



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA 4.0

ENERGY EFFICIENCY IN INDUSTRY 4.0

Danilo de Souza Dias^{1, i}
Hermom Leal Moreira^{2, ii}
Pedro André Braga de Oliveira^{3, iii}
José Ricardo da Silva^{4, iv}

Data de submissão: (24/10/2022) Data de aprovação: (27/04/2023)

RESUMO

A quarta revolução industrial recebeu o auxílio da tecnologia, desta forma desenvolveu uma gestão afinada com o propósito de promover uma sociedade reativa aos processos digitais como característica a gestão dos processos a partir de dados digitalizados desses mesmos processos. O presente artigo, trata do desenvolvimento de um protótipo para medir o consumo de energia elétrica em tempo real, aplicando conceitos de Internet das Coisas - IoT. O objetivo é permitir ao consumidor a tomada de decisão quanto às estratégias de controle de consumo de energia elétrica e possíveis ações de eficiência energética. O protótipo coleta os dados por meio dos sensores, de eletrônica embarcada (Arduino) que processa e transmite os dados para a nuvem que podem ser acessados por smartphones, tablets e computadores através de aplicativos específicos. Na construção do protótipo, foi utilizado um microcontrolador Arduino, que é responsável por processar os dados coletados dos sensores, calcular as grandezas obtidas e exibir essas grandezas em aplicativos em smartphones, web e telas de LCD 16x2. Os resultados obtidos foram satisfatórios visto que, os valores medidos pelos sensores do protótipo correspondem aos valores visto pelo amperímetro, de forma que os valores calculados estão próximos dos teóricos.

Palavras-chave: Arduino. Consumo de energia. Eficiência energética. Indústria 4.0.

ABSTRACT

The fourth industrial revolution received the help of technology, in this way it developed a fine-tuned management with the purpose of promoting a society reactive to digital processes as a characteristic of the management of processes from the digitized data of these same

¹ Pós-Graduado em Eficiência Energética na Indústria na Faculdade SENAI. E-mail: danilo.dias11@fatec.sp.gov.br

² Professor na Faculdade SENAI São Paulo - Campus "Mariano Ferraz". E-mail: hermom.moreira@sp.senai.br

³ Professor na Faculdade SENAI São Paulo - Campus "Mariano Ferraz". E-mail: pedro.braga@sp.senai.br

⁴ Coordenador na Faculdade SENAI São Paulo - Campus "Mariano Ferraz". E-mail: jricardo@sp.senai.br

processes. This article deals with the development of a prototype to measure the consumption of electric energy in real time, applying concepts of Internet of Things - IoT. The objective is to allow the consumer to make a decision regarding strategies to control electricity consumption and possible energy efficiency actions. The prototype collects data through sensors, embedded electronics (Arduino) that processes and transmits the data to the cloud that can be accessed by smartphones, tablets and computers through specific applications. The construction of the prototype used an Arduino microcontroller, which is responsible for processing the data collected from the sensors, calculating the quantities obtained and displaying these quantities in applications on smartphones, web and 16x2 LCD screens. The results obtained were satisfactory since the values measured by the prototype sensors correspond to the values seen by the ammeter, so that the calculated values are close to the theoretical ones.

Keywords: Arduino. Energy consumption. Energy efficiency. Industry 4.0.

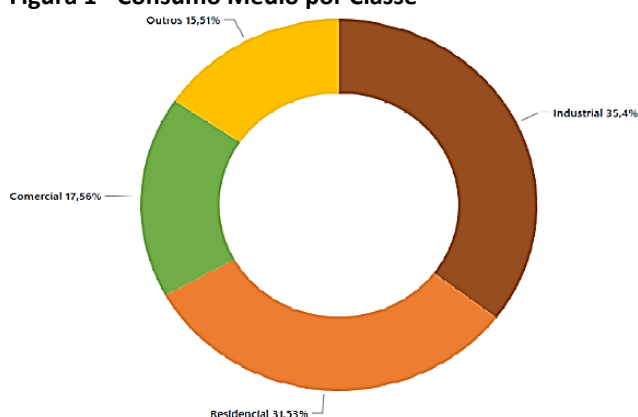
1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica em todas as classes, tem aumentado continuamente no Brasil (EPE, 2022). O avanço do setor de serviços e comércio, bem o consumo residencial do país tem puxado o crescimento do consumo de eletricidade a patamares nunca registrados.

De acordo com os dados mais recentes da Pesquisa Mensal de Serviços (PMS/IBGE), devido ao aumento consecutivo no consumo de energia elétrica no comércio e residências do Brasil, tornou-se necessário a busca por um sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica, possibilitando uma visão geral e pontual desse consumo, assim tornando possível implementar meios de reduzir a demanda de energia elétrica e conseqüentemente reduzir custos.

Atualmente são utilizados os medidores eletromecânicos para a medição de energia elétrica. Os medidores eletromecânicos apresentam desvantagens em relação as *Smart Grids* (SGs), pois os registros do consumo de energia são feitos de forma manual. Enquanto as implementações das redes SG apresentam maior eficiência, sustentabilidade e segurança. Até o ano de 2010, somente nas classes residências e comerciais o Brasil consumiu 176,38 GWH de energia elétrica, já no ano de 2020 esse consumo subiu para 230,69 GWH, comparado com o ano de 2010 houve um aumento de 30% no consumo (EPE, 2022). De acordo com a Figura 1 podemos analisar que o consumo de energia elétrica residências e comerciais atende 49% do total de consumo no Brasil, sendo os setores que mais utilizam energia elétrica.

