



Relatório do Software Anti-plágio CopySpider

Para mais detalhes sobre o CopySpider, acesse: <https://copyspider.com.br>

Instruções

Este relatório apresenta na próxima página uma tabela na qual cada linha associa o conteúdo do arquivo de entrada com um documento encontrado na internet (para "Busca em arquivos da internet") ou do arquivo de entrada com outro arquivo em seu computador (para "Pesquisa em arquivos locais"). A quantidade de termos comuns representa um fator utilizado no cálculo de Similaridade dos arquivos sendo comparados. Quanto maior a quantidade de termos comuns, maior a similaridade entre os arquivos. É importante destacar que o limite de 3% representa uma estatística de semelhança e não um "índice de plágio". Por exemplo, documentos que citam de forma direta (transcrição) outros documentos, podem ter uma similaridade maior do que 3% e ainda assim não podem ser caracterizados como plágio. Há sempre a necessidade do avaliador fazer uma análise para decidir se as semelhanças encontradas caracterizam ou não o problema de plágio ou mesmo de erro de formatação ou adequação às normas de referências bibliográficas. Para cada par de arquivos, apresenta-se uma comparação dos termos semelhantes, os quais aparecem em vermelho.

Veja também:

[Analisando o resultado do CopySpider](#)

[Qual o percentual aceitável para ser considerado plágio?](#)



Versão do CopySpider: 2.1.0.1

Relatório gerado por: flavio.goncalves7@aluno.unip.br

Modo: web / normal

Arquivos	Termos comuns	Similaridade
TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx X https://www.anhangueraferramentas.com.br/produto/alicate-amperimetro-digital-1000a-ac-dc-true-rms-381-fluke-104722	18	0,19
TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx X https://adrenaline.com.br/artigos/v/51363/entenda-os-processadores-da-mediatek-e-como-a-empresa-fez-sua-fama-update	11	0,11
TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx X https://www.electronicclinic.com/arduino-rtc-ds3231-time-and-date-display-on-a-16x2-lcd	6	0,06
TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx X https://osoyoo.com/2017/09/12/arduino-lesson-real-time-clock-rtc-module-ds3231	3	0,02
TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx X https://www.energylens.com/articles/kw-and-kwh	2	0,01
TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx X https://nodemcu.readthedocs.io/en/release/modules/i2c	1	0,01
TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx X https://www.pcmag.com/news/how-to-measure-home-power-usage	0	0,00
TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx X https://lastminuteengineers.com/ds3231-rtc-arduino-tutorial	0	0,00
TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx X https://www.cnbc.com/select/best-time-to-pay-your-credit-card-bill	0	0,00

Arquivos com problema de conversão

<https://static.chipdip.ru/lib/350/DOC004350440.pdf>

Não foi possível converter o arquivo. É recomendável converter o arquivo para texto manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos).



=====

Arquivo 1: [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Arquivo 2: <https://www.anhangueraferramentas.com.br/produto/alicate-amperimetro-digital-1000a-ac-dc-true-rms-381-fluke-104722> (1935 termos)

Termos comuns: 18

Similaridade: 0,19%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://www.anhangueraferramentas.com.br/produto/alicate-amperimetro-digital-1000a-ac-dc-true-rms-381-fluke-104722> (1935 termos)

=====

Universidade Paulista - UNIP

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Limeira

2021

Universidade Paulista - UNIP



Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes

Limeira

2021

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes.

Aprovada em 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Thais Rocha



Prof. Me. Nome completo

Prof. Esp. Nome completo

DEDICATÓRIA

?Com gratidão, dedico este trabalho primeiro a Deus. Devo a Ele **tudo o que** sou e serei. Minha esposa Juliane e meu filho João Otávio, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado. ?

?Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes?.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Com o consumo de energia elétrica muito elevado, uma forma de economizar é mensurando quais aparelhos consomem mais, um gasto muito elevado e extremamente desnecessário. Esse consumo pode ser medido com um medidor de energia elétrica inteligente utilizando Arduino, Shields, sensores com software embarcado e aberto, apresentando isso de forma gráfica **em tempo real** e de fácil entendimento e visualização. Amostras **em tempo real** gerados pela avaliação de toda residência ou dos aparelhos elétricos individualmente auxiliam a aproveitar melhor seu consumo. Com a enorme popularização da Internet das Coisas, proporciona que objetos comuns do nosso cotidiano possam estar conectados entre si por meio de uma rede local ou pela Internet. Este projeto apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em Internet das Coisas para a medição de consumo de energia elétrica, onde o usuário poderá acompanhar o seu consumo instantâneo de energia elétrica sem a necessidade de esperar a fatura mensal. Com esse cenário o desenvolvimento de um aparelho que coletará informações de consumo e eventuais casos críticos na rede elétrica registrando logs em um cartão SD, já que o projeto também mostrará medições de potência, corrente e tensão elétrica. Conectado em um ponto estratégico da residência, priorizando a instalação no consumidor final. O projeto funcionando de forma simples e amigável torna os dados de consumo do aparelho elétrico recebidos através dos sensores do Arduino e enviados graficamente para um display e remotamente via Browser Web e APP em uma rede local ou Internet, contendo dados elétricos e do consumo **em tempo real**. Com os resultados, o usuário poderá avaliar melhor seu consumo de energia elétrica, podendo economizar recursos financeiros e naturais.

Palavra-Chave: Arduino; Sensor; Consumo de Energia; Corrente; Medidor.

ABSTRACT

With very high electricity consumption, a way to save is measuring which appliances consume more, a very high and extremely unnecessary expense. This consumption can be measured with an intelligent electric energy meter using Arduino, Shields, sensors with embedded and open software, presenting it in real-time graphical form and easy to understand and visualize. Real-time sampling generated by evaluating the entire home or individual electrical appliances helps to make better use of your consumption. With the huge popularity of the Internet of Things, it allows common objects of our daily lives to be connected to each other through a local network or the Internet. This project presents the development of an Internet of Things-based device for measuring electricity consumption, where the user will be able to monitor their instantaneous electricity consumption without having to wait for the monthly bill. With this scenario, the development of a device that will collect consumption information and eventual critical cases in the electrical network, recording logs on an SD card, since the project will also show measurements of power, current and electrical voltage. Connected at a strategic point in the home, prioritizing installation for the final consumer. The project works in a simple and user-friendly way and makes the electrical appliance consumption data received through Arduino sensors and sent graphically to a display and remotely via Web Browser and APP on a local network or Internet, containing electrical and consumption data in time real. With the results, the user will be able to better evaluate his electric energy consumption, being able to save financial and natural resources.

Key Words: Arduino; Sensor; Energy consumption; Chain; Meter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil18
- Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia18
- Figura 3 ? Medidor Eletromecânico19
- Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente20
- Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos22
- Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição22
- Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas23
- Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino23
- Figura 9 - Circuito para SCT01325
- Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser26



Figura 11 ? DataLog no Cartão SD27
Figura 12 ? Primeiro Protótipo28
Figura 13 - Circuito Completo29
Figura 14 ? Ethernet Shield31
Figura 15 ? Arduino Mega33
Figura 16 ? Display LCD 20x4 Backlight Azul34
Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino34
Figura 18 ? Sensor de corrente SCT01335
Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V36
Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS323137
Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo38
Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo38
Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa39
Figura 24 ? Conexão de rede e IP40
Figura 25 ? APP para dispositivo móvel41
Figura 26 - Alicates Amperímetro duplo True-RMS Fluke 38143
Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando44
Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência45

TABELAS

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos42
Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos42
Tabela 3 ? Comparação Potência (W) entre instrumentos42



LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

GWh - Gigawatt-hora

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços

IDE - Integrated Development Environment

IEC - International Electrotechnical Commission

IOT - Internet of Things

IP - Internet Protocol

KWh - Quilo watts hora

KWs ? Quilo watts segundo

LAN - Local Area Network

LCD - Liquid Crystal Display

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

PIS ? Programas de Integração Social

PWM - Pulse Width Modulation

RJ45 - Registered Jack 45

SD-Card - Secure Digital Card

TC - Transformador de Corrente

TCP - Transmission Control Protocol

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

USB - Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO12

1.1Objetivo13

1.2	Justificativa	14
1.3	Metodologia	14
2.	SETOR ELÉTICO BRASILEIRO	17
2.1	Medição de Energia	18
2.1.1	Medidor Inteligente	20
2.2	Tarifa	21
2.3	Cálculo das tarifas para IDE Arduino	23
3.	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.1	Internet das Coisas	24
3.2	Construção do Dispositivo	25
3.2.1	Primeiro Protótipo	27
3.2.2	Segundo Protótipo	29
3.2.3	Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul	30
3.2.4	Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock	34
3.2.5	Proteção do Módulo	37
3.3	Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto	39
3.3.1	Aplicativo para Smartphone	40
3.4	Calibração dos sensores e leitura	41
4.	RESULTADOS	43
5.	CONCLUSÃO	46
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

INTRODUÇÃO

Com todas essas novas invenções e o aumento de tecnologias significantes, tornou-se possível que equipamentos comuns do nosso cotidiano se comuniquem. O conceito de equipamentos conectados é conhecido por Internet of Things (IOT) Internet das Coisas. Segundo as estatísticas, em janeiro de 2021, o número de usuários de internet ultrapassou os 4,66 bilhões (We Are Social e Hootsuite, 2021). No planeta existe, segundo estimativas de julho de 2020, uma população de 7,8 bilhões de pessoas, sendo assim mais de metade da população mundial estão ligados na rede e com a Internet das Coisas, o número de dispositivos e equipamentos conectados estão aumentando e aumentará consideravelmente cada vez mais rápido.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, o consumo nacional de eletricidade na rede foi de 474.231 GWh em 2020, sendo que 29% deste total pertence à classe de consumo residencial, por outro lado, com mais pessoas em casa em razão da pandemia do COVID 19, o consumo de energia residencial cresceu 4,1%. Ou seja, esse foi o único segmento que registrou crescimento em 2020 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2021).

A fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária de energia ao final de um ciclo de tarifação (que dura em torno de um mês) é a forma tradicional que o usuário tem a sua disposição para acompanhar seu consumo. Observa-se que há uma carência de informações no documento para fins de tarifação.

Um avanço e tecnologia a baixo custo é o trabalho que aqui será criado, o medidor de energia elétrica inteligente, que, ao invés de apenas apresentar leituras do consumo acumulado da energia, também pode



apresentar os dados de consumo **em tempo real** e com precisão. Os consumidores poderão se beneficiar com essas informações **em tempo real** e o quanto de energia cada equipamento irá consumir realizando uma grande economia de energia elétrica no final do mês.

Dentre os principais benefícios do medidor de energia elétrica inteligente estão: a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia **em tempo real** afim de atingir incentivos financeiros, aprimorar a sustentabilidade, a possibilidade de avaliar e visualizar remotamente, permitir que reduzam o erro humano durante o processo de leitura dos medidores assim podendo argumentar junto a concessionária, distribuidora de energia elétrica.

Esse dispositivo é acessível, código aberto disponibilizado livre, de simples entendimento e podendo ser utilizado em vários projetos. Com as portas digitais e analógicas, o Arduino recebe diversas informações dos sensores utilizando para realizar cálculos e análises, a exemplo dos sensores de corrente e tensão utilizados nesse projeto juntamente com Ethernet Shield e módulo Real Time Clock (RTC), que possibilitam a determinação da potência que, associada ao tempo de uso, permite avaliar o consumo de energia de uma residência toda ou um aparelho elétrico individualmente.

Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fornecer e informar **em tempo real**, por meio de uma aplicação online e via display qual o gasto em Quilo watts hora (KW/H) consumido e informar a tensão, corrente e potência elétrica. Tal sistema, ainda permitirá conexão utilizando uma conexão cabo de rede ou Wi-Fi. A conexão poderá ser feita a partir de um roteador ou switch **por meio da** utilização de dispositivos com acesso à rede, tais como notebooks, smartphones, tablets, entre outros.

Realizar medição com diversos equipamentos como eletrodomésticos ou no quadro de distribuição e validar os dados gerados comparando com um multímetro calibrado e mostrando em um display Liquid Crystal Display (LCD), Web Browser e um aplicativo para Smartphone; a potência, corrente, tensão e o consumo de energia elétrica 24 horas por dia em qualquer momento ou lugar.

A interface para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo estará tudo em um Secure Digital Card (SD-Card) acoplado no Ethernet Shield, criando um histórico DATALOG. Acreditando que o dispositivo proposto neste trabalho pode alavancar melhoras consideráveis no final do mês com a conta de luz e no setor elétrico brasileiro de forma a baixo custo.

Justificativa

No Brasil, o consumo energético apresenta alto crescimento no decorrer dos últimos anos. O aumento populacional e consequentemente o aumento no número de domicílios proporciona um acréscimo no consumo de energia elétrica residencial.

Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma interface intuitiva para o usuário. A intenção desse projeto é implementar uma alternativa de conscientização e economia de energia elétrica para residências e estabelecimentos a baixo custo.

Dentro de todo o cenário apresentado justifica-se o surgimento de novas tecnologias, que visam fornecer ao consumidor, uma forma de obter informações acerca do consumo energético total de uma residência ou individualizado por equipamento. Espera-se um uso mais racional da energia elétrica, uma vez que o consumidor poderá tomar medidas agindo sobre as fontes que mais consomem.

O uso de controles para reduzir o consumo de energia no sistema energético vem tornando-se cada vez mais popular, melhorando a qualidade utilizando equipamentos para monitoramento de gastos gerando



uma boa aceitação por parte dos usuários.

Estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias são fundamentais para a disseminação dessa prática. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para disseminação do conhecimento, levando para os jovens, o contato antecipado com questões ambientais e tecnológicas.

Metodologia

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, artigos técnicos e vídeos explicativos, que tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido. Analisados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins. Após o aprofundamento dos conhecimentos envolvidos e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados e resultados.

O sistema aborda a construção de um módulo com Arduino, Ethernet Shield com SD Card, Display LCD 20x4, Sensor de Tensão, Transformador de Corrente, Real Time Clock, desenvolvimento programação em ?C/C++? com IDE Arduino, redes de computadores, desenvolvimento Web Server com HTML e aplicativo para smartphone informando a tensão, potência, corrente elétrica, consumo de energia elétrica e informação do comportamento do dispositivo eletrônico conectado à rede local através da Browser Web, Aplicativo para Smartphone e no próprio display do medidor. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, serão realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. O principal objetivo do medidor de energia elétrica inteligente é o controle do consumo dentro da automação residencial já utilizado em milhares de projetos distintos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos, bastante citados nos artigos e livros (SEGeT?,2005; Bookman, 2014; Erica, 2015.), estes explicando de forma sucinta a utilização do Arduino e seus determinados Shields de forma inteligente na automação residencial.

Pode-se traçar as características básicas da proposta desse trabalho. O foco do medidor é de realizar a medição e consumo de energia elétrica em uma residência, ou qualquer estabelecimento alimentado em tensão secundária (220-127V). Este medidor será instalado junto ao quadro de distribuição da residência ou em um eletrodoméstico com o intuito de monitorar o consumo da residência ou um conjunto de todos os equipamentos ali instalados. Em geral, um medidor inteligente pode apresentar algumas características , as mais importantes, são: Medição de tensão e corrente de entrada de um consumidor alimentado em tensão secundária, informar consumo de energia **em tempo real**, calcular e informar a tarifa do consumidor , informar consumo de energia com o propósito de montar um padrão de consumo, plataforma interativa para visualização das medições.

Ferramentas Computacionais Utilizadas:

FRITZING - Será o software de criação e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados, nele será desenvolvido o projeto dos circuitos eletrônicos a serem utilizados em paralelo com Arduino e Shields do medidor de consumo de energia;

IDE ARDUINO - Será utilizado para o desenvolvimento e aplicação do software de programação e controle do microcontrolador Arduino e o monitor web via javascript do medidor;

PROTEUS ? Será o software para criação de projetos eletrônicos, composto por uma suíte de ferramentas , incluindo captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso, usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados.

Ferramentas Laboratoriais Utilizadas:

MULTÍMETRO DE BANCADA ? Será utilizado para fazer medidas de indutância, resistência, capacitância e o teste da continuidade, tudo isto com uma maior precisão. Esses valores serão úteis para parametrizar o comportamento do circuito e sensores usados no projeto;

SETOR ELÉTICO BRASILEIRO

Em dezembro de 2020, o consumo de energia elétrica atingiu 52.890 Gigawatt hora (GWh) considerando autoprodução e perdas, valor 4,6% superior ao verificado no mês anterior e 3,7% superior ao verificado em dezembro de 2019. Semelhante ao registrado no mês anterior, em comparação ao ano passado, as classes residencial e industrial continuaram apresentando crescimento (9,1% e 7,3%, respectivamente), juntamente com a classe rural que, ao contrário do que ocorreu no último mês, voltou a apresentar elevação de 1,8% em relação a dezembro do ano passado. A persistente redução do consumo da classe comercial em relação ao verificado em 2019, ainda que cada vez mais atenuada, demonstra que o setor ainda está sob efeito das medidas adotadas para o enfrentamento do Covid-19. Isso torna o cenário do setor energético brasileiro um tanto quanto preocupante pelo fato de que fica obvio que não está sendo investido em ampliação e manutenção das matrizes energéticas assim como está sendo consumido mais do que gerado. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Com os avanços tecnológicos e facilidade na obtenção de novas tecnologias por diferentes classes da sociedade, o setor energético também deveria ter sido bastante aprimorado. Entretanto quando se fala de setor energético, não se pode responsabilizar somente as empresas geradoras e distribuidoras pela falta de manutenção e ampliação, pois alternativas de redução de consumo e de custos também são opções para o consumidor residencial.

Estima-se que o número de domicílios no Brasil passou de 75 milhões em 2020, e assim como já citado, equipamentos que demandam energia também irão crescer em paralelo.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor residencial brasileiro é responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Na figura 1 abaixo mostra a evolução de intensidade energética mais detalhada através dos gráficos.

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf >. Acessado em 10 jun 2021.

Medição de Energia

Durante a evolução dos sistemas elétricos no Brasil, sempre foi uma grande preocupação com as medições. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada que permanecia acesa (Dahle, 2010). Na figura 2 abaixo mostra o processo de geração e distribuição atual de energia.

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia

Fonte: tresmariasemfoco. Disponível em: < <http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html> >. Acessado em 06 set 2021.

Atualmente, 90% dos medidores de energia utilizados são eletromecânicos, possuem baixo custo e alta disponibilidade. Esse medidor é constituído pelos seguintes elementos:

Um motor, que possui em dois circuitos magnéticos, cada um com uma bobina sendo uma de potência e outra de corrente elétrica, os campos magnéticos são proporcionais à tensão e a corrente de todo circuito medido;

Um disco de alumínio suspenso na região do campo magnético criado pela bobina de corrente, onde são induzidas correntes parasitas, de modo a fazer com que o disco gire no seu próprio eixo. O número de rotações do disco é proporcional à energia consumida pela carga, fornecendo a medida do consumo de energia em quilowatt-hora (KWh).

Esses medidores possuem uma margem de erro máximo de $\pm 2\%$ do valor indicado para a sua faixa nominal, dentro do tempo de vida previsto de operação. Um valor relativamente alto, considerando as perdas que podem onerar o fornecedor e o consumidor final.

Para leitura da medição, é necessário ir até o local onde o medidor está instalado e ver o valor nele registrado, ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico

Fonte: R3 Automação Industrial. Disponível em: < <https://www.automacaor3.com.br/relogio-medidor-de-energia> >. Acessado em 20 ago 2021.

Medidor Inteligente

A implementação de medidor de consumo de energia elétrica inteligente pode ser uma possível solução para a redução da demanda de energia, gestão eficiente na geração e otimização da gestão de recursos. O medidor de consumo de energia inteligente tem capacidade de realizar medição, cálculos e comunicação através de hardware e software. Para interação dessa rede o medidor de consumo de energia inteligente foi projetado para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com determinados padrões. Observa-se que a complexidade do sistema inteligente é maior, porém ele consegue gerar mais informações em uma maior frequência. Enquanto no sistema tradicional a medição ocorre uma vez a cada mês, e para o faturamento, o projeto inteligente mostra em tempo real o consumo e o serviço prestado pela distribuidora facilitar o controle de gasto por parte do consumidor. Além de realizar todas as funções de um medidor tradicional eletromecânico, o medidor de consumo de energia

inteligente **pode ser usado** como sensor em toda a rede elétrica.

A Figura 4 mostra a comparação entre a medição tradicional com medidor eletromecânico de energia e a inteligente que como base será no projeto aqui mostrado.

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

O medidor de energia elétrica inteligente pode fornecer informações em maior frequência, sobre período pico ou fora de pico e padrão de uso de energia utilizando comunicação bidimensional entre o sistema de ponta e gestor do consumidor. Os consumidores podem reduzir as contas de energia elétrica e os distribuidores podem gerir melhor o seu mercado. Portanto, a utilização do medidor de consumo de energia inteligente é altamente recomendada.

Algumas funções típicas do medidor de consumo de energia inteligente são:

Comunicação bidirecional;

Armazenamento de dados;

Programação;

Segurança;

Exibição de dados, por meio de display, Browser Web e Aplicativo para Smartphone;

Fatura **em tempo real**;

Tarifa

Além das tarifas de distribuição os Governos; Federal, estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

A correção das tarifas é importante para manter o equilíbrio financeiro da concessão, assegurando a qualidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade.

Conforme mostra a Figura 5 a seguir com dados da (Aneel 2021), os custos de energia representam a maior parte de custos (53,5%), seguido os tributos (29,5%) sem 4,5% de tributos federais PIS e COFINS e 25% tributo estadual ICMS. Referente aos custos de distribuição, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% das tarifas.

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos

Fonte: Aneel. Disponível em: < https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false >. Acessado em 01 mai 2021.

Com informações da (Neoenergia-Elektro, 2021) temos a descrição dos valores em KW/h das Tarifa de consumo de energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) como mostra na figura 6 abaixo.

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição

Fonte: Neoenergia-Elektro. Disponível em: < <https://www.neoenergiaelektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos> >. Acessado em 14 set 2021.

Cálculo das tarifas para IDE Arduino

Com base em um aparelho qualquer de 9W de potência foi transformado KWh em Quilo Watt segundo (KWs) já que no Arduino será calculado em segundos. Como mostra a figura 7 abaixo, serão esses dados aplicados no programa IDE Ardurino.

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo na figura 8 abaixo mostra os cálculos anteriormente realizados aplicados na IDE Arduino.

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino

Fonte: Elaborado pelo autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A grande parte de medidores inteligentes hoje no mercado são derivados de um projeto Open Source denominado como Open Energy Monitor, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global. Seu funcionamento consiste em medições feitas por sensores e Shields que enviam informações para um microcontrolador central onde são tratadas todas as informações, a fim de enviar todo o levantamento de consumo de energia elétrica.

Internet das Coisas

Comunicação entre todos os objetos físicos?, onde a comunicação que já acontece entre máquinas, e entre pessoas e computadores, se estenderá a outros objetos.

Monk, Simon (2018) em Internet das Coisas, uma introdução com o photon define que: Termo ?Internet das coisas? Internet of Things (IOT) foi proposto por Kevin Ashton em 1999, mas o desenvolvimento do conceito tecnológico foi introduzido pela primeira vez pelo departamento de ciência da computação da Carnegie Mellon University, onde os alunos conectaram à internet uma máquina de venda automática de refrigerantes.

No âmbito da eficiência energética, dentre inúmeras possibilidades, a funcionalidade com enfoque neste projeto é para o monitoramento do uso de energia em um circuito monofásico com o intuito de economizar energia elétrica.

A plataforma IOT permite que o consumidor possa verificar o seu uso de energia instantaneamente ao longo do tempo, permitindo o entendimento de forma intuitiva e o reconhecimento de padrões de consumo que se repetem no decorrer do tempo através de um computador ou smartphone dentro de uma rede.

Construção do Dispositivo

Teorias apresentadas neste item trarão todos os embasamentos abrangentes necessários para compreensão do hardware e software utilizado no trabalho, desde seus funcionamentos básicos como

dispositivos até ferramentas utilizadas para sua construção.

Para as conexões do circuito foram utilizados alguns componentes eletrônicos, como dois resistores de 10kohms, um resistor de 330ohm e um capacitor de 100uF/16v. Os componentes são utilizados em diversas funções, porém no projeto são utilizados com objetivo de construir um pequeno circuito eletrônico de divisor de tensão, sendo utilizado para dividir a tensão DC de 5V do Arduino, evitando prejuízo em algum componente no caso de picos de energia altos, o resistor de 330 ohm é utilizado para criar a variação na tensão para medição da corrente elétrica ligado em serie junto ao sensor de corrente SCT013 mostrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Circuito para SCT013

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse projeto, foi desenvolvido uma aplicação Web com a linguagem HTML dentro do IDE do Arduino , que é uma linguagem de marcação para desenvolvimento que permite implementar a página via Browser como monitoramento **em tempo real**. Dentro da aplicação onde V é a tensão, A é corrente elétrica, P é potência e ou W os Watts como mostra na figura 10 abaixo exemplo de medições e cálculos de uma lâmpada de LED de 100-240V E27 +/- 10W e 3000K.

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de tensão e corrente medidos pelos Shelds, o programa desenvolvido consegue realizar o cálculo da lei de OHM corrente x tensão, encontrando a potência de um equipamento, através do somatório dos KWH por hora, elaborado pelo código desenvolvido e mostrar o resultado e **em tempo real** o valor a ser pago.

Com a intenção de ter um registro de qualquer anomalia no sistema e conseguir um histórico das medições de tensão, corrente, potência com data e hora, surgiu a necessidade da instalação de um Shield RTC com uma bateria para gravar e segurar data e hora exata e um Micro-SD no Ethernet Shield para salvar os dados como DATALOG e criar um mini banco de dados observados na figura 11 abaixo.

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de montagem e testes, observou-se que somente o sensor de corrente SCT013 não era suficiente para realizar a medição da tensão realizando cálculos da lei de Ohm no programa, já que o resultado oscilou muito. Por isso foi necessário instalar um segundo sensor no projeto, o sensor de tensão AC 127/220V sendo assim um segundo protótipo foi confeccionado.

Primeiro Protótipo

No período de concepção do medidor, a topologia inicial tinha como base três principais componentes: um Arduino UNO, como unidade micro controladora, um Ethernet Shield W5100 que é um microcontrolador capaz de conectar-se às redes de Ethernet/Internet e um sensor de corrente SCT-013, para medir valores

de 0 até 100A de corrente alternada somente abraçando um dos cabos do equipamento a ser medido a corrente elétrica.

Ao executar a montagem da primeira versão do medidor em uma protoboard como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 ? Primeiro Protótipo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que os valores lidos de tensão calculado adicionando a potência do equipamento manualmente e calculado pela lei de Ohm nos testes de bancada não correspondiam com os valores esperados, os valores medidos possuíam um alto nível de imprecisão variando mais de 20% para mais ou para menos.

Buscando alternativas para contornar a imprecisão do resultado das tensões, surgiu a possibilidade de utilizar um sensor de tensão sendo suficiente para atender ao projeto, pois o sensor de tensão com baixa variação de apenas 2% para mais ou para menos, excelente Shield que resolveria o problema da medição de tensão, sendo assim o sensor de corrente seria somente para a sua função específica e enxugaria o código no IDE Arduino, sem a necessidade de vários cálculos da lei de ohm no programa em relação ao resultado do valor de tensão.

Segundo Protótipo

Com a aquisição do componente (sensor de tensão) necessário para a segunda versão e final do protótipo, foi iniciada a montagem em uma protoboard como testes.

Com o avanço para a comunicação via Ethernet/Internet pelo Ethernet Shield W5100 e a criação de um DATALOG através do SD-CARD, foi necessário a inserção e um aumento considerável de códigos com HTML o Arduino UNO foi necessário substituir por um superior e com mais memória e a entrada de mais um Shield que seria o Real Time Clock RTC DS3231 para data e hora certa, tanto na visualização **em tempo real** quanto no DATALOG.

Pensando também em uma possível falha na rede, porque não instalar um display, faltando comunicação temos dos dados **de medição para** visualização em um display LCD. O projeto ficou mais completo inserindo um display LCD 20x4 de comunicação com Arduino via I2C, com necessidade de inserir uma biblioteca própria no software.

Sendo assim com a substituição pelo modelo Arduino MEGA 2560 R3 foi suficiente para atender o projeto como um todo mostrado na figura 13 abaixo o circuito completo do projeto.

Figura 13 - Circuito Completo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul

O Ethernet Shield permite que a placa Arduino se conecte a uma rede Ethernet/Internet. Baseado no chip de ethernet Wiznet W5100 provendo um stack de rede (ponte entre Arduino e rede) suporta os protocolos TCP e UDP. O Ethernet Shield suporta até quatro conexões simultâneas utilizando a biblioteca Ethernet.h para escrever sketches que se conectam à internet e ethernet.

O Shield de Ethernet é conectado em uma placa Arduino usando pinos longos através do Shield. Isso

mantém o layout de pinos intacto permitindo que outro Shield seja empilhado sucessivamente. Com um slot na placa de cartão micro-SD, podendo ser usado para armazenar arquivos como banco de dados para a rede e compatível com o Arduino Uno e Mega.

O Arduino se comunica tanto com o Shield quanto com o cartão micro-SD usando o barramento Serial Peripheral Interface (SPI) é um protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes). Tanto o Ethernet Shield como a função SDcard compartilham o barramento SPI, então somente um pode estar ativo de cada vez. O Shield fornece um conector padrão RJ45 de Ethernet e o botão de reset no Shield reinicia tanto a ele próprio quanto a placa Arduino independente se o modelo Uno ou Mega observado na figura 14 abaixo.

- Fonte de alimentação: 5V DC
- Interface: SPI
- Suporte cartão SD
- Suporta até quatro ligações de socket simultâneas
- Compatível com Arduino versão standard / série Mega
- Tamanho: 72x55x32mm

Figura 14 ? Ethernet Shield

Fonte: Felipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/ethernet-shield-w5100-para-arduino> >,. Acessado em 12 jun 2021.

O Arduino, além de ser uma placa de desenvolvimento, é uma plataforma de código aberto (Open-Source) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi com o intuito de contribuir no aprendizado de eletrônica e automação para estudantes de design e projetistas. O principal objetivo foi criar uma plataforma de baixo custo, para que estudantes pudessem desenvolver seus projetos e protótipos com o menor custo possível. Segundo o site da plataforma Arduino, (arduino.cc, 2021):

“O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (arduino.cc, 2021).”

O Arduino é formado por dois componentes principais: Hardware e Software.

O hardware é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos. Já o software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino,

através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado durante o seu funcionamento. Possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo. Os pinos da placa se dividem nos seguintes moldes:

- Pinos de entrada e saída digital: Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais **de acordo com a** necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado no IDE.
- Pinos de entradas analógicas: Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.
- Pinos de saídas analógicas: São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação Pulse Width Modulation (PWM).

A alimentação da placa pode ser feita **a partir da** porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 a 12 volts (Embarcados.com.br, 2021). A linguagem de programação é modelada **a partir da** linguagem Wiring. Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador. A IDE apresenta muita abstração, possibilitando o uso de um microcontrolador sem que o usuário conheça o mesmo e nem como deve ser usado os registradores internos de trabalho.

A IDE do Arduino possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. A partir do momento que foi feito o upload o Arduino não precisa mais do computador, o Arduino executará o sketch criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

Na Figura 15 observa-se as características construtivas do Arduino:

Figura 15 ? Arduino Mega

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/arduino-mega-2560> >; Acessado em 14 jun 2021.

