito de entrada de energia, com a entrada analógica do Arduino.

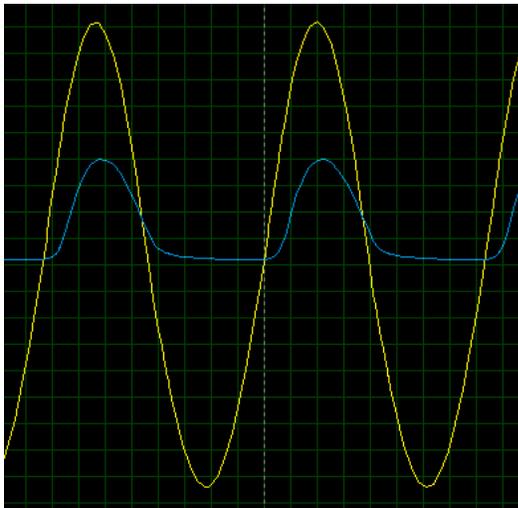


Figura 2. Comparação entrada (amarelo) x saída (azul) do optoacoplador.

**B. Leitura de corrente**

Assim como para leitura de tensão, o circuito implementado foi modificado da proposta inicial para melhoria da performance do sistema. A medição de corrente foi realizada primeiramente por meio do sensor de corrente invasivo ACS712 30 A (Figura 3), que utiliza do efeito Hall para leitura de corrente [5].

O sensor apresenta em sua saída um sinal de tensão, proporcional à corrente de entrada. Pelo fato do sinal da rede elétrica ser senoidal, no algoritmo do Arduino deve-se calcular a raiz quadrada da soma quadrática dos valores lidos para encontrar o valor RMS da corrente, que é o valor lido e mostrado pelos instrumentos convencionais.

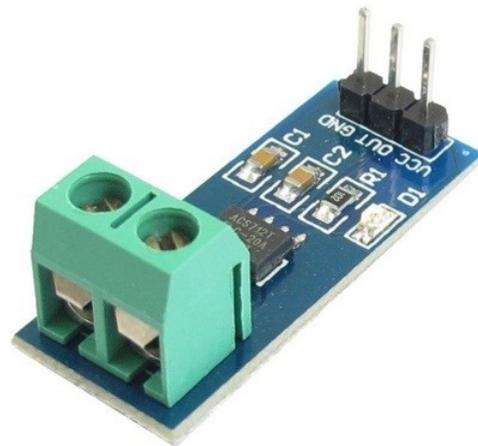


Figura 3. Sensor de corrente ACS712.

Devido aos valores de corrente serem predominantemente baixos, comparados com o seu fundo de escala (30 A), foi necessário realizar a montagem de um circuito para conseguir um ganho no sinal, isto é, um circuito amplificador, utilizando, para isto, um amplificador operacional LM741.

Apesar do sensor ACS712 apresentar um baixo valor de aquisição, seu uso em medições tornar-se-ia inviável, tendo em vista que é necessária a interrupção do circuito, e um circuito adicional para utilização em baixos valores de corrente.

Desta forma, optou-se pelo uso do sensor de corrente não invasivo SCT-013-30A, ilustrado na Figura 4.



Figura 4. Sensor de corrente SCT-013-30A.

Este sensor, além da vantagem de não interromper o circuito a ser medido, apresenta uma tensão senoidal de 0 a 1 V, proporcional a sua corrente máxima de leitura (30 A). A leitura do sinal analógico pode ser realizada diretamente no Arduino, sem a necessidade de nenhum circuito adicional. Todavia, assim como no circuito do sensor ACS712, foi necessário calcular o valor RMS.

**C. Leitura de fator de potência**

O fator de potência pode ser definido como o cosseno do ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente. Ele representa o afastamento que ocorre entre os sinais de tensão e corrente, característico de circuitos reativos (indutivos ou capacitivos).