Figura 1 - Consumo Médio por Classe



Fonte: EPE (2022)

Segundo dados fundamentados, o aumento exponencial da população Brasileira e consequentemente o aumento na demanda de energia elétrica e o seu mau uso, resultam grande impactos ambientais irreparáveis (SANTOS, 2020). O autor destaca que a eficiência energética é um dos instrumentos para redução impactos ambientais. Neste viés, os medidores de energia inteligentes fazem parte dessa solução, desse modo possibilita o consumidor o monitoramento de seu gasto mensal.

Nesta via, as redes inteligentes se apresentam eficaz e parte integrante da eficiência energética, no qual consistem em melhor utilização da energia por parte dos consumidores (GONZAGA; OLIVEIRA; CASTRO, 2019). O autor explica que o gerenciamento do consumo é uma das alternativas para a redução dos custos de eletricidade.

O uso de um medidor inteligente, apresenta-se como alternativa eficiente e poderá substituir as campanhas tradicionais de medição, as quais são delimitadas por um período específico e tem por finalidade, atingir a curva de carga típica do consumidor (MOREIRA, 2021). O autor destaca que as campanhas de medição, bem como as mensurações dos perfis de carga de consumidores individuais, geralmente são realizadas em intervalos de aproximadamente 15 dias, sendo estas amostras aleatórios de consumidores com dispositivos eletrônicos que são instalados pelas unidades consumidoras que geram os dados da medição que posteriormente analisada por técnicos da área.

Vale ressaltar que autores (SANTOS, 2020) têm desenvolvido trabalhos nesta área, como por exemplo, o protótipo trifásico para monitoramento de consumo de energia elétrica utilizando a plataforma Arduino. Outro sistema semelhante monitora o consumo de energia em tempo real utilizando os medidores inteligentes e plataforma Arduino em uma residência (GONZAGA; OLIVEIRA; CASTRO 2019). Seguindo esse paradigma, o atual trabalho também busca em seu desenvolvimento um sistema de monitoramento de baixo investimento, eficientes em seus dados obtidos.

Diante do exposto, o trabalho se justifica como canal e fator motivador para a compreensão da importância do gerenciamento energético e a utilização da energia elétrica com responsabilidade e eficiência. Para tanto, a pesquisa visa desenvolver uma alternativa viável. A criação de medidor de consumo de energia elétrica por meio da medição de corrente elétrica utilizando um microcontrolador, para que a partir deste protótipo de monitoramento o consumidor possa saber em tempo real o valor que está sendo consumido, podendo contribuir na redução de energia do mês. Diferente dos demais trabalhos apresentados no texto, o protótipo apresentado neste trabalho consiste em um sistema de monitoramento

monofásico, não invasivo onde oferece ao consumidor praticidade, eficiência e um baixo custo para fabricação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O estudo proposto é fundamentado na teoria e disponibiliza uma série de conceitos de autores distintos que embasarão a explicação dando sustentabilidade à teoria do tema assegurado pela luz e ideias de autores da área do conhecimento. Em se tratando de pesquisa, pode ser definida através de uma sistemática procedimental que buscar soluções para problemas propostos (GIL, 2002, p. 17). O autor acrescenta que a pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema.

2.1 Eficiência energética

A eficiência energética tem como alvo otimizar o aproveitamento das fontes de energia, assim a redução dos custos, além de contribuir com o meio ambiente. Isso significa realizar os mesmos processos utilizando menos recursos (COSTA, 2019). O uso racional de energia, simplesmente chamado de eficiência energética, é usar menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético (GAMA NETO et al., 2011).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2013):

A eficiência energética consiste na relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Adotam-se, como pressupostos básicos, a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a mitigação dos impactos ambientais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013).

As atitudes necessárias para aumentar a eficiência energética são: ampliar a pesquisa sobre o uso eficiente de energia para toda a cadeia de produção de produtos e serviços; ampliar a adoção de certificação; incentivar o uso de indicadores; ampliar o alcance das regulamentações de mercado; incentivar o mercado de eficiência energética; buscar padrões de eficiência; observar a eficiência global de processos (SAIDEL, 2009).

Em síntese, a utilização responsável da energia, traz benefícios, como a redução de custos e principalmente, minimizar o impacto ambiental e contemplar todos que necessitam diariamente de energia (OLIVEIRA, 2016).

2.2 Indústria 4.0

A partir do surgimento da indústria até os dias atuais, diversos acontecimentos marcaram as mudanças e evoluções ao longo do tempo. No século XVIII com o surgimento da máquina a vapor os processos que eram realizados manualmente foram sendo substituídos por máquinas e assim surgiu a Primeira Revolução Industrial. A partir do surgimento de novas tecnologias como a eletricidade, os meios de comunicação, modernização dos meios de

locomoção, em 1870 surgia a Segunda Revolução Industrial. Esse período foi marcado pelo Fordismo (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

A Terceira Revolução Industrial, foi marcada por um grande avanço tecnológico no campo das telecomunicações, robótica, dos transportes, da informática e estudos científicos. A partir desses avanços e o surgimento da internet, as indústrias continuaram investindo em tecnologias capazes de otimizar o tempo e produzir de forma rápida, suprimindo a necessidade do mercado que se torna cada vez mais competitivo (SAKURAI; ZUCHI, 2018).