Display LCD 20×4 Backlight Azul (20 colunas por 4 linhas) com backlight azul e escrita branca é usado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino e outros projetos eletrônicos. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle, que nesse projeto foi utilizado a ligação I2C, com apenas alimentação 5v e utilizando apenas dois pinos do Arduino: o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 16 abaixo observa-se com mais detalhes o display.

Figura 16 ? Display LCD 20×4 Backlight Azul

Fonte: baudaeletronica. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/display-lcd-20x4-azul.html> >; Acessado em 18 out 2021.

Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock

Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino muitas vezes a quantidade de pinos disponíveis no Arduino é limitada, após conectar display e sensores sobram poucos pinos para uso. O módulo controla o display lcd usando apenas 2 pinos, o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 17 abaixo observa-se. Especificações:

Endereço I2C: 0x20-0x27 (Padrão 0x20 mas pode ser modificado);

Compatível com Display LCD 16x2 e LCD 20x4;
Tensão de operação: 5V;
Dimensões: 55 x 23 x 14mm.

Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino

Fonte: filipeflop. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino>>. Acessado em 18 out 2021.

O sensor de corrente SCT-013 tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas ?abraçar? um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado. SCT é a sigla para Split-core Current Transformer, ou seja, transformador de corrente de núcleo dividido. Ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua saída teremos valores entre 0 e 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal (vidadesilicio.com.br, 2021). Para fazer a medição da corrente elétrica o SCT-013 possui uma bobina interna em sua estrutura, como se pode observar na figura 18 abaixo.

Figura 18 ? Sensor de corrente SCT013

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em:< <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada>>. Acessado em 14 jun 2021.

O Módulo Sensor de Tensão AC 110/220V é capaz de detectar a passagem de tensão alternada no circuito. Projetado para entradas entre 127 e 220 volts (Suporta a tensão máxima de 311 Volts). Composto de um opto-acoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada / Resistor de Pull Down / Capacitor para estabilizar a saída.

O sensor é ligado em paralelo, portanto a corrente do circuito é irrelevante para ele. Na função voltímetro, a leitura pode oscilar em torno de 2% para mais ou para menos. Na figura 19 abaixo observa-se com mais detalhes.

Especificações:

Tipo de sensor: **detector de tensão**

Tensão de entrada: 0 a 220VAC

Tensão de pico máxima: 311VAC

Tipo de saída: leitura analógica

Dimensões: 16mm (L) X 15mm (A) X 37mm (C)

Peso: 6g

Ligação:

VCC - Ligado ao 5v do Arduino;

OUT - Ligado a uma porta analógica do Arduino;

GND - Ligado ao GND do Arduino.

Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V

Fonte: Autocorerobotica. Disponível em:< <https://www.autocorerobotica.com.br/buscar?q=sensor+tensao>>

>. Acessado em 14 jun 2021.

Segundo o site filipeflop, (filipeflop.com, 2021):

O Real Time Clock (RTC) DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Na figura 20 abaixo pode-se observar a placa com suas conexões a bateria do modelo CR2032 de 3v e embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão.

Especificações e características:

Controlador: DS3231;

Tensão de operação: 3,3V ? 5VDC;

Interface: I2C;

Bateria compatível: CR2032;

Sensor de temperatura: ~ 3° Celsius de exatidão;

Temperatura de operação: 0 a 40° Celsius;

Computa horas / minutos / segundos / dias da semana / mês / meses / anos (de 2000 a 2099);

Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

Memória: AT24C32 (capacidade de 32Kb que podem ser usados também como RAM estendida ao microcontrolador);

Possui circuito de detecção de falha de energia;

Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS3231

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>.
Acessado em 12 jun 2021.

Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo e possível contato entre o usuário e a corrente elétrica pelo módulo foi projetado uma proteção para que pudesse comportar todos os componentes, foi executado conforme as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 21 acima mostra a proteção do módulo sendo produzida. Para construir a caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o MDF de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO2, com um comprimento de onda de 10.6 µm /Max e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 22 acima mostra a representação do módulo já com sua proteção montada e pronta para uso e o Arduino precisará de uma alimentação de 5V, podendo ser feito pelo próprio cabo de dados porta USB, por pilha, um carregador de celular ou entrada P4 com tensão de 9V DC.

Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto

Um resumo do ciclo de desenvolvimento pode ser visto na Figura 21 abaixo, que demonstra trechos do código elaborado da aplicação em Arduino de uma forma esquemática. O programa principal possui 6 bibliotecas necessárias para seu funcionamento.

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de tensão da residência e a corrente do equipamento, a potência é dada pelo produto dessas unidades usando a lei de Ohm corrente (A) x tensão (V) como mostra nos trechos do código abaixo na figura 23.

Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da conexão à rede para exibição da página Web e App é necessário definir o endereço MAC e definir um IP fixo na rede equivalente a rede local, nesse caso foi usado o IP 192.168.0.20 para o acesso local mostrado na figura 24 abaixo o trecho do código.

Figura 24 ? Conexão de rede e IP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicativo para Smartphone

Para construir um APP foi utilizado o MIT APP Inventor, uma ferramenta de drag-and-drop (arrastar e soltar) visual para a construção de aplicações em smartphones na plataforma Android.

Composto por duas etapas: o App Inventor Designer e o App Inventor Blocks Editor, cada um com função própria e específica. O primeiro tem o objetivo de construir a interface do seu aplicativo e o segundo de adicionar interatividade aos componentes na tela, basicamente só isso, bem intuitivo.

Para o acesso o usuário deverá inserir Login e Senha já predeterminado no App por exemplo foi usado nesse projeto Login TCC e Senha 2021. Após inserir o aplicativo já irá abrir a próxima tela com as informações do medidor de energia elétrica inteligente.

O aplicativo funcionou perfeitamente, sendo possível a visualização das medições do equipamento ao qual estava conectado no projeto desenvolvido. Desta maneira o uso fica restrito ao equipamento que está conectado na rede elétrica ou equipamento elétrico individual por intermédio do protótipo desenvolvido. Na figura 25 abaixo observa-se com mais detalhes em funcionamento e detalhes da criação do mesmo.

Figura 25 ? APP para dispositivo móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calibração dos sensores e leitura

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um Alicata Amperímetro duplo **True-RMS Fluke 381** comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para os sensores de corrente e tensão foram uma lâmpada, uma pistola de cola quente e um **aspirador de pó**.



Essas abordagens de alguns eletrônicos são para validar as medições em componentes diferentes e que não haja uma configuração para apenas um componente específico, lembrando que no próprio datasheet do componente o erro previsto é de +/- 2%.

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma tensão nominal de 127V, a tensão real pode ter uma variação de 114,3V a 139,7V. Este desvio de valor acarretou para uma variação dentro da tolerância permitida.

Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validar o funcionamento do sistema foram realizadas medições com 3 tipos de carga: resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (**Aspirador de pó**). Os valores foram adquiridos através da Lei de Ohm, onde temos a Corrente Elétrica (A) x Tensão (V) igual a potência (W).

Tabela 3 ? Comparação Potencia (W) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido 127v e medido pelo sensor de tensão, admitindo uma variação de 10% para mais ou para menos sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL, 2021, os valores informados aos usuários podem sofrer uma variação para baixo ou para cima não ultrapassando a porcentagem aceita pela ANEEL.

RESULTADOS

Para a validação do medidor de energia elétrica inteligente, ele foi instalado em equipamento elétricos diferentes como corrente e potência, já a medição de tensão com alimentação monofásica de 127V para todos os equipamentos. Para comparação, os valores obtidos foram comparados com um Alicate Amperímetro duplo **True-RMS Fluke** 381 como mostra na figura 26 abaixo. O Fluke 381 é um aparelho versátil utilizado em diversas aplicações industriais de modo profissional sendo um dos melhores equipamentos para medição de tensão e corrente elétrica no mercado mundial.

Figura 26 - Alicate Amperímetro duplo **True-RMS Fluke** 381

Fonte: fluke.com. Disponível em:< https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-381>. Acessado em 12 set 2021.

Medidor de energia elétrica inteligente totalmente calibrado e pronto para ser utilizado como mostra abaixo na figura 27.

Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez montado o protótipo e pronto, foram realizados alguns testes para validação, eliminação de problemas iniciais e refinamento dos resultados. Para análise dos resultados foi um entendimento sobre o comportamento dos sinais de corrente e tensão para os 3 tipos de carga já citados anteriormente, resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (**Aspirador de pó**).

Para validá-lo foram realizados testes lado a lado para aferição do medidor de energia elétrica inteligente como mostra a figura 28 abaixo. Os comparativos com alicate amperímetro duplo **True-RMS Fluke 381** e medidor de energia elétrica inteligente mostram no display de cada equipamento: tensão (V), corrente elétrica (A) e potência (W). Somente o medidor de energia elétrica inteligente é capaz de calcular e mostrar **em tempo real** a potência (W) através do programa carregado no microcontrolador Arduino.

Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comparativo mostra uma semelhança entre os resultados apresentados pelo medidor de energia elétrica inteligente e o **Alicate Amperímetro** duplo **True-RMS Fluke 381**. Os horários em que os picos de consumo acontecem coincidem e a variação em sua magnitude é inferior a 5%.

Apesar da pequena diferença entre os valores lidos, a informação mostrada é mais que suficiente para que o usuário possa acompanhar o seu consumo **em tempo real** com uma precisão adequada para auxiliá-lo na tomada de decisão referente aos seus hábitos de consumo.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho, com características experimentais, fez com que fosse necessário criar um protótipo confiável possibilitando a visualização remoto através de smartphones e computadores conectados nas redes via cabo ou Wifi. Porém é importante salientar que foi utilizado um sensor de corrente SCT013 até 100A, medidas de corrente possuem uma oscilação na precisão de mais ou menos 2%.

Para o cálculo da potência utilizado o valor de tensão da rede elétrica medido pelo módulo sensor de tensão 127/220V e o valor da corrente elétrica calculado em cima da lei de OHM que nos fornece o valor da potência consumida.

Aplicações com o uso de IOT vêm ganhando destaque na automação em geral capazes de abranger diversas aplicações e uma ferramenta de fácil utilização. O fato de possuir uma grande facilidade para interligar o processo físico do projeto desenvolvido por meio de um sistema distribuído utilizado no projeto um Ethernet Shield W5100 para criar um Servidor Web que tem como função fornecer uma página web como monitoramento por computadores e smartphones contendo informações enviadas pelo Arduino captado dos sensores. Tal fator ficou evidente no decorrer da criação deste presente trabalho.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelos próprios fabricantes dos equipamentos utilizados na medição, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dão pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não do real, já que se tem uma variação de no máximo 10% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 2% sobre os sensores utilizados.

Para isso, a motivação como propósito a utilização em residências, dada uma rotatividade em cada família. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos e verificando os pontos onde são possíveis a redução de consumo da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEDB et. Al. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Disponível em: < https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/05/256_SEGET%20-%20Automacao%20Residencial.pdf >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020> >. Acessado em 24 de mai. de 2021.
- BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - a review. 1. ed. London: IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015.
- BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
- BRAZCUBAS et. Al. Gestão do Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/download/501/603> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Dahle, David. 2010. Samuel Gardiner's lamp--?hour meter (1872). Dave's old Watthour Meter webpage. [Online] 2010. [Citado em: 06 de Julho de 2012.] < <http://watthourmeters.com/others/gardiner.html> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- MONK, SIMON. Internet das Coisas um Introdução com Photon. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- MONK, SIMON. Projetos com Arduino e Android. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- PUC GOIAS et. Al. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. Disponível em: < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf> >. Acesso em 03 de mar. de 2021.
- Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 01, p. 7-23, 2017. Disponível em: < https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/TI_EaD/article/download/1686/800 >. Acesso em 13 de mai. de 2021.
- STEVAN JR, SERGIO LUIZ; SILVA, RODRIGO ADAMSHUK. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- VYAKARANAM, Bharat et al. A study of the impact of peak demand on increasing vulnerability of cascading failures to extreme contingency events. IEEE Power & Energy Society General Meeting, p.1-5, jul. 2017. IEEE.



InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador

Sensor de Corrente[A]0.11 A0.15 A2.95 A

Fluke 3810.10 A0.12 A2.40 A

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador

Sensor de Corrente[A]129.90 V130.01 V128.26 V

Fluke 381130.40 V130.30 V128.60 V

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador

Sensor de Corrente[A]13.35 W19.50 W378.36 W

Fluke 381 (Cálculo lei de Ohm)13.04 W15.63 W308.64 W



=====

Arquivo 1: [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Arquivo 2: <https://adrenaline.com.br/artigos/v/51363/entenda-os-processadores-da-mediatek-e-como-a-empresa-fez-sua-fama-update> (2207 termos)

Termos comuns: 11

Similaridade: 0,11%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://adrenaline.com.br/artigos/v/51363/entenda-os-processadores-da-mediatek-e-como-a-empresa-fez-sua-fama-update> (2207 termos)

=====

Universidade Paulista - UNIP

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Limeira

2021

Universidade Paulista - UNIP



Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes

Limeira

2021

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes.

Aprovada em 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Thais Rocha



Prof. Me. Nome completo

Prof. Esp. Nome completo

DEDICATÓRIA

?Com gratidão, dedico este trabalho primeiro a Deus. Devo a Ele tudo o que sou e serei. Minha esposa Juliane e meu filho João Otávio, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado. ?



?Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes?.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Com o consumo de energia elétrica muito elevado, uma forma de economizar é mensurando quais aparelhos consomem mais, um gasto muito elevado e extremamente desnecessário. Esse consumo pode ser medido com um medidor de energia elétrica inteligente utilizando Arduino, Shields, sensores com software embarcado e aberto, apresentando isso de forma gráfica em tempo real e de fácil entendimento e visualização. Amostras em tempo real gerados pela avaliação de toda residência ou dos aparelhos elétricos individualmente auxiliam a aproveitar melhor seu consumo. Com a enorme popularização da **Internet das Coisas**, proporciona que objetos comuns do nosso cotidiano possam estar conectados entre si por meio de uma rede local ou pela Internet. Este projeto apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em **Internet das Coisas** para a medição de consumo de energia elétrica, onde o usuário poderá acompanhar o seu consumo instantâneo de energia elétrica sem **a necessidade de** esperar a fatura mensal. Com esse cenário o desenvolvimento de um aparelho que coletará informações de consumo e eventuais casos críticos na rede elétrica registrando logs em um cartão SD, **já que o** projeto também mostrará medições de potência, corrente e tensão elétrica. Conectado em um ponto estratégico da residência, priorizando a instalação no consumidor final. O projeto funcionando de forma simples e amigável torna os dados de consumo do aparelho elétrico recebidos através dos sensores do Arduino e enviados graficamente para um display e remotamente via Browser Web e APP em uma rede local ou Internet, contendo dados elétricos e do consumo em tempo real. Com os resultados, o usuário poderá avaliar melhor seu consumo de energia elétrica, podendo economizar recursos financeiros e naturais.

Palavra-Chave: Arduino; Sensor; Consumo de Energia; Corrente; Medidor.

ABSTRACT

With very high electricity consumption, a way to save is measuring which appliances consume more, a very high and extremely unnecessary expense. This consumption can be measured with an intelligent electric energy meter using Arduino, Shields, sensors with embedded and open software, presenting it in real-time graphical form and easy to understand and visualize. Real-time sampling generated by evaluating the entire home or individual electrical appliances helps to make better use of your consumption. With the huge popularity of the Internet of Things, it allows common objects of our daily lives to be connected to each other through a local network or the Internet. This project presents the development of an Internet of Things-based device for measuring electricity consumption, where the user will be able to monitor their instantaneous electricity consumption without having to wait for the monthly bill. With this scenario, the development of a device that will collect consumption information and eventual critical cases in the electrical network, recording logs on an SD card, since the project will also show measurements of power, current and electrical voltage. Connected at a strategic point in the home, prioritizing installation for the final consumer. The project works in a simple and user-friendly way and makes the electrical appliance consumption data received through Arduino sensors and sent graphically to a display and remotely via Web Browser and APP on a local network or Internet, containing electrical and consumption data in time real. With the results, the user will be able to better evaluate his electric energy consumption, being able to save financial and natural resources.

Key Words: Arduino; Sensor; Energy consumption; Chain; Meter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil18
- Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia18
- Figura 3 ? Medidor Eletromecânico19
- Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente20
- Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos22
- Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição22
- Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas23
- Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino23
- Figura 9 - Circuito para SCT01325
- Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser26



Figura 11 ? DataLog no Cartão SD27
Figura 12 ? Primeiro Protótipo28
Figura 13 - Circuito Completo29
Figura 14 ? Ethernet Shield31
Figura 15 ? Arduino Mega33
Figura 16 ? Display LCD 20x4 Backlight Azul34
Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino34
Figura 18 ? Sensor de corrente SCT01335
Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V36
Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS323137
Figura 21 ? Confecção da proteção do módulo38
Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo38
Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa39
Figura 24 ? Conexão de rede e IP40
Figura 25 ? APP para dispositivo móvel41
Figura 26 - Alicates Amperímetro duplo True-RMS Fluke 38143
Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando44
Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência45

TABELAS

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos42
Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos42
Tabela 3 ? Comparação Potência (W) entre instrumentos42



LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

GWh - Gigawatt-hora

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços

IDE - Integrated Development Environment

IEC - International Electrotechnical Commission

IOT - Internet of Things

IP - Internet Protocol

KWh - Quilo watts hora

KWs ? Quilo watts segundo

LAN - Local Area Network

LCD - Liquid Crystal Display

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

PIS ? Programas de Integração Social

PWM - Pulse Width Modulation

RJ45 - Registered Jack 45

SD-Card - Secure Digital Card

TC - Transformador de Corrente

TCP - Transmission Control Protocol

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

USB - Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO12

1.1Objetivo13

1.2	Justificativa	14
1.3	Metodologia	14
2.	SETOR ELÉTICO BRASILEIRO	17
2.1	Medição de Energia	18
2.1.1	Medidor Inteligente	20
2.2	Tarifa	21
2.3	Cálculo das tarifas para IDE Arduino	23
3.	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.1	Internet das Coisas	24
3.2	Construção do Dispositivo	25
3.2.1	Primeiro Protótipo	27
3.2.2	Segundo Protótipo	29
3.2.3	Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul	30
3.2.4	Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock	34
3.2.5	Proteção do Módulo	37
3.3	Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto	39
3.3.1	Aplicativo para Smartphone	40
3.4	Calibração dos sensores e leitura	41
4.	RESULTADOS	43
5.	CONCLUSÃO	46
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

INTRODUÇÃO

Com todas essas novas invenções e o aumento de tecnologias significantes, tornou-se possível que equipamentos comuns do nosso cotidiano se comuniquem. O conceito de equipamentos conectados é conhecido por Internet of Things (IOT) **Internet das Coisas**. Segundo as estatísticas, em janeiro de 2021, o número de usuários de internet ultrapassou os 4,66 bilhões (We Are Social e Hootsuite, 2021). No planeta existe, segundo estimativas de julho de 2020, uma população **de 7,8 bilhões de** pessoas, sendo assim mais de metade da população mundial estão ligados na rede e com a **Internet das Coisas**, o número de dispositivos e equipamentos conectados estão aumentando e aumentará consideravelmente cada vez mais rápido.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, o consumo nacional de eletricidade na rede foi de 474.231 GWh em 2020, sendo que 29% deste total pertence à classe de consumo residencial, por outro lado, com mais pessoas em casa em razão da pandemia do COVID 19, o consumo de energia residencial cresceu 4,1%. Ou seja, esse foi o único segmento que registrou crescimento em 2020 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2021).

A fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária de energia ao final de um ciclo de tarifação (que dura em torno de um mês) é a forma tradicional que o usuário tem a sua disposição para acompanhar seu consumo. Observa-se que há uma carência de informações no documento para fins de tarifação.

Um avanço e tecnologia a baixo custo é o trabalho que aqui será criado, o medidor de energia elétrica inteligente, que, ao invés de apenas apresentar leituras do consumo acumulado da energia, também pode

apresentar os dados de consumo em tempo real e com precisão. Os consumidores poderão se beneficiar com essas informações em tempo real e o quanto de energia cada equipamento irá consumir realizando uma grande economia de energia elétrica no final do mês.

Dentre os principais benefícios do medidor de energia elétrica inteligente estão: a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia em tempo real afim de atingir incentivos financeiros, aprimorar a sustentabilidade, a possibilidade de avaliar e visualizar remotamente, permitir que reduzam o erro humano durante o processo de leitura dos medidores assim podendo argumentar junto a concessionária, distribuidora de energia elétrica.

Esse dispositivo é acessível, código aberto disponibilizado livre, de simples entendimento e podendo ser utilizado em vários projetos. Com as portas digitais e analógicas, o Arduino recebe diversas informações dos sensores utilizando para realizar cálculos e análises, a exemplo dos sensores de corrente e tensão utilizados nesse projeto juntamente com Ethernet Shield e módulo Real Time Clock (RTC), que possibilitam a determinação da potência que, associada ao tempo de uso, permite avaliar o consumo de energia de uma residência toda ou um aparelho elétrico individualmente.

Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fornecer e informar em tempo real, por meio de uma aplicação online e via display qual o gasto em Quilo watts hora (KW/H) consumido e informar a tensão, corrente e potência elétrica. Tal sistema, ainda permitirá conexão utilizando uma conexão cabo de rede ou Wi-Fi. A conexão poderá ser feita a partir de um roteador ou switch por meio da utilização de dispositivos com acesso à rede, tais como notebooks, smartphones, tablets, entre outros.

Realizar medição com diversos equipamentos como eletrodomésticos ou no quadro de distribuição e validar os dados gerados comparando com um multímetro calibrado e mostrando em um display Liquid Crystal Display (LCD), Web Browser e um aplicativo para Smartphone; a potência, corrente, tensão e o consumo de energia elétrica 24 horas por dia em qualquer momento ou lugar.

A interface para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo estará tudo em um Secure Digital Card (SD-Card) acoplado no Ethernet Shield, criando um histórico DATALOG. Acreditando que o dispositivo proposto neste trabalho pode alavancar melhoras consideráveis no final do mês com a conta de luz e no setor elétrico brasileiro de forma a baixo custo.

Justificativa

No Brasil, o consumo energético apresenta alto crescimento no decorrer dos últimos anos. O aumento populacional e consequentemente o aumento no número de domicílios proporciona um acréscimo no consumo de energia elétrica residencial.

Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma interface intuitiva para o usuário. A intenção desse projeto é implementar uma alternativa de conscientização e economia de energia elétrica para residências e estabelecimentos a baixo custo.

Dentro de todo o cenário apresentado justifica-se o surgimento de novas tecnologias, que visam fornecer ao consumidor, uma forma de obter informações acerca do consumo energético total de uma residência ou individualizado por equipamento. Espera-se um uso mais racional da energia elétrica, uma vez que o consumidor poderá tomar medidas agindo sobre as fontes que mais consomem.

O uso de controles para reduzir o consumo de energia no sistema energético vem tornando-se cada vez mais popular, melhorando a qualidade utilizando equipamentos para monitoramento de gastos gerando

uma boa aceitação por parte dos usuários.

Estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias são fundamentais para a disseminação dessa prática. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para disseminação do conhecimento, levando para os jovens, o contato antecipado com questões ambientais e tecnológicas.

Metodologia

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, artigos técnicos e vídeos explicativos, que tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido. Analisados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins. Após o aprofundamento dos conhecimentos envolvidos e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados e resultados.

O sistema aborda a construção de um módulo com Arduino, Ethernet Shield com SD Card, Display LCD 20x4, Sensor de Tensão, Transformador de Corrente, Real Time Clock, desenvolvimento programação em ?C/C++? com IDE Arduino, redes de computadores, desenvolvimento Web Server com HTML e aplicativo para smartphone informando a tensão, potência, corrente elétrica, consumo de energia elétrica e informação do comportamento do dispositivo eletrônico conectado à rede local através da Browser Web, Aplicativo para Smartphone e no próprio display do medidor. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, serão realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. O principal objetivo do medidor de energia elétrica inteligente é o controle do consumo dentro da automação residencial já utilizado em milhares de projetos distintos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos, bastante citados nos artigos e livros (SEGeT?,2005; Bookman, 2014; Erica, 2015.), estes explicando de forma sucinta a utilização do Arduino e seus determinados Shields de forma inteligente na automação residencial.

Pode-se traçar as características básicas da proposta desse trabalho. O foco do medidor é de realizar a medição e consumo de energia elétrica em uma residência, ou qualquer estabelecimento alimentado em tensão secundária (220-127V). Este medidor será instalado junto ao quadro de distribuição da residência ou em um eletrodoméstico com o intuito de monitorar o consumo da residência ou **um conjunto de** todos os equipamentos ali instalados. Em geral, um medidor inteligente pode apresentar algumas características , as mais importantes, são: Medição de tensão e corrente de entrada de um consumidor alimentado em tensão secundária, informar consumo de energia em tempo real, calcular e informar a tarifa do consumidor , informar consumo de energia com o propósito de montar um padrão de consumo, plataforma interativa para visualização das medições.

Ferramentas Computacionais Utilizadas:

FRITZING - Será o software de criação e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados, nele será desenvolvido o projeto dos circuitos eletrônicos a serem utilizados em paralelo com Arduino e Shields do medidor de consumo de energia;

IDE ARDUINO - Será utilizado para o desenvolvimento e aplicação do software de programação e controle do microcontrolador Arduino e o monitor web via javascript do medidor;

PROTEUS ? Será o software para criação de projetos eletrônicos, composto por uma suíte de ferramentas , incluindo captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso, usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados.

Ferramentas Laboratoriais Utilizadas:

MULTÍMETRO DE BANCADA ? Será utilizado para fazer medidas de indutância, resistência, capacitância e o teste da continuidade, tudo isto com uma maior precisão. Esses valores serão úteis para parametrizar o comportamento do circuito e sensores usados no projeto;

SETOR ELÉTICO BRASILEIRO

Em dezembro de 2020, o consumo de energia elétrica atingiu 52.890 Gigawatt hora (GWh) considerando autoprodução e perdas, valor 4,6% superior ao verificado no mês anterior e 3,7% superior ao verificado em dezembro de 2019. Semelhante ao registrado no mês anterior, em comparação ao ano passado, as classes residencial e industrial continuaram apresentando crescimento (9,1% e 7,3%, respectivamente), juntamente com a classe rural que, ao contrário do que ocorreu no último mês, voltou a apresentar elevação de 1,8% em relação a dezembro do ano passado. A persistente redução do consumo da classe comercial em relação ao verificado em 2019, ainda que cada vez mais atenuada, demonstra que o setor ainda está sob efeito das medidas adotadas para o enfrentamento do Covid-19. Isso torna o cenário do setor energético brasileiro um tanto quanto preocupante pelo fato de que fica obvio que não está sendo investido em ampliação e manutenção das matrizes energéticas assim como está sendo consumido mais do que gerado. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Com os avanços tecnológicos e facilidade na obtenção de novas tecnologias por diferentes classes da sociedade, o setor energético também deveria ter sido bastante aprimorado. Entretanto quando se fala de setor energético, não se pode responsabilizar somente as empresas geradoras e distribuidoras pela falta de manutenção e ampliação, pois alternativas de redução de consumo e de custos também são opções **para o consumidor** residencial.

Estima-se que o número de domicílios no Brasil passou de 75 milhões em 2020, e assim como já citado, equipamentos que demandam energia também irão crescer em paralelo.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor residencial brasileiro é responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Na figura 1 abaixo mostra a evolução de intensidade energética mais detalhada através dos gráficos.

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf >; Acessado em 10 jun 2021.

Medição de Energia

Durante a evolução dos sistemas elétricos no Brasil, sempre foi uma grande preocupação com as medições. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada que permanecia acesa (Dahle, 2010). Na figura 2 abaixo mostra o processo de geração e distribuição atual de energia.

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia

Fonte: tresmariasemfoco. Disponível em: < <http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html> >; Acessado em 06 set 2021.

Atualmente, 90% dos medidores de energia utilizados são eletromecânicos, possuem baixo custo e alta disponibilidade. Esse medidor é constituído pelos seguintes elementos:

Um motor, que possui em dois circuitos magnéticos, cada um com uma bobina sendo uma de potência e outra de corrente elétrica, os campos magnéticos são proporcionais à tensão e a corrente de todo circuito medido;

Um disco de alumínio suspenso na região do campo magnético criado pela bobina de corrente, onde são induzidas correntes parasitas, de modo a fazer com que o disco gire no seu próprio eixo. O número de rotações do disco é proporcional à energia consumida pela carga, fornecendo a medida do consumo de energia em quilowatt-hora (KWh).

Esses medidores possuem uma margem de erro máximo de $\pm 2\%$ do valor indicado para a sua faixa nominal, dentro do tempo de vida previsto de operação. Um valor relativamente alto, considerando as perdas que podem onerar o fornecedor e o consumidor final.

Para leitura da medição, é necessário ir até o local onde o medidor está instalado e ver o valor nele registrado, ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico

Fonte: R3 Automação Industrial. Disponível em: < <https://www.automacaor3.com.br/relogio-medidor-de-energia> >; Acessado em 20 ago 2021.

Medidor Inteligente

A implementação de medidor de consumo de energia elétrica inteligente pode ser uma possível solução para a redução da demanda de energia, gestão eficiente na geração e otimização da gestão de recursos. O medidor de consumo de energia inteligente tem capacidade de realizar medição, cálculos e comunicação através de hardware e software. Para interação dessa rede o medidor de consumo de energia inteligente foi projetado para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com determinados padrões. Observa-se que a complexidade do sistema inteligente é maior, porém ele consegue gerar mais informações em uma maior frequência. Enquanto no sistema tradicional a medição ocorre uma vez a cada mês, e para o faturamento, o projeto inteligente mostra em tempo real o consumo e o serviço prestado pela distribuidora facilitar o controle de gasto por parte do consumidor. Além de realizar todas as funções de um medidor tradicional eletromecânico, o medidor de consumo de energia

inteligente pode ser usado como sensor em toda a rede elétrica.

A Figura 4 mostra a comparação entre a medição tradicional com medidor eletromecânico de energia e a inteligente que como base será no projeto aqui mostrado.

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

O medidor de energia elétrica inteligente pode fornecer informações em maior frequência, sobre período pico ou fora de pico e padrão de uso de energia utilizando comunicação bidimensional entre o sistema de ponta e gestor do consumidor. Os consumidores podem reduzir as contas de energia elétrica e os distribuidores podem gerir melhor o seu mercado. Portanto, a utilização do medidor de consumo de energia inteligente é altamente recomendada.

Algumas funções típicas do medidor de consumo de energia inteligente são:

Comunicação bidirecional;

Armazenamento de dados;

Programação;

Segurança;

Exibição de dados, por meio de display, Browser Web e Aplicativo para Smartphone;

Fatura em tempo real;

Tarifa

Além das tarifas de distribuição os Governos; Federal, estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

A correção das tarifas é importante para manter o equilíbrio financeiro da concessão, assegurando a qualidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade.

Conforme mostra a Figura 5 a seguir com dados da (Aneel 2021), os custos de energia representam a maior parte de custos (53,5%), seguido os tributos (29,5%) sem 4,5% de tributos federais PIS e COFINS e 25% tributo estadual ICMS. Referente aos custos de distribuição, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% das tarifas.

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos

Fonte: Aneel. Disponível em: < https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false >. Acessado em 01 mai 2021.

Com informações da (Neoenergia-Elektro, 2021) temos a descrição dos valores em KW/h das Tarifa de consumo de energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) como mostra na figura 6 abaixo.

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição

Fonte: Neoenergia-Elektro. Disponível em: < <https://www.neoenergiaelektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos> >. Acessado em 14 set 2021.