A leitura do fator de potência é necessária para o cálculo das potências ativa e reativa do sistema, já que apenas a potência aparente pode ser encontrada com o produto escalar do módulo da tensão e da corrente.

Para fazer a leitura do fator de potência, foi necessário implementar um circuito chamado “detector de zero”, o qual utiliza a borda de transição de uma onda quadrada (borda de subida e/ou borda de descida), que é lida por meio da interrupção externa do Arduino [6], registrando assim o instante em que ocorre esta borda de transição. Em outras palavras, o circuito é responsável por marcar o instante em que cada semiciclo senoidal passa por um mesmo ponto, seja o máximo, mínimo ou ponto de inflexão.

Desta forma, inicialmente foi necessário implementar o circuito para converter o sinal alternado numa onda quadrada, como pode ser visto na Figura 5. O circuito projetado utiliza o amplificador operacional LM358 (que tem como vantagem não precisar de alimentação simétrica) como comparador (Figura 6), ou seja, na entrada não inversora é injetado o sinal proveniente da leitura de tensão ou de corrente e, por sua vez, na entrada inversora é adicionado o valor de tensão a se comparar (proveniente de um circuito divisor de tensão). Quando o valor é menor que a referência, a saída é levada a 0V, já quando o valor é maior, ela é levada a 5 V.

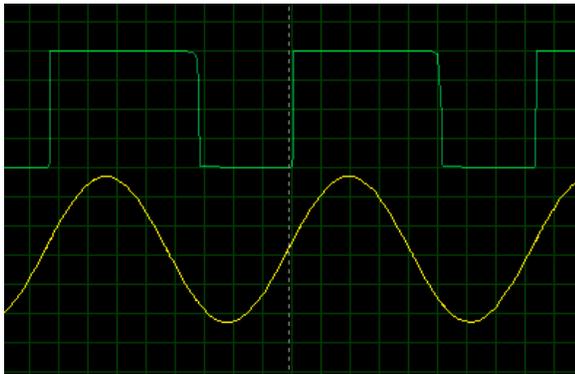


Figura 5. Comparação entre a onda senoidal e quadrada.

#### D. Programação do Arduino

O Arduino é uma plataforma microcontrolada de prototipagem eletrônica, contendo diversos terminais que permitem a conexão com dispositivos externos, como motores, relés, sensores luminosos, diodos a laser, alto-falantes e outros [7]. A escolha do modelo específico a ser utilizado é feita com base nas necessidades do projeto, sendo que, para este, pôde-se utilizar o modelo UNO.

Seja em qualquer versão do Arduino, para sua utilização, deve-se elaborar a programação utilizando a linguagem C/C++ em um compilador como o Maria Mole IDE, feito por um programador brasileiro, ou o próprio do fabricante, disponível em sua página oficial<sup>1</sup>.

Para a leitura de um valor analógico, o Arduino utiliza do seu conversor analógico-digital interno, que possui resolução

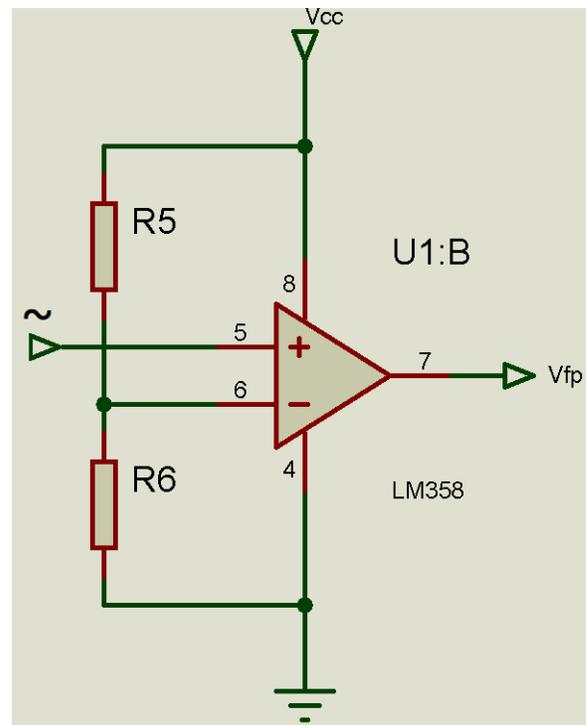


Figura 6. Circuito comparador com LM358.