A Indústria 4.0 ou também denominada como Quarta Revolução Industrial, surge com a tecnologia digital e a necessidade de evolução no setor industrial (MOREIRA, 2021). O modelo da Indústria 4.0 se baseia em alguns princípios, dentre estes podemos citar, a Capacidade de Operação em Tempo Real, Virtualização, Descentralização, Orientação de Serviços, Modularidade e Interoperabilidade (através do conceito da Internet das Coisas) (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

A literatura revela que as práticas e o conhecimento da Indústria 4.0 são necessários para empresas e profissionais interessados em se integrar em grandes e modernos mercados industriais. Antes de se familiarizar com a Indústria 4.0, é importante conhecer as tecnologias mais relevantes para a implementação e funcionamento da Indústria 4.0.

A Internet das Coisas é um conceito que vai além do domínio das tecnologias, pois não deriva delas, mas as utiliza para realizar uma série de funções. Existem muitas tecnologias envolvidas em conceitos e essas são apenas algumas delas que estão relacionadas à conexão física de objetos ou infraestrutura básica como conexões cabeadas e sem fio (OLIVEIRA, 2017).

Aplicações de Segurança Cibernética possibilitam o uso dos meios de comunicação de maneira mais confiável e sofisticada a cada dia (RÜßMANN et al., 2015), onde a maior conquista de qualquer programa ou produto altamente tecnológico é a segurança. Problemas e falhas podem pactuar todo o trabalho a ser desenvolvido (SILVEIRA, 2016).

O termo Computação em Nuvem refere-se, por exemplo, ao acesso a determinados bancos de dados em milésimos de segundo por meio de dispositivos conectados a internet (RÜßMANN et al., 2015).

Em Robótica avançada a flexibilidade e adaptabilidade dos robôs possibilitam maior interação entre máquina e homem no futuro sendo que a Inteligência artificial tende a minimizar custos, prover ganhos na eficiência e automatizar determinadas atividades em diversos empregos (SCHWAB, 2016).

Diante da vasta inovação que a Indústria 4.0, traz, seu desenvolvimento submerge a desafios que vão a grandes investimentos em equipamentos que se ajuntem essas nova tecnologias, à adaptação de layouts, adaptação de processos e criação de novas formas relacionamento entre as organizações, bem como o desenvolvimento de novas especialidades e competências.

2.3 Custo da energia elétrica

Para calcular a energia elétrica consumida pelo monitoramento, é necessário utilizar os dados de grandeza elétrica obtidos dos sensores de tensão e corrente a serem aplicados neste trabalho. O primeiro dado a ser obtido é o valor da corrente elétrica, onde foi calculado a potência, dada pela expressão (1).

$$P = i \times v \quad (1)$$

Onde (P) é a potência encontrada na fórmula em Watts, (i) a corrente coletada pelo sensor SCT-013 em Ampere, e (v) é tensão coletada pelo sensor LM358 dada em Volt. Foi definido também o tempo (Δt) de medição, dado pelo sensor RTC. Assim, com o valor da potência e do tempo, foi possível encontrar o valor da energia elétrica gasta (2).

$$E = P \times \Delta t \quad (2)$$

No entanto, para converter a unidade de energia elétrica em kWh, é preciso considerar que 1 kWh equivale a 3.600.000 J, obtendo-se assim energia elétrica na forma mais conhecida pelos consumidores e mais utilizadas pelas concessionárias de energia elétrica conforme (3).

$$E_{kwh} = \frac{E}{3.600.000} \quad (3)$$

Para obter o custo em reais (R\$), alcançado em relação ao kWh consumido ao longo do tempo de monitoramento (CR\$), utiliza-se (4), que apresenta o produto entre a energia em kWh consumida ao longo do monitoramento e o valor, em R\$, de 1 kWh faturado pela concessionária de energia (kWh).

$$C_{(R\$)} = E_{kwh} \cdot kWh \quad (4)$$

3 METODOLOGIA

No que diz respeito à abordagem do tema, a análise é teórica, na qual os dados proporcionarão implicações exatas e por meio de texto expondo o conceito com base nos estudos e citações, levando-se em conta exterioridades complacentes dos estudiosos. Para Astivera (1973), a metodologia é baseada em procedimentos cujo para alcançar os objetivos de uma determinada investigação.

Quanto aos critérios de inclusão, a investigação dos elementos discorreu-se no período de 2000 a 2022 abarcando referências a temática. Adotou-se a indagação em registros com a flexibilidade do texto completo, constituindo-se eletrônico ou não, sendo que as amostras se deram-se a partir da leitura do resumo dos artigos, de modo que responderam o problema da pesquisa. Já os critérios de exclusão, não foram apreciados os artigos que não chegaram às expectativas do tema.