Cálculo das tarifas para IDE Arduino

Com base em um aparelho qualquer de 9W de potência foi transformado KWh em Quilo Watt segundo (KWs) já que no Arduino será calculado em segundos. Como mostra a figura 7 abaixo, serão esses dados aplicados no programa IDE Ardurino.

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo na figura 8 abaixo mostra os cálculos anteriormente realizados aplicados na IDE Arduino.

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino

Fonte: Elaborado pelo autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A grande parte de medidores inteligentes hoje no mercado são derivados de um projeto Open Source denominado como Open Energy Monitor, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global. Seu funcionamento consiste em medições feitas por sensores e Shields que enviam informações para um microcontrolador central onde são tratadas todas as informações, a fim de enviar todo o levantamento de consumo de energia elétrica.

Internet das Coisas

Comunicação entre todos os objetos físicos?, onde a comunicação que já acontece entre máquinas, e entre pessoas e computadores, se estenderá a outros objetos.

Monk, Simon (2018) em **Internet das Coisas**, uma introdução com o photon define que: Termo ?**Internet das coisas**? Internet of Things (IOT) foi proposto por Kevin Ashton em 1999, mas o desenvolvimento do conceito tecnológico foi introduzido pela primeira vez pelo departamento de ciência da computação da Carnegie Mellon University, onde os alunos conectaram à internet uma máquina de venda automática de refrigerantes.

No âmbito da eficiência energética, dentre inúmeras possibilidades, a funcionalidade com enfoque neste projeto é para o monitoramento do uso de energia em um circuito monofásico com o intuito de economizar energia elétrica.

A plataforma IOT permite que o consumidor possa verificar o seu uso de energia instantaneamente ao longo do tempo, permitindo o entendimento de forma intuitiva e o reconhecimento de padrões de consumo que se repetem no decorrer do tempo através de um computador ou smartphone dentro de uma rede.

Construção do Dispositivo

Teorias apresentadas neste item trarão todos os embasamentos abrangentes necessários para compreensão do hardware e software utilizado no trabalho, desde seus funcionamentos básicos como

dispositivos até ferramentas utilizadas para sua construção.

Para as conexões do circuito foram utilizados alguns componentes eletrônicos, como dois resistores de 10kohms, um resistor de 330ohm e um capacitor de 100uF/16v. Os componentes são utilizados em diversas funções, porém no projeto são utilizados com objetivo de construir um pequeno circuito eletrônico de divisor de tensão, sendo utilizado para dividir a tensão DC de 5V do Arduino, evitando prejuízo em algum componente no caso de picos de energia altos, o resistor de 330 ohm é utilizado para criar a variação na tensão para medição da corrente elétrica ligado em serie junto ao sensor de corrente SCT013 mostrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Circuito para SCT013

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse projeto, foi desenvolvido uma aplicação Web com a linguagem HTML dentro do IDE do Arduino , **que é uma** linguagem de marcação para desenvolvimento que permite implementar a página via Browser como monitoramento em tempo real. Dentro da aplicação onde V é a tensão, A é corrente elétrica, P é potência e ou W os Watts como mostra na figura 10 abaixo exemplo de medições e cálculos de uma lâmpada de LED de 100-240V E27 +/- 10W e 3000K.

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de tensão e corrente medidos pelos Shelds, o programa desenvolvido consegue realizar o cálculo da lei de OHM corrente x tensão, encontrando a potência de um equipamento, através do somatório dos KWH por hora, elaborado pelo código desenvolvido e mostrar o resultado e em tempo real o valor a ser pago.

Com a intenção de ter um registro de qualquer anomalia no sistema e conseguir um histórico das medições de tensão, corrente, potência com data e hora, surgiu a necessidade da instalação de um Shield RTC com uma bateria para gravar e segurar data e hora exata e um Micro-SD no Ethernet Shield para salvar os dados como DATALOG e criar um mini banco de dados observados na figura 11 abaixo.

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de montagem e testes, observou-se que somente o sensor de corrente SCT013 não era suficiente para realizar a medição da tensão realizando cálculos da lei de Ohm no programa, **já que o** resultado oscilou **muito**. **Por isso** foi necessário instalar um segundo sensor no projeto, o sensor de tensão AC 127/220V sendo assim um segundo protótipo foi confeccionado.

Primeiro Protótipo

No período de concepção do medidor, a topologia inicial tinha como base três principais componentes: um Arduino UNO, como unidade micro controladora, um Ethernet Shield W5100 que é um microcontrolador capaz de conectar-se às redes de Ethernet/Internet e um sensor de corrente SCT-013, para medir valores

de 0 até 100A de corrente alternada somente abraçando um dos cabos do equipamento a ser medido a corrente elétrica.

Ao executar a montagem da primeira versão do medidor em uma protoboard como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 ? Primeiro Protótipo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que os valores lidos de tensão calculado adicionando a potência do equipamento manualmente e calculado pela lei de Ohm nos testes de bancada não correspondiam com os valores esperados, os valores medidos possuíam um alto nível de imprecisão variando mais de 20% para mais ou para menos.

Buscando alternativas para contornar a imprecisão do resultado das tensões, surgiu a possibilidade de utilizar um sensor de tensão sendo suficiente para atender ao projeto, pois o sensor de tensão com baixa variação de apenas 2% para mais ou para menos, excelente Shield que resolveria o problema da medição de tensão, sendo assim o sensor de corrente seria somente para a sua função específica e enxugaria o código no IDE Arduino, sem a necessidade de vários cálculos da lei de ohm no programa em relação ao resultado do valor de tensão.

Segundo Protótipo

Com a aquisição do componente (sensor de tensão) necessário para a segunda versão e final do protótipo, foi iniciada a montagem em uma protoboard como testes.

Com o avanço para a comunicação via Ethernet/Internet pelo Ethernet Shield W5100 e a criação de um DATALOG através do SD-CARD, foi necessário a inserção e um aumento considerável de códigos com HTML o Arduino UNO foi necessário substituir por um superior e com mais memória e a entrada de mais um Shield que seria o Real Time Clock RTC DS3231 para data e hora certa, tanto na visualização em tempo real quanto no DATALOG.

Pensando também em uma possível falha na rede, porque não instalar um display, faltando comunicação temos dos dados de medição para visualização em um display LCD. O projeto ficou mais completo inserindo um display LCD 20x4 de comunicação com Arduino via I2C, com necessidade de inserir uma biblioteca própria no software.

Sendo assim com a substituição pelo modelo Arduino MEGA 2560 R3 foi suficiente para atender o projeto como um todo mostrado na figura 13 abaixo o circuito completo do projeto.

Figura 13 - Circuito Completo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul

O Ethernet Shield permite que a placa Arduino se conecte a uma rede Ethernet/Internet. Baseado no chip de ethernet Wiznet W5100 provendo um stack de rede (ponte entre Arduino e rede) suporta os protocolos TCP e UDP. O Ethernet Shield suporta até quatro conexões simultâneas utilizando a biblioteca Ethernet.h para escrever sketches que se conectam à internet e ethernet.

O Shield de Ethernet é conectado em uma placa Arduino usando pinos longos através do Shield. Isso

mantém o layout de pinos intacto permitindo que outro Shield seja empilhado sucessivamente. Com um slot na placa de cartão micro-SD, podendo ser usado para armazenar arquivos como banco de dados para a rede e compatível com o Arduino Uno e Mega.

O Arduino se comunica tanto com o Shield quanto com o cartão micro-SD usando o barramento Serial Peripheral Interface (SPI) é um protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes). Tanto o Ethernet Shield como a função SDcard compartilham o barramento SPI, então somente um pode estar ativo de cada vez. O Shield fornece um conector padrão RJ45 de Ethernet e o botão de reset no Shield reinicia tanto a ele próprio quanto a placa Arduino independente se o modelo Uno ou Mega observado na figura 14 abaixo.

- Fonte de alimentação: 5V DC
- Interface: SPI
- Suporte cartão SD
- Suporta até quatro ligações de socket simultâneas
- Compatível com Arduino versão standard / série Mega
- Tamanho: 72x55x32mm

Figura 14 ? Ethernet Shield

Fonte: Felipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/ethernet-shield-w5100-para-arduino> >,. Acessado em 12 jun 2021.

O Arduino, além de ser uma placa de desenvolvimento, é uma plataforma de código aberto (Open-Source) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi com o intuito de contribuir no aprendizado de eletrônica e automação para estudantes de design e projetistas. O principal objetivo foi criar uma plataforma de baixo custo, para que estudantes pudessem desenvolver seus projetos e protótipos com o menor custo possível. Segundo o site da plataforma Arduino, (arduino.cc, 2021):

“O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (arduino.cc, 2021).”

O Arduino é formado por dois componentes principais: Hardware e Software.

O hardware é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos. Já o software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino,

através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado durante o seu funcionamento. Possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo. Os pinos da placa se dividem nos seguintes moldes:

- Pinos de entrada e saída digital: Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado no IDE.
- Pinos de entradas analógicas: Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.
- Pinos de saídas analógicas: São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação Pulse Width Modulation (PWM).

A alimentação da placa pode ser feita a partir da porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 a 12 volts (Embarcados.com.br, 2021). A linguagem de programação é modelada a partir da linguagem Wiring. Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador. A IDE apresenta muita abstração, possibilitando o uso de um microcontrolador sem que o usuário conheça o mesmo e nem como deve ser usado os registradores internos de trabalho.

A IDE do Arduino possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. A partir do momento que foi feito o upload o Arduino não precisa mais do computador, o Arduino executará o sketch criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

Na Figura 15 observa-se as características construtivas do Arduino:

Figura 15 ? Arduino Mega

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/arduino-mega-2560> > . Acessado em 14 jun 2021.

Display LCD 20×4 Backlight Azul (20 colunas por 4 linhas) com backlight azul e escrita branca é usado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino e outros projetos eletrônicos. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle, que nesse projeto foi utilizado a ligação I2C, com apenas alimentação 5v e utilizando apenas dois pinos do Arduino: o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 16 abaixo observa-se com mais detalhes o display.

Figura 16 ? Display LCD 20×4 Backlight Azul

Fonte: baudaeletronica. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/display-lcd-20x4-azul.html> > . Acessado em 18 out 2021.

Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock

Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino muitas vezes a quantidade de pinos disponíveis no Arduino é limitada, após conectar display e sensores sobram poucos pinos para uso. O módulo controla o display lcd usando apenas 2 pinos, o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 17 abaixo observa-se. Especificações:

Endereço I2C: 0x20-0x27 (Padrão 0x20 mas pode ser modificado);

Compatível com Display LCD 16x2 e LCD 20x4;
Tensão de operação: 5V;
Dimensões: 55 x 23 x 14mm.

Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino

Fonte: filipeflop. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino>>. Acessado em 18 out 2021.

O sensor de corrente SCT-013 tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas ?abraçar? um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado. SCT é a sigla para Split-core Current Transformer, ou seja, transformador de corrente de núcleo dividido. Ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua saída teremos valores entre 0 e 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal (vidadesilicio.com.br, 2021). Para fazer a medição da corrente elétrica o SCT-013 possui uma bobina interna em sua estrutura, como se pode observar na figura 18 abaixo.

Figura 18 ? Sensor de corrente SCT013

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada>>. Acessado em 14 jun 2021.

O Módulo Sensor de Tensão AC 110/220V é capaz de detectar a passagem de tensão alternada no circuito. Projetado para entradas entre 127 e 220 volts (Suporta a tensão máxima de 311 Volts). Composto de um opto-acoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada / Resistor de Pull Down / Capacitor para estabilizar a saída.

O sensor é ligado em paralelo, portanto a corrente do circuito é irrelevante para ele. Na função voltímetro, a leitura pode oscilar em torno de 2% para mais ou para menos. Na figura 19 abaixo observa-se com mais detalhes.

Especificações:

Tipo de sensor: detector de tensão

Tensão de entrada: 0 a 220VAC

Tensão de pico máxima: 311VAC

Tipo de saída: leitura analógica

Dimensões: 16mm (L) X 15mm (A) X 37mm (C)

Peso: 6g

Ligação:

VCC - Ligado ao 5v do Arduino;

OUT - Ligado a uma porta analógica do Arduino;

GND - Ligado ao GND do Arduino.

Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V

Fonte: Autocorerobotica. Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/buscar?q=sensor+tensao>>

>. Acessado em 14 jun 2021.

Segundo o site filipeflop, (filipeflop.com, 2021):

O Real Time Clock (RTC) DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Na figura 20 abaixo pode-se observar a placa com suas conexões a bateria do modelo CR2032 de 3v e embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão.

Especificações e características:

Controlador: DS3231;

Tensão de operação: 3,3V ? 5VDC;

Interface: I2C;

Bateria compatível: CR2032;

Sensor de temperatura: ~ 3° Celsius de exatidão;

Temperatura de operação: 0 a 40° Celsius;

Computa horas / minutos / segundos / dias da semana / mês / meses / anos (de 2000 a 2099);

Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

Memória: AT24C32 (capacidade de 32Kb que podem ser usados também como RAM estendida ao microcontrolador);

Possui circuito de detecção de falha de energia;

Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS3231

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>.
Acessado em 12 jun 2021.

Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo e possível contato entre o usuário e a corrente elétrica pelo módulo foi projetado uma proteção para que pudesse comportar todos os componentes, foi executado conforme as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 21 acima mostra a proteção do módulo sendo produzida. Para construir a caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o MDF de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO2, com um comprimento de onda de 10.6 µm /Max e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 22 acima mostra a representação do módulo já com sua proteção montada e pronta para uso e o Arduino precisará de uma alimentação de 5V, podendo ser feito pelo próprio cabo de dados porta USB, por pilha, um carregador de celular ou entrada P4 com tensão de 9V DC.

Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto

Um resumo do ciclo de desenvolvimento pode ser visto na Figura 21 abaixo, que demonstra trechos do código elaborado da aplicação em Arduino de uma forma esquemática. O programa principal possui 6 bibliotecas necessárias para seu funcionamento.

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de tensão da residência e a corrente do equipamento, a potência é dada pelo produto dessas unidades usando a lei de Ohm corrente (A) x tensão (V) como mostra nos trechos do código abaixo na figura 23.

Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da conexão à rede para exibição da página Web e App é necessário definir o endereço MAC e definir um IP fixo na rede equivalente a rede local, nesse caso foi usado o IP 192.168.0.20 para o acesso local mostrado na figura 24 abaixo o trecho do código.

Figura 24 ? Conexão de rede e IP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicativo para Smartphone

Para construir um APP foi utilizado o MIT APP Inventor, uma ferramenta de drag-and-drop (arrastar e soltar) visual para a construção de aplicações em smartphones na plataforma Android.

Composto por duas etapas: o App Inventor Designer e o App Inventor Blocks Editor, cada um com função própria e específica. O primeiro tem o objetivo de construir a interface do seu aplicativo e o segundo de adicionar interatividade aos componentes na tela, basicamente só isso, bem intuitivo.

Para o acesso o usuário deverá inserir Login e Senha já predeterminado no App por exemplo foi usado nesse projeto Login TCC e Senha 2021. Após inserir o aplicativo já irá abrir a próxima tela com as informações do medidor de energia elétrica inteligente.

O aplicativo funcionou perfeitamente, sendo possível a visualização das medições do equipamento ao qual estava conectado no projeto desenvolvido. Desta maneira o uso fica restrito ao equipamento que está conectado na rede elétrica ou equipamento elétrico individual por intermédio do protótipo desenvolvido. Na figura 25 abaixo observa-se com mais detalhes em funcionamento e detalhes da criação do mesmo.

Figura 25 ? APP para dispositivo móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calibração dos sensores e leitura

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um Alicata Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para os sensores de corrente e tensão foram uma lâmpada, uma pistola de cola quente e um aspirador de pó.



Essas abordagens de alguns eletrônicos são para validar as medições em componentes diferentes e que não haja uma configuração para apenas um componente específico, lembrando que no próprio datasheet do componente o erro previsto é de +/- 2%.

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma tensão nominal de 127V, a tensão real pode ter uma variação de 114,3V a 139,7V. Este desvio de valor acarretou para uma variação dentro da tolerância permitida.

Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validar o funcionamento do sistema foram realizadas medições com 3 tipos de carga: resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó). Os valores foram adquiridos através da Lei de Ohm, onde temos a Corrente Elétrica (A) x Tensão (V) igual a potência (W).

Tabela 3 ? Comparação Potencia (W) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido 127v e medido pelo sensor de tensão, admitindo uma variação de 10% para mais ou para menos sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL, 2021, os valores informados aos usuários podem sofrer uma variação para baixo ou para cima não ultrapassando a porcentagem aceita pela ANEEL.

RESULTADOS

Para a validação do medidor de energia elétrica inteligente, ele foi instalado em equipamento elétricos diferentes como corrente e potência, já a medição de tensão com alimentação monofásica de 127V para todos os equipamentos. Para comparação, os valores obtidos foram comparados com um Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 como mostra na figura 26 abaixo. O Fluke 381 é um aparelho versátil utilizado em diversas aplicações industriais de modo profissional sendo um dos melhores equipamentos para medição de tensão e corrente elétrica no mercado mundial.

Figura 26 - Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381

Fonte: fluke.com. Disponível em: < <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-381> >. Acessado em 12 set 2021.

Medidor de energia elétrica inteligente totalmente calibrado e pronto para ser utilizado como mostra abaixo na figura 27.

Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez montado o protótipo e pronto, foram realizados alguns testes para validação, eliminação de problemas iniciais e refinamento dos resultados. Para análise dos resultados foi um entendimento sobre o comportamento dos sinais de corrente e tensão para os 3 tipos de carga já citados anteriormente, resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó).

Para validá-lo foram realizados testes lado a lado para aferição do medidor de energia elétrica inteligente como mostra a figura 28 abaixo. Os comparativos com alicate amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 e medidor de energia elétrica inteligente mostram no display de cada equipamento: tensão (V), corrente elétrica (A) e potência (W). Somente o medidor de energia elétrica inteligente é capaz de calcular e mostrar em tempo real a potência (W) através do programa carregado no microcontrolador Arduino.

Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comparativo mostra uma semelhança entre os resultados apresentados pelo medidor de energia elétrica inteligente e o Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381. Os horários em que os picos de consumo acontecem coincidem e a variação em sua magnitude é inferior a 5%.

Apesar da pequena diferença entre os valores lidos, a informação mostrada é mais que suficiente para que o usuário possa acompanhar o seu consumo em tempo real com uma precisão adequada para auxiliá-lo na tomada de decisão referente aos seus hábitos de consumo.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho, com características experimentais, fez com que fosse necessário criar um protótipo confiável possibilitando a visualização remoto através de smartphones e computadores conectados nas redes via cabo ou Wifi. Porém é importante salientar que foi utilizado um sensor de corrente SCT013 até 100A, medidas de corrente possuem uma oscilação na precisão de mais ou menos 2%.

Para o cálculo da potência utilizado o valor de tensão da rede elétrica medido pelo módulo sensor de tensão 127/220V e o valor da corrente elétrica calculado em cima da lei de OHM que nos fornece o valor da potência consumida.

Aplicações com o uso de IOT vêm ganhando destaque na automação em geral capazes de abranger diversas aplicações e uma ferramenta de fácil utilização. O fato de possuir uma grande facilidade para interligar o processo físico do projeto desenvolvido por meio de um sistema distribuído utilizado no projeto um Ethernet Shield W5100 para criar um Servidor Web que tem como função fornecer uma página web como monitoramento por computadores e smartphones contendo informações enviadas pelo Arduino captado dos sensores. Tal fator ficou evidente no decorrer da criação deste presente trabalho.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelos próprios fabricantes dos equipamentos utilizados na medição, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dão pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não do real, já que se tem uma variação de no máximo 10% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 2% sobre os sensores utilizados.

Para isso, a motivação como propósito a utilização em residências, dada uma rotatividade em cada família. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos e verificando os pontos onde são possíveis a redução de consumo da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEDB et. Al. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Disponível em: < https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/05/256_SEGET%20-%20Automacao%20Residencial.pdf >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020> >. Acessado em 24 de mai. de 2021.
- BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - a review. 1. ed. London: IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015.
- BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
- BRAZCUBAS et. Al. Gestão do Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/download/501/603> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Dahle, David. 2010. Samuel Gardiner's lamp--?hour meter (1872). Dave's old Watthour Meter webpage. [Online] 2010. [Citado em: 06 de Julho de 2012.] < <http://watthourmeters.com/others/gardiner.html> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- MONK, SIMON. **Internet das Coisas** um Introdução com Photon. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- MONK, SIMON. Projetos com Arduino e Android. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- PUC GOIAS et. Al. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. Disponível em: < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf> >. Acesso em 03 de mar. de 2021.
- Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 01, p. 7-23, 2017. Disponível em: < https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/TI_EaD/article/download/1686/800 >. Acesso em 13 de mai. de 2021.
- STEVAN JR, SERGIO LUIZ; SILVA, RODRIGO ADAMSHUK. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- VYAKARANAM, Bharat et al. A study of the impact of peak demand on increasing vulnerability of cascading failures to extreme contingency events. IEEE Power & Energy Society General Meeting, p.1-5, jul. 2017. IEEE.



InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador

Sensor de Corrente[A]0.11 A0.15 A2.95 A

Fluke 3810.10 A0.12 A2.40 A

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador

Sensor de Corrente[A]129.90 V130.01 V128.26 V

Fluke 381130.40 V130.30 V128.60 V

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador

Sensor de Corrente[A]13.35 W19.50 W378.36 W

Fluke 381 (Cálculo lei de Ohm)13.04 W15.63 W308.64 W



=====

Arquivo 1: [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Arquivo 2: <https://www.electronicclinic.com/arduino-rtc-ds3231-time-and-date-display-on-a-16x2-lcd> (1712 termos)

Termos comuns: 6

Similaridade: 0,06%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento <https://www.electronicclinic.com/arduino-rtc-ds3231-time-and-date-display-on-a-16x2-lcd> (1712 termos)

=====

Universidade Paulista - UNIP

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Limeira

2021

Universidade Paulista - UNIP



Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes

Limeira

2021

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes.

Aprovada em 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Thais Rocha



Prof. Me. Nome completo

Prof. Esp. Nome completo

DEDICATÓRIA

?Com gratidão, dedico este trabalho primeiro a Deus. Devo a Ele tudo o que sou e serei. Minha esposa Juliane e meu filho João Otávio, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado. ?

?Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes?.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Com o consumo de energia elétrica muito elevado, uma forma de economizar é mensurando quais aparelhos consomem mais, um gasto muito elevado e extremamente desnecessário. Esse consumo pode ser medido com um medidor de energia elétrica inteligente utilizando Arduino, Shields, sensores com software embarcado e aberto, apresentando isso de forma gráfica em tempo real e de fácil entendimento e visualização. Amostras em tempo real gerados pela avaliação de toda residência ou dos aparelhos elétricos individualmente auxiliam a aproveitar melhor seu consumo. Com a enorme popularização da Internet das Coisas, proporciona que objetos comuns do nosso cotidiano possam estar conectados entre si por meio de uma rede local ou pela Internet. Este projeto apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em Internet das Coisas para a medição de consumo de energia elétrica, onde o usuário poderá acompanhar o seu consumo instantâneo de energia elétrica sem a necessidade de esperar a fatura mensal. Com esse cenário o desenvolvimento de um aparelho que coletará informações de consumo e eventuais casos críticos na rede elétrica registrando logs em um cartão SD, já que o projeto também mostrará medições de potência, corrente e tensão elétrica. Conectado em um ponto estratégico da residência, priorizando a instalação no consumidor final. O projeto funcionando de forma simples e amigável torna os dados de consumo do aparelho elétrico recebidos através dos sensores do Arduino e enviados graficamente para um display e remotamente via Browser Web e APP em uma rede local ou Internet, contendo dados elétricos e do consumo em tempo real. Com os resultados, o usuário poderá avaliar melhor seu consumo de energia elétrica, podendo economizar recursos financeiros e naturais.

Palavra-Chave: Arduino; Sensor; Consumo de Energia; Corrente; Medidor.

ABSTRACT

With very high electricity consumption, a way to save is measuring which appliances consume more, a very



high and extremely unnecessary expense. This consumption can be measured with an intelligent electric energy meter using Arduino, Shields, sensors with embedded and open software, presenting it in real-time graphical form and easy to understand and visualize. Real-time sampling generated by evaluating the entire home or individual electrical appliances helps to make better use of your consumption. With the huge popularity of the **Internet of Things**, it allows common objects of our daily lives to be connected to each other through a local network or the Internet. This project presents the development of an **Internet of Things**-based device for measuring electricity consumption, where the user will be able to monitor their instantaneous electricity consumption without having to wait for the monthly bill. With this scenario, the development of a device that will collect consumption information and eventual critical cases in the electrical network, recording logs on an SD card, since the project will also show measurements of power, current and electrical voltage. Connected at a strategic point in the home, prioritizing installation for the final consumer. The project works in a simple and user-friendly way and makes the electrical appliance consumption data received through **Arduino sensors and** sent graphically to a display and remotely via Web Browser and APP on a local network or Internet, containing electrical and consumption data in time real. With the results, the user will be able to better evaluate his electric energy consumption, being able to save financial and natural resources.

Key Words: Arduino; Sensor; Energy consumption; Chain; Meter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil18

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia18

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico19

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente20

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos22

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição22

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas23

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino23

Figura 9 - Circuito para SCT01325

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser26

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD27



Figura 12 ? Primeiro Protótipo28
Figura 13 - Circuito Completo29
Figura 14 ? Ethernet Shield31
Figura 15 ? Arduino Mega33
Figura 16 ? Display LCD 20x4 Backlight Azul34
Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino34
Figura 18 ? Sensor de corrente SCT01335
Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V36
Figura 20 ? **Real Time Clock RTC** DS323137
Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo38
Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo38
Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa39
Figura 24 ? Conexão de rede e IP40
Figura 25 ? APP para dispositivo móvel41
Figura 26 - Alicates Amperímetro duplo True-RMS Fluke 38143
Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando44
Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência45

TABELAS

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos42
Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos42
Tabela 3 ? Comparação Potência (W) entre instrumentos42

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

GWh - Gigawatt-hora

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços

IDE - Integrated Development Environment

IEC - International Electrotechnical Commission

IOT - Internet of Things

IP - Internet Protocol

KWh - Quilo watts hora

KWs ? Quilo watts segundo

LAN - Local Area Network

LCD - Liquid Crystal Display

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

PIS ? Programas de Integração Social

PWM - Pulse Width Modulation

RJ45 - Registered Jack 45

SD-Card - Secure Digital Card

TC - Transformador de Corrente

TCP - Transmission Control Protocol

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

USB - Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO12

1.1Objetivo13

1.2Justificativa14

1.3Metodologia	14
2.SETOR ELÉTICO BRASILEIRO	17
2.1Medição de Energia	18
2.1.1Medidor Inteligente	20
2.2Tarifa	21
2.3Cálculo das tarifas para IDE Arduino	23
3.DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.1Internet das Coisas	24
3.2Construção do Dispositivo	25
3.2.1Primeiro Protótipo	27
3.2.2Segundo Protótipo	29
3.2.3Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul	30
3.2.4Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock	34
3.2.5Proteção do Módulo	37
3.3Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto	39
3.3.1Aplicativo para Smartphone	40
3.4Calibração dos sensores e leitura	41
4.RESULTADOS	43
5.CONCLUSÃO	46
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	47

INTRODUÇÃO

Com todas essas novas invenções e o aumento de tecnologias significantes, tornou-se possível que equipamentos comuns do nosso cotidiano se comuniquem. O conceito de equipamentos conectados é conhecido por **Internet of Things** (IOT) Internet das Coisas. Segundo as estatísticas, em janeiro de 2021, o número de usuários de internet ultrapassou os 4,66 bilhões (We Are Social e Hootsuite, 2021). No planeta existe, segundo estimativas de julho de 2020, uma população de 7,8 bilhões de pessoas, sendo assim mais de metade da população mundial estão ligados na rede e com a Internet das Coisas, o número de dispositivos e equipamentos conectados estão aumentando e aumentará consideravelmente cada vez mais rápido.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, o consumo nacional de eletricidade na rede foi de 474.231 GWh em 2020, sendo que 29% deste total pertence à classe de consumo residencial, por outro lado, com mais pessoas em casa em razão da pandemia do COVID 19, o consumo de energia residencial cresceu 4,1%. Ou seja, esse foi o único segmento que registrou crescimento em 2020 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2021).

A fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária de energia ao final de um ciclo de tarifação (que dura em torno de um mês) é a forma tradicional que o usuário tem a sua disposição para acompanhar seu consumo. Observa-se que há uma carência de informações no documento para fins de tarifação.

Um avanço e tecnologia a baixo custo é o trabalho que aqui será criado, o medidor de energia elétrica inteligente, que, ao invés de apenas apresentar leituras do consumo acumulado da energia, também pode apresentar os dados de consumo em tempo real e com precisão. Os consumidores poderão se beneficiar

com essas informações em tempo real e o quanto de energia cada equipamento irá consumir realizando uma grande economia de energia elétrica no final do mês.

Dentre os principais benefícios do medidor de energia elétrica inteligente estão: a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia em tempo real afim de atingir incentivos financeiros, aprimorar a sustentabilidade, a possibilidade de avaliar e visualizar remotamente, permitir que reduzam o erro humano durante o processo de leitura dos medidores assim podendo argumentar junto a concessionária, distribuidora de energia elétrica.

Esse dispositivo é acessível, código aberto disponibilizado livre, de simples entendimento e podendo ser utilizado em vários projetos. Com as portas digitais e analógicas, o Arduino recebe diversas informações dos sensores utilizando para realizar cálculos e análises, a exemplo dos sensores de corrente e tensão utilizados nesse projeto juntamente com Ethernet Shield e módulo **Real Time Clock (RTC)**, que possibilitam a determinação da potência que, associada ao tempo de uso, permite avaliar o consumo de energia de uma residência toda ou um aparelho elétrico individualmente.

Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fornecer e informar em tempo real, por meio de uma aplicação online e via display qual o gasto em Quilo watts hora (KW/H) consumido e informar a tensão, corrente e potência elétrica. Tal sistema, ainda permitirá conexão utilizando uma conexão cabo de rede ou Wi-Fi. A conexão poderá ser feita a partir de um roteador ou switch por meio da utilização de dispositivos com acesso à rede, tais como notebooks, smartphones, tablets, entre outros.

Realizar medição com diversos equipamentos como eletrodomésticos ou no quadro de distribuição e validar os dados gerados comparando com um multímetro calibrado e mostrando em um display Liquid Crystal Display (LCD), Web Browser e um aplicativo para Smartphone; a potência, corrente, tensão e o consumo de energia elétrica 24 horas por dia em qualquer momento ou lugar.

A interface para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo estará tudo em um Secure Digital Card (SD-Card) acoplado no Ethernet Shield, criando um histórico DATALOG. Acreditando que o dispositivo proposto neste trabalho pode alavancar melhoras consideráveis no final do mês com a conta de luz e no setor elétrico brasileiro de forma a baixo custo.

Justificativa

No Brasil, o consumo energético apresenta alto crescimento no decorrer dos últimos anos. O aumento populacional e conseqüentemente o aumento no número de domicílios proporciona um acréscimo no consumo de energia elétrica residencial.

Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma interface intuitiva para o usuário. A intenção desse projeto é implementar uma alternativa de conscientização e economia de energia elétrica para residências e estabelecimentos a baixo custo.

Dentro de todo o cenário apresentado justifica-se o surgimento de novas tecnologias, que visam fornecer ao consumidor, uma forma de obter informações acerca do consumo energético total de uma residência ou individualizado por equipamento. Espera-se um uso mais racional da energia elétrica, uma vez que o consumidor poderá tomar medidas agindo sobre as fontes que mais consomem.