de 10 bits, ou seja, o valor lido de 0 a 5 V é convertido em um valor que varia de 0 a 1023 ( $2^{10}$ ). Desta forma, para se obter o valor analógico dentro do programa da programação, deve-se multiplicar pelo valor da tensão C.C. do Arduino<sup>2</sup> (5 V) o valor lido na entrada analógica, e dividir pela sua resolução (1024), sendo implementado tanto para tensão como para corrente.

Já na leitura de defasagem, foi necessário utilizar a interrupção externa do Arduino. A rotina de interrupção, ou ISR (do inglês *Interrupt Service Routine*), identifica toda vez que há uma transição de subida (mudança de 0 para 5 V, por exemplo), ou de descida (o oposto do anterior), desde que utilizando os pinos específicos do Arduino, que, para o Uno, se tem apenas os pinos 2 e 3 [9].

A função utilizada no programa atribui a uma variável o instante que a interrupção ocorreu, tanto para a tensão, como para corrente, sendo a diferença deste valor encontrado utilizado para medição do fator de potência. O cálculo do fator de potência se dá com a relação entre o tempo de defasagem das interrupções de tensão e corrente lidas e o fator de potência correspondente. Tendo em vista que a frequência da rede elétrica é de 60Hz, o período de cada onda será de 16.666,67  $\mu$ s, que corresponde a um ciclo completo.

Assim sendo, para calcular o fator de potência, o valor teórico pode ser encontrado por meio de uma regra de três simples, em que a variação da defasagem será proporcional a variação em graus, sendo necessário apenas calcular o valor do cosseno do ângulo correspondente para apresentar o fator de potência do sistema.

<sup>2</sup>O valor da tensão pode variar devido a fonte de alimentação e outras variáveis do circuito que não serão exploradas aqui.

<sup>1</sup><https://www.arduino.cc/>

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a elaboração do protótipo, foi realizado primeiro a simulação do circuito utilizando o Proteus, ilustrado na Figura 7, sendo em seguida realizada a programação do Arduino e, por conseguinte a montagem física, como descrito a seguir.