3.1 Desenvolvimento de esboços usados

Para o esboço do protótipo, o código de programação foi desenvolvido pelo sistema protótipo monofásico, ou seja, considerando apenas os dados de tensão e corrente para a fase específica do circuito. Inicialmente o código de programação foi desenvolvido no IDE da plataforma Arduino, onde obtém o valor da corrente através do sensor (SCT - 013 com corrente máxima de 100 A), para receber o valor da tensão foi utilizado um sensor (LM358 com tensão que varia de 90 a 250V AC) que mede a tensão pico a pico provê informações sobre o valor máximo (tensão de pico) e o converte em um valor RMS (CARVALHO, 2011). No entanto, foi necessário calibrar o sensor LM358 dos valores para obter uma melhor exatidão na medição. O comando print utilizou um display de 16x2 para exibir os dados ao consumidor.

Também neste protótipo foi utilizada uma placa Ethernet Shield para conectar o microcontrolador Arduino à internet (OLIVEIRA, 2018), onde os dados coletados pelos sensores de tensão e corrente são processados no microcontrolador e enviados para um

servidor online no qual o consumidor através do smartphone ou web consiga em tempo real a partir do software instalado no dispositivo o consumo e o valor a ser pago.

Além disso, neste trabalho, o valor de 1kWh foi considerado R\$ 0,48 (ELEKTRO, 2021), mas pode ser facilmente modificado de acordo com o padrão da concessionária. A razão pela qual esse valor foi atribuído ao kWh, foi que ele estava vinculado a um cálculo médio da energia total consumida por um consumidor (no caso residencial), onde são consideradas tarifas e impostos. Estas tarifas são encargos adicionais cobrados com o custo de cada residência. Esse método é válido, pois o objetivo do trabalho é dar ao consumidor uma estimativa do valor consumido e não o valor exato, apenas para que ele tenha conhecimento do seu consumo.

3.2 Montagem do protótipo

O medidor de consumo de energia foi desenvolvido primeiramente em uma protoboard onde foram determinadas as pinagens dos componentes aplicados no projeto. A Figura 2 mostra o microcontrolador, que funciona como um canal de comunicação entre os sensores, display e o aplicativo Blynk. Esta figura mostra todos os pinos do Arduino, principalmente o VCC, que corresponde à diferença de tensão e representa o nível lógico binário de (0 e 1), alterando a tensão de 0V (LOW = 0) para 5V (HIGH = 1).

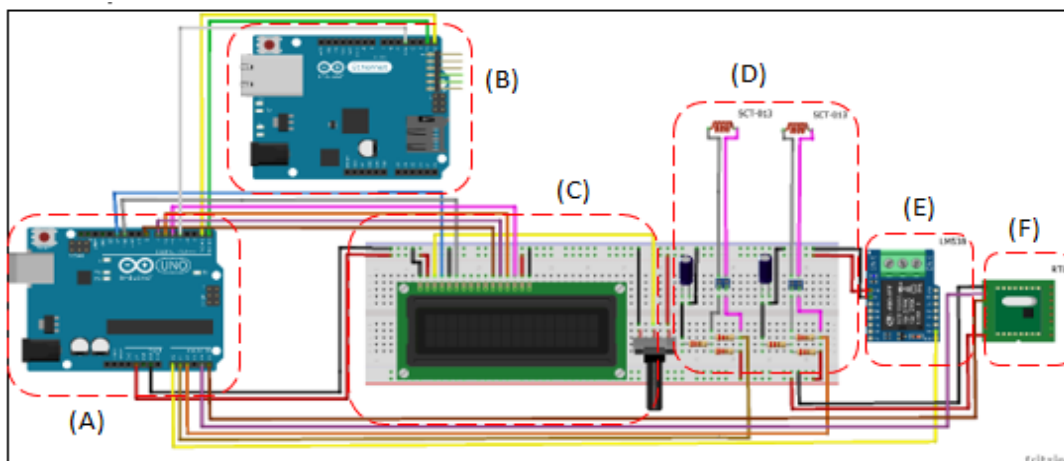
Figura 2 - Pinagens do Microcontrolador

Pinagem Atmega 328		
Arduino function		Arduino function
reset	(PCINT14/RESET) PC6	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13) analog input 5
digital pin 0 (RX)	(PCINT16/RXD) PD0	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12) analog input 4
digital pin 1 (TX)	(PCINT17/TXD) PD1	PC3 (ADC3/PCINT11) analog input 3
digital pin 2	(PCINT18/INT0) PD2	PC2 (ADC2/PCINT10) analog input 2
digital pin 3 (PWM)	(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	PC1 (ADC1/PCINT9) analog input 1
digital pin 4	(PCINT20/XCK/T0) PD4	PC0 (ADC0/PCINT8) analog input 0
VCC	VCC	GND GND
GND	GND	AREF analog reference
crystal	(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	AVCC VCC
crystal	(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	PB5 (SCK/PCINT5) digital pin 13
digital pin 5 (PWM)	(PCINT21/OC0B/T1) PD5	PB4 (MISO/PCINT4) digital pin 12
digital pin 6 (PWM)	(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3) digital pin 11 (PWM)
digital pin 7	(PCINT23/AIN1) PD7	PB2 (SS/OC1B/PCINT2) digital pin 10 (PWM)
digital pin 8	(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	PB1 (OC1A/PCINT1) digital pin 9 (PWM)