O uso de controles para reduzir o consumo de energia no sistema energético vem tornando-se cada vez mais popular, melhorando a qualidade utilizando equipamentos para monitoramento de gastos gerando uma boa aceitação por parte dos usuários.

Estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias são fundamentais para a disseminação dessa prática. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para disseminação do conhecimento, levando para os jovens, o contato antecipado com questões ambientais e tecnológicas.

Metodologia

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, artigos técnicos e vídeos explicativos, que tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido. Analisados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins. Após o aprofundamento dos conhecimentos envolvidos e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados e resultados.

O sistema aborda a construção de um módulo com Arduino, Ethernet Shield com SD Card, Display LCD 20x4, Sensor de Tensão, Transformador de Corrente, **Real Time Clock**, desenvolvimento programação em C/C++ com IDE Arduino, redes de computadores, desenvolvimento Web Server com HTML e aplicativo para smartphone informando a tensão, potência, corrente elétrica, consumo de energia elétrica e informação do comportamento do dispositivo eletrônico conectado à rede local através da Browser Web, Aplicativo para Smartphone e no próprio display do medidor. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, serão realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. O principal objetivo do medidor de energia elétrica inteligente é o controle do consumo dentro da automação residencial já utilizado em milhares de projetos distintos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos, bastante citados nos artigos e livros (SEGGeT?, 2005; Bookman, 2014; Erica, 2015.), estes explicando de forma sucinta a utilização do Arduino e seus determinados Shields de forma inteligente na automação residencial.

Pode-se traçar as características básicas da proposta desse trabalho. O foco do medidor é de realizar a medição e consumo de energia elétrica em uma residência, ou qualquer estabelecimento alimentado em tensão secundária (220-127V). Este medidor será instalado junto ao quadro de distribuição da residência ou em um eletrodoméstico com o intuito de monitorar o consumo da residência ou um conjunto de todos os equipamentos ali instalados. Em geral, um medidor inteligente pode apresentar algumas características, as mais importantes, são: Medição de tensão e corrente de entrada de um consumidor alimentado em tensão secundária, informar consumo de energia em tempo real, calcular e informar a tarifa do consumidor, informar consumo de energia com o propósito de montar um padrão de consumo, plataforma interativa para visualização das medições.

Ferramentas Computacionais Utilizadas:

FRITZING - Será o software de criação e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados, nele será desenvolvido o projeto dos circuitos eletrônicos a serem utilizados em paralelo com Arduino e Shields do medidor de consumo de energia;

IDE ARDUINO - Será utilizado para o desenvolvimento e aplicação do software de programação e controle do microcontrolador Arduino e o monitor web via javascript do medidor;

PROTEUS ? Será o software para criação de projetos eletrônicos, composto por uma suíte de ferramentas, incluindo captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso, usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados.

Ferramentas Laboratoriais Utilizadas:

MULTÍMETRO DE BANCADA ? Será utilizado para fazer medidas de indutância, resistência, capacitância

e o teste da continuidade, tudo isto com uma maior precisão. Esses valores serão úteis para parametrizar o comportamento do circuito e sensores usados no projeto;

SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Em dezembro de 2020, o consumo de energia elétrica atingiu 52.890 Gigawatt hora (GWh) considerando autoprodução e perdas, valor 4,6% superior ao verificado no mês anterior e 3,7% superior ao verificado em dezembro de 2019. Semelhante ao registrado no mês anterior, em comparação ao ano passado, as classes residencial e industrial continuaram apresentando crescimento (9,1% e 7,3%, respectivamente), juntamente com a classe rural que, ao contrário do que ocorreu no último mês, voltou a apresentar elevação de 1,8% em relação a dezembro do ano passado. A persistente redução do consumo da classe comercial em relação ao verificado em 2019, ainda que cada vez mais atenuada, demonstra que o setor ainda está sob efeito das medidas adotadas para o enfrentamento do Covid-19. Isso torna o cenário do setor energético brasileiro um tanto quanto preocupante pelo fato de que fica obvio que não está sendo investido em ampliação e manutenção das matrizes energéticas assim como está sendo consumido mais do que gerado. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Com os avanços tecnológicos e facilidade na obtenção de novas tecnologias por diferentes classes da sociedade, o setor energético também deveria ter sido bastante aprimorado. Entretanto quando se fala de setor energético, não se pode responsabilizar somente as empresas geradoras e distribuidoras pela falta de manutenção e ampliação, pois alternativas de redução de consumo e de custos também são opções para o consumidor residencial.

Estima-se que o número de domicílios no Brasil passou de 75 milhões em 2020, e assim como já citado, equipamentos que demandam energia também irão crescer em paralelo.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor residencial brasileiro é responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Na figura 1 abaixo mostra a evolução de intensidade energética mais detalhada através dos gráficos.

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>

/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf>. Acessado em 10 jun 2021.

Medição de Energia

Durante a evolução dos sistemas elétricos no Brasil, sempre foi uma grande preocupação com as medições. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada que permanecia acesa (Dahle, 2010). Na figura 2 abaixo mostra o processo de geração e distribuição atual de energia.

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia

Fonte: tresmariasemfoco. Disponível em:< http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html>. Acessado em 06 set 2021.

Atualmente, 90% dos medidores de energia utilizados são eletromecânicos, possuem baixo custo e alta disponibilidade. Esse medidor é constituído pelos seguintes elementos:

Um motor, que possui em dois circuitos magnéticos, cada um com uma bobina sendo uma de potência e outra de corrente elétrica, os campos magnéticos são proporcionais à tensão e a corrente de todo circuito medido;

Um disco de alumínio suspenso na região do campo magnético criado pela bobina de corrente, onde são induzidas correntes parasitas, de modo a fazer com que o disco gire no seu próprio eixo. O número de rotações do disco é proporcional à energia consumida pela carga, fornecendo a medida do consumo de energia em quilowatt-hora (KWh).

Esses medidores possuem uma margem de erro máximo de $\pm 2\%$ do valor indicado para a sua faixa nominal, dentro do tempo de vida previsto de operação. Um valor relativamente alto, considerando as perdas que podem onerar o fornecedor e o consumidor final.

Para leitura da medição, é necessário ir até o local onde o medidor está instalado e ver o valor nele registrado, ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico

Fonte: R3 Automação Industrial. Disponível em:< https://www.automacaor3.com.br/relogio-medidor-de-energia>. Acessado em 20 ago 2021.

Medidor Inteligente

A implementação de medidor de consumo de energia elétrica inteligente pode ser uma possível solução para a redução da demanda de energia, gestão eficiente na geração e otimização da gestão de recursos. O medidor de consumo de energia inteligente tem capacidade de realizar medição, cálculos e comunicação através de hardware e software. Para interação dessa rede o medidor de consumo de energia inteligente foi projetado para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com determinados padrões. Observa-se que a complexidade do sistema inteligente é maior, porém ele consegue gerar mais informações em uma maior frequência. Enquanto no sistema tradicional a medição ocorre uma vez a cada mês, e para o faturamento, o projeto inteligente mostra em tempo real o consumo e o serviço prestado pela distribuidora facilitar o controle de gasto por parte do consumidor. Além de realizar todas as funções de um medidor tradicional eletromecânico, o medidor de consumo de energia inteligente pode ser usado como sensor em toda a rede elétrica.

A Figura 4 mostra a comparação entre a medição tradicional com medidor eletromecânico de energia e a inteligente que como base será no projeto aqui mostrado.

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

O medidor de energia elétrica inteligente pode fornecer informações em maior frequência, sobre período pico ou fora de pico e padrão de uso de energia utilizando comunicação bidimensional entre o sistema de ponta e gestor do consumidor. Os consumidores podem reduzir as contas de energia elétrica e os distribuidores podem gerir melhor o seu mercado. Portanto, a utilização do medidor de consumo de energia inteligente é altamente recomendada.

Algumas funções típicas do medidor de consumo de energia inteligente são:

Comunicação bidirecional;

Armazenamento de dados;

Programação;

Segurança;

Exibição de dados, por meio de display, Browser Web e Aplicativo para Smartphone;

Fatura em tempo real;

Tarifa

Além das tarifas de distribuição os Governos; Federal, estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

A correção das tarifas é importante para manter o equilíbrio financeiro da concessão, assegurando a qualidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade.

Conforme mostra a Figura 5 a seguir com dados da (Aneel 2021), os custos de energia representam a maior parte de custos (53,5%), seguido os tributos (29,5%) sem 4,5% de tributos federais PIS e COFINS e 25% tributo estadual ICMS. Referente aos custos de distribuição, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% das tarifas.

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos

Fonte: Aneel. Disponível em: < https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHT/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false >. Acessado em 01 mai 2021.

Com informações da (Neoenergia-Elektro, 2021) temos a descrição dos valores em KW/h das Tarifa de consumo de energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) como mostra na figura 6 abaixo.

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição

Fonte: Neoenergia-Elektro. Disponível em: < <https://www.neoenergiaeletro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos> >. Acessado em 14 set 2021.

Cálculo das tarifas para IDE Arduino

Com base em um aparelho qualquer de 9W de potência foi transformado KWh em Quilo Watt segundo (KWs) já que no Arduino será calculado em segundos. Como mostra a figura 7 abaixo, serão esses dados aplicados no programa IDE Arduino.

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo na figura 8 abaixo mostra os cálculos anteriormente realizados aplicados na IDE Arduino.

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino

Fonte: Elaborado pelo autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A grande parte de medidores inteligentes hoje no mercado são derivados de um projeto Open Source denominado como Open Energy Monitor, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global. Seu funcionamento consiste em medições feitas por sensores e Shields que enviam informações para um microcontrolador central onde são tratadas todas as informações, a fim de enviar todo o levantamento de consumo de energia elétrica.

Internet das Coisas

Comunicação entre todos os objetos físicos?, onde a comunicação que já acontece entre máquinas, e entre pessoas e computadores, se estenderá a outros objetos.

Monk, Simon (2018) em Internet das Coisas, uma introdução com o photon define que: Termo ?Internet das coisas? **Internet of Things** (IOT) foi proposto por Kevin Ashton em 1999, mas o desenvolvimento do conceito tecnológico foi introduzido pela primeira vez pelo departamento de ciência da computação da Carnegie Mellon University, onde os alunos conectaram à internet uma máquina de venda automática de refrigerantes.

No âmbito da eficiência energética, dentre inúmeras possibilidades, a funcionalidade com enfoque neste projeto é para o monitoramento do uso de energia em um circuito monofásico com o intuito de economizar energia elétrica.

A plataforma IOT permite que o consumidor possa verificar o seu uso de energia instantaneamente ao longo do tempo, permitindo o entendimento de forma intuitiva e o reconhecimento de padrões de consumo que se repetem no decorrer do tempo através de um computador ou smartphone dentro de uma rede.

Construção do Dispositivo

Teorias apresentadas neste item trarão todos os embasamentos abrangentes necessários para compreensão do hardware e software utilizado no trabalho, desde seus funcionamentos básicos como dispositivos até ferramentas utilizadas para sua construção.

Para as conexões do circuito foram utilizados alguns componentes eletrônicos, como dois resistores de 10kohms, um resistor de 330ohm e um capacitor de 100uF/16v. Os componentes são utilizados em diversas funções, porém no projeto são utilizados com objetivo de construir um pequeno circuito eletrônico de divisor de tensão, sendo utilizado para dividir a tensão DC de 5V do Arduino, evitando prejuízo em algum componente no caso de picos de energia altos, o resistor de 330 ohm é utilizado para criar a variação na tensão para medição da corrente elétrica ligado em serie junto ao sensor de corrente SCT013 mostrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Circuito para SCT013

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse projeto, foi desenvolvido uma aplicação Web com a linguagem HTML dentro do IDE do Arduino , que é uma linguagem de marcação para desenvolvimento que permite implementar a página via Browser como monitoramento em tempo real. Dentro da aplicação onde V é a tensão, A é corrente elétrica, P é potência e ou W os Watts como mostra na figura 10 abaixo exemplo de medições e cálculos de uma lâmpada de LED de 100-240V E27 +/- 10W e 3000K.

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de tensão e corrente medidos pelos Shelds, o programa desenvolvido consegue realizar o cálculo da lei de OHM corrente x tensão, encontrando a potência de um equipamento, através do somatório dos KWH por hora, elaborado pelo código desenvolvido e mostrar o resultado e em tempo real o valor a ser pago.

Com a intenção de ter um registro de qualquer anomalia no sistema e conseguir um histórico das medições de tensão, corrente, potência com data e hora, surgiu a necessidade da instalação de um Shield RTC com uma bateria para gravar e segurar data e hora exata e um Micro-SD no Ethernet Shield para salvar os dados como DATALOG e criar um mini banco de dados observados na figura 11 abaixo.

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de montagem e testes, observou-se que somente o sensor de corrente SCT013 não era suficiente para realizar a medição da tensão realizando cálculos da lei de Ohm no programa, já que o resultado oscilou muito. Por isso foi necessário instalar um segundo sensor no projeto, o sensor de tensão AC 127/220V sendo assim um segundo protótipo foi confeccionado.

Primeiro Protótipo

No período de concepção do medidor, a topologia inicial tinha como base três principais componentes: um Arduino UNO, como unidade micro controladora, um Ethernet Shield W5100 que é um microcontrolador capaz de conectar-se às redes de Ethernet/Internet e um sensor de corrente SCT-013, para medir valores de 0 até 100A de corrente alternada somente abraçando um dos cabos do equipamento a ser medido a

corrente elétrica.

Ao executar a montagem da primeira versão do medidor em uma protoboard como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 ? Primeiro Protótipo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que os valores lidos de tensão calculado adicionando a potência do equipamento manualmente e calculado pela lei de Ohm nos testes de bancada não correspondiam com os valores esperados, os valores medidos possuíam um alto nível de imprecisão variando mais de 20% para mais ou para menos.

Buscando alternativas para contornar a imprecisão do resultado das tensões, surgiu a possibilidade de utilizar um sensor de tensão sendo suficiente para atender ao projeto, pois o sensor de tensão com baixa variação de apenas 2% para mais ou para menos, excelente Shield que resolveria o problema da medição de tensão, sendo assim o sensor de corrente seria somente para a sua função específica e enxugaria o código no IDE Arduino, sem a necessidade de vários cálculos da lei de ohm no programa em relação ao resultado do valor de tensão.

Segundo Protótipo

Com a aquisição do componente (sensor de tensão) necessário para a segunda versão e final do protótipo, foi iniciada a montagem em uma protoboard como testes.

Com o avanço para a comunicação via Ethernet/Internet pelo Ethernet Shield W5100 e a criação de um DATALOG através do SD-CARD, foi necessário a inserção e um aumento considerável de códigos com HTML o Arduino UNO foi necessário substituir por um superior e com mais memória e a entrada de mais um Shield que seria o **Real Time Clock RTC DS3231** para data e hora certa, tanto na visualização em tempo real quanto no DATALOG.

Pensando também em uma possível falha na rede, porque não instalar um display, faltando comunicação temos dos dados de medição para visualização em um display LCD. O projeto ficou mais completo inserindo um display LCD 20x4 de comunicação com Arduino via I2C, com necessidade de inserir uma biblioteca própria no software.

Sendo assim com a substituição pelo modelo Arduino MEGA 2560 R3 foi suficiente para atender o projeto como um todo mostrado na figura 13 abaixo o circuito completo do projeto.

Figura 13 - Circuito Completo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul

O Ethernet Shield permite que a placa Arduino se conecte a uma rede Ethernet/Internet. Baseado no chip de ethernet Wiznet W5100 provendo um stack de rede (ponte entre Arduino e rede) suporta os protocolos TCP e UDP. O Ethernet Shield suporta até quatro conexões simultâneas utilizando a biblioteca Ethernet.h para escrever sketches que se conectam à internet e ethernet.

O Shield de Ethernet é conectado em uma placa Arduino usando pinos longos através do Shield. Isso mantém o layout de pinos intacto permitindo que outro Shield seja empilhado sucessivamente. Com um

slot na placa de cartão micro-SD, podendo ser usado para armazenar arquivos como banco de dados para a rede e compatível com o Arduino Uno e Mega.

O Arduino se comunica tanto com o Shield quanto com o cartão micro-SD usando o barramento Serial Peripheral Interface (SPI) é um protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes). Tanto o Ethernet Shield como a função SDcard compartilham o barramento SPI, então somente um pode estar ativo de cada vez. O Shield fornece um conector padrão RJ45 de Ethernet e o botão de reset no Shield reinicia tanto a ele próprio quanto a placa Arduino independente se o modelo Uno ou Mega observado na figura 14 abaixo.

- Fonte de alimentação: 5V DC
- Interface: SPI
- Suporte cartão SD
- Suporta até quatro ligações de socket simultâneas
- Compatível com Arduino versão standard / série Mega
- Tamanho: 72x55x32mm

Figura 14 ? Ethernet Shield

Fonte: Felipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/ethernet-shield-w5100-para-arduino> >. Acessado em 12 jun 2021.

O Arduino, além de ser uma placa de desenvolvimento, é uma plataforma de código aberto (Open-Source) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi com o intuito de contribuir no aprendizado de eletrônica e automação para estudantes de design e projetistas. O principal objetivo foi criar uma plataforma de baixo custo, para que estudantes pudessem desenvolver seus projetos e protótipos com o menor custo possível. Segundo o site da plataforma Arduino, (arduino.cc, 2021):

“O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (arduino.cc, 2021).”

O Arduino é formado por dois componentes principais: Hardware e Software.

O hardware é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos. Já o software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino, através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado

durante o seu funcionamento. Possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo . Os pinos da placa se dividem nos seguintes moldes:

- Pinos de entrada e saída digital: Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado no IDE.
- Pinos de entradas analógicas: Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.
- Pinos de saídas analógicas: São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação Pulse Width Modulation (PWM).

A alimentação da placa pode ser feita a partir da porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 a 12 volts (Embarcados.com.br, 2021). A linguagem de programação é modelada a partir da linguagem Wiring. Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador. A IDE apresenta muita abstração, possibilitando o uso de um microcontrolador sem que o usuário conheça o mesmo e nem como deve ser usado os registradores internos de trabalho.

A IDE do Arduino possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. A partir do momento que foi feito o upload o Arduino não precisa mais do computador, o Arduino executará o sketch criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

Na Figura 15 observa-se as características construtivas do Arduino:

Figura 15 ? Arduino Mega

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/arduino-mega-2560> >. Acessado em 14 jun 2021.

Display LCD 20x4 Backlight Azul (20 colunas por 4 linhas) com backlight azul e escrita branca é usado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino e outros projetos eletrônicos. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle, que nesse projeto foi utilizado a ligação I2C, com apenas alimentação 5v e utilizando apenas dois pinos do Arduino: o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 16 abaixo observa-se com mais detalhes o display.

Figura 16 ? Display LCD 20x4 Backlight Azul

Fonte: baudaeletronica. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/display-lcd-20x4-azul.html> >. Acessado em 18 out 2021.

Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e **Real Time Clock**

Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino muitas vezes a quantidade de pinos disponíveis no Arduino é limitada, após conectar display e sensores sobram poucos pinos para uso. O módulo controla o display lcd usando apenas 2 pinos, o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 17 abaixo observa-se. Especificações:

Endereço I2C: 0x20-0x27 (Padrão 0x20 mas pode ser modificado);

Compatível com Display LCD 16x2 e LCD 20x4;

Tensão de operação: 5V;
Dimensões: 55 x 23 x 14mm.

Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino

Fonte: filipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino> >. Acessado em 18 out 2021.

O sensor de corrente SCT-013 tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas "abraçar" um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado. SCT é a sigla para Split-core Current Transformer, ou seja, transformador de corrente de núcleo dividido. Ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua saída teremos valores entre 0 e 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal (vidadesilicio.com.br, 2021). Para fazer a medição da corrente elétrica o SCT-013 possui uma bobina interna em sua estrutura, como se pode observar na figura 18 abaixo.

Figura 18 ? Sensor de corrente SCT013

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada> >. Acessado em 14 jun 2021.

O Módulo Sensor de Tensão AC 110/220V é capaz de detectar a passagem de tensão alternada no circuito. Projetado para entradas entre 127 e 220 volts (Suporta a tensão máxima de 311 Volts). Composto de um opto-acoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada / Resistor de Pull Down / Capacitor para estabilizar a saída.

O sensor é ligado em paralelo, portanto a corrente do circuito é irrelevante para ele. Na função voltímetro, a leitura pode oscilar em torno de 2% para mais ou para menos. Na figura 19 abaixo observa-se com mais detalhes.

Especificações:

Tipo de sensor: detector de tensão

Tensão de entrada: 0 a 220VAC

Tensão de pico máxima: 311VAC

Tipo de saída: leitura analógica

Dimensões: 16mm (L) X 15mm (A) X 37mm (C)

Peso: 6g

Ligação:

VCC - Ligado ao 5v do Arduino;

OUT - Ligado a uma porta analógica do Arduino;

GND - Ligado ao GND do Arduino.

Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V

Fonte: Autocorerobotica. Disponível em: < <https://www.autocorerobotica.com.br/buscar?q=sensor+tensao> >. Acessado em 14 jun 2021.

Segundo o site filipeflop, (filipeflop.com, 2021):

O **Real Time Clock (RTC)** DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Na figura 20 abaixo pode-se observar a placa com suas conexões a bateria do modelo CR2032 de 3v e embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão.

Especificações e características:

Controlador: DS3231;

Tensão de operação: 3,3V ? 5VDC;

Interface: I2C;

Bateria compatível: CR2032;

Sensor de temperatura: ~ 3° Celsius de exatidão;

Temperatura de operação: 0 a 40° Celsius;

Computa horas / minutos / segundos / dias da semana / mês / meses / anos (de 2000 a 2099);

Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

Memória: AT24C32 (capacidade de 32Kb que podem ser usados também como RAM estendida ao microcontrolador);

Possui circuito de detecção de falha de energia;

Figura 20 ? **Real Time Clock RTC** DS3231

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>.
Acessado em 12 jun 2021.

Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo e possível contato entre o usuário e a corrente elétrica pelo módulo foi projetado uma proteção para que pudesse comportar todos os componentes, foi executado conforme as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Figura 21 ? Confecção da proteção do módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 21 acima mostra a proteção do módulo sendo produzida. Para construir a caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o MDF de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO2, com um comprimento de onda de 10.6 µm /Max e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 22 acima mostra a representação do módulo já com sua proteção montada e pronta para uso e o Arduino precisará de uma alimentação de 5V, podendo ser feito pelo próprio cabo de dados porta USB, por pilha, um carregador de celular ou entrada P4 com tensão de 9V DC.

Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto

Um resumo do ciclo de desenvolvimento pode ser visto na Figura 21 abaixo, que demonstra trechos do código elaborado da aplicação em Arduino de uma forma esquemática. O programa principal possui 6 bibliotecas necessárias para seu funcionamento.

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de tensão da residência e a corrente do equipamento, a potência é dada pelo produto dessas unidades usando a lei de Ohm corrente (A) x tensão (V) como mostra nos trechos do código abaixo na figura 23.

Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da conexão à rede para exibição da página Web e App é necessário definir o endereço MAC e definir um IP fixo na rede equivalente a rede local, nesse caso foi usado o IP 192.168.0.20 para o acesso local mostrado na figura 24 abaixo o trecho do código.

Figura 24 ? Conexão de rede e IP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicativo para Smartphone

Para construir um APP foi utilizado o MIT APP Inventor, uma ferramenta de drag-and-drop (arrastar e soltar) visual para a construção de aplicações em smartphones na plataforma Android.

Composto por duas etapas: o App Inventor Designer e o App Inventor Blocks Editor, cada um com função própria e específica. O primeiro tem o objetivo de construir a interface do seu aplicativo e o segundo de adicionar interatividade aos componentes na tela, basicamente só isso, bem intuitivo.

Para o acesso o usuário deverá inserir Login e Senha já predeterminado no App por exemplo foi usado nesse projeto Login TCC e Senha 2021. Após inserir o aplicativo já irá abrir a próxima tela com as informações do medidor de energia elétrica inteligente.

O aplicativo funcionou perfeitamente, sendo possível a visualização das medições do equipamento ao qual estava conectado no projeto desenvolvido. Desta maneira o uso fica restrito ao equipamento que está conectado na rede elétrica ou equipamento elétrico individual por intermédio do protótipo desenvolvido. Na figura 25 abaixo observa-se com mais detalhes em funcionamento e detalhes da criação do mesmo.

Figura 25 ? APP para dispositivo móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calibração dos sensores e leitura

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um Alicata Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para os sensores de corrente e tensão foram uma lâmpada, uma pistola de cola quente e um aspirador de pó.

Essas abordagens de alguns eletrônicos são para validar as medições em componentes diferentes e que



não haja uma configuração para apenas um componente específico, lembrando que no próprio datasheet do componente o erro previsto é de +/- 2%.

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma tensão nominal de 127V, a tensão real pode ter uma variação de 114,3V a 139,7V. Este desvio de valor acarretou para uma variação dentro da tolerância permitida.

Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validar o funcionamento do sistema foram realizadas medições com 3 tipos de carga: resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó). Os valores foram adquiridos através da Lei de Ohm, onde temos a Corrente Elétrica (A) x Tensão (V) igual a potência (W).

Tabela 3 ? Comparação Potencia (W) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido 127v e medido pelo sensor de tensão, admitindo uma variação de 10% para mais ou para menos sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL, 2021, os valores informados aos usuários podem sofrer uma variação para baixo ou para cima não ultrapassando a porcentagem aceita pela ANEEL.

RESULTADOS

Para a validação do medidor de energia elétrica inteligente, ele foi instalado em equipamento elétricos diferentes como corrente e potência, já a medição de tensão com alimentação monofásica de 127V para todos os equipamentos. Para comparação, os valores obtidos foram comparados com um Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 como mostra na figura 26 abaixo. O Fluke 381 é um aparelho versátil utilizado em diversas aplicações industriais de modo profissional sendo um dos melhores equipamentos para medição de tensão e corrente elétrica no mercado mundial.

Figura 26 - Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381

Fonte: fluke.com. Disponível em: < <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-381> >. Acessado em 12 set 2021.

Medidor de energia elétrica inteligente totalmente calibrado e pronto para ser utilizado como mostra abaixo na figura 27.

Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez montado o protótipo e pronto, foram realizados alguns testes para validação, eliminação de problemas iniciais e refinamento dos resultados. Para análise dos resultados foi um entendimento sobre o comportamento dos sinais de corrente e tensão para os 3 tipos de carga já citados anteriormente, resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó).

Para validá-lo foram realizados testes lado a lado para aferição do medidor de energia elétrica inteligente como mostra a figura 28 abaixo. Os comparativos com alicate amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 e medidor de energia elétrica inteligente mostram no display de cada equipamento: tensão (V), corrente elétrica (A) e potência (W). Somente o medidor de energia elétrica inteligente é capaz de calcular e mostrar em tempo real a potência (W) através do programa carregado no microcontrolador Arduino.

Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comparativo mostra uma semelhança entre os resultados apresentadas pelo medidor de energia elétrica inteligente e o Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381. Os horários em que os picos de consumo acontecem coincidem e a variação em sua magnitude é inferior a 5%.

Apesar da pequena diferença entre os valores lidos, a informação mostrada é mais que suficiente para que o usuário possa acompanhar o seu consumo em tempo real com uma precisão adequada para auxiliá-lo na tomada de decisão referente aos seus hábitos de consumo.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho, com características experimentais, fez com que fosse necessário criar um protótipo confiável possibilitando a visualização remoto através de smartphones e computadores conectados nas redes via cabo ou Wifi. Porém é importante salientar que foi utilizado um sensor de corrente SCT013 até 100A, medidas de corrente possuem uma oscilação na precisão de mais ou menos 2%.

Para o cálculo da potência utilizado o valor de tensão da rede elétrica medido pelo módulo sensor de tensão 127/220V e o valor da corrente elétrica calculado em cima da lei de OHM que nos fornece o valor da potência consumida.

Aplicações com o uso de IOT vêm ganhando destaque na automação em geral capazes de abranger

diversas aplicações e uma ferramenta de fácil utilização. O fato de possuir uma grande facilidade para interligar o processo físico do projeto desenvolvido por meio de um sistema distribuído utilizado no projeto um Ethernet Shield W5100 para criar um Servidor Web que tem como função fornecer uma página web como monitoramento por computadores e smartphones contendo informações enviadas pelo Arduino captado dos sensores. Tal fator ficou evidente no decorrer da criação deste presente trabalho.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelos próprios fabricantes dos equipamentos utilizados na medição, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dão pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não do real, já que se tem uma variação de no máximo 10% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 2% sobre os sensores utilizados.

Para isso, a motivação como propósito a utilização em residências, dada uma rotatividade em cada família. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos e verificando os pontos onde são possíveis a redução de consumo da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEDB et. Al. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/05/256_SEGET%20-%20Automacao%20Residencial.pdf>. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020>>. Acessado em 24 de mai. de 2021.
- BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - a review. 1. ed. London: IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015.
- BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
- BRAZCUBAS et. Al. Gestão do Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/download/501/603>>. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Dahle, David. 2010. Samuel Gardiner's lamp--?hour meter (1872). Dave's old Watthour Meter webpage. [Online] 2010. [Citado em: 06 de Julho de 2012.] <<http://watthourmeters.com/others/gardiner.html>>. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- MONK, SIMON. Internet das Coisas um Introdução com Photon. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- MONK, SIMON. Projetos com Arduino e Android. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- PUC GOIAS et. Al. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf>>. Acesso em 03 de mar. de 2021.
- Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 01, p. 7-23, 2017. Disponível em: <https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/TI_EaD/article/download/1686/800>. Acesso em 13 de mai. de 2021.
- STEVAN JR, SERGIO LUIZ; SILVA, RODRIGO ADAMSHUK. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- VYAKARANAM, Bharat et al. A study of the impact of peak demand on increasing vulnerability of cascading failures to extreme contingency events. IEEE Power & Energy Society General Meeting, p.1-5, jul. 2017. IEEE.



InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]0.11 A0.15 A2.95 A
Fluke 3810.10 A0.12 A2.40 A

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]129.90 V130.01 V128.26 V
Fluke 381130.40 V130.30 V128.60 V

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]13.35 W19.50 W378.36 W
Fluke 381 (Cálculo lei de Ohm)13.04 W15.63 W308.64 W



=====

Arquivo 1: [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Arquivo 2: <https://osoyoo.com/2017/09/12/arduino-lesson-real-time-clock-rtc-module-ds3231> (2873 termos)

Termos comuns: 3

Similaridade: 0,02%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento <https://osoyoo.com/2017/09/12/arduino-lesson-real-time-clock-rtc-module-ds3231> (2873 termos)

=====

Universidade Paulista - UNIP

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Limeira

2021

Universidade Paulista - UNIP



Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes

Limeira

2021

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes.

Aprovada em 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Thais Rocha



Prof. Me. Nome completo

Prof. Esp. Nome completo

DEDICATÓRIA

?Com gratidão, dedico este trabalho primeiro a Deus. Devo a Ele tudo o que sou e serei. Minha esposa Juliane e meu filho João Otávio, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado. ?

?Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes?.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Com o consumo de energia elétrica muito elevado, uma forma de economizar é mensurando quais aparelhos consomem mais, um gasto muito elevado e extremamente desnecessário. Esse consumo pode ser medido com um medidor de energia elétrica inteligente utilizando Arduino, Shields, sensores com software embarcado e aberto, apresentando isso de forma gráfica em tempo real e de fácil entendimento e visualização. Amostras em tempo real gerados pela avaliação de toda residência ou dos aparelhos elétricos individualmente auxiliam a aproveitar melhor seu consumo. Com a enorme popularização da Internet das Coisas, proporciona que objetos comuns do nosso cotidiano possam estar conectados entre si por meio de uma rede local ou pela Internet. Este projeto apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em Internet das Coisas para a medição de consumo de energia elétrica, onde o usuário poderá acompanhar o seu consumo instantâneo de energia elétrica sem a necessidade de esperar a fatura mensal. Com esse cenário o desenvolvimento de um aparelho que coletará informações de consumo e eventuais casos críticos na rede elétrica registrando logs em um cartão SD, já que o projeto também mostrará medições de potência, corrente e tensão elétrica. Conectado em um ponto estratégico da residência, priorizando a instalação no consumidor final. O projeto funcionando de forma simples e amigável torna os dados de consumo do aparelho elétrico recebidos através dos sensores do Arduino e enviados graficamente para um display e remotamente via Browser Web e APP em uma rede local ou Internet, contendo dados elétricos e do consumo em tempo real. Com os resultados, o usuário poderá avaliar melhor seu consumo de energia elétrica, podendo economizar recursos financeiros e naturais.

Palavra-Chave: Arduino; Sensor; Consumo de Energia; Corrente; Medidor.

ABSTRACT

With very high electricity consumption, a way to save is measuring which appliances consume more, a very

high and extremely unnecessary expense. This consumption can be measured with an intelligent electric energy meter using Arduino, Shields, sensors with embedded and open software, presenting it in real-time graphical form and easy to understand and visualize. Real-time sampling generated by evaluating the entire home or individual electrical appliances helps to make better use of your consumption. With the huge popularity of the **Internet of Things**, it allows common objects of our daily lives to be connected to each other through a local network or the Internet. This project presents the development of an **Internet of Things**-based device for measuring electricity consumption, where the user will be able to monitor their instantaneous electricity consumption without having to wait for the monthly bill. With this scenario, the development of a device that will collect consumption information and eventual critical cases in the electrical network, recording logs on an SD card, since the project will also show measurements of power, current and electrical voltage. Connected at a strategic point in the home, prioritizing installation for the final consumer. The project works in a simple and user-friendly way and makes the electrical appliance consumption data received through Arduino sensors and sent graphically to a display and remotely via Web Browser and APP on a local network or Internet, containing electrical and consumption data in time real. With the results, the user will be able to better evaluate his electric energy consumption, being able to save financial and natural resources.

Key Words: Arduino; Sensor; Energy consumption; Chain; Meter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil18

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia18

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico19

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente20

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos22

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição22

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas23

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino23

Figura 9 - Circuito para SCT01325

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser26

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD27

Figura 12 ? Primeiro Protótipo28
Figura 13 - Circuito Completo29
Figura 14 ? Ethernet Shield31
Figura 15 ? Arduino Mega33
Figura 16 ? Display LCD 20×4 Backlight Azul34
Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino34
Figura 18 ? Sensor de corrente SCT01335
Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V36
Figura 20 ? **Real Time Clock RTC** DS323137
Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo38
Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo38
Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa39
Figura 24 ? Conexão de rede e IP40
Figura 25 ? APP para dispositivo móvel41
Figura 26 - Alicates Amperímetro duplo True-RMS Fluke 38143
Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando44
Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência45

TABELAS

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos42
Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos42
Tabela 3 ? Comparação Potência (W) entre instrumentos42



LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

GWh - Gigawatt-hora

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços

IDE - Integrated Development Environment

IEC - International Electrotechnical Commission

IOT - **Internet of Things**

IP - Internet Protocol

KWh - Quilo watts hora

KWs ? Quilo watts segundo

LAN - Local Area Network

LCD - Liquid Crystal Display

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

PIS ? Programas de Integração Social

PWM - Pulse Width Modulation

RJ45 - Registered Jack 45

SD-Card - Secure Digital Card

TC - Transformador de Corrente

TCP - Transmission Control Protocol

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

USB - Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO12

1.1Objetivo13

1.2Justificativa14

1.3Metodologia	14
2.SETOR ELÉTICO BRASILEIRO	17
2.1Medição de Energia	18
2.1.1Medidor Inteligente	20
2.2Tarifa	21
2.3Cálculo das tarifas para IDE Arduino	23
3.DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.1Internet das Coisas	24
3.2Construção do Dispositivo	25
3.2.1Primeiro Protótipo	27
3.2.2Segundo Protótipo	29
3.2.3Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul	30
3.2.4Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock	34
3.2.5Proteção do Módulo	37
3.3Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto	39
3.3.1Aplicativo para Smartphone	40
3.4Calibração dos sensores e leitura	41
4.RESULTADOS	43
5.CONCLUSÃO	46
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	47

INTRODUÇÃO

Com todas essas novas invenções e o aumento de tecnologias significantes, tornou-se possível que equipamentos comuns do nosso cotidiano se comuniquem. O conceito de equipamentos conectados é conhecido por **Internet of Things** (IOT) Internet das Coisas. Segundo as estatísticas, em janeiro de 2021, o número de usuários de internet ultrapassou os 4,66 bilhões (We Are Social e Hootsuite, 2021). No planeta existe, segundo estimativas de julho de 2020, uma população de 7,8 bilhões de pessoas, sendo assim mais de metade da população mundial estão ligados na rede e com a Internet das Coisas, o número de dispositivos e equipamentos conectados estão aumentando e aumentará consideravelmente cada vez mais rápido.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, o consumo nacional de eletricidade na rede foi de 474.231 GWh em 2020, sendo que 29% deste total pertence à classe de consumo residencial, por outro lado, com mais pessoas em casa em razão da pandemia do COVID 19, o consumo de energia residencial cresceu 4,1%. Ou seja, esse foi o único segmento que registrou crescimento em 2020 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2021).

A fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária de energia ao final de um ciclo de tarifação (que dura em torno de um mês) é a forma tradicional que o usuário tem a sua disposição para acompanhar seu consumo. Observa-se que há uma carência de informações no documento para fins de tarifação.

Um avanço e tecnologia a baixo custo é o trabalho que aqui será criado, o medidor de energia elétrica inteligente, que, ao invés de apenas apresentar leituras do consumo acumulado da energia, também pode apresentar os dados de consumo em tempo real e com precisão. Os consumidores poderão se beneficiar

com essas informações em tempo real e o quanto de energia cada equipamento irá consumir realizando uma grande economia de energia elétrica no final do mês.

Dentre os principais benefícios do medidor de energia elétrica inteligente estão: a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia em tempo real afim de atingir incentivos financeiros, aprimorar a sustentabilidade, a possibilidade de avaliar e visualizar remotamente, permitir que reduzam o erro humano durante o processo de leitura dos medidores assim podendo argumentar junto a concessionária, distribuidora de energia elétrica.

Esse dispositivo é acessível, código aberto disponibilizado livre, de simples entendimento e podendo ser utilizado em vários projetos. Com as portas digitais e analógicas, o Arduino recebe diversas informações dos sensores utilizando para realizar cálculos e análises, a exemplo dos sensores de corrente e tensão utilizados nesse projeto juntamente com Ethernet Shield e módulo **Real Time Clock (RTC)**, que possibilitam a determinação da potência que, associada ao tempo de uso, permite avaliar o consumo de energia de uma residência toda ou um aparelho elétrico individualmente.

Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fornecer e informar em tempo real, por meio de uma aplicação online e via display qual o gasto em Quilo watts hora (KW/H) consumido e informar a tensão, corrente e potência elétrica. Tal sistema, ainda permitirá conexão utilizando uma conexão cabo de rede ou Wi-Fi. A conexão poderá ser feita a partir de um roteador ou switch por meio da utilização de dispositivos com acesso à rede, tais como notebooks, smartphones, tablets, entre outros.

Realizar medição com diversos equipamentos como eletrodomésticos ou no quadro de distribuição e validar os dados gerados comparando com um multímetro calibrado e mostrando em um display Liquid Crystal Display (LCD), Web Browser e um aplicativo para Smartphone; a potência, corrente, tensão e o consumo de energia elétrica 24 horas por dia em qualquer momento ou lugar.

A interface para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo estará tudo em um Secure Digital Card (SD-Card) acoplado no Ethernet Shield, criando um histórico DATALOG. Acreditando que o dispositivo proposto neste trabalho pode alavancar melhoras consideráveis no final do mês com a conta de luz e no setor elétrico brasileiro de forma a baixo custo.

Justificativa

No Brasil, o consumo energético apresenta alto crescimento no decorrer dos últimos anos. O aumento populacional e consequentemente o aumento no número de domicílios proporciona um acréscimo no consumo de energia elétrica residencial.

Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma interface intuitiva para o usuário. A intenção desse projeto é implementar uma alternativa de conscientização e economia de energia elétrica para residências e estabelecimentos a baixo custo.

Dentro de todo o cenário apresentado justifica-se o surgimento de novas tecnologias, que visam fornecer ao consumidor, uma forma de obter informações acerca do consumo energético total de uma residência ou individualizado por equipamento. Espera-se um uso mais racional da energia elétrica, uma vez que o consumidor poderá tomar medidas agindo sobre as fontes que mais consomem.

O uso de controles para reduzir o consumo de energia no sistema energético vem tornando-se cada vez mais popular, melhorando a qualidade utilizando equipamentos para monitoramento de gastos gerando uma boa aceitação por parte dos usuários.



Estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias são fundamentais para a disseminação dessa prática. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para disseminação do conhecimento, levando para os jovens, o contato antecipado com questões ambientais e tecnológicas.

Metodologia

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, artigos técnicos e vídeos explicativos, que tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido. Analisados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins. Após o aprofundamento dos conhecimentos envolvidos e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados e resultados.

O sistema aborda a construção de um módulo com Arduino, Ethernet Shield com SD Card, Display LCD 20x4, Sensor de Tensão, Transformador de Corrente, **Real Time Clock**, desenvolvimento programação em C/C++ com IDE Arduino, redes de computadores, desenvolvimento Web Server com HTML e aplicativo para smartphone informando a tensão, potência, corrente elétrica, consumo de energia elétrica e informação do comportamento do dispositivo eletrônico conectado à rede local através da Browser Web, Aplicativo para Smartphone e no próprio display do medidor. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, serão realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. O principal objetivo do medidor de energia elétrica inteligente é o controle do consumo dentro da automação residencial já utilizado em milhares de projetos distintos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos, bastante citados nos artigos e livros (SEGTe, 2005; Bookman, 2014; Erica, 2015.), estes explicando de forma sucinta a utilização do Arduino e seus determinados Shields de forma inteligente na automação residencial.

Pode-se traçar as características básicas da proposta desse trabalho. O foco do medidor é de realizar a medição e consumo de energia elétrica em uma residência, ou qualquer estabelecimento alimentado em tensão secundária (220-127V). Este medidor será instalado junto ao quadro de distribuição da residência ou em um eletrodoméstico com o intuito de monitorar o consumo da residência ou um conjunto de todos os equipamentos ali instalados. Em geral, um medidor inteligente pode apresentar algumas características, as mais importantes, são: Medição de tensão e corrente de entrada de um consumidor alimentado em tensão secundária, informar consumo de energia em tempo real, calcular e informar a tarifa do consumidor, informar consumo de energia com o propósito de montar um padrão de consumo, plataforma interativa para visualização das medições.

Ferramentas Computacionais Utilizadas:

FRITZING - Será o software de criação e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados, nele será desenvolvido o projeto dos circuitos eletrônicos a serem utilizados em paralelo com Arduino e Shields do medidor de consumo de energia;

IDE ARDUINO - Será utilizado para o desenvolvimento e aplicação do software de programação e controle do microcontrolador Arduino e o monitor web via javascript do medidor;

PROTEUS ? Será o software para criação de projetos eletrônicos, composto por uma suíte de ferramentas, incluindo captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso, usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados.

Ferramentas Laboratoriais Utilizadas:

MULTÍMETRO DE BANCADA ? Será utilizado para fazer medidas de indutância, resistência, capacitância

e o teste da continuidade, tudo isto com uma maior precisão. Esses valores serão úteis para parametrizar o comportamento do circuito e sensores usados no projeto;

SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Em dezembro de 2020, o consumo de energia elétrica atingiu 52.890 Gigawatt hora (GWh) considerando autoprodução e perdas, valor 4,6% superior ao verificado no mês anterior e 3,7% superior ao verificado em dezembro de 2019. Semelhante ao registrado no mês anterior, em comparação ao ano passado, as classes residencial e industrial continuaram apresentando crescimento (9,1% e 7,3%, respectivamente), juntamente com a classe rural que, ao contrário do que ocorreu no último mês, voltou a apresentar elevação de 1,8% em relação a dezembro do ano passado. A persistente redução do consumo da classe comercial em relação ao verificado em 2019, ainda que cada vez mais atenuada, demonstra que o setor ainda está sob efeito das medidas adotadas para o enfrentamento do Covid-19. Isso torna o cenário do setor energético brasileiro um tanto quanto preocupante pelo fato de que fica obvio que não está sendo investido em ampliação e manutenção das matrizes energéticas assim como está sendo consumido mais do que gerado. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Com os avanços tecnológicos e facilidade na obtenção de novas tecnologias por diferentes classes da sociedade, o setor energético também deveria ter sido bastante aprimorado. Entretanto quando se fala de setor energético, não se pode responsabilizar somente as empresas geradoras e distribuidoras pela falta de manutenção e ampliação, pois alternativas de redução de consumo e de custos também são opções para o consumidor residencial.

Estima-se que o número de domicílios no Brasil passou de 75 milhões em 2020, e assim como já citado, equipamentos que demandam energia também irão crescer em paralelo.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor residencial brasileiro é responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Na figura 1 abaixo mostra a evolução de intensidade energética mais detalhada através dos gráficos.

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes>

/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf>. Acessado em 10 jun 2021.

Medição de Energia

Durante a evolução dos sistemas elétricos no Brasil, sempre foi uma grande preocupação com as medições. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada que permanecia acesa (Dahle, 2010). Na figura 2 abaixo mostra o processo de geração e distribuição atual de energia.

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia

Fonte: tresmariasemfoco. Disponível em:< http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html>. Acessado em 06 set 2021.

Atualmente, 90% dos medidores de energia utilizados são eletromecânicos, possuem baixo custo e alta disponibilidade. Esse medidor é constituído pelos seguintes elementos:

Um motor, que possui em dois circuitos magnéticos, cada um com uma bobina sendo uma de potência e outra de corrente elétrica, os campos magnéticos são proporcionais à tensão e a corrente de todo circuito medido;

Um disco de alumínio suspenso na região do campo magnético criado pela bobina de corrente, onde são induzidas correntes parasitas, de modo a fazer com que o disco gire no seu próprio eixo. O número de rotações do disco é proporcional à energia consumida pela carga, fornecendo a medida do consumo de energia em quilowatt-hora (KWh).

Esses medidores possuem uma margem de erro máximo de $\pm 2\%$ do valor indicado para a sua faixa nominal, dentro do tempo de vida previsto de operação. Um valor relativamente alto, considerando as perdas que podem onerar o fornecedor e o consumidor final.

Para leitura da medição, é necessário ir até o local onde o medidor está instalado e ver o valor nele registrado, ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico

Fonte: R3 Automação Industrial. Disponível em:< https://www.automacaor3.com.br/relogio-medidor-de-energia>. Acessado em 20 ago 2021.

Medidor Inteligente

A implementação de medidor de consumo de energia elétrica inteligente pode ser uma possível solução para a redução da demanda de energia, gestão eficiente na geração e otimização da gestão de recursos. O medidor de consumo de energia inteligente tem capacidade de realizar medição, cálculos e comunicação através de hardware e software. Para interação dessa rede o medidor de consumo de energia inteligente foi projetado para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com determinados padrões. Observa-se que a complexidade do sistema inteligente é maior, porém ele consegue gerar mais informações em uma maior frequência. Enquanto no sistema tradicional a medição ocorre uma vez a cada mês, e para o faturamento, o projeto inteligente mostra em tempo real o consumo e o serviço prestado pela distribuidora facilitar o controle de gasto por parte do consumidor. Além de realizar todas as funções de um medidor tradicional eletromecânico, o medidor de consumo de energia inteligente pode ser usado como sensor em toda a rede elétrica.

A Figura 4 mostra a comparação entre a medição tradicional com medidor eletromecânico de energia e a inteligente que como base será no projeto aqui mostrado.

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

O medidor de energia elétrica inteligente pode fornecer informações em maior frequência, sobre período pico ou fora de pico e padrão de uso de energia utilizando comunicação bidimensional entre o sistema de ponta e gestor do consumidor. Os consumidores podem reduzir as contas de energia elétrica e os distribuidores podem gerir melhor o seu mercado. Portanto, a utilização do medidor de consumo de energia inteligente é altamente recomendada.

Algumas funções típicas do medidor de consumo de energia inteligente são:

Comunicação bidirecional;

Armazenamento de dados;

Programação;

Segurança;

Exibição de dados, por meio de display, Browser Web e Aplicativo para Smartphone;

Fatura em tempo real;

Tarifa

Além das tarifas de distribuição os Governos; Federal, estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

A correção das tarifas é importante para manter o equilíbrio financeiro da concessão, assegurando a qualidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade.

Conforme mostra a Figura 5 a seguir com dados da (Aneel 2021), os custos de energia representam a maior parte de custos (53,5%), seguido os tributos (29,5%) sem 4,5% de tributos federais PIS e COFINS e 25% tributo estadual ICMS. Referente aos custos de distribuição, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% das tarifas.

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos

Fonte: Aneel. Disponível em: < https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHT/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false >. Acessado em 01 mai 2021.

Com informações da (Neoenergia-Elektro, 2021) temos a descrição dos valores em KW/h das Tarifa de consumo de energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) como mostra na figura 6 abaixo.

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição

Fonte: Neoenergia-Elektro. Disponível em: < <https://www.neoenergiaeletro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos> >. Acessado em 14 set 2021.

Cálculo das tarifas para IDE Arduino

Com base em um aparelho qualquer de 9W de potência foi transformado KWh em Quilo Watt segundo (KWs) já que no Arduino será calculado em segundos. Como mostra a figura 7 abaixo, serão esses dados aplicados no programa IDE Arduino.

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo na figura 8 abaixo mostra os cálculos anteriormente realizados aplicados na IDE Arduino.

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino

Fonte: Elaborado pelo autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A grande parte de medidores inteligentes hoje no mercado são derivados de um projeto Open Source denominado como Open Energy Monitor, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global. Seu funcionamento consiste em medições feitas por sensores e Shields que enviam informações para um microcontrolador central onde são tratadas todas as informações, a fim de enviar todo o levantamento de consumo de energia elétrica.

Internet das Coisas

Comunicação entre todos os objetos físicos?, onde a comunicação que já acontece entre máquinas, e entre pessoas e computadores, se estenderá a outros objetos.

Monk, Simon (2018) em Internet das Coisas, uma introdução com o photon define que: Termo ?Internet das coisas? **Internet of Things** (IOT) foi proposto por Kevin Ashton em 1999, mas o desenvolvimento do conceito tecnológico foi introduzido pela primeira vez pelo departamento de ciência da computação da Carnegie Mellon University, onde os alunos conectaram à internet uma máquina de venda automática de refrigerantes.

No âmbito da eficiência energética, dentre inúmeras possibilidades, a funcionalidade com enfoque neste projeto é para o monitoramento do uso de energia em um circuito monofásico com o intuito de economizar energia elétrica.

A plataforma IOT permite que o consumidor possa verificar o seu uso de energia instantaneamente ao longo do tempo, permitindo o entendimento de forma intuitiva e o reconhecimento de padrões de consumo que se repetem no decorrer do tempo através de um computador ou smartphone dentro de uma rede.

Construção do Dispositivo

Teorias apresentadas neste item trarão todos os embasamentos abrangentes necessários para compreensão do hardware e software utilizado no trabalho, desde seus funcionamentos básicos como dispositivos até ferramentas utilizadas para sua construção.

Para as conexões do circuito foram utilizados alguns componentes eletrônicos, como dois resistores de 10kohms, um resistor de 330ohm e um capacitor de 100uF/16v. Os componentes são utilizados em diversas funções, porém no projeto são utilizados com objetivo de construir um pequeno circuito eletrônico de divisor de tensão, sendo utilizado para dividir a tensão DC de 5V do Arduino, evitando prejuízo em algum componente no caso de picos de energia altos, o resistor de 330 ohm é utilizado para criar a variação na tensão para medição da corrente elétrica ligado em serie junto ao sensor de corrente SCT013 mostrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Circuito para SCT013

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse projeto, foi desenvolvido uma aplicação Web com a linguagem HTML dentro do IDE do Arduino , que é uma linguagem de marcação para desenvolvimento que permite implementar a página via Browser como monitoramento em tempo real. Dentro da aplicação onde V é a tensão, A é corrente elétrica, P é potência e ou W os Watts como mostra na figura 10 abaixo exemplo de medições e cálculos de uma lâmpada de LED de 100-240V E27 +/- 10W e 3000K.

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Browser

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de tensão e corrente medidos pelos Shields, o programa desenvolvido consegue realizar o cálculo da lei de OHM corrente x tensão, encontrando a potência de um equipamento, através do somatório dos KWH por hora, elaborado pelo código desenvolvido e mostrar o resultado e em tempo real o valor a ser pago.

Com a intenção de ter um registro de qualquer anomalia no sistema e conseguir um histórico das medições de tensão, corrente, potência com data e hora, surgiu a necessidade da instalação de um Shield RTC com uma bateria para gravar e segurar data e hora exata e um Micro-SD no Ethernet Shield para salvar os dados como DATALOG e criar um mini banco de dados observados na figura 11 abaixo.

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de montagem e testes, observou-se que somente o sensor de corrente SCT013 não era suficiente para realizar a medição da tensão realizando cálculos da lei de Ohm no programa, já que o resultado oscilou muito. Por isso foi necessário instalar um segundo sensor no projeto, o sensor de tensão AC 127/220V sendo assim um segundo protótipo foi confeccionado.

Primeiro Protótipo

No período de concepção do medidor, a topologia inicial tinha como base três principais componentes: um Arduino UNO, como unidade micro controladora, um Ethernet Shield W5100 que é um microcontrolador capaz de conectar-se às redes de Ethernet/Internet e um sensor de corrente SCT-013, para medir valores de 0 até 100A de corrente alternada somente abraçando um dos cabos do equipamento a ser medido a

corrente elétrica.

Ao executar a montagem da primeira versão do medidor em uma protoboard como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 ? Primeiro Protótipo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que os valores lidos de tensão calculado adicionando a potência do equipamento manualmente e calculado pela lei de Ohm nos testes de bancada não correspondiam com os valores esperados, os valores medidos possuíam um alto nível de imprecisão variando mais de 20% para mais ou para menos.

Buscando alternativas para contornar a imprecisão do resultado das tensões, surgiu a possibilidade de utilizar um sensor de tensão sendo suficiente para atender ao projeto, pois o sensor de tensão com baixa variação de apenas 2% para mais ou para menos, excelente Shield que resolveria o problema da medição de tensão, sendo assim o sensor de corrente seria somente para a sua função específica e enxugaria o código no IDE Arduino, sem a necessidade de vários cálculos da lei de ohm no programa em relação ao resultado do valor de tensão.

Segundo Protótipo

Com a aquisição do componente (sensor de tensão) necessário para a segunda versão e final do protótipo, foi iniciada a montagem em uma protoboard como testes.

Com o avanço para a comunicação via Ethernet/Internet pelo Ethernet Shield W5100 e a criação de um DATALOG através do SD-CARD, foi necessário a inserção e um aumento considerável de códigos com HTML o Arduino UNO foi necessário substituir por um superior e com mais memória e a entrada de mais um Shield que seria o **Real Time Clock RTC DS3231** para data e hora certa, tanto na visualização em tempo real quanto no DATALOG.

Pensando também em uma possível falha na rede, porque não instalar um display, faltando comunicação temos dos dados de medição para visualização em um display LCD. O projeto ficou mais completo inserindo um display LCD 20x4 de comunicação com Arduino via I2C, com necessidade de inserir uma biblioteca própria no software.

Sendo assim com a substituição pelo modelo Arduino MEGA 2560 R3 foi suficiente para atender o projeto como um todo mostrado na figura 13 abaixo o circuito completo do projeto.

Figura 13 - Circuito Completo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul

O Ethernet Shield permite que a placa Arduino se conecte a uma rede Ethernet/Internet. Baseado no chip de ethernet Wiznet W5100 provendo um stack de rede (ponte entre Arduino e rede) suporta os protocolos TCP e UDP. O Ethernet Shield suporta até quatro conexões simultâneas utilizando a biblioteca Ethernet.h para escrever sketches que se conectam à internet e ethernet.

O Shield de Ethernet é conectado em uma placa Arduino usando pinos longos através do Shield. Isso mantém o layout de pinos intacto permitindo que outro Shield seja empilhado sucessivamente. Com um

slot na placa de cartão micro-SD, podendo ser usado para armazenar arquivos como banco de dados para a rede e compatível com o Arduino Uno e Mega.

O Arduino se comunica tanto com o Shield quanto com o cartão micro-SD usando o barramento Serial Peripheral Interface (SPI) é um protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes). Tanto o Ethernet Shield como a função SDcard compartilham o barramento SPI, então somente um pode estar ativo de cada vez. O Shield fornece um conector padrão RJ45 de Ethernet e o botão de reset no Shield reinicia tanto a ele próprio quanto a placa Arduino independente se o modelo Uno ou Mega observado na figura 14 abaixo.

- Fonte de alimentação: 5V DC
- Interface: SPI
- Suporte cartão SD
- Suporta até quatro ligações de socket simultâneas
- Compatível com Arduino versão standard / série Mega
- Tamanho: 72x55x32mm

Figura 14 ? Ethernet Shield

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/produto/ethernet-shield-w5100-para-arduino> >. Acessado em 12 jun 2021.

O Arduino, além de ser uma placa de desenvolvimento, é uma plataforma de código aberto (Open-Source) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi com o intuito de contribuir no aprendizado de eletrônica e automação para estudantes de design e projetistas. O principal objetivo foi criar uma plataforma de baixo custo, para que estudantes pudessem desenvolver seus projetos e protótipos com o menor custo possível. Segundo o site da plataforma Arduino, (arduino.cc, 2021):

?O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (arduino.cc, 2021).?

O Arduino é formado por dois componentes principais: Hardware e Software.

O hardware é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos. Já o software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino, através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado

durante o seu funcionamento. Possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo . Os pinos da placa se dividem nos seguintes moldes:

- Pinos de entrada e saída digital: Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado no IDE.
- Pinos de entradas analógicas: Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.
- Pinos de saídas analógicas: São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação Pulse Width Modulation (PWM).

A alimentação da placa pode ser feita a partir da porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 a 12 volts (Embarcados.com.br, 2021). A linguagem de programação é modelada a partir da linguagem Wiring. Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador. A IDE apresenta muita abstração, possibilitando o uso de um microcontrolador sem que o usuário conheça o mesmo e nem como deve ser usado os registradores internos de trabalho.

A IDE do Arduino possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. A partir do momento que foi feito o upload o Arduino não precisa mais do computador, o Arduino executará o sketch criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

Na Figura 15 observa-se as características construtivas do Arduino:

Figura 15 ? Arduino Mega

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/arduino-mega-2560> >. Acessado em 14 jun 2021.

Display LCD 20×4 Backlight Azul (20 colunas por 4 linhas) com backlight azul e escrita branca é usado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino e outros projetos eletrônicos. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle, que nesse projeto foi utilizado a ligação I2C, com apenas alimentação 5v e utilizando apenas dois pinos do Arduino: o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 16 abaixo observa-se com mais detalhes o display.

Figura 16 ? Display LCD 20×4 Backlight Azul

Fonte: baudaeletronica. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/display-lcd-20x4-azul.html> >. Acessado em 18 out 2021.

Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e **Real Time Clock**

Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino muitas vezes a quantidade de pinos disponíveis no Arduino é limitada, após conectar display e sensores sobram poucos pinos para uso. O módulo controla o display lcd usando apenas 2 pinos, o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 17 abaixo observa-se. Especificações:

Endereço I2C: 0x20-0x27 (Padrão 0x20 mas pode ser modificado);

Compatível com Display LCD 16×2 e LCD 20×4;

Tensão de operação: 5V;
Dimensões: 55 x 23 x 14mm.

Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino

Fonte: filipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino> >. Acessado em 18 out 2021.

O sensor de corrente SCT-013 tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas "abraçar" um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado. SCT é a sigla para Split-core Current Transformer, ou seja, transformador de corrente de núcleo dividido. Ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua saída teremos valores entre 0 e 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal (vidadesilicio.com.br, 2021). Para fazer a medição da corrente elétrica o SCT-013 possui uma bobina interna em sua estrutura, como se pode observar na figura 18 abaixo.

Figura 18 ? Sensor de corrente SCT013

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada> >. Acessado em 14 jun 2021.

O Módulo Sensor de Tensão AC 110/220V é capaz de detectar a passagem de tensão alternada no circuito. Projetado para entradas entre 127 e 220 volts (Suporta a tensão máxima de 311 Volts). Composto de um opto-acoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada / Resistor de Pull Down / Capacitor para estabilizar a saída.

O sensor é ligado em paralelo, portanto a corrente do circuito é irrelevante para ele. Na função voltímetro, a leitura pode oscilar em torno de 2% para mais ou para menos. Na figura 19 abaixo observa-se com mais detalhes.

Especificações:

Tipo de sensor: detector de tensão

Tensão de entrada: 0 a 220VAC

Tensão de pico máxima: 311VAC

Tipo de saída: leitura analógica

Dimensões: 16mm (L) X 15mm (A) X 37mm (C)

Peso: 6g

Ligação:

VCC - Ligado ao 5v do Arduino;

OUT - Ligado a uma porta analógica do Arduino;

GND - Ligado ao GND do Arduino.

Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V

Fonte: Autocorerobotica. Disponível em: < <https://www.autocorerobotica.com.br/buscar?q=sensor+tensao> >. Acessado em 14 jun 2021.

Segundo o site filipeflop, (filipeflop.com, 2021):

O **Real Time Clock (RTC)** DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Na figura 20 abaixo pode-se observar a placa com suas conexões a bateria do modelo CR2032 de 3v e embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão.

Especificações e características:

Controlador: DS3231;

Tensão de operação: 3,3V ? 5VDC;

Interface: I2C;

Bateria compatível: CR2032;

Sensor de temperatura: ~ 3° Celsius de exatidão;

Temperatura de operação: 0 a 40° Celsius;

Computa horas / minutos / segundos / dias da semana / mês / meses / anos (de 2000 a 2099);

Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

Memória: AT24C32 (capacidade de 32Kb que podem ser usados também como RAM estendida ao microcontrolador);

Possui circuito de detecção de falha de energia;

Figura 20 ? **Real Time Clock RTC** DS3231

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>.
Acessado em 12 jun 2021.

Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo e possível contato entre o usuário e a corrente elétrica pelo módulo foi projetado uma proteção para que pudesse comportar todos os componentes, foi executado conforme as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Figura 21 ? Confecção da proteção do módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 21 acima mostra a proteção do módulo sendo produzida. Para construir a caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o MDF de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO2, com um comprimento de onda de 10.6 µm /Max e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 22 acima mostra a representação do módulo já com sua proteção montada e pronta para uso e o Arduino precisará de uma alimentação de 5V, podendo ser feito pelo próprio cabo de dados porta USB, por pilha, um carregador de celular ou entrada P4 com tensão de 9V DC.

Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto

Um resumo do ciclo de desenvolvimento pode ser visto na Figura 21 abaixo, que demonstra trechos do código elaborado da aplicação em Arduino de uma forma esquemática. O programa principal possui 6 bibliotecas necessárias para seu funcionamento.

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de tensão da residência e a corrente do equipamento, a potência é dada pelo produto dessas unidades usando a lei de Ohm corrente (A) x tensão (V) como mostra nos trechos do código abaixo na figura 23.

Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da conexão à rede para exibição da página Web e App é necessário definir o endereço MAC e definir um IP fixo na rede equivalente a rede local, nesse caso foi usado o IP 192.168.0.20 para o acesso local mostrado na figura 24 abaixo o trecho do código.

Figura 24 ? Conexão de rede e IP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicativo para Smartphone

Para construir um APP foi utilizado o MIT APP Inventor, uma ferramenta de drag-and-drop (arrastar e soltar) visual para a construção de aplicações em smartphones na plataforma Android.

Composto por duas etapas: o App Inventor Designer e o App Inventor Blocks Editor, cada um com função própria e específica. O primeiro tem o objetivo de construir a interface do seu aplicativo e o segundo de adicionar interatividade aos componentes na tela, basicamente só isso, bem intuitivo.

Para o acesso o usuário deverá inserir Login e Senha já predeterminado no App por exemplo foi usado nesse projeto Login TCC e Senha 2021. Após inserir o aplicativo já irá abrir a próxima tela com as informações do medidor de energia elétrica inteligente.

O aplicativo funcionou perfeitamente, sendo possível a visualização das medições do equipamento ao qual estava conectado no projeto desenvolvido. Desta maneira o uso fica restrito ao equipamento que está conectado na rede elétrica ou equipamento elétrico individual por intermédio do protótipo desenvolvido. Na figura 25 abaixo observa-se com mais detalhes em funcionamento e detalhes da criação do mesmo.

Figura 25 ? APP para dispositivo móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calibração dos sensores e leitura

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um Alicata Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para os sensores de corrente e tensão foram uma lâmpada, uma pistola de cola quente e um aspirador de pó.

Essas abordagens de alguns eletrônicos são para validar as medições em componentes diferentes e que

não haja uma configuração para apenas um componente específico, lembrando que no próprio datasheet do componente o erro previsto é de +/- 2%.

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma tensão nominal de 127V, a tensão real pode ter uma variação de 114,3V a 139,7V. Este desvio de valor acarretou para uma variação dentro da tolerância permitida.

Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validar o funcionamento do sistema foram realizadas medições com 3 tipos de carga: resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó). Os valores foram adquiridos através da Lei de Ohm, onde temos a Corrente Elétrica (A) x Tensão (V) igual a potência (W).

Tabela 3 ? Comparação Potencia (W) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido 127v e medido pelo sensor de tensão, admitindo uma variação de 10% para mais ou para menos sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL, 2021, os valores informados aos usuários podem sofrer uma variação para baixo ou para cima não ultrapassando a porcentagem aceita pela ANEEL.

RESULTADOS

Para a validação do medidor de energia elétrica inteligente, ele foi instalado em equipamento elétricos diferentes como corrente e potência, já a medição de tensão com alimentação monofásica de 127V para todos os equipamentos. Para comparação, os valores obtidos foram comparados com um Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 como mostra na figura 26 abaixo. O Fluke 381 é um aparelho versátil utilizado em diversas aplicações industriais de modo profissional sendo um dos melhores equipamentos para medição de tensão e corrente elétrica no mercado mundial.

Figura 26 - Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381

Fonte: fluke.com. Disponível em: < <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-381> >. Acessado em 12 set 2021.

Medidor de energia elétrica inteligente totalmente calibrado e pronto para ser utilizado como mostra abaixo na figura 27.

Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez montado o protótipo e pronto, foram realizados alguns testes para validação, eliminação de problemas iniciais e refinamento dos resultados. Para análise dos resultados foi um entendimento sobre o comportamento dos sinais de corrente e tensão para os 3 tipos de carga já citados anteriormente, resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó).

Para validá-lo foram realizados testes lado a lado para aferição do medidor de energia elétrica inteligente como mostra a figura 28 abaixo. Os comparativos com alicate amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 e medidor de energia elétrica inteligente mostram no display de cada equipamento: tensão (V), corrente elétrica (A) e potência (W). Somente o medidor de energia elétrica inteligente é capaz de calcular e mostrar em tempo real a potência (W) através do programa carregado no microcontrolador Arduino.

Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comparativo mostra uma semelhança entre os resultados apresentadas pelo medidor de energia elétrica inteligente e o Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381. Os horários em que os picos de consumo acontecem coincidem e a variação em sua magnitude é inferior a 5%.

Apesar da pequena diferença entre os valores lidos, a informação mostrada é mais que suficiente para que o usuário possa acompanhar o seu consumo em tempo real com uma precisão adequada para auxiliá-lo na tomada de decisão referente aos seus hábitos de consumo.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho, com características experimentais, fez com que fosse necessário criar um protótipo confiável possibilitando a visualização remoto através de smartphones e computadores conectados nas redes via cabo ou Wifi. Porém é importante salientar que foi utilizado um sensor de corrente SCT013 até 100A, medidas de corrente possuem uma oscilação na precisão de mais ou menos 2%.

Para o cálculo da potência utilizado o valor de tensão da rede elétrica medido pelo módulo sensor de tensão 127/220V e o valor da corrente elétrica calculado em cima da lei de OHM que nos fornece o valor da potência consumida.

Aplicações com o uso de IOT vêm ganhando destaque na automação em geral capazes de abranger

diversas aplicações e uma ferramenta de fácil utilização. O fato de possuir uma grande facilidade para interligar o processo físico do projeto desenvolvido por meio de um sistema distribuído utilizado no projeto um Ethernet Shield W5100 para criar um Servidor Web que tem como função fornecer uma página web como monitoramento por computadores e smartphones contendo informações enviadas pelo Arduino captado dos sensores. Tal fator ficou evidente no decorrer da criação deste presente trabalho.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelos próprios fabricantes dos equipamentos utilizados na medição, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dão pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não do real, já que se tem uma variação de no máximo 10% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 2% sobre os sensores utilizados.

Para isso, a motivação como propósito a utilização em residências, dada uma rotatividade em cada família. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos e verificando os pontos onde são possíveis a redução de consumo da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEDB et. Al. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Disponível em: < https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/05/256_SEGET%20-%20Automacao%20Residencial.pdf>. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020> >. Acessado em 24 de mai. de 2021.
- BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - a review. 1. ed. London: IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015.
- BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
- BRAZCUBAS et. Al. Gestão do Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/download/501/603>>. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Dahle, David. 2010. Samuel Gardiner's lamp--?hour meter (1872). Dave's old Watthour Meter webpage. [Online] 2010. [Citado em: 06 de Julho de 2012.] <<http://watthourmeters.com/others/gardiner.html>>. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- MONK, SIMON. Internet das Coisas um Introdução com Photon. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- MONK, SIMON. Projetos com Arduino e Android. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- PUC GOIAS et. Al. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf>>. Acesso em 03 de mar. de 2021.
- Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 01, p. 7-23, 2017. Disponível em: < https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/TI_EaD/article/download/1686/800> Acesso em 13 de mai. de 2021.
- STEVAN JR, SERGIO LUIZ; SILVA, RODRIGO ADAMSHUK. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- VYAKARANAM, Bharat et al. A study of the impact of peak demand on increasing vulnerability of cascading failures to extreme contingency events. IEEE Power & Energy Society General Meeting, p.1-5, jul. 2017. IEEE.



InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]0.11 A0.15 A2.95 A
Fluke 3810.10 A0.12 A2.40 A

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]129.90 V130.01 V128.26 V
Fluke 381130.40 V130.30 V128.60 V

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]13.35 W19.50 W378.36 W
Fluke 381 (Cálculo lei de Ohm)13.04 W15.63 W308.64 W



=====

Arquivo 1: [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Arquivo 2: <https://www.energylens.com/articles/kw-and-kwh> (3616 termos)

Termos comuns: 2

Similaridade: 0,01%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento <https://www.energylens.com/articles/kw-and-kwh> (3616 termos)

=====

Universidade Paulista - UNIP

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Limeira

2021

Universidade Paulista - UNIP



Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes

Limeira

2021

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes.

Aprovada em 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Thais Rocha

Prof. Me. Nome completo



Prof. Esp. Nome completo

DEDICATÓRIA

?Com gratidão, dedico este trabalho primeiro a Deus. Devo a Ele tudo o que sou e serei. Minha esposa Juliane e meu filho João Otávio, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado. ?

?Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes?.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Com o consumo de energia elétrica muito elevado, uma forma de economizar é mensurando quais aparelhos consomem mais, um gasto muito elevado e extremamente desnecessário. Esse consumo pode ser medido com um medidor de energia elétrica inteligente utilizando Arduino, Shields, sensores com software embarcado e aberto, apresentando isso de forma gráfica em tempo real e de fácil entendimento e visualização. Amostras em tempo real gerados pela avaliação de toda residência ou dos aparelhos elétricos individualmente auxiliam a aproveitar melhor seu consumo. Com a enorme popularização da Internet das Coisas, proporciona que objetos comuns do nosso cotidiano possam estar conectados entre si por meio de uma rede local ou pela Internet. Este projeto apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em Internet das Coisas para a medição de consumo de energia elétrica, onde o usuário poderá acompanhar o seu consumo instantâneo de energia elétrica sem a necessidade de esperar a fatura mensal. Com esse cenário o desenvolvimento de um aparelho que coletará informações de consumo e eventuais casos críticos na rede elétrica registrando logs em um cartão SD, já que o projeto também mostrará medições de potência, corrente e tensão elétrica. Conectado em um ponto estratégico da residência, priorizando a instalação no consumidor final. O projeto funcionando de forma simples e amigável torna os dados de consumo do aparelho elétrico recebidos através dos sensores do Arduino e enviados graficamente para um display e remotamente via Browser Web e APP em uma rede local ou Internet, contendo dados elétricos e do consumo em tempo real. Com os resultados, o usuário poderá avaliar melhor seu consumo de energia elétrica, podendo economizar recursos financeiros e naturais.

Palavra-Chave: Arduino; Sensor; Consumo de Energia; Corrente; Medidor.

ABSTRACT

With very high electricity consumption, a way to save is measuring which appliances consume more, a very high and extremely unnecessary expense. This consumption can be measured with an intelligent electric

energy meter using Arduino, Shields, sensors with embedded and open software, presenting it in real-time graphical form and easy to understand and visualize. Real-time sampling generated by evaluating the entire home or individual electrical appliances helps to make better use of your consumption. With the huge popularity of the Internet of Things, it allows common objects of our daily lives to be connected to each other through a local network or the Internet. This project presents **the development of** an Internet of Things-based device for measuring electricity consumption, where the user will **be able to** monitor their instantaneous electricity consumption without having to wait for the monthly bill. With this scenario, **the development of** a device that will collect consumption information and eventual critical cases in the electrical network, recording logs on an SD card, since the project will also show measurements of power, current and electrical voltage. Connected at a strategic point in the home, prioritizing installation for the final consumer. The project works in a simple and user-friendly way and makes the electrical appliance consumption data received through Arduino sensors and sent graphically to a display and remotely via Web Browser and APP on a local network or Internet, containing electrical and consumption data in time real. With the results, the user will **be able to** better evaluate his electric energy consumption, being able to save financial and natural resources.

Key Words: Arduino; Sensor; Energy consumption; Chain; Meter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil18
- Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia18
- Figura 3 ? Medidor Eletromecânico19
- Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente20
- Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos22
- Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição22
- Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas23
- Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino23
- Figura 9 - Circuito para SCT01325
- Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser26
- Figura 11 ? DataLog no Cartão SD27
- Figura 12 ? Primeiro Protótipo28



Figura 13 - Circuito Completo29
Figura 14 ? Ethernet Shield31
Figura 15 ? Arduino Mega33
Figura 16 ? Display LCD 20x4 Backlight Azul34
Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino34
Figura 18 ? Sensor de corrente SCT01335
Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V36
Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS323137
Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo38
Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo38
Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa39
Figura 24 ? Conexão de rede e IP40
Figura 25 ? APP para dispositivo móvel41
Figura 26 - Alicates Amperímetro duplo True-RMS Fluke 38143
Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando44
Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência45

TABELAS

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos42
Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos42
Tabela 3 ? Comparação Potência (W) entre instrumentos42



LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

GWh - Gigawatt-hora

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços

IDE - Integrated Development Environment

IEC - International Electrotechnical Commission

IOT - Internet of Things

IP - Internet Protocol

KWh - Quilo watts hora

KWs ? Quilo watts segundo

LAN - Local Area Network

LCD - Liquid Crystal Display

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

PIS ? Programas de Integração Social

PWM - Pulse Width Modulation

RJ45 - Registered Jack 45

SD-Card - Secure Digital Card

TC - Transformador de Corrente

TCP - Transmission Control Protocol

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

USB - Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO12

1.1Objetivo13

1.2Justificativa14

1.3Metodologia14

2.SETOR ELÉTICO BRASILEIRO	17
2.1Medição de Energia	18
2.1.1Medidor Inteligente	20
2.2Tarifa	21
2.3Cálculo das tarifas para IDE Arduino	23
3.DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.1Internet das Coisas	24
3.2Construção do Dispositivo	25
3.2.1Primeiro Protótipo	27
3.2.2Segundo Protótipo	29
3.2.3Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul	30
3.2.4Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock	34
3.2.5Proteção do Módulo	37
3.3Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto	39
3.3.1Aplicativo para Smartphone	40
3.4Calibração dos sensores e leitura	41
4.RESULTADOS	43
5.CONCLUSÃO	46
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

INTRODUÇÃO

Com todas essas novas invenções e o aumento de tecnologias significantes, tornou-se possível que equipamentos comuns do nosso cotidiano se comuniquem. O conceito de equipamentos conectados é conhecido por Internet of Things (IOT) Internet das Coisas. Segundo as estatísticas, em janeiro de 2021, o número de usuários de internet ultrapassou os 4,66 bilhões (We Are Social e Hootsuite, 2021). No planeta existe, segundo estimativas de julho de 2020, uma população de 7,8 bilhões de pessoas, sendo assim mais de metade da população mundial estão ligados na rede e com a Internet das Coisas, o número de dispositivos e equipamentos conectados estão aumentando e aumentará consideravelmente cada vez mais rápido.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, o consumo nacional de eletricidade na rede foi de 474.231 GWh em 2020, sendo que 29% deste total pertence à classe de consumo residencial, por outro lado, com mais pessoas em casa em razão da pandemia do COVID 19, o consumo de energia residencial cresceu 4,1%. Ou seja, esse foi o único segmento que registrou crescimento em 2020 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2021).

A fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária de energia ao final de um ciclo de tarifação (que dura em torno de um mês) é a forma tradicional que o usuário tem a sua disposição para acompanhar seu consumo. Observa-se que há uma carência de informações no documento para fins de tarifação.

Um avanço e tecnologia a baixo custo é o trabalho que aqui será criado, o medidor de energia elétrica inteligente, que, ao invés de apenas apresentar leituras do consumo acumulado da energia, também pode apresentar os dados de consumo em tempo real e com precisão. Os consumidores poderão se beneficiar com essas informações em tempo real e o quanto de energia cada equipamento irá consumir realizando

uma grande economia de energia elétrica no final do mês.

Dentre os principais benefícios do medidor de energia elétrica inteligente estão: a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia em tempo real afim de atingir incentivos financeiros, aprimorar a sustentabilidade, a possibilidade de avaliar e visualizar remotamente, permitir que reduzam o erro humano durante o processo de leitura dos medidores assim podendo argumentar junto a concessionária, distribuidora de energia elétrica.

Esse dispositivo é acessível, código aberto disponibilizado livre, de simples entendimento e podendo ser utilizado em vários projetos. Com as portas digitais e analógicas, o Arduino recebe diversas informações dos sensores utilizando para realizar cálculos e análises, a exemplo dos sensores de corrente e tensão utilizados nesse projeto juntamente com Ethernet Shield e módulo Real Time Clock (RTC), que possibilitam a determinação da potência que, associada ao tempo de uso, permite avaliar o consumo de energia de uma residência toda ou um aparelho elétrico individualmente.

Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fornecer e informar em tempo real, por meio de uma aplicação online e via display qual o gasto em Quilo watts hora (KW/H) consumido e informar a tensão, corrente e potência elétrica. Tal sistema, ainda permitirá conexão utilizando uma conexão cabo de rede ou Wi-Fi. A conexão poderá ser feita a partir de um roteador ou switch por meio da utilização de dispositivos com acesso à rede, tais como notebooks, smartphones, tablets, entre outros.

Realizar medição com diversos equipamentos como eletrodomésticos ou no quadro de distribuição e validar os dados gerados comparando com um multímetro calibrado e mostrando em um display Liquid Crystal Display (LCD), Web Browser e um aplicativo para Smartphone; a potência, corrente, tensão e o consumo de energia elétrica 24 horas por dia em qualquer momento ou lugar.

A interface para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo estará tudo em um Secure Digital Card (SD-Card) acoplado no Ethernet Shield, criando um histórico DATALOG. Acreditando que o dispositivo proposto neste trabalho pode alavancar melhoras consideráveis no final do mês com a conta de luz e no setor elétrico brasileiro de forma a baixo custo.

Justificativa

No Brasil, o consumo energético apresenta alto crescimento no decorrer dos últimos anos. O aumento populacional e consequentemente o aumento no número de domicílios proporciona um acréscimo no consumo de energia elétrica residencial.

Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma interface intuitiva para o usuário. A intenção desse projeto é implementar uma alternativa de conscientização e economia de energia elétrica para residências e estabelecimentos a baixo custo. Dentro de todo o cenário apresentado justifica-se o surgimento de novas tecnologias, que visam fornecer ao consumidor, uma forma de obter informações acerca do consumo energético total de uma residência ou individualizado por equipamento. Espera-se um uso mais racional da energia elétrica, uma vez que o consumidor poderá tomar medidas agindo sobre as fontes que mais consomem.

O uso de controles para reduzir o consumo de energia no sistema energético vem tornando-se cada vez mais popular, melhorando a qualidade utilizando equipamentos para monitoramento de gastos gerando uma boa aceitação por parte dos usuários.

Estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias são fundamentais para a

disseminação dessa prática. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para disseminação do conhecimento, levando para os jovens, o contato antecipado com questões ambientais e tecnológicas.

Metodologia

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, artigos técnicos e vídeos explicativos, que tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido.

Analizados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins. Após o aprofundamento dos conhecimentos envolvidos e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados e resultados.

O sistema aborda a construção de um módulo com Arduino, Ethernet Shield com SD Card, Display LCD 20x4, Sensor de Tensão, Transformador de Corrente, Real Time Clock, desenvolvimento programação em C/C++ com IDE Arduino, redes de computadores, desenvolvimento Web Server com HTML e aplicativo para smartphone informando a tensão, potência, corrente elétrica, consumo de energia elétrica e informação do comportamento do dispositivo eletrônico conectado à rede local através da Browser Web, Aplicativo para Smartphone e no próprio display do medidor. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, serão realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. O principal objetivo do medidor de energia elétrica inteligente é o controle do consumo dentro da automação residencial já utilizado em milhares de projetos distintos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos, bastante citados nos artigos e livros (SEGeT?,2005; Bookman, 2014; Erica, 2015.), estes explicando de forma sucinta a utilização do Arduino e seus determinados Shields de forma inteligente na automação residencial.

Pode-se traçar as características básicas da proposta desse trabalho. O foco do medidor é de realizar a medição e consumo de energia elétrica em uma residência, ou qualquer estabelecimento alimentado em tensão secundária (220-127V). Este medidor será instalado junto ao quadro de distribuição da residência ou em um eletrodoméstico com o intuito de monitorar o consumo da residência ou um conjunto de todos os equipamentos ali instalados. Em geral, um medidor inteligente pode apresentar algumas características, as mais importantes, são: Medição de tensão e corrente de entrada de um consumidor alimentado em tensão secundária, informar consumo de energia em tempo real, calcular e informar a tarifa do consumidor, informar consumo de energia com o propósito de montar um padrão de consumo, plataforma interativa para visualização das medições.

Ferramentas Computacionais Utilizadas:

FRITZING - Será o software de criação e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados, nele será desenvolvido o projeto dos circuitos eletrônicos a serem utilizados em paralelo com Arduino e Shields do medidor de consumo de energia;

IDE ARDUINO - Será utilizado para o desenvolvimento e aplicação do software de programação e controle do microcontrolador Arduino e o monitor web via javascript do medidor;

PROTEUS ? Será o software para criação de projetos eletrônicos, composto por uma suíte de ferramentas, incluindo captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso, usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados.

Ferramentas Laboratoriais Utilizadas:

MULTÍMETRO DE BANCADA ? Será utilizado para fazer medidas de indutância, resistência, capacitância e o teste da continuidade, tudo isto com uma maior precisão. Esses valores serão úteis para parametrizar

o comportamento do circuito e sensores usados no projeto;

SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Em dezembro de 2020, o consumo de energia elétrica atingiu 52.890 Gigawatt hora (GWh) considerando autoprodução e perdas, valor 4,6% superior ao verificado no mês anterior e 3,7% superior ao verificado em dezembro de 2019. Semelhante ao registrado no mês anterior, em comparação ao ano passado, as classes residencial e industrial continuaram apresentando crescimento (9,1% e 7,3%, respectivamente), juntamente com a classe rural que, ao contrário do que ocorreu no último mês, voltou a apresentar elevação de 1,8% em relação a dezembro do ano passado. A persistente redução do consumo da classe comercial em relação ao verificado em 2019, ainda que cada vez mais atenuada, demonstra que o setor ainda está sob efeito das medidas adotadas para o enfrentamento do Covid-19. Isso torna o cenário do setor energético brasileiro um tanto quanto preocupante pelo fato de que fica obvio que não está sendo investido em ampliação e manutenção das matrizes energéticas assim como está sendo consumido mais do que gerado. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Com os avanços tecnológicos e facilidade na obtenção de novas tecnologias por diferentes classes da sociedade, o setor energético também deveria ter sido bastante aprimorado. Entretanto quando se fala de setor energético, não se pode responsabilizar somente as empresas geradoras e distribuidoras pela falta de manutenção e ampliação, pois alternativas de redução de consumo e de custos também são opções para o consumidor residencial.

Estima-se que o número de domicílios no Brasil passou de 75 milhões em 2020, e assim como já citado, equipamentos que demandam energia também irão crescer em paralelo.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor residencial brasileiro é responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Na figura 1 abaixo mostra a evolução de intensidade energética mais detalhada através dos gráficos.

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf>. Acessado em 10 jun

2021.

Medição de Energia

Durante a evolução dos sistemas elétricos no Brasil, sempre foi uma grande preocupação com as medições. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada que permanecia acesa (Dahle, 2010). Na figura 2 abaixo mostra o processo de geração e distribuição atual de energia.

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia

Fonte: tresmariasemfoco. Disponível em: <<http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html>>. Acessado em 06 set 2021.

Atualmente, 90% dos medidores de energia utilizados são eletromecânicos, possuem baixo custo e alta disponibilidade. Esse medidor é constituído pelos seguintes elementos:

Um motor, que possui em dois circuitos magnéticos, cada um com uma bobina sendo uma de potência e outra de corrente elétrica, os campos magnéticos são proporcionais à tensão e a corrente de todo circuito medido;

Um disco de alumínio suspenso na região do campo magnético criado pela bobina de corrente, onde são induzidas correntes parasitas, de modo a fazer com que o disco gire no seu próprio eixo. O número de rotações do disco é proporcional à energia consumida pela carga, fornecendo a medida do consumo de energia em quilowatt-hora (KWh).

Esses medidores possuem uma margem de erro máximo de $\pm 2\%$ do valor indicado para a sua faixa nominal, dentro do tempo de vida previsto de operação. Um valor relativamente alto, considerando as perdas que podem onerar o fornecedor e o consumidor final.

Para leitura da medição, é necessário ir até o local onde o medidor está instalado e ver o valor nele registrado, ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico

Fonte: R3 Automação Industrial. Disponível em: <<https://www.automacaor3.com.br/relogio-medidor-de-energia>>. Acessado em 20 ago 2021.

Medidor Inteligente

A implementação de medidor de consumo de energia elétrica inteligente pode ser uma possível solução para a redução da demanda de energia, gestão eficiente na geração e otimização da gestão de recursos. O medidor de consumo de energia inteligente tem capacidade de realizar medição, cálculos e comunicação através de hardware e software. Para interação dessa rede o medidor de consumo de energia inteligente foi projetado para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com determinados padrões. Observa-se que a complexidade do sistema inteligente é maior, porém ele consegue gerar mais informações em uma maior frequência. Enquanto no sistema tradicional a medição ocorre uma vez a cada mês, e para o faturamento, o projeto inteligente mostra em tempo real o consumo e o serviço prestado pela distribuidora facilitar o controle de gasto por parte do consumidor. Além de realizar todas as funções de um medidor tradicional eletromecânico, o medidor de consumo de energia inteligente pode ser usado como sensor em toda a rede elétrica.

A Figura 4 mostra a comparação entre a medição tradicional com medidor eletromecânico de energia e a

inteligente que como base será no projeto aqui mostrado.

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

O medidor de energia elétrica inteligente pode fornecer informações em maior frequência, sobre período pico ou fora de pico e padrão de uso de energia utilizando comunicação bidimensional entre o sistema de ponta e gestor do consumidor. Os consumidores podem reduzir as contas de energia elétrica e os distribuidores podem gerir melhor o seu mercado. Portanto, a utilização do medidor de consumo de energia inteligente é altamente recomendada.

Algumas funções típicas do medidor de consumo de energia inteligente são:

Comunicação bidirecional;

Armazenamento de dados;

Programação;

Segurança;

Exibição de dados, por meio de display, Browser Web e Aplicativo para Smartphone;

Fatura em tempo real;

Tarifa

Além das tarifas de distribuição os Governos; Federal, estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

A correção das tarifas é importante para manter o equilíbrio financeiro da concessão, assegurando a qualidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade.

Conforme mostra a Figura 5 a seguir com dados da (Aneel 2021), os custos de energia representam a maior parte de custos (53,5%), seguido os tributos (29,5%) sem 4,5% de tributos federais PIS e COFINS e 25% tributo estadual ICMS. Referente aos custos de distribuição, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% das tarifas.

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos

Fonte: Aneel. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false>. Acessado em 01 mai 2021.

Com informações da (Neoenergia-Elektro, 2021) temos a descrição dos valores em KW/h das Tarifa de consumo de energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) como mostra na figura 6 abaixo.

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição

Fonte: Neoenergia-Elektro. Disponível em: <<https://www.neoenergiaelektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos>>. Acessado em 14 set 2021.

Cálculo das tarifas para IDE Arduino

Com base em um aparelho qualquer de 9W de potência foi transformado KWh em Quilo Watt segundo (KWs) já que no Arduino será calculado em segundos. Como mostra a figura 7 abaixo, serão esses dados aplicados no programa IDE Ardurino.

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo na figura 8 abaixo mostra os cálculos anteriormente realizados aplicados na IDE Arduino.

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino

Fonte: Elaborado pelo autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A grande parte de medidores inteligentes hoje no mercado são derivados de um projeto Open Source denominado como Open Energy Monitor, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global. Seu funcionamento consiste em medições feitas por sensores e Shields que enviam informações para um microcontrolador central onde são tratadas todas as informações, a fim de enviar todo o levantamento de consumo de energia elétrica.

Internet das Coisas

Comunicação entre todos os objetos físicos?, onde a comunicação que já acontece entre máquinas, e entre pessoas e computadores, se estenderá a outros objetos.

Monk, Simon (2018) em Internet das Coisas, uma introdução com o photon define que: Termo ?Internet das coisas? Internet of Things (IOT) foi proposto por Kevin Ashton em 1999, mas o desenvolvimento do conceito tecnológico foi introduzido pela primeira vez pelo departamento de ciência da computação da Carnegie Mellon University, onde os alunos conectaram à internet uma máquina de venda automática de refrigerantes.

No âmbito da eficiência energética, dentre inúmeras possibilidades, a funcionalidade com enfoque neste projeto é para o monitoramento do uso de energia em um circuito monofásico com o intuito de economizar energia elétrica.

A plataforma IOT permite que o consumidor possa verificar o seu uso de energia instantaneamente ao longo do tempo, permitindo o entendimento de forma intuitiva e o reconhecimento de padrões de consumo que se repetem no decorrer do tempo através de um computador ou smartphone dentro de uma rede.

Construção do Dispositivo

Teorias apresentadas neste item trarão todos os embasamentos abrangentes necessários para compreensão do hardware e software utilizado no trabalho, desde seus funcionamentos básicos como dispositivos até ferramentas utilizadas para sua construção.

Para as conexões do circuito foram utilizados alguns componentes eletrônicos, como dois resistores de

10kohms, um resistor de 330ohm e um capacitor de 100uF/16v. Os componentes são utilizados em diversas funções, porém no projeto são utilizados com objetivo de construir um pequeno circuito eletrônico de divisor de tensão, sendo utilizado para dividir a tensão DC de 5V do Arduino, evitando prejuízo em algum componente no caso de picos de energia altos, o resistor de 330 ohm é utilizado para criar a variação na tensão para medição da corrente elétrica ligado em serie junto ao sensor de corrente SCT013 mostrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Circuito para SCT013

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse projeto, foi desenvolvido uma aplicação Web com a linguagem HTML dentro do IDE do Arduino , que é uma linguagem de marcação para desenvolvimento que permite implementar a página via Browser como monitoramento em tempo real. Dentro da aplicação onde V é a tensão, A é corrente elétrica, P é potência e ou W os Watts como mostra na figura 10 abaixo exemplo de medições e cálculos de uma lâmpada de LED de 100-240V E27 +/- 10W e 3000K.

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de tensão e corrente medidos pelos Shelds, o programa desenvolvido consegue realizar o cálculo da lei de OHM corrente x tensão, encontrando a potência de um equipamento, através do somatório dos KWH por hora, elaborado pelo código desenvolvido e mostrar o resultado e em tempo real o valor a ser pago.

Com a intenção de ter um registro de qualquer anomalia no sistema e conseguir um histórico das medições de tensão, corrente, potência com data e hora, surgiu a necessidade da instalação de um Shield RTC com uma bateria para gravar e segurar data e hora exata e um Micro-SD no Ethernet Shield para salvar os dados como DATALOG e criar um mini banco de dados observados na figura 11 abaixo.

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de montagem e testes, observou-se que somente o sensor de corrente SCT013 não era suficiente para realizar a medição da tensão realizando cálculos da lei de Ohm no programa, já que o resultado oscilou muito. Por isso foi necessário instalar um segundo sensor no projeto, o sensor de tensão AC 127/220V sendo assim um segundo protótipo foi confeccionado.

Primeiro Protótipo

No período de concepção do medidor, a topologia inicial tinha como base três principais componentes: um Arduino UNO, como unidade micro controladora, um Ethernet Shield W5100 que é um microcontrolador capaz de conectar-se às redes de Ethernet/Internet e um sensor de corrente SCT-013, para medir valores de 0 até 100A de corrente alternada somente abraçando um dos cabos do equipamento a ser medido a corrente elétrica.

Ao executar a montagem da primeira versão do medidor em uma protoboard como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 ? Primeiro Protótipo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que os valores lidos de tensão calculado adicionando a potência do equipamento manualmente e calculado pela lei de Ohm nos testes de bancada não correspondiam com os valores esperados, os valores medidos possuíam um alto nível de imprecisão variando mais de 20% para mais ou para menos.