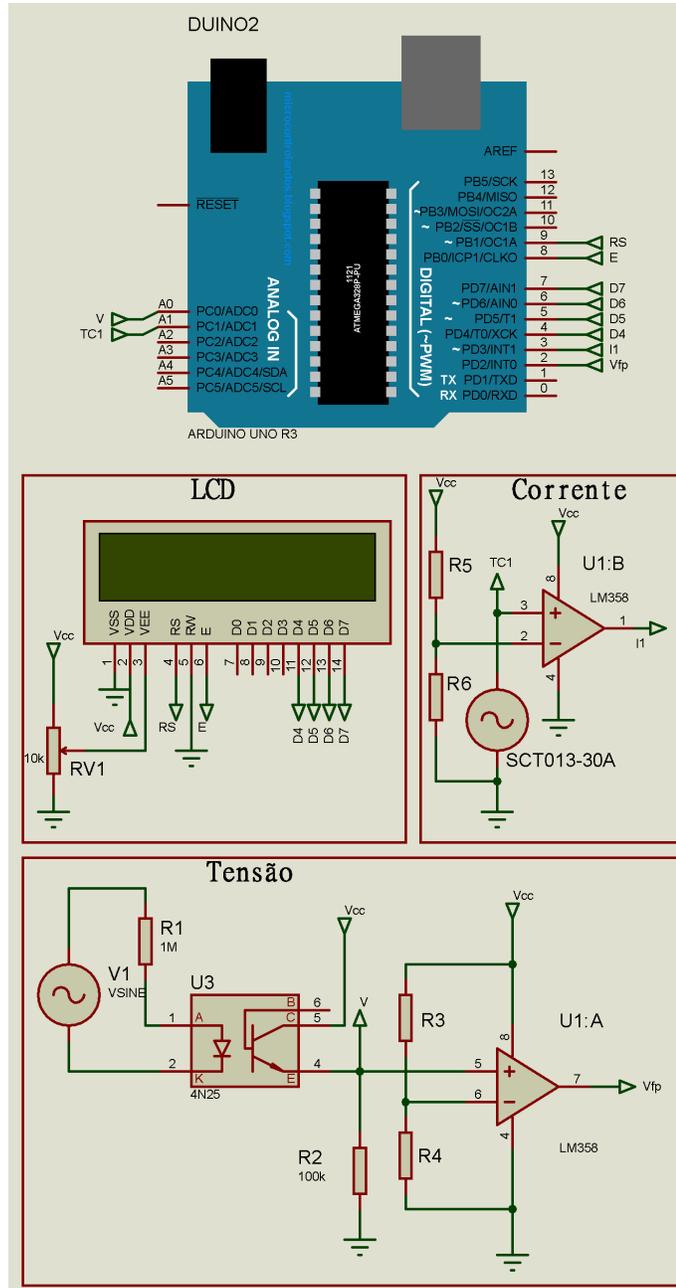


Figura 7. Circuito implementado.

#### A. Circuito completo implementado

O circuito implementado conta com o recebimento da tensão elétrica do sistema pelo optoacoplador, cujo sinal de saída ( $V$ ) é lido pela porta A0 do Arduino. Este mesmo sinal de saída é utilizado na entrada não inversora do LM358, comparando com o valor de referência obtido por meio do divisor de tensão

entre os resistores R3 e R4, o sinal de saída ( $V_{FP}$ ) é mostrado na Figura 8.

Pode-se ver a borda de subida mantendo a mesma frequência/período do sinal anterior. Este sinal de saída é enviado para o pino 2 do Arduino, o qual é configurado para uso como interrupção externa.

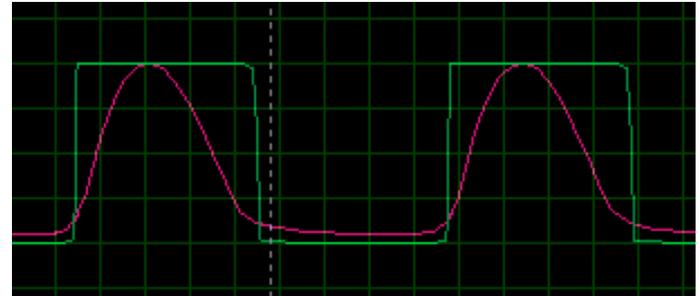


Figura 8. Sinal de onda quadrada da tensão.

O sinal de corrente fornecido pelo SCT013 ( $TC_1$ ) é lido pela porta A1 do Arduino, conseguindo boas leituras para valores acima de 300 mA até 30 A, não sendo implementado circuito amplificador de tensão (já que é feita a conversão para um valor de tensão equivalente), mantendo o sinal fornecido pelo sensor.

A comparação para gerar uma onda quadrada é similar à da tensão, utilizando o LM358 também, cuja saída ( $I_1$ ) é, então, enviada ao pino 3 do Arduino (pino da segunda interrupção externa), cuja rotina implementada atribui a uma variável o instante em que há uma mudança de borda (borda de subida).

O LCD utilizado serve para mostrar as grandezas lidas de forma dinâmica devido à variação dos valores de entrada. Nele, de acordo com a programação, foi mostrado a tensão, corrente, fator de potência e potência ativa, como pode ser visto na Figura 9.

Com o circuito funcionando no simulador, partiu-se para integração dos componentes já montados no protótipo, que ao funcionar como o simulado, permitiu-se iniciar a etapa de calibração, da tensão, da corrente e do fator de potência.