Fonte: ARDUINO, 2022

Abaixo, observa-se o esquema de ligação do protótipo, contendo um microcontrolador (placa Arduino Uno) no ponto (A), que serve como canal para processamento dos dados coletados. No campo (B), a Ethernet Shield (modelo W5100) tem a função de enviar os dados coletado via internet para um servidor online, onde será visualizado pelo consumidor através do aplicativo Blynk. No campo (C), é possível ver um Display de 16x2 que tem o papel de exibe os valores das grandezas medidas. No campo (D), e possível verificar o circuito elétrico polarizado cuja missão é converter o sinal de corrente recebido de forma alternada em um sinal de corrente com valor positivo em corrente contínua. O campo (E), mostra o sensor de tensão (modelo LM358) que tem o dever de enviar para o protótipo informação sobre o valor da tensão. E por fim, o sensor RTC (F), cuja principal função é manter os dados de data e hora atualizados.

Figura 3 - Esquema de ligação do protótipo

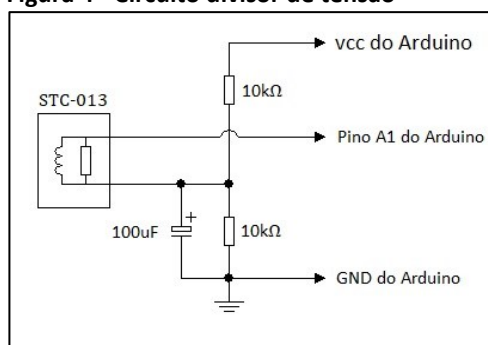


Fonte: Elaborado pelo autor

Neste protótipo foram colocados dois sensores de corrente tipo grampo para a medição da entrada geral monofásica (YHDC, 2015), onde serão instalados diretamente nos cabos do quadro de distribuição sem a necessidade de prolongar o cabo para passar pelo sensor, pois os sensores trabalham de modo invasivo. Estes sensores instalados na entrada são utilizados para medir o consumo geral da residência, tendo assim uma visão geral de consumo. Através do sensor corrente SCT-013 de 100A foi feito as medições das correntes que passavam pelo circuito elétrico, com isso foi possível verificar corretamente os valores de saída que o sensor estava medindo.

O sensor SCT-013 é ligado ao pino A1 do Arduino, por se tratar de uma porta analógica e impossibilitado de fazer a leitura de valores, para atender os requisitos das entradas das portas analógicas, que é uma tensão de 0V e 5V, foi feito um circuito divisor de tensão conforme pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Circuito divisor de tensão



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3 Materiais utilizados

Para elaboração desse projeto foi utilizado componentes de baixo custo, o que viabiliza a produção, obtendo uma margem de custo-benefício muito atraente aos consumidores. Os materiais necessários para elaboração do protótipo são:

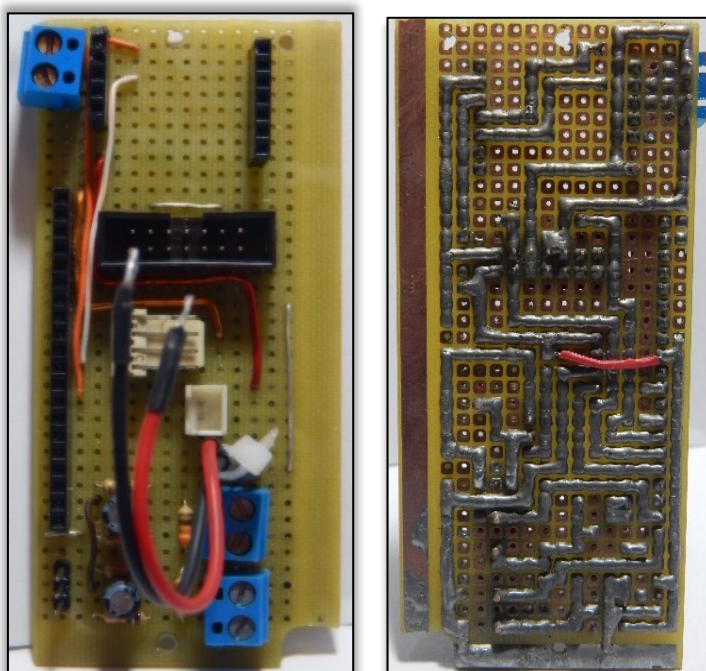
- a) um Arduino UNO;
- b) uma placa Ethernet;
- c) dois sensores de corrente SCT-013;

- d) quatro resistores de 10k Ω ;
- e) dois resistores de 330 Ω ;
- f) dois capacitores de 100 μ F;
- g) sensor de tensão LM358;
- h) sensor de tensão analógico;
- i) três terminas de bloco com parafuso;
- j) uma placa de fenolite tipo trilha de 10x5cm;
- k) uma caixa de montagem de 12x13cm;
- l) cabo flat com terminais flat;
- m) display de 16x2.