Buscando alternativas para contornar a imprecisão do resultado das tensões, surgiu a possibilidade de utilizar um sensor de tensão sendo suficiente para atender ao projeto, pois o sensor de tensão com baixa variação de apenas 2% para mais ou para menos, excelente Shield que resolveria o problema da medição de tensão, sendo assim o sensor de corrente seria somente para a sua função específica e enxugaria o código no IDE Arduino, sem a necessidade de vários cálculos da lei de ohm no programa em relação ao resultado do valor de tensão.

Segundo Protótipo

Com a aquisição do componente (sensor de tensão) necessário para a segunda versão e final do protótipo, foi iniciada a montagem em uma protoboard como testes.

Com o avanço para a comunicação via Ethernet/Internet pelo Ethernet Shield W5100 e a criação de um DATALOG através do SD-CARD, foi necessário a inserção e um aumento considerável de códigos com HTML o Arduino UNO foi necessário substituir por um superior e com mais memória e a entrada de mais um Shield que seria o Real Time Clock RTC DS3231 para data e hora certa, tanto na visualização em tempo real quanto no DATALOG.

Pensando também em uma possível falha na rede, porque não instalar um display, faltando comunicação temos dos dados de medição para visualização em um display LCD. O projeto ficou mais completo inserindo um display LCD 20x4 de comunicação com Arduino via I2C, com necessidade de inserir uma biblioteca própria no software.

Sendo assim com a substituição pelo modelo Arduino MEGA 2560 R3 foi suficiente para atender o projeto como um todo mostrado na figura 13 abaixo o circuito completo do projeto.

Figura 13 - Circuito Completo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul

O Ethernet Shield permite que a placa Arduino se conecte a uma rede Ethernet/Internet. Baseado no chip de ethernet Wiznet W5100 provendo um stack de rede (ponte entre Arduino e rede) suporta os protocolos TCP e UDP. O Ethernet Shield suporta até quatro conexões simultâneas utilizando a biblioteca Ethernet.h para escrever sketches que se conectam à internet e ethernet.

O Shield de Ethernet é conectado em uma placa Arduino usando pinos longos através do Shield. Isso mantém o layout de pinos intacto permitindo que outro Shield seja empilhado sucessivamente. Com um slot na placa de cartão micro-SD, podendo ser usado para armazenar arquivos como banco de dados para

a rede e compatível com o Arduino Uno e Mega.

O Arduino se comunica tanto com o Shield quanto com o cartão micro-SD usando o barramento Serial Peripheral Interface (SPI) é um protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes). Tanto o Ethernet Shield como a função SDcard compartilham o barramento SPI, então somente um pode estar ativo de cada vez. O Shield fornece um conector padrão RJ45 de Ethernet e o botão de reset no Shield reinicia tanto a ele próprio quanto a placa Arduino independente se o modelo Uno ou Mega observado na figura 14 abaixo.

- Fonte de alimentação: 5V DC
- Interface: SPI
- Suporte cartão SD
- Suporta até quatro ligações de socket simultâneas
- Compatível com Arduino versão standard / série Mega
- Tamanho: 72x55x32mm

Figura 14 ? Ethernet Shield

Fonte: Felipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/ethernet-shield-w5100-para-arduino> >. Acessado em 12 jun 2021.

O Arduino, além de ser uma placa de desenvolvimento, é uma plataforma de código aberto (Open-Source) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi com o intuito de contribuir no aprendizado de eletrônica e automação para estudantes de design e projetistas. O principal objetivo foi criar uma plataforma de baixo custo, para que estudantes pudessem desenvolver seus projetos e protótipos com o menor custo possível. Segundo o site da plataforma Arduino, (arduino.cc, 2021):

“O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (arduino.cc, 2021).”

O Arduino é formado por dois componentes principais: Hardware e Software.

O hardware é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos. Já o software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino, através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado durante o seu funcionamento. Possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo

. Os pinos da placa se dividem nos seguintes moldes:

- Pinos de entrada e saída digital: Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado no IDE.
- Pinos de entradas analógicas: Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.
- Pinos de saídas analógicas: São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação Pulse Width Modulation (PWM).

A alimentação da placa pode ser feita a partir da porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 a 12 volts (Embarcados.com.br, 2021). A linguagem de programação é modelada a partir da linguagem Wiring. Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador. A IDE apresenta muita abstração, possibilitando o uso de um microcontrolador sem que o usuário conheça o mesmo e nem como deve ser usado os registradores internos de trabalho.

A IDE do Arduino possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. A partir do momento que foi feito o upload o Arduino não precisa mais do computador, o Arduino executará o sketch criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

Na Figura 15 observa-se as características construtivas do Arduino:

Figura 15 ? Arduino Mega

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/arduino-mega-2560> >,. Acessado em 14 jun 2021.

Display LCD 20×4 Backlight Azul (20 colunas por 4 linhas) com backlight azul e escrita branca é usado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino e outros projetos eletrônicos. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle, que nesse projeto foi utilizado a ligação I2C, com apenas alimentação 5v e utilizando apenas dois pinos do Arduino: o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 16 abaixo observa-se com mais detalhes o display.

Figura 16 ? Display LCD 20×4 Backlight Azul

Fonte: baudaeletronica. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/display-lcd-20x4-azul.html> >,. Acessado em 18 out 2021.

Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock

Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino muitas vezes a quantidade de pinos disponíveis no Arduino é limitada, após conectar display e sensores sobram poucos pinos para uso. O módulo controla o display lcd usando apenas 2 pinos, o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 17 abaixo observa-se. Especificações:

Endereço I2C: 0x20-0x27 (Padrão 0x20 mas pode ser modificado);

Compatível com Display LCD 16×2 e LCD 20×4;

Tensão de operação: 5V;

Dimensões: 55 x 23 x 14mm.

Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino

Fonte: filipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino> >. Acessado em 18 out 2021.

O sensor de corrente SCT-013 tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas "abraçar" um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado. SCT é a sigla para Split-core Current Transformer, ou seja, transformador de corrente de núcleo dividido. Ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua saída teremos valores entre 0 e 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal (vidadesilicio.com.br, 2021). Para fazer a medição da corrente elétrica o SCT-013 possui uma bobina interna em sua estrutura, como se pode observar na figura 18 abaixo.

Figura 18 ? Sensor de corrente SCT013

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada> >. Acessado em 14 jun 2021.

O Módulo Sensor de Tensão AC 110/220V é capaz de detectar a passagem de tensão alternada no circuito. Projetado para entradas entre 127 e 220 volts (Suporta a tensão máxima de 311 Volts). Composto de um opto-acoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada / Resistor de Pull Down / Capacitor para estabilizar a saída.

O sensor é ligado em paralelo, portanto a corrente do circuito é irrelevante para ele. Na função voltímetro, a leitura pode oscilar em torno de 2% para mais ou para menos. Na figura 19 abaixo observa-se com mais detalhes.

Especificações:

Tipo de sensor: detector de tensão

Tensão de entrada: 0 a 220VAC

Tensão de pico máxima: 311VAC

Tipo de saída: leitura analógica

Dimensões: 16mm (L) X 15mm (A) X 37mm (C)

Peso: 6g

Ligação:

VCC - Ligado ao 5v do Arduino;

OUT - Ligado a uma porta analógica do Arduino;

GND - Ligado ao GND do Arduino.

Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V

Fonte: Autocorerobotica. Disponível em: < <https://www.autocorerobotica.com.br/buscar?q=sensor+tensao> >. Acessado em 14 jun 2021.

Segundo o site filipeflop, (filipeflop.com, 2021):

O Real Time Clock (RTC) DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Na figura 20 abaixo pode-se observar a placa com suas conexões a bateria do modelo CR2032 de 3v e embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão.

Especificações e características:

Controlador: DS3231;

Tensão de operação: 3,3V ? 5VDC;

Interface: I2C;

Bateria compatível: CR2032;

Sensor de temperatura: ~ 3° Celsius de exatidão;

Temperatura de operação: 0 a 40° Celsius;

Computa horas / minutos / segundos / dias da semana / mês / meses / anos (de 2000 a 2099);

Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

Memória: AT24C32 (capacidade de 32Kb que podem ser usados também como RAM estendida ao microcontrolador);

Possui circuito de detecção de falha de energia;

Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS3231

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>;
Acessado em 12 jun 2021.

Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo e possível contato entre o usuário e a corrente elétrica pelo módulo foi projetado uma proteção para que pudesse comportar todos os componentes, foi executado conforme as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Figura 21 ? Confecção da proteção do módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 21 acima mostra a proteção do módulo sendo produzida. Para construir a caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o MDF de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO2, com um comprimento de onda de 10.6 µm /Max e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 22 acima mostra a representação do módulo já com sua proteção montada e pronta para uso e o Arduino precisará de uma alimentação de 5V, podendo ser feito pelo próprio cabo de dados porta USB, por pilha, um carregador de celular ou entrada P4 com tensão de 9V DC.

Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto

Um resumo do ciclo de desenvolvimento pode ser visto na Figura 21 abaixo, que demonstra trechos do código elaborado da aplicação em Arduino de uma forma esquemática. O programa principal possui 6 bibliotecas necessárias para seu funcionamento.

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de tensão da residência e a corrente do equipamento, a potência é dada pelo produto dessas unidades usando a lei de Ohm corrente (A) x tensão (V) como mostra nos trechos do código abaixo na figura 23.

Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da conexão à rede para exibição da página Web e App é necessário definir o endereço MAC e definir um IP fixo na rede equivalente a rede local, nesse caso foi usado o IP 192.168.0.20 para o acesso local mostrado na figura 24 abaixo o trecho do código.

Figura 24 ? Conexão de rede e IP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicativo para Smartphone

Para construir um APP foi utilizado o MIT APP Inventor, uma ferramenta de drag-and-drop (arrastar e soltar) visual para a construção de aplicações em smartphones na plataforma Android.

Composto por duas etapas: o App Inventor Designer e o App Inventor Blocks Editor, cada um com função própria e específica. O primeiro tem o objetivo de construir a interface do seu aplicativo e o segundo de adicionar interatividade aos componentes na tela, basicamente só isso, bem intuitivo.

Para o acesso o usuário deverá inserir Login e Senha já predeterminado no App por exemplo foi usado nesse projeto Login TCC e Senha 2021. Após inserir o aplicativo já irá abrir a próxima tela com as informações do medidor de energia elétrica inteligente.

O aplicativo funcionou perfeitamente, sendo possível a visualização das medições do equipamento ao qual estava conectado no projeto desenvolvido. Desta maneira o uso fica restrito ao equipamento que está conectado na rede elétrica ou equipamento elétrico individual por intermédio do protótipo desenvolvido. Na figura 25 abaixo observa-se com mais detalhes em funcionamento e detalhes da criação do mesmo.

Figura 25 ? APP para dispositivo móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calibração dos sensores e leitura

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um Alicat Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para os sensores de corrente e tensão foram uma lâmpada, uma pistola de cola quente e um aspirador de pó.

Essas abordagens de alguns eletrônicos são para validar as medições em componentes diferentes e que não haja uma configuração para apenas um componente específico, lembrando que no próprio datasheet

do componente o erro previsto é de +/- 2%.

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma tensão nominal de 127V, a tensão real pode ter uma variação de 114,3V a 139,7V. Este desvio de valor acarretou para uma variação dentro da tolerância permitida.

Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validar o funcionamento do sistema foram realizadas medições com 3 tipos de carga: resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó). Os valores foram adquiridos através da Lei de Ohm, onde temos a Corrente Elétrica (A) x Tensão (V) igual a potência (W).

Tabela 3 ? Comparação Potencia (W) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido 127v e medido pelo sensor de tensão, admitindo uma variação de 10% para mais ou para menos sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL, 2021, os valores informados aos usuários podem sofrer uma variação para baixo ou para cima não ultrapassando a porcentagem aceita pela ANEEL.

RESULTADOS

Para a validação do medidor de energia elétrica inteligente, ele foi instalado em equipamento elétricos diferentes como corrente e potência, já a medição de tensão com alimentação monofásica de 127V para todos os equipamentos. Para comparação, os valores obtidos foram comparados com um Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 como mostra na figura 26 abaixo. O Fluke 381 é um aparelho versátil utilizado em diversas aplicações industriais de modo profissional sendo um dos melhores equipamentos para medição de tensão e corrente elétrica no mercado mundial.

Figura 26 - Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381

Fonte: fluke.com. Disponível em: < <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-381> >. Acessado em 12 set 2021.

Medidor de energia elétrica inteligente totalmente calibrado e pronto para ser utilizado como mostra abaixo na figura 27.

Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez montado o protótipo e pronto, foram realizados alguns testes para validação, eliminação de problemas iniciais e refinamento dos resultados. Para análise dos resultados foi um entendimento sobre o comportamento dos sinais de corrente e tensão para os 3 tipos de carga já citados anteriormente, resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó).

Para validá-lo foram realizados testes lado a lado para aferição do medidor de energia elétrica inteligente como mostra a figura 28 abaixo. Os comparativos com alicate amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 e medidor de energia elétrica inteligente mostram no display de cada equipamento: tensão (V), corrente elétrica (A) e potência (W). Somente o medidor de energia elétrica inteligente é capaz de calcular e mostrar em tempo real a potência (W) através do programa carregado no microcontrolador Arduino.

Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comparativo mostra uma semelhança entre os resultados apresentadas pelo medidor de energia elétrica inteligente e o Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381. Os horários em que os picos de consumo acontecem coincidem e a variação em sua magnitude é inferior a 5%.

Apesar da pequena diferença entre os valores lidos, a informação mostrada é mais que suficiente para que o usuário possa acompanhar o seu consumo em tempo real com uma precisão adequada para auxiliá-lo na tomada de decisão referente aos seus hábitos de consumo.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho, com características experimentais, fez com que fosse necessário criar um protótipo confiável possibilitando a visualização remoto através de smartphones e computadores conectados nas redes via cabo ou Wifi. Porém é importante salientar que foi utilizado um sensor de corrente SCT013 até 100A, medidas de corrente possuem uma oscilação na precisão de mais ou menos 2%.

Para o cálculo da potência utilizado o valor de tensão da rede elétrica medido pelo módulo sensor de tensão 127/220V e o valor da corrente elétrica calculado em cima da lei de OHM que nos fornece o valor da potência consumida.

Aplicações com o uso de IOT vêm ganhando destaque na automação em geral capazes de abranger diversas aplicações e uma ferramenta de fácil utilização. O fato de possuir uma grande facilidade para

interligar o processo físico do projeto desenvolvido por meio de um sistema distribuído utilizado no projeto um Ethernet Shield W5100 para criar um Servidor Web que tem como função fornecer uma página web como monitoramento por computadores e smartphones contendo informações enviadas pelo Arduino captado dos sensores. Tal fator ficou evidente no decorrer da criação deste presente trabalho.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelos próprios fabricantes dos equipamentos utilizados na medição, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dão pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não do real, já que se tem uma variação de no máximo 10% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 2% sobre os sensores utilizados.

Para isso, a motivação como propósito a utilização em residências, dada uma rotatividade em cada família. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos e verificando os pontos onde são possíveis a redução de consumo da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEDB et. Al. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Disponível em: < https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/05/256_SEGET%20-%20Automacao%20Residencial.pdf >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020> >. Acessado em 24 de mai. de 2021.
- BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - a review. 1. ed. London: IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015.
- BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
- BRAZCUBAS et. Al. Gestão do Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/download/501/603> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Dahle, David. 2010. Samuel Gardiner's lamp--?hour meter (1872). Dave's old Watthour Meter webpage. [Online] 2010. [Citado em: 06 de Julho de 2012.] < <http://watthourmeters.com/others/gardiner.html> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- MONK, SIMON. Internet das Coisas um Introdução com Photon. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- MONK, SIMON. Projetos com Arduino e Android. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- PUC GOIAS et. Al. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. Disponível em: < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf> >. Acesso em 03 de mar. de 2021.
- Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 01, p. 7-23, 2017. Disponível em: < https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/TI_EaD/article/download/1686/800 >. Acesso em 13 de mai. de 2021.
- STEVAN JR, SERGIO LUIZ; SILVA, RODRIGO ADAMSHUK. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- VYAKARANAM, Bharat et al. A study of the impact of peak demand on increasing vulnerability of cascading failures to extreme contingency events. IEEE Power & Energy Society General Meeting, p.1-5, jul. 2017. IEEE.



Sensor de Corrente[A]0.11 A0.15 A2.95 A
Fluke 3810.10 A0.12 A2.40 A

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]129.90 V130.01 V128.26 V
Fluke 381130.40 V130.30 V128.60 V

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]13.35 W19.50 W378.36 W
Fluke 381 (Cálculo lei de Ohm)13.04 W15.63 W308.64 W



=====

Arquivo 1: [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Arquivo 2: <https://nodemcu.readthedocs.io/en/release/modules/i2c> (1181 termos)

Termos comuns: 1

Similaridade: 0,01%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://nodemcu.readthedocs.io/en/release/modules/i2c> (1181 termos)

=====

Universidade Paulista - UNIP

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Limeira

2021

Universidade Paulista - UNIP



Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes

Limeira

2021

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes.

Aprovada em 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Thais Rocha

Prof. Me. Nome completo



Prof. Esp. Nome completo

DEDICATÓRIA

?Com gratidão, dedico este trabalho primeiro a Deus. Devo a Ele tudo o que sou e serei. Minha esposa Juliane e meu filho João Otávio, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado. ?

?Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes?.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Com o consumo de energia elétrica muito elevado, uma forma de economizar é mensurando quais aparelhos consomem mais, um gasto muito elevado e extremamente desnecessário. Esse consumo pode ser medido com um medidor de energia elétrica inteligente utilizando Arduino, Shields, sensores com software embarcado e aberto, apresentando isso de forma gráfica em tempo real e de fácil entendimento e visualização. Amostras em tempo real gerados pela avaliação de toda residência ou dos aparelhos elétricos individualmente auxiliam a aproveitar melhor seu consumo. Com a enorme popularização da Internet das Coisas, proporciona que objetos comuns do nosso cotidiano possam estar conectados entre si por meio de uma rede local ou pela Internet. Este projeto apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em Internet das Coisas para a medição de consumo de energia elétrica, onde o usuário poderá acompanhar o seu consumo instantâneo de energia elétrica sem a necessidade de esperar a fatura mensal. Com esse cenário o desenvolvimento de um aparelho que coletará informações de consumo e eventuais casos críticos na rede elétrica registrando logs em um cartão SD, já que o projeto também mostrará medições de potência, corrente e tensão elétrica. Conectado em um ponto estratégico da residência, priorizando a instalação no consumidor final. O projeto funcionando de forma simples e amigável torna os dados de consumo do aparelho elétrico recebidos através dos sensores do Arduino e enviados graficamente para um display e remotamente via Browser Web e APP em uma rede local ou Internet, contendo dados elétricos e do consumo em tempo real. Com os resultados, o usuário poderá avaliar melhor seu consumo de energia elétrica, podendo economizar recursos financeiros e naturais.

Palavra-Chave: Arduino; Sensor; Consumo de Energia; Corrente; Medidor.

ABSTRACT

With very high electricity consumption, a way to save is measuring which appliances consume more, a very high and extremely unnecessary expense. This consumption can be measured with an intelligent electric

energy meter using Arduino, Shields, sensors with embedded and open software, presenting it in real-time graphical form and easy to understand and visualize. Real-time sampling generated by evaluating the entire home or individual electrical appliances helps to make better use of your consumption. With the huge popularity of the Internet of Things, it allows common objects of our daily lives to **be connected to** each other through a local network or the Internet. This project presents the development of an Internet of Things -based device for measuring electricity consumption, where the user will be able to monitor their instantaneous electricity consumption without having to wait for the monthly bill. With this scenario, the development of a device that will collect consumption information and eventual critical cases in the electrical network, recording logs on an SD card, since the project will also show measurements of power, current and electrical voltage. Connected at a strategic point in the home, prioritizing installation for the final consumer. The project works in a simple and user-friendly way and makes the electrical appliance consumption data received through Arduino sensors and sent graphically to a display and remotely via Web Browser and APP on a local network or Internet, containing electrical and consumption data in time real. With the results, the user will be able to better evaluate his electric energy consumption, being able to save financial and natural resources.

Key Words: Arduino; Sensor; Energy consumption; Chain; Meter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil18
- Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia18
- Figura 3 ? Medidor Eletromecânico19
- Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente20
- Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos22
- Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição22
- Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas23
- Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino23
- Figura 9 - Circuito para SCT01325
- Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser26
- Figura 11 ? DataLog no Cartão SD27
- Figura 12 ? Primeiro Protótipo28



Figura 13 - Circuito Completo29
Figura 14 ? Ethernet Shield31
Figura 15 ? Arduino Mega33
Figura 16 ? Display LCD 20x4 Backlight Azul34
Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino34
Figura 18 ? Sensor de corrente SCT01335
Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V36
Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS323137
Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo38
Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo38
Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa39
Figura 24 ? Conexão de rede e IP40
Figura 25 ? APP para dispositivo móvel41
Figura 26 - Alicates Amperímetro duplo True-RMS Fluke 38143
Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando44
Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência45

TABELAS

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos42
Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos42
Tabela 3 ? Comparação Potência (W) entre instrumentos42



LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

GWh - Gigawatt-hora

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços

IDE - Integrated Development Environment

IEC - International Electrotechnical Commission

IOT - Internet of Things

IP - Internet Protocol

KWh - Quilo watts hora

KWs ? Quilo watts segundo

LAN - Local Area Network

LCD - Liquid Crystal Display

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

PIS ? Programas de Integração Social

PWM - Pulse Width Modulation

RJ45 - Registered Jack 45

SD-Card - Secure Digital Card

TC - Transformador de Corrente

TCP - Transmission Control Protocol

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

USB - Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO12

1.1Objetivo13

1.2Justificativa14

1.3Metodologia14

2.SETOR ELÉTICO BRASILEIRO	17
2.1Medição de Energia	18
2.1.1Medidor Inteligente	20
2.2Tarifa	21
2.3Cálculo das tarifas para IDE Arduino	23
3.DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.1Internet das Coisas	24
3.2Construção do Dispositivo	25
3.2.1Primeiro Protótipo	27
3.2.2Segundo Protótipo	29
3.2.3Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul	30
3.2.4Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock	34
3.2.5Proteção do Módulo	37
3.3Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto	39
3.3.1Aplicativo para Smartphone	40
3.4Calibração dos sensores e leitura	41
4.RESULTADOS	43
5.CONCLUSÃO	46
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

INTRODUÇÃO

Com todas essas novas invenções e o aumento de tecnologias significantes, tornou-se possível que equipamentos comuns do nosso cotidiano se comuniquem. O conceito de equipamentos conectados é conhecido por Internet of Things (IOT) Internet das Coisas. Segundo as estatísticas, em janeiro de 2021, o número de usuários de internet ultrapassou os 4,66 bilhões (We Are Social e Hootsuite, 2021). No planeta existe, segundo estimativas de julho de 2020, uma população de 7,8 bilhões de pessoas, sendo assim mais de metade da população mundial estão ligados na rede e com a Internet das Coisas, o número de dispositivos e equipamentos conectados estão aumentando e aumentará consideravelmente cada vez mais rápido.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, o consumo nacional de eletricidade na rede foi de 474.231 GWh em 2020, sendo que 29% deste total pertence à classe de consumo residencial, por outro lado, com mais pessoas em casa em razão da pandemia do COVID 19, o consumo de energia residencial cresceu 4,1%. Ou seja, esse foi o único segmento que registrou crescimento em 2020 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2021).

A fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária de energia ao final de um ciclo de tarifação (que dura em torno de um mês) é a forma tradicional que o usuário tem a sua disposição para acompanhar seu consumo. Observa-se que há uma carência de informações no documento para fins de tarifação.

Um avanço e tecnologia a baixo custo é o trabalho que aqui será criado, o medidor de energia elétrica inteligente, que, ao invés de apenas apresentar leituras do consumo acumulado da energia, também pode apresentar os dados de consumo em tempo real e com precisão. Os consumidores poderão se beneficiar com essas informações em tempo real e o quanto de energia cada equipamento irá consumir realizando

uma grande economia de energia elétrica no final do mês.

Dentre os principais benefícios do medidor de energia elétrica inteligente estão: a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia em tempo real afim de atingir incentivos financeiros, aprimorar a sustentabilidade, a possibilidade de avaliar e visualizar remotamente, permitir que reduzam o erro humano durante o processo de leitura dos medidores assim podendo argumentar junto a concessionária, distribuidora de energia elétrica.

Esse dispositivo é acessível, código aberto disponibilizado livre, de simples entendimento e podendo ser utilizado em vários projetos. Com as portas digitais e analógicas, o Arduino recebe diversas informações dos sensores utilizando para realizar cálculos e análises, a exemplo dos sensores de corrente e tensão utilizados nesse projeto juntamente com Ethernet Shield e módulo Real Time Clock (RTC), que possibilitam a determinação da potência que, associada ao tempo de uso, permite avaliar o consumo de energia de uma residência toda ou um aparelho elétrico individualmente.

Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fornecer e informar em tempo real, por meio de uma aplicação online e via display qual o gasto em Quilo watts hora (KW/H) consumido e informar a tensão, corrente e potência elétrica. Tal sistema, ainda permitirá conexão utilizando uma conexão cabo de rede ou Wi-Fi. A conexão poderá ser feita a partir de um roteador ou switch por meio da utilização de dispositivos com acesso à rede, tais como notebooks, smartphones, tablets, entre outros.

Realizar medição com diversos equipamentos como eletrodomésticos ou no quadro de distribuição e validar os dados gerados comparando com um multímetro calibrado e mostrando em um display Liquid Crystal Display (LCD), Web Browser e um aplicativo para Smartphone; a potência, corrente, tensão e o consumo de energia elétrica 24 horas por dia em qualquer momento ou lugar.

A interface para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo estará tudo em um Secure Digital Card (SD-Card) acoplado no Ethernet Shield, criando um histórico DATALOG. Acreditando que o dispositivo proposto neste trabalho pode alavancar melhoras consideráveis no final do mês com a conta de luz e no setor elétrico brasileiro de forma a baixo custo.

Justificativa

No Brasil, o consumo energético apresenta alto crescimento no decorrer dos últimos anos. O aumento populacional e consequentemente o aumento no número de domicílios proporciona um acréscimo no consumo de energia elétrica residencial.

Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma interface intuitiva para o usuário. A intenção desse projeto é implementar uma alternativa de conscientização e economia de energia elétrica para residências e estabelecimentos a baixo custo. Dentro de todo o cenário apresentado justifica-se o surgimento de novas tecnologias, que visam fornecer ao consumidor, uma forma de obter informações acerca do consumo energético total de uma residência ou individualizado por equipamento. Espera-se um uso mais racional da energia elétrica, uma vez que o consumidor poderá tomar medidas agindo sobre as fontes que mais consomem.

O uso de controles para reduzir o consumo de energia no sistema energético vem tornando-se cada vez mais popular, melhorando a qualidade utilizando equipamentos para monitoramento de gastos gerando uma boa aceitação por parte dos usuários.

Estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias são fundamentais para a

disseminação dessa prática. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para disseminação do conhecimento, levando para os jovens, o contato antecipado com questões ambientais e tecnológicas.

Metodologia

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, artigos técnicos e vídeos explicativos, que tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido.

Analisados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins. Após o aprofundamento dos conhecimentos envolvidos e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados e resultados.

O sistema aborda a construção de um módulo com Arduino, Ethernet Shield com SD Card, Display LCD 20x4, Sensor de Tensão, Transformador de Corrente, Real Time Clock, desenvolvimento programação em C/C++ com IDE Arduino, redes de computadores, desenvolvimento Web Server com HTML e aplicativo para smartphone informando a tensão, potência, corrente elétrica, consumo de energia elétrica e informação do comportamento do dispositivo eletrônico conectado à rede local através da Browser Web, Aplicativo para Smartphone e no próprio display do medidor. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, serão realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. O principal objetivo do medidor de energia elétrica inteligente é o controle do consumo dentro da automação residencial já utilizado em milhares de projetos distintos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos, bastante citados nos artigos e livros (SEGeT?,2005; Bookman, 2014; Erica, 2015.), estes explicando de forma sucinta a utilização do Arduino e seus determinados Shields de forma inteligente na automação residencial.

Pode-se traçar as características básicas da proposta desse trabalho. O foco do medidor é de realizar a medição e consumo de energia elétrica em uma residência, ou qualquer estabelecimento alimentado em tensão secundária (220-127V). Este medidor será instalado junto ao quadro de distribuição da residência ou em um eletrodoméstico com o intuito de monitorar o consumo da residência ou um conjunto de todos os equipamentos ali instalados. Em geral, um medidor inteligente pode apresentar algumas características, as mais importantes, são: Medição de tensão e corrente de entrada de um consumidor alimentado em tensão secundária, informar consumo de energia em tempo real, calcular e informar a tarifa do consumidor, informar consumo de energia com o propósito de montar um padrão de consumo, plataforma interativa para visualização das medições.

Ferramentas Computacionais Utilizadas:

FRITZING - Será o software de criação e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados, nele será desenvolvido o projeto dos circuitos eletrônicos a serem utilizados em paralelo com Arduino e Shields do medidor de consumo de energia;

IDE ARDUINO - Será utilizado para o desenvolvimento e aplicação do software de programação e controle do microcontrolador Arduino e o monitor web via javascript do medidor;

PROTEUS ? Será o software para criação de projetos eletrônicos, composto por uma suíte de ferramentas, incluindo captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso, usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados.

Ferramentas Laboratoriais Utilizadas:

MULTÍMETRO DE BANCADA ? Será utilizado para fazer medidas de indutância, resistência, capacitância e o teste da continuidade, tudo isto com uma maior precisão. Esses valores serão úteis para parametrizar

o comportamento do circuito e sensores usados no projeto;

SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Em dezembro de 2020, o consumo de energia elétrica atingiu 52.890 Gigawatt hora (GWh) considerando autoprodução e perdas, valor 4,6% superior ao verificado no mês anterior e 3,7% superior ao verificado em dezembro de 2019. Semelhante ao registrado no mês anterior, em comparação ao ano passado, as classes residencial e industrial continuaram apresentando crescimento (9,1% e 7,3%, respectivamente), juntamente com a classe rural que, ao contrário do que ocorreu no último mês, voltou a apresentar elevação de 1,8% em relação a dezembro do ano passado. A persistente redução do consumo da classe comercial em relação ao verificado em 2019, ainda que cada vez mais atenuada, demonstra que o setor ainda está sob efeito das medidas adotadas para o enfrentamento do Covid-19. Isso torna o cenário do setor energético brasileiro um tanto quanto preocupante pelo fato de que fica obvio que não está sendo investido em ampliação e manutenção das matrizes energéticas assim como está sendo consumido mais do que gerado. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Com os avanços tecnológicos e facilidade na obtenção de novas tecnologias por diferentes classes da sociedade, o setor energético também deveria ter sido bastante aprimorado. Entretanto quando se fala de setor energético, não se pode responsabilizar somente as empresas geradoras e distribuidoras pela falta de manutenção e ampliação, pois alternativas de redução de consumo e de custos também são opções para o consumidor residencial.

Estima-se que o número de domicílios no Brasil passou de 75 milhões em 2020, e assim como já citado, equipamentos que demandam energia também irão crescer em paralelo.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor residencial brasileiro é responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Na figura 1 abaixo mostra a evolução de intensidade energética mais detalhada através dos gráficos.

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf>. Acessado em 10 jun

2021.