#### B. Calibração do sistema

Nesta etapa, buscou-se a mesma abordagem para calibração da tensão e corrente, tendo em vista que ambos tratam de sinais que variam em amplitude. Por se tratar de sinais analógicos, sua apresentação é feita com o valor RMS, calculado para uma coleção de  $N$  valores, por meio da Equação 1 [3].

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k^2} \quad (1)$$

Em que:

- $x_{rms}$ : valor RMS (tensão ou corrente);
- $N$ : número de amostras;
- $k$ : índice da amostra;
- $x_k$ : valor obtido na  $k$ -ésima amostra.

Para determinar o número  $N$  de amostras ideal, buscou-se inicialmente superamostrar o sinal analisado, tendo em vista

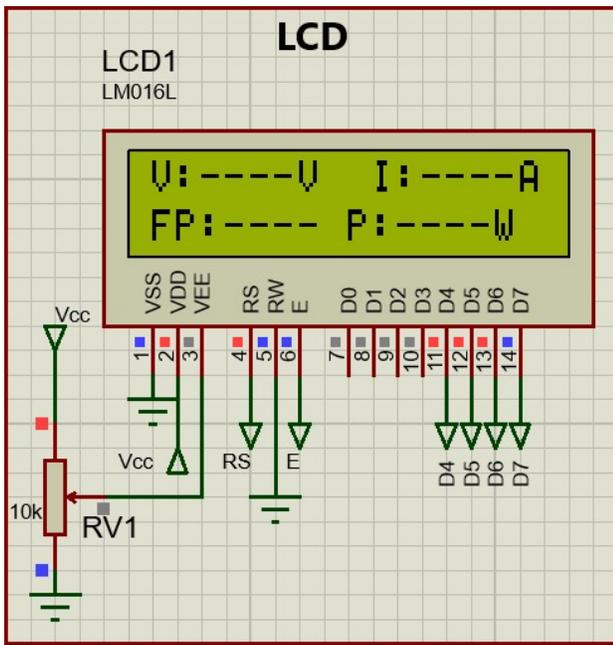


Figura 9. LCD com sinais de saída.

que, de acordo com o Teorema Central do Limite, a soma de N variáveis aleatórias independentes, com qualquer distribuição e variâncias semelhantes, é uma variável com distribuição que se aproxima da distribuição normal quando N aumenta [10].

Para fins de ajuste (calibração), empiricamente, determinou-se um número N igual a dez mil amostras por processo de leitura. Posteriormente esse número foi sendo reduzido até mil amostras. O principal fator para a redução do número de amostras foi o custo computacional que vetores muito grandes, composto por variáveis com ponto flutuantes demandam, ainda mais quando se trabalha com plataformas de recursos limitados como o Arduino. Mesmo com a redução do número de amostras, não foi notado alterações que viessem a comprometer a confiabilidade das medições.

Para melhorar o resultado das medições, fez-se uso da técnica de detecção de passagem por zero. No qual o Arduino só iniciava a amostragem do sinal quando identificava o início do um ciclo do sinal analisado. Com essa técnica pode-se garantir que a janela de amostragem teria o mesmo tamanho do ciclo do sinal, conferindo ao sistema uma maior estabilidade do valor medido.

1) *Calibração de Tensão:* No caso da tensão, foi utilizado um VARIAC como referência padrão, variando sua tensão de saída entre 90,1 a 249,2V, cujos dados coletados são apresentados na Tabela I. Estes dados foram utilizados para elaborar o gráfico de dispersão, mostrado na Figura 10. Da curva, elaborada com auxílio do software Excel, ao adicionar a linha de tendência, percebeu-se uma melhor “acomodação” quando se utilizou uma curva polinomial de grau dois, pois na aproximação linear o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), ficou em 0,985 e, na polinomial, se aproximou de 1 ( $R^2 = 0,9991$ ) [11].