3.4 Montagem da placa

Para a produção do circuito impresso foi utilizada a placa de fenolite tipo trilha de 10x5cm na qual foi desenhada as trilhas do circuito, com solda e em seguida foram montados os componentes conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Montagem dos componentes na placa de Fenolite



Fonte: Elaborado pelo autor

Após os componentes soldados na placa, o próximo passo foi realizar a conexão entre a placa de circuito impresso e o Arduino. Para evitar problema com conexão, foi utilizado conectores ao lado do Arduino, e o cabo flat com conectores para facilita a desmontagem. O protótipo final pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Aspecto do medido montado

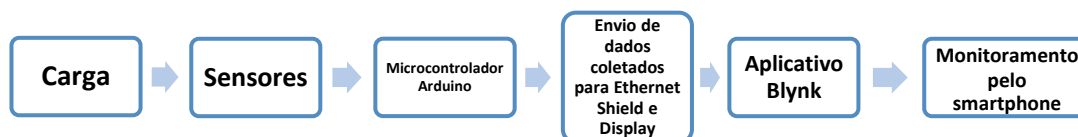


Fonte: Elaborado pelo autor

3.5 Funcionamento do protótipo

A montagem dos dispositivos é dividida em algumas partes, a primeira é a análise do hardware, onde os dados dos sensores de corrente e tensão são coletados e armazenados e processados no microcontrolador. Após a leitura os dados serão enviados para a tela instalada no protótipo, em seguida enviará os dados lidos para um banco de dados na rede através do Ethernet Shield, para que possa ser acessado de qualquer lugar que tenha acesso à internet.

Figura 7 - Fluxograma de funcionamento do dispositivo



Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seção apresenta os resultados obtidos com a criação de protótipos monofásicos para monitoramento do consumo de energia, seu funcionamento com as cargas conectadas e seu desempenho em relação aos valores teóricos obtidos pelas equações (1) a (4). O método utilizado para aferição das medições coletadas do protótipo acima foi de comparação. Para isso, foi utilizado como base de leitura para comparação o alicate amperímetro Minipa, modelo ET-3200A. O sensor experimental e o alicate de corrente são instalados na mesma fase da alimentação da carga. Conforme pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 - Comparação entre a corrente do amperímetro e protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 Resultados obtidos a partir de medições monofásicas

O protótipo, utilizou-se uma carga puramente resistiva, sendo ela, um forno elétrico com tensão de alimentação de 110V e potência de 1000W para que a medição da tensão possa ser feita de forma mais clara, pois este tipo de carga requer um alto valor de corrente ao operar. Com isso, a medição foi feita no início do processo como pode ser visto na Figura 9, onde são apresentados apenas os valores de tensão, corrente, potência e custo, sendo os valores de energia e consumo zero, pois o monitoramento não havia sido iniciado.

Figura 9 - Início do processo de monitoramento, visto pelo, aplicativo e web



Fonte: Elaborado pelo autor

Após 30 minutos, novas medidas impressas no protótipo são expostas na Figura 9. Nesta figura já podemos ver o tempo de observação, a potência consumida e o custo aproximado a ser custeado.

No entanto, foi necessário verificar se os valores apresentados pelo protótipo na Figura 10, estavam corretos. Para isso foram utilizadas as fórmulas (1) – (4). Inicialmente foi realizado o cálculo da Potência(P), usando (1), levando em conta os valores de Tensão (V) e a corrente (A) retirada na figura 10.

$$P = 6,67 \times 120 = 800,4 \text{ W} \quad (5)$$

Figura 10 - Final do processo de monitoramento, visto pelo protótipo, aplicativo e web

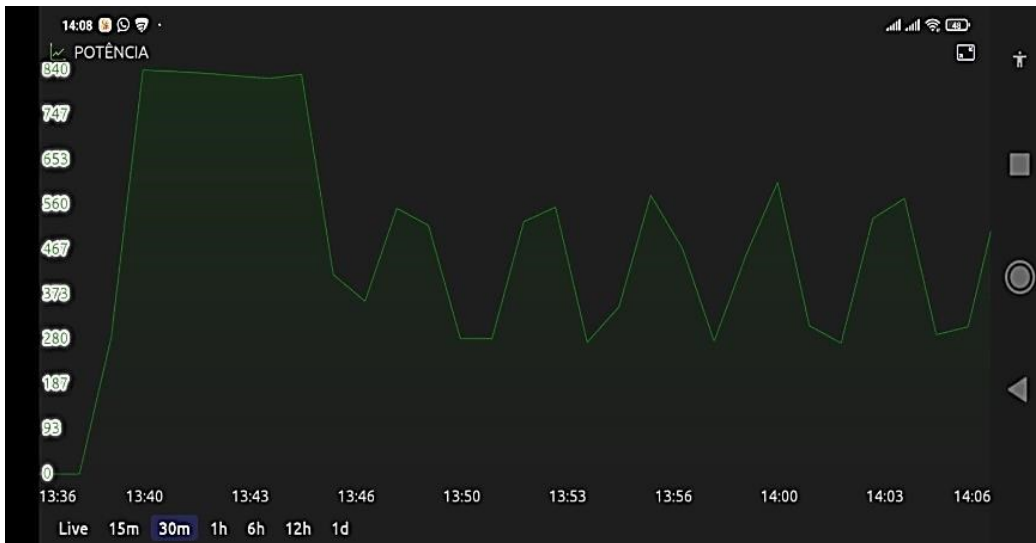


Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando que o valor de potência (P) não varia significativamente durante o período de monitoramento, pois os valores de tensão (V) e corrente (A) também não variam, foi então calculado se a energia (E) consumida, usando (2), em que o tempo total de monitoramento (Δt) a ser considerado é de 30 minutos, conforme mostrado na Figura 11, ou seja, 1800 segundos.