A equação gerada pela curva, Equação 2, foi implementada no algoritmo para que os valores mostrados no display de

Tabela I  
MEDIÇÕES DE TENSÃO.

Nº DE MEDIDAS	TENSÃO MEDIDA PELO ARDUINO	TENSÃO REAL
1	53,71	90,1
2	68,36	100,3
3	83,01	110,6
4	97,66	120
5	117,19	130
6	136,72	140,2
7	156,25	150,6
8	180,66	160,1
9	200,2	170,3
10	229,49	180,5
11	253,91	190,8
12	278,32	200
13	312,5	211,3
14	336,9	220
15	366,21	230,1
16	400,39	240,2
17	434,57	249,2

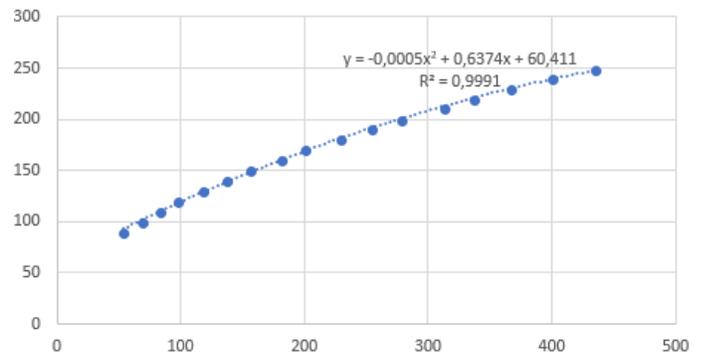


Figura 10. Curva de distribuição do sinal de tensão.

LCD fossem semelhantes ao utilizado, na calibração, cuja comparação foi realizada com o alicate multímetro Politem MS2101 True RMS, apresentando variações inferiores a  $\pm 5\%$ , como apresentado na Figura 11.

$$y = -0,0005x^2 + 0,6374x + 60,411 \quad (2)$$

2) *Calibração da Corrente:* Na calibração de corrente, foi mantido o valor da tensão de alimentação e utilizadas diversas cargas, tanto resistivas, quando reativas, sendo os resultados apresentados na Tabela II.

Da Tabela II foi gerado o gráfico de calibração ilustrado na Figura 12, no qual foi adicionado a linha de tendência, de maneira similar ao que foi realizado na calibração da tensão,



Figura 11. Comparação da medição com o valor do voltímetro.

Tabela II  
MEDIÇÕES DE CORRENTE.

Nº DE MEDIÇÕES	VALOR ANALÓGICO ARDUINO	CORRENTE REAL
1	7,11	0,490
2	9,04	0,590
3	12,41	0,700
4	13,15	0,790
5	14,67	0,890
6	17,07	0,900
7	20,69	1,000
8	21,03	1,100
9	23,51	1,200
10	26,26	1,390
11	29,14	1,500
12	32,91	1,690
13	48,07	2,560
14	73,04	3,420
15	102,32	4,89
16	123,48	6,010

isto é, para verificar a curva que melhor se acomodava. Para este caso, a aproximação linear mostrou um coeficiente de determinação próximo de 1 ( $R^2 = 0,998$ ), sendo assim, a equação gerada por meio da curva gerada (Equação 3) foi implementada no algoritmo para leitura de corrente.

$$y = 0,0469x + 0,1363 \tag{3}$$

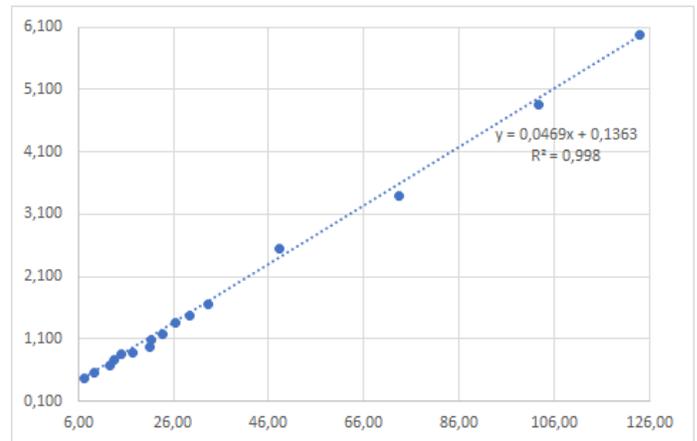


Figura 12. Curva de distribuição do sinal de corrente.