$$E = 800,4 \times 1800 = 1440720 \text{ J} \quad (6)$$

Figura 11 - Período de monitoramento iniciando às 13:37 e finalizando às 14:07



Fonte: Elaborado pelo autor

No entanto, o valor de energia (E) consumida em Joule foi alterado para KWh, aplicando (3).

$$E_{kwh} = \frac{1440720}{3.600.000} = 0,4002 \text{ kwh} \quad (7)$$

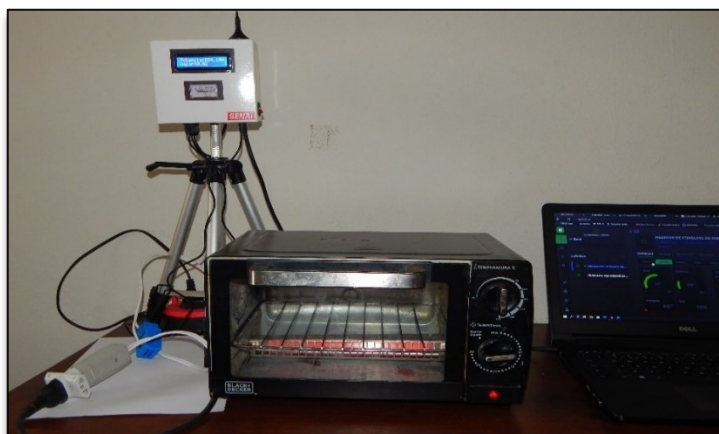
Por fim, para calcular o custo devido à operação do equipamento foi utilizado (4), considerando o valor de R\$ 0,95 por kWh pelos motivos já explanados acima.

$$C_{(R\$)} = 0,4002 \cdot 0,48 = R\$ 0,20 \quad (8)$$

Assim, obtendo uma estimativa do custo calculado após 30 minutos de uso do forno elétrico (R\$ 0,20), muito próximo ao valor apresentado na tela do protótipo (R\$ 0,23), para que o resultado possa ser considerado satisfatório para o mono- caso de fases.

No entanto, na Figura 12 é possível observar o projeto totalmente montado com o forno elétrico (carga de teste) conectada ao protótipo de monitoramento.

Figura 12 - Protótipo conectado ao forno elétrico



Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONCLUSÃO

Desde os primórdios do homem moderno, as sociedades procuram constantemente formas efetivas de organizar seus processos e atividades a fim de afiançar melhores qualidades, desempenhos e diferenciais competitivos, e com o avanço da tecnologia, coligado novas metodologias, nasceram inúmeras ferramentas que tem como alvo auxiliar, mensurar e economizar.

Por meio desse trabalho, realizou-se uma análise no referencial teórico, com o escopo de encontrar ferramentas disponíveis no mercado, metodologias, técnicas de redução de consumo de energia elétrica e como pilar para alguma dessas ferramentas e evidenciar seus pontos fracos e fortes, para que assim fosse possível fornecer ideias de funcionalidades ativas que contribuíssem para a modelagem da solução que foi apresentada neste trabalho.

Neste artigo, foi desenvolvido um protótipo para monitoramento do consumo de energia em tempo real utilizando sensores não invasivos em combinação com um microcontrolador Arduino. Primeiramente, um modelo monofásico do protótipo foi montado e demonstrado para carga monofásica em ambiente controlado apenas para se ter o conhecimento do funcionamento do modelo.

No protótipo montado, foi utilizado um forno elétrico para validação, medindo quanto consome em um determinado tempo. Considerando que não há variação nos valores de tensão e corrente nas fases do sistema ao longo desse período de monitoramento, obteve-se um resultado satisfatório, pois o valor obtido no protótipo está muito próximo do valor calculado.

A utilização deste projeto permitirá uma reavaliação dos padrões de consumo dos consumidores para otimizar o consumo de energia, garantindo que o valor custeado mensalmente também seja reduzido. Constatou-se que a leitura em tempo real e remota do consumo de energia elétrica gera mais conhecimento para o usuário, despertando a curiosidade e conseqüentemente a conscientização, o consumidor passa a contribuir diretamente para a eficiência energética e proteção ambiental através da redução do consumo.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **O que é Arduino?** 2022. Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 01 abr. 2022.

ASTI VERA, A. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Porto Alegre: Globo, 1973.

CARVALHO, Mauricio Feo Pereira Rivello. Automação e controle residencial via internet utilizando Arduino. In: **SEMANA DE EXTENSÃO**, 1., Rio de Janeiro. Anais, 2011. Disponível em: https://portal.cefetrj.br/files/extensao/outros/livro_sem_ext_2011.pdf. Acesso em: 01 abr. 2022.

COSTA, João Filipe Ibanhez da. **Eficiência energética na administração pública: uma investigação baseada no projeto ENERGIF do Ministério da Educação.** 2019. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em:

https://www.bdm.unb.br/bitstream/10483/25658/1/2019_JoaoFilipeIbanhezDaCosta_tcc.pdf. Acesso em: 18 out. 2022.