3) *Calibração do Fator de Potência:* A calibração do fator de potência se deu com base no valor teórico das cargas utilizadas, sendo calculada de acordo com a fase da impedância, tendo em vista que ela representa a defasagem da tensão em relação a corrente. Para conversão do ângulo encontrado no instante de tempo correspondente, foi utilizada a Equação 4.

$$Instante = \Phi \times 10^6 \times T \times \frac{1}{360} \tag{4}$$

Em que:

- $\Phi$ : indica o ângulo de defasagem entre a tensão e corrente;
- **Instante**: indica o tempo de atraso correspondente ao ângulo  $\Phi$ , em microssegundos;
- **T**: indica o período do sinal, que para o caso da rede elétrica do Brasil, corresponde ao período da frequência de 60Hz;
- **1/360**: indica o período de um ciclo trigonométrico, que é de  $360^\circ$ .

Com esta conversão, foi realizada as mesmas etapas das grandezas de amplitude, isto é, coletados os valores e gerada a curva, apresentados na Tabela III e na Figura 13. Pode-se ver na Figura 13 que, assim como na corrente, o melhor valor foi apresentado quando utilizada uma equação polinomial de grau 2 (Equação 5) cujo  $R^2$  foi de 0,9981.

$$y = -0,0002x^2 + 0,9603x - 1178,6 \tag{5}$$

### C. Grandezas medidas

Com todos os dados calibrados, foi possível, então, apresentar os valores de medições de tensão, corrente e fator de potência integrados, bem como o da potência ativa, calculado pelo produto dessas três grandezas, que podem ser observados nas duas medições com cargas diferentes, apresentadas na Figura 14.

Apesar de ser possível o cálculo das potências reativa e aparente, optou-se por mostrar apenas a potência ativa, tendo em vista que é a potência apresentada nos eletrodomésticos

Tabela III  
MEDIÇÕES DE FATOR DE POTÊNCIA.

Defasagem Arduino	Defasagem Esperada
1919	0,00
1879	-25,04
1734	-138,21
62	-1080,96
-599	-1899,37
-740	-1945,69
-1350	-2816,28

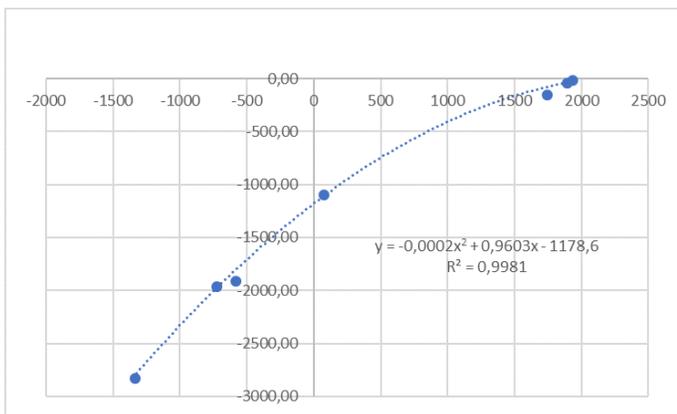


Figura 13. Curva de distribuição do sinal de defasagem.

e de conhecimento do público em geral, independente de conhecimento na área técnica de eletrotécnica.

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A medição de grandezas elétricas por meio de um dispositivo microcontrolado permite a integração e transmissão de dados por meio da telemetria, podendo ser utilizado para um gerenciamento remoto de dados em uma planta (ou processo) industrial, ainda, como parâmetros de entrada de um sistema para escolha de ações, como acionamento de capacitores ou, simplesmente, indicações de alarmes.

Grande parte dos projetos atuais de medição de potência apresentam apenas a medição de tensão e corrente elétrica para cálculo de potência, desconsiderando o fator de potência que influencia de forma significativa no cálculo da potência ativa, tendo em vista a presença de cargas indutivas no sistema, como os motores e transformadores na área industrial ou, ainda, os eletrodomésticos presentes no dia a dia do cidadão comum.

Esses eletrodomésticos apresentam, muitas vezes, um baixo

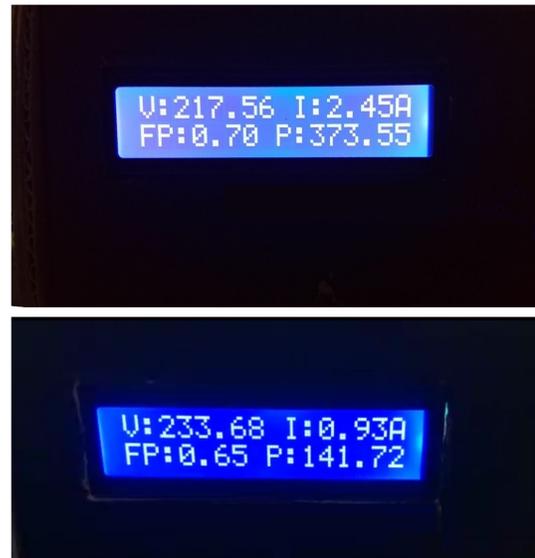


Figura 14. Medições das grandezas.

fator de potência, pois como o consumidor do grupo B<sup>3</sup> não é tarifado pelo consumo de energia reativa, não há a preocupação com o controle do consumo deste tipo de energia, ficando isto a cargo das concessionárias de energia elétrica, que precisam instalar bancos de capacitores na rede de distribuição para suprir essas demandas.

O objetivo do projeto foi atingido, pois, por meio do sistema implementado, é possível realizar a medição de tensão, corrente, fator de potência e potência ativa. Em trabalhos futuros para a melhoria do projeto, se propõe a medição dessas grandezas de forma temporal, isto é, a medição de energia, convertendo o sistema em um equipamento com memória de massa, além de transmitir os dados por meio de comunicação sem fio, para um dispositivo móvel.

#### REFERÊNCIAS

- [1] R. Senra, *Instrumentos e Medidas Elétricas*. São Paulo: Barauna, 2011.
- [2] L. A. C. dos Santos, *Apostila de Instrumentos de Medidas Elétricas*. Aracaju: Faculdade Pio Décimo, 2013.
- [3] K. Nakashima, *Valor médio e eficaz*. Universidade Federal de Itajubá, 2007.
- [4] F. G. Copuano, *Laboratório de Eletricidade e Eletrônica*, 24<sup>a</sup> ed. Editora Érica, 2007.
- [5] ACS712, Datasheet, *Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*, Allegro MicroSystems, 2006.
- [6] S. Monk, *Programação com Arduino II: Passos Avançados com sketches*. Bookman Editora, 2015.
- [7] S. Monk, *Programação com Arduino: começando com Sketches*. Bookman Editora, 2017.
- [8] F. Souza, *Arduino MEGA 2560*. 28 Abril 2014. Disponível em <<http://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>> Data de acesso: 10 Setembro de 2017.
- [9] J. A. Silveira, *Arduino: cartilha de programação em C*. Revista do Arduino, 2012.
- [10] T. Ryan, *Estatística moderna para engenharia*. Elsevier Brasil, 2009.
- [11] L. A. Bertolo, *Estatística aplicada no Excel: probabilidades e estatística*. Matemática, Versão Beta, 2010.

<sup>3</sup>De acordo com a Resolução 414/2010 da ANEEL, o Grupo B é o grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômnia, sendo subdividido nos subgrupos B1, B2, B3 e B4.