ELEKTRO. **Tabela de tarifa de energia elétrica.** 2021. Disponível em:

https://www.neoenergiaelektro.com.br/Media/Default/pdf/ELEKTRO_TARIFAS_ENERGIA_ELTRICA_GRUPO_A_27%20AGOSTO_2021_REH_N%C2%BA_2.927.pdf. Acesso em: 01 jun. 2022.

EPE. **Painel de monitoramento do consumo de energia elétrica.** 2022. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 01 jun. 2022.

GAMA NETO, Airton. S.; GARCIA, Lúcio. F. S.; GOMES, William A.S.; AZEVEDO, Anderson P. Análise de um projeto de eficiência energética em um posto de combustíveis com base metodológica no protocolo internacional de medição e verificação de performance (PIMVP).

Perspectivas Online, v.2, n.1, p.54-73, 2011. Disponível em:

https://ojs3.perspectivasonline.com.br/exatas_e_engenharia/article/download/158/89/. Acesso em: 01 jun. 2022.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONZAGA, Suelen Lobato; OLIVEIRA, Livia da Silva; CASTRO, Anderson de Oliveira. **Sistema de monitoramento de consumo de energia em tempo real utilizando os medidores inteligentes e plataforma arduino em uma residência.** 2019. Disponível em:

<https://www.itegam-jetia.org/journal/index.php/jetia/article/view/503>. Acesso em: 01 jun. 2022.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Eficiência energética e conservação de energia.** 2013.

Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/search?SearchableText=Efici%C3%Aancia%20energ%C3%A9tica%20e%20conserva%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia>. Acesso em: 18 out. 2022.

MOREIRA, Hermom Leal. **Aplicações da resposta da demanda em redes elétricas inteligentes: uma abordagem para implementação, prototipagem e otimização.** 2021. 255 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-20122021-153543/publico/HermomLealMoreiraCorr21.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2022.

OLIVEIRA, Sérgio. **Internet das coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry PI**. São Paulo: Novatec, 2017.

OLIVEIRA, Euler. **Como usar com Arduino - Ethernet shield W5100 (Web Server)**. 2018. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/arduino-utilizando-o-ethernet-shield-w5100-via-web-server>. Acesso em: 01 jun. 2022.

OLIVEIRA, Lacyane Kryсна dos Santos; RÊGO, Rejane de Moraes; FRUTUOSO, Maria Núbia Medeiros de Araújo; RODRIGUES, Sofia Suely Ferreira Brandão. Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável. **HOLOS**, v. 4, p. 217-230, 2016.

RÜßMANN, Michael, et.al. **Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries**. The Boston Consulting Group. 2015.

SAIDEL, Marco Antonio. **Sustentabilidade: a contribuição da eficiência energética**. São Paulo: GEPEA, 2009.

SAKURAI, Ruudi; ZUCHI, Jederson Donizete. As revoluções industriais até a indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. Disponível em: http://www.em.ufop.br/files/40_Sakurai_e_Zuchi_As_revolues_industriais_at_a_Industria_40.pdf. Acesso em: 01 jun. 2022.

SANTOS, Erik Thauan Mendes. Protótipo trifásico para monitoramento de consumo de energia elétrica utilizando a plataforma arduino. **Brazilian Applied Science Review**, v.4, n. 5, p. 2939-2953, set. 2020. DOI: 10.34115/basrv4n5-015.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Indústria 4.0: o que é, e como ela vai impactar o mundo**. CITISYSTEMS. 2016. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

YHDC. **Split core current transformer**. 2015. Disponível em <https://en.yhdc.com/comp/file/download.do?id=941>. Acesso em: 01 abr. 2022.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

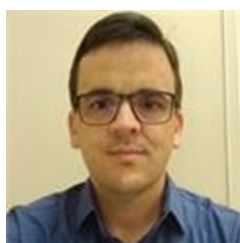
¹ DANILO DE SOUZA DIAS



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas Santo Agostinho (2015), pós-graduado em Eficiência Energética na Indústria pela Faculdade SENAI de Tecnologia (2022).

ii HERMOM LEAL MOREIRA

Possui doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo – USP (2021), mestrado Engenharia Elétrica pela UNESP (2015), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UNIC (2007) e graduação em Engenharia Elétrica - Telecomunicações pela UFMT (2006). Atualmente é professor da Escola e Faculdade SENAI São Paulo “Mariano Ferraz”. <http://orcid.org/0000-0001-8339-7303>

iii PEDRO ANDRÉ BRAGA DE OLIVEIRA

Possui graduação em Matemática Aplicada e Computacional com habilitação em sistemas e controle pela Universidade de São Paulo - USP (2009), especialização em Ciência de Dados (*Big Data Analytics*) pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2019). Atualmente é professor da Faculdade SENAI São Paulo “Mariano Ferraz”. <https://orcid.org/0009-0006-3195-1759>

iv JOSÉ RICARDO DA SILVA

Possui mestrado em engenharia de produção pela UNIP (2010), possui graduação em Pedagogia pela FAI - Faculdades Associadas Ipiranga (1996). Atualmente é coordenador de atividades técnicas-pedagógicas na Faculdade SENAI São Paulo “Mariano Ferraz”. Possui experiência na área mecânica e de automação industrial. <https://orcid.org/0000-0003-1105-0102>