Medição de Energia

Durante a evolução dos sistemas elétricos no Brasil, sempre foi uma grande preocupação com as medições. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada que permanecia acesa (Dahle, 2010). Na figura 2 abaixo mostra o processo de geração e distribuição atual de energia.

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia

Fonte: tresmariasemfoco. Disponível em: <<http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html>>. Acessado em 06 set 2021.

Atualmente, 90% dos medidores de energia utilizados são eletromecânicos, possuem baixo custo e alta disponibilidade. Esse medidor é constituído pelos seguintes elementos:

Um motor, que possui em dois circuitos magnéticos, cada um com uma bobina sendo uma de potência e outra de corrente elétrica, os campos magnéticos são proporcionais à tensão e a corrente de todo circuito medido;

Um disco de alumínio suspenso na região do campo magnético criado pela bobina de corrente, onde são induzidas correntes parasitas, de modo a fazer com que o disco gire no seu próprio eixo. O número de rotações do disco é proporcional à energia consumida pela carga, fornecendo a medida do consumo de energia em quilowatt-hora (KWh).

Esses medidores possuem uma margem de erro máximo de $\pm 2\%$ do valor indicado para a sua faixa nominal, dentro do tempo de vida previsto de operação. Um valor relativamente alto, considerando as perdas que podem onerar o fornecedor e o consumidor final.

Para leitura da medição, é necessário ir até o local onde o medidor está instalado e ver o valor nele registrado, ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico

Fonte: R3 Automação Industrial. Disponível em: <<https://www.automacaor3.com.br/relogio-medidor-de-energia>>. Acessado em 20 ago 2021.

Medidor Inteligente

A implementação de medidor de consumo de energia elétrica inteligente pode ser uma possível solução para a redução da demanda de energia, gestão eficiente na geração e otimização da gestão de recursos. O medidor de consumo de energia inteligente tem capacidade de realizar medição, cálculos e comunicação através de hardware e software. Para interação dessa rede o medidor de consumo de energia inteligente foi projetado para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com determinados padrões. Observa-se que a complexidade do sistema inteligente é maior, porém ele consegue gerar mais informações em uma maior frequência. Enquanto no sistema tradicional a medição ocorre uma vez a cada mês, e para o faturamento, o projeto inteligente mostra em tempo real o consumo e o serviço prestado pela distribuidora facilitar o controle de gasto por parte do consumidor. Além de realizar todas as funções de um medidor tradicional eletromecânico, o medidor de consumo de energia inteligente pode ser usado como sensor em toda a rede elétrica.

A Figura 4 mostra a comparação entre a medição tradicional com medidor eletromecânico de energia e a

inteligente que como base será no projeto aqui mostrado.

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

O medidor de energia elétrica inteligente pode fornecer informações em maior frequência, sobre período pico ou fora de pico e padrão de uso de energia utilizando comunicação bidimensional entre o sistema de ponta e gestor do consumidor. Os consumidores podem reduzir as contas de energia elétrica e os distribuidores podem gerir melhor o seu mercado. Portanto, a utilização do medidor de consumo de energia inteligente é altamente recomendada.

Algumas funções típicas do medidor de consumo de energia inteligente são:

Comunicação bidirecional;

Armazenamento de dados;

Programação;

Segurança;

Exibição de dados, por meio de display, Browser Web e Aplicativo para Smartphone;

Fatura em tempo real;

Tarifa

Além das tarifas de distribuição os Governos; Federal, estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

A correção das tarifas é importante para manter o equilíbrio financeiro da concessão, assegurando a qualidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade.

Conforme mostra a Figura 5 a seguir com dados da (Aneel 2021), os custos de energia representam a maior parte de custos (53,5%), seguido os tributos (29,5%) sem 4,5% de tributos federais PIS e COFINS e 25% tributo estadual ICMS. Referente aos custos de distribuição, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% das tarifas.

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos

Fonte: Aneel. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false>. Acessado em 01 mai 2021.

Com informações da (Neoenergia-Elektro, 2021) temos a descrição dos valores em KW/h das Tarifa de consumo de energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) como mostra na figura 6 abaixo.

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição

Fonte: Neoenergia-Elektro. Disponível em: <<https://www.neoenergiaelektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos>>. Acessado em 14 set 2021.

Cálculo das tarifas para IDE Arduino

Com base em um aparelho qualquer de 9W de potência foi transformado KWh em Quilo Watt segundo (KWs) já que no Arduino será calculado em segundos. Como mostra a figura 7 abaixo, serão esses dados aplicados no programa IDE Ardurino.

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo na figura 8 abaixo mostra os cálculos anteriormente realizados aplicados na IDE Arduino.

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino

Fonte: Elaborado pelo autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A grande parte de medidores inteligentes hoje no mercado são derivados de um projeto Open Source denominado como Open Energy Monitor, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global. Seu funcionamento consiste em medições feitas por sensores e Shields que enviam informações para um microcontrolador central onde são tratadas todas as informações, a fim de enviar todo o levantamento de consumo de energia elétrica.

Internet das Coisas

Comunicação entre todos os objetos físicos?, onde a comunicação que já acontece entre máquinas, e entre pessoas e computadores, se estenderá a outros objetos.

Monk, Simon (2018) em Internet das Coisas, uma introdução com o photon define que: Termo ?Internet das coisas? Internet of Things (IOT) foi proposto por Kevin Ashton em 1999, mas o desenvolvimento do conceito tecnológico foi introduzido pela primeira vez pelo departamento de ciência da computação da Carnegie Mellon University, onde os alunos conectaram à internet uma máquina de venda automática de refrigerantes.

No âmbito da eficiência energética, dentre inúmeras possibilidades, a funcionalidade com enfoque neste projeto é para o monitoramento do uso de energia em um circuito monofásico com o intuito de economizar energia elétrica.

A plataforma IOT permite que o consumidor possa verificar o seu uso de energia instantaneamente ao longo do tempo, permitindo o entendimento de forma intuitiva e o reconhecimento de padrões de consumo que se repetem no decorrer do tempo através de um computador ou smartphone dentro de uma rede.

Construção do Dispositivo

Teorias apresentadas neste item trarão todos os embasamentos abrangentes necessários para compreensão do hardware e software utilizado no trabalho, desde seus funcionamentos básicos como dispositivos até ferramentas utilizadas para sua construção.

Para as conexões do circuito foram utilizados alguns componentes eletrônicos, como dois resistores de

10kohms, um resistor de 330ohm e um capacitor de 100uF/16v. Os componentes são utilizados em diversas funções, porém no projeto são utilizados com objetivo de construir um pequeno circuito eletrônico de divisor de tensão, sendo utilizado para dividir a tensão DC de 5V do Arduino, evitando prejuízo em algum componente no caso de picos de energia altos, o resistor de 330 ohm é utilizado para criar a variação na tensão para medição da corrente elétrica ligado em serie junto ao sensor de corrente SCT013 mostrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Circuito para SCT013

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse projeto, foi desenvolvido uma aplicação Web com a linguagem HTML dentro do IDE do Arduino , que é uma linguagem de marcação para desenvolvimento que permite implementar a página via Browser como monitoramento em tempo real. Dentro da aplicação onde V é a tensão, A é corrente elétrica, P é potência e ou W os Watts como mostra na figura 10 abaixo exemplo de medições e cálculos de uma lâmpada de LED de 100-240V E27 +/- 10W e 3000K.

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de tensão e corrente medidos pelos Shelds, o programa desenvolvido consegue realizar o cálculo da lei de OHM corrente x tensão, encontrando a potência de um equipamento, através do somatório dos KWH por hora, elaborado pelo código desenvolvido e mostrar o resultado e em tempo real o valor a ser pago.

Com a intenção de ter um registro de qualquer anomalia no sistema e conseguir um histórico das medições de tensão, corrente, potência com data e hora, surgiu a necessidade da instalação de um Shield RTC com uma bateria para gravar e segurar data e hora exata e um Micro-SD no Ethernet Shield para salvar os dados como DATALOG e criar um mini banco de dados observados na figura 11 abaixo.

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de montagem e testes, observou-se que somente o sensor de corrente SCT013 não era suficiente para realizar a medição da tensão realizando cálculos da lei de Ohm no programa, já que o resultado oscilou muito. Por isso foi necessário instalar um segundo sensor no projeto, o sensor de tensão AC 127/220V sendo assim um segundo protótipo foi confeccionado.

Primeiro Protótipo

No período de concepção do medidor, a topologia inicial tinha como base três principais componentes: um Arduino UNO, como unidade micro controladora, um Ethernet Shield W5100 que é um microcontrolador capaz de conectar-se às redes de Ethernet/Internet e um sensor de corrente SCT-013, para medir valores de 0 até 100A de corrente alternada somente abraçando um dos cabos do equipamento a ser medido a corrente elétrica.

Ao executar a montagem da primeira versão do medidor em uma protoboard como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 ? Primeiro Protótipo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que os valores lidos de tensão calculado adicionando a potência do equipamento manualmente e calculado pela lei de Ohm nos testes de bancada não correspondiam com os valores esperados, os valores medidos possuíam um alto nível de imprecisão variando mais de 20% para mais ou para menos.

Buscando alternativas para contornar a imprecisão do resultado das tensões, surgiu a possibilidade de utilizar um sensor de tensão sendo suficiente para atender ao projeto, pois o sensor de tensão com baixa variação de apenas 2% para mais ou para menos, excelente Shield que resolveria o problema da medição de tensão, sendo assim o sensor de corrente seria somente para a sua função específica e enxugaria o código no IDE Arduino, sem a necessidade de vários cálculos da lei de ohm no programa em relação ao resultado do valor de tensão.

Segundo Protótipo

Com a aquisição do componente (sensor de tensão) necessário para a segunda versão e final do protótipo, foi iniciada a montagem em uma protoboard como testes.

Com o avanço para a comunicação via Ethernet/Internet pelo Ethernet Shield W5100 e a criação de um DATALOG através do SD-CARD, foi necessário a inserção e um aumento considerável de códigos com HTML o Arduino UNO foi necessário substituir por um superior e com mais memória e a entrada de mais um Shield que seria o Real Time Clock RTC DS3231 para data e hora certa, tanto na visualização em tempo real quanto no DATALOG.

Pensando também em uma possível falha na rede, porque não instalar um display, faltando comunicação temos dos dados de medição para visualização em um display LCD. O projeto ficou mais completo inserindo um display LCD 20x4 de comunicação com Arduino via I2C, com necessidade de inserir uma biblioteca própria no software.

Sendo assim com a substituição pelo modelo Arduino MEGA 2560 R3 foi suficiente para atender o projeto como um todo mostrado na figura 13 abaixo o circuito completo do projeto.

Figura 13 - Circuito Completo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul

O Ethernet Shield permite que a placa Arduino se conecte a uma rede Ethernet/Internet. Baseado no chip de ethernet Wiznet W5100 provendo um stack de rede (ponte entre Arduino e rede) suporta os protocolos TCP e UDP. O Ethernet Shield suporta até quatro conexões simultâneas utilizando a biblioteca Ethernet.h para escrever sketches que se conectam à internet e ethernet.

O Shield de Ethernet é conectado em uma placa Arduino usando pinos longos através do Shield. Isso mantém o layout de pinos intacto permitindo que outro Shield seja empilhado sucessivamente. Com um slot na placa de cartão micro-SD, podendo ser usado para armazenar arquivos como banco de dados para

a rede e compatível com o Arduino Uno e Mega.

O Arduino se comunica tanto com o Shield quanto com o cartão micro-SD usando o barramento Serial Peripheral Interface (SPI) é um protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes). Tanto o Ethernet Shield como a função SDcard compartilham o barramento SPI, então somente um pode estar ativo de cada vez. O Shield fornece um conector padrão RJ45 de Ethernet e o botão de reset no Shield reinicia tanto a ele próprio quanto a placa Arduino independente se o modelo Uno ou Mega observado na figura 14 abaixo.

- Fonte de alimentação: 5V DC
- Interface: SPI
- Suporte cartão SD
- Suporta até quatro ligações de socket simultâneas
- Compatível com Arduino versão standard / série Mega
- Tamanho: 72x55x32mm

Figura 14 ? Ethernet Shield

Fonte: Felipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/ethernet-shield-w5100-para-arduino> >. Acessado em 12 jun 2021.

O Arduino, além de ser uma placa de desenvolvimento, é uma plataforma de código aberto (Open-Source) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi com o intuito de contribuir no aprendizado de eletrônica e automação para estudantes de design e projetistas. O principal objetivo foi criar uma plataforma de baixo custo, para que estudantes pudessem desenvolver seus projetos e protótipos com o menor custo possível. Segundo o site da plataforma Arduino, (arduino.cc, 2021):

?O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (arduino.cc, 2021).?

O Arduino é formado por dois componentes principais: Hardware e Software.

O hardware é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos. Já o software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino, através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado durante o seu funcionamento. Possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo

. Os pinos da placa se dividem nos seguintes moldes:

- Pinos de entrada e saída digital: Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado no IDE.
- Pinos de entradas analógicas: Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.
- Pinos de saídas analógicas: São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação Pulse Width Modulation (PWM).

A alimentação da placa pode ser feita a partir da porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 a 12 volts (Embarcados.com.br, 2021). A linguagem de programação é modelada a partir da linguagem Wiring. Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador. A IDE apresenta muita abstração, possibilitando o uso de um microcontrolador sem que o usuário conheça o mesmo e nem como deve ser usado os registradores internos de trabalho.

A IDE do Arduino possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. A partir do momento que foi feito o upload o Arduino não precisa mais do computador, o Arduino executará o sketch criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

Na Figura 15 observa-se as características construtivas do Arduino:

Figura 15 ? Arduino Mega

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/arduino-mega-2560> >,. Acessado em 14 jun 2021.

Display LCD 20×4 Backlight Azul (20 colunas por 4 linhas) com backlight azul e escrita branca é usado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino e outros projetos eletrônicos. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle, que nesse projeto foi utilizado a ligação I2C, com apenas alimentação 5v e utilizando apenas dois pinos do Arduino: o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 16 abaixo observa-se com mais detalhes o display.

Figura 16 ? Display LCD 20×4 Backlight Azul

Fonte: baudaeletronica. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/display-lcd-20x4-azul.html> >,. Acessado em 18 out 2021.

Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock

Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino muitas vezes a quantidade de pinos disponíveis no Arduino é limitada, após conectar display e sensores sobram poucos pinos para uso. O módulo controla o display lcd usando apenas 2 pinos, o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 17 abaixo observa-se. Especificações:

Endereço I2C: 0x20-0x27 (Padrão 0x20 mas pode ser modificado);

Compatível com Display LCD 16×2 e LCD 20×4;

Tensão de operação: 5V;

Dimensões: 55 x 23 x 14mm.

Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino

Fonte: filipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino> >. Acessado em 18 out 2021.

O sensor de corrente SCT-013 tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas "abraçar" um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado. SCT é a sigla para Split-core Current Transformer, ou seja, transformador de corrente de núcleo dividido. Ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua saída teremos valores entre 0 e 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal (vidadesilicio.com.br, 2021). Para fazer a medição da corrente elétrica o SCT-013 possui uma bobina interna em sua estrutura, como se pode observar na figura 18 abaixo.

Figura 18 ? Sensor de corrente SCT013

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada> >. Acessado em 14 jun 2021.

O Módulo Sensor de Tensão AC 110/220V é capaz de detectar a passagem de tensão alternada no circuito. Projetado para entradas entre 127 e 220 volts (Suporta a tensão máxima de 311 Volts). Composto de um opto-acoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada / Resistor de Pull Down / Capacitor para estabilizar a saída.

O sensor é ligado em paralelo, portanto a corrente do circuito é irrelevante para ele. Na função voltímetro, a leitura pode oscilar em torno de 2% para mais ou para menos. Na figura 19 abaixo observa-se com mais detalhes.

Especificações:

Tipo de sensor: detector de tensão

Tensão de entrada: 0 a 220VAC

Tensão de pico máxima: 311VAC

Tipo de saída: leitura analógica

Dimensões: 16mm (L) X 15mm (A) X 37mm (C)

Peso: 6g

Ligação:

VCC - Ligado ao 5v do Arduino;

OUT - Ligado a uma porta analógica do Arduino;

GND - Ligado ao GND do Arduino.

Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V

Fonte: Autocorerobotica. Disponível em: < <https://www.autocorerobotica.com.br/buscar?q=sensor+tensao> >. Acessado em 14 jun 2021.

Segundo o site filipeflop, (filipeflop.com, 2021):

O Real Time Clock (RTC) DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Na figura 20 abaixo pode-se observar a placa com suas conexões a bateria do modelo CR2032 de 3v e embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão.

Especificações e características:

Controlador: DS3231;

Tensão de operação: 3,3V ? 5VDC;

Interface: I2C;

Bateria compatível: CR2032;

Sensor de temperatura: ~ 3° Celsius de exatidão;

Temperatura de operação: 0 a 40° Celsius;

Computa horas / minutos / segundos / dias da semana / mês / meses / anos (de 2000 a 2099);

Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

Memória: AT24C32 (capacidade de 32Kb que podem ser usados também como RAM estendida ao microcontrolador);

Possui circuito de detecção de falha de energia;

Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS3231

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>;
Acessado em 12 jun 2021.

Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo e possível contato entre o usuário e a corrente elétrica pelo módulo foi projetado uma proteção para que pudesse comportar todos os componentes, foi executado conforme as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Figura 21 ? Confecção da proteção do módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 21 acima mostra a proteção do módulo sendo produzida. Para construir a caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o MDF de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO2, com um comprimento de onda de 10.6 µm /Max e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 22 acima mostra a representação do módulo já com sua proteção montada e pronta para uso e o Arduino precisará de uma alimentação de 5V, podendo ser feito pelo próprio cabo de dados porta USB, por pilha, um carregador de celular ou entrada P4 com tensão de 9V DC.

Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto

Um resumo do ciclo de desenvolvimento pode ser visto na Figura 21 abaixo, que demonstra trechos do código elaborado da aplicação em Arduino de uma forma esquemática. O programa principal possui 6 bibliotecas necessárias para seu funcionamento.

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de tensão da residência e a corrente do equipamento, a potência é dada pelo produto dessas unidades usando a lei de Ohm corrente (A) x tensão (V) como mostra nos trechos do código abaixo na figura 23.

Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da conexão à rede para exibição da página Web e App é necessário definir o endereço MAC e definir um IP fixo na rede equivalente a rede local, nesse caso foi usado o IP 192.168.0.20 para o acesso local mostrado na figura 24 abaixo o trecho do código.

Figura 24 ? Conexão de rede e IP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicativo para Smartphone

Para construir um APP foi utilizado o MIT APP Inventor, uma ferramenta de drag-and-drop (arrastar e soltar) visual para a construção de aplicações em smartphones na plataforma Android.

Composto por duas etapas: o App Inventor Designer e o App Inventor Blocks Editor, cada um com função própria e específica. O primeiro tem o objetivo de construir a interface do seu aplicativo e o segundo de adicionar interatividade aos componentes na tela, basicamente só isso, bem intuitivo.

Para o acesso o usuário deverá inserir Login e Senha já predeterminado no App por exemplo foi usado nesse projeto Login TCC e Senha 2021. Após inserir o aplicativo já irá abrir a próxima tela com as informações do medidor de energia elétrica inteligente.

O aplicativo funcionou perfeitamente, sendo possível a visualização das medições do equipamento ao qual estava conectado no projeto desenvolvido. Desta maneira o uso fica restrito ao equipamento que está conectado na rede elétrica ou equipamento elétrico individual por intermédio do protótipo desenvolvido. Na figura 25 abaixo observa-se com mais detalhes em funcionamento e detalhes da criação do mesmo.

Figura 25 ? APP para dispositivo móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calibração dos sensores e leitura

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um Alicat Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para os sensores de corrente e tensão foram uma lâmpada, uma pistola de cola quente e um aspirador de pó.

Essas abordagens de alguns eletrônicos são para validar as medições em componentes diferentes e que não haja uma configuração para apenas um componente específico, lembrando que no próprio datasheet

do componente o erro previsto é de +/- 2%.

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma tensão nominal de 127V, a tensão real pode ter uma variação de 114,3V a 139,7V. Este desvio de valor acarretou para uma variação dentro da tolerância permitida.

Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validar o funcionamento do sistema foram realizadas medições com 3 tipos de carga: resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó). Os valores foram adquiridos através da Lei de Ohm, onde temos a Corrente Elétrica (A) x Tensão (V) igual a potência (W).

Tabela 3 ? Comparação Potencia (W) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido 127v e medido pelo sensor de tensão, admitindo uma variação de 10% para mais ou para menos sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL, 2021, os valores informados aos usuários podem sofrer uma variação para baixo ou para cima não ultrapassando a porcentagem aceita pela ANEEL.

RESULTADOS

Para a validação do medidor de energia elétrica inteligente, ele foi instalado em equipamento elétricos diferentes como corrente e potência, já a medição de tensão com alimentação monofásica de 127V para todos os equipamentos. Para comparação, os valores obtidos foram comparados com um Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 como mostra na figura 26 abaixo. O Fluke 381 é um aparelho versátil utilizado em diversas aplicações industriais de modo profissional sendo um dos melhores equipamentos para medição de tensão e corrente elétrica no mercado mundial.

Figura 26 - Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381

Fonte: fluke.com. Disponível em: < <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-381> >. Acessado em 12 set 2021.

Medidor de energia elétrica inteligente totalmente calibrado e pronto para ser utilizado como mostra abaixo na figura 27.

Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez montado o protótipo e pronto, foram realizados alguns testes para validação, eliminação de problemas iniciais e refinamento dos resultados. Para análise dos resultados foi um entendimento sobre o comportamento dos sinais de corrente e tensão para os 3 tipos de carga já citados anteriormente, resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó).

Para validá-lo foram realizados testes lado a lado para aferição do medidor de energia elétrica inteligente como mostra a figura 28 abaixo. Os comparativos com alicate amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 e medidor de energia elétrica inteligente mostram no display de cada equipamento: tensão (V), corrente elétrica (A) e potência (W). Somente o medidor de energia elétrica inteligente é capaz de calcular e mostrar em tempo real a potência (W) através do programa carregado no microcontrolador Arduino.

Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comparativo mostra uma semelhança entre os resultados apresentadas pelo medidor de energia elétrica inteligente e o Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381. Os horários em que os picos de consumo acontecem coincidem e a variação em sua magnitude é inferior a 5%.

Apesar da pequena diferença entre os valores lidos, a informação mostrada é mais que suficiente para que o usuário possa acompanhar o seu consumo em tempo real com uma precisão adequada para auxiliá-lo na tomada de decisão referente aos seus hábitos de consumo.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho, com características experimentais, fez com que fosse necessário criar um protótipo confiável possibilitando a visualização remoto através de smartphones e computadores conectados nas redes via cabo ou Wifi. Porém é importante salientar que foi utilizado um sensor de corrente SCT013 até 100A, medidas de corrente possuem uma oscilação na precisão de mais ou menos 2%.

Para o cálculo da potência utilizado o valor de tensão da rede elétrica medido pelo módulo sensor de tensão 127/220V e o valor da corrente elétrica calculado em cima da lei de OHM que nos fornece o valor da potência consumida.

Aplicações com o uso de IOT vêm ganhando destaque na automação em geral capazes de abranger diversas aplicações e uma ferramenta de fácil utilização. O fato de possuir uma grande facilidade para

interligar o processo físico do projeto desenvolvido por meio de um sistema distribuído utilizado no projeto um Ethernet Shield W5100 para criar um Servidor Web que tem como função fornecer uma página web como monitoramento por computadores e smartphones contendo informações enviadas pelo Arduino captado dos sensores. Tal fator ficou evidente no decorrer da criação deste presente trabalho.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelos próprios fabricantes dos equipamentos utilizados na medição, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dão pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não do real, já que se tem uma variação de no máximo 10% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 2% sobre os sensores utilizados.

Para isso, a motivação como propósito a utilização em residências, dada uma rotatividade em cada família. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos e verificando os pontos onde são possíveis a redução de consumo da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEDB et. Al. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Disponível em: < https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/05/256_SEGET%20-%20Automacao%20Residencial.pdf >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020> >. Acessado em 24 de mai. de 2021.
- BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - a review. 1. ed. London: IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015.
- BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
- BRAZCUBAS et. Al. Gestão do Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/download/501/603> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Dahle, David. 2010. Samuel Gardiner's lamp--?hour meter (1872). Dave's old Watthour Meter webpage. [Online] 2010. [Citado em: 06 de Julho de 2012.] < <http://watthourmeters.com/others/gardiner.html> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- MONK, SIMON. Internet das Coisas um Introdução com Photon. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- MONK, SIMON. Projetos com Arduino e Android. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- PUC GOIAS et. Al. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. Disponível em: < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf> >. Acesso em 03 de mar. de 2021.
- Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 01, p. 7-23, 2017. Disponível em: < https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/TI_EaD/article/download/1686/800 >. Acesso em 13 de mai. de 2021.
- STEVAN JR, SERGIO LUIZ; SILVA, RODRIGO ADAMSHUK. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- VYAKARANAM, Bharat et al. A study of the impact of peak demand on increasing vulnerability of cascading failures to extreme contingency events. IEEE Power & Energy Society General Meeting, p.1-5, jul. 2017. IEEE.



Sensor de Corrente[A]0.11 A0.15 A2.95 A
Fluke 3810.10 A0.12 A2.40 A

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]129.90 V130.01 V128.26 V
Fluke 381130.40 V130.30 V128.60 V

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]13.35 W19.50 W378.36 W
Fluke 381 (Cálculo lei de Ohm)13.04 W15.63 W308.64 W



=====

Arquivo 1: [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Arquivo 2: <https://www.pcmag.com/news/how-to-measure-home-power-usage> (2669 termos)

Termos comuns: 0

Similaridade: 0,00%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento <https://www.pcmag.com/news/how-to-measure-home-power-usage> (2669 termos)

=====

Universidade Paulista - UNIP

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Limeira

2021

Universidade Paulista - UNIP



Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes

Limeira

2021

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes.

Aprovada em 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Thais Rocha

Prof. Me. Nome completo



Prof. Esp. Nome completo

DEDICATÓRIA

?Com gratidão, dedico este trabalho primeiro a Deus. Devo a Ele tudo o que sou e serei. Minha esposa Juliane e meu filho João Otávio, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado. ?



?Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes?.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Com o consumo de energia elétrica muito elevado, uma forma de economizar é mensurando quais aparelhos consomem mais, um gasto muito elevado e extremamente desnecessário. Esse consumo pode ser medido com um medidor de energia elétrica inteligente utilizando Arduino, Shields, sensores com software embarcado e aberto, apresentando isso de forma gráfica em tempo real e de fácil entendimento e visualização. Amostras em tempo real gerados pela avaliação de toda residência ou dos aparelhos elétricos individualmente auxiliam a aproveitar melhor seu consumo. Com a enorme popularização da Internet das Coisas, proporciona que objetos comuns do nosso cotidiano possam estar conectados entre si por meio de uma rede local ou pela Internet. Este projeto apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em Internet das Coisas para a medição de consumo de energia elétrica, onde o usuário poderá acompanhar o seu consumo instantâneo de energia elétrica sem a necessidade de esperar a fatura mensal. Com esse cenário o desenvolvimento de um aparelho que coletará informações de consumo e eventuais casos críticos na rede elétrica registrando logs em um cartão SD, já que o projeto também mostrará medições de potência, corrente e tensão elétrica. Conectado em um ponto estratégico da residência, priorizando a instalação no consumidor final. O projeto funcionando de forma simples e amigável torna os dados de consumo do aparelho elétrico recebidos através dos sensores do Arduino e enviados graficamente para um display e remotamente via Browser Web e APP em uma rede local ou Internet, contendo dados elétricos e do consumo em tempo real. Com os resultados, o usuário poderá avaliar melhor seu consumo de energia elétrica, podendo economizar recursos financeiros e naturais.

Palavra-Chave: Arduino; Sensor; Consumo de Energia; Corrente; Medidor.

ABSTRACT

With very high electricity consumption, a way to save is measuring which appliances consume more, a very high and extremely unnecessary expense. This consumption can be measured with an intelligent electric

energy meter using Arduino, Shields, sensors with embedded and open software, presenting it in real-time graphical form and easy to understand and visualize. Real-time sampling generated by evaluating the entire home or individual electrical appliances helps to make better use of your consumption. With the huge popularity of the Internet of Things, it allows common objects of our daily lives to be connected to each other through a local network or the Internet. This project presents the development of an Internet of Things-based device for measuring electricity consumption, where the user will be able to monitor their instantaneous electricity consumption without having to wait for the monthly bill. With this scenario, the development of a device that will collect consumption information and eventual critical cases in the electrical network, recording logs on an SD card, since the project will also show measurements of power, current and electrical voltage. Connected at a strategic point in the home, prioritizing installation for the final consumer. The project works in a simple and user-friendly way and makes the electrical appliance consumption data received through Arduino sensors and sent graphically to a display and remotely via Web Browser and APP on a local network or Internet, containing electrical and consumption data in time real. With the results, the user will be able to better evaluate his electric energy consumption, being able to save financial and natural resources.

Key Words: Arduino; Sensor; Energy consumption; Chain; Meter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil18
- Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia18
- Figura 3 ? Medidor Eletromecânico19
- Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente20
- Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos22
- Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição22
- Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas23
- Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino23
- Figura 9 - Circuito para SCT01325
- Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser26
- Figura 11 ? DataLog no Cartão SD27
- Figura 12 ? Primeiro Protótipo28



Figura 13 - Circuito Completo29
Figura 14 ? Ethernet Shield31
Figura 15 ? Arduino Mega33
Figura 16 ? Display LCD 20x4 Backlight Azul34
Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino34
Figura 18 ? Sensor de corrente SCT01335
Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V36
Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS323137
Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo38
Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo38
Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa39
Figura 24 ? Conexão de rede e IP40
Figura 25 ? APP para dispositivo móvel41
Figura 26 - Alicates Amperímetro duplo True-RMS Fluke 38143
Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando44
Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência45

TABELAS

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos42
Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos42
Tabela 3 ? Comparação Potência (W) entre instrumentos42

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN - Balanço Energético Nacional
COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
GWh - Gigawatt-hora
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços
IDE - Integrated Development Environment
IEC - International Electrotechnical Commission
IOT - Internet of Things
IP - Internet Protocol
KWh - Quilo watts hora
KWs ? Quilo watts segundo
LAN - Local Area Network
LCD - Liquid Crystal Display
NBR - Norma Brasileira Regulamentadora
PIS ? Programas de Integração Social
PWM - Pulse Width Modulation
RJ45 - Registered Jack 45
SD-Card - Secure Digital Card
TC - Transformador de Corrente
TCP - Transmission Control Protocol
TE - Tarifa de Energia
TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
USB - Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO12
1.1Objetivo13
1.2Justificativa14
1.3Metodologia14

2.SETOR ELÉTICO BRASILEIRO	17
2.1Medição de Energia	18
2.1.1Medidor Inteligente	20
2.2Tarifa	21
2.3Cálculo das tarifas para IDE Arduino	23
3.DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.1Internet das Coisas	24
3.2Construção do Dispositivo	25
3.2.1Primeiro Protótipo	27
3.2.2Segundo Protótipo	29
3.2.3Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul	30
3.2.4Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock	34
3.2.5Proteção do Módulo	37
3.3Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto	39
3.3.1Aplicativo para Smartphone	40
3.4Calibração dos sensores e leitura	41
4.RESULTADOS	43
5.CONCLUSÃO	46
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	47

INTRODUÇÃO

Com todas essas novas invenções e o aumento de tecnologias significantes, tornou-se possível que equipamentos comuns do nosso cotidiano se comuniquem. O conceito de equipamentos conectados é conhecido por Internet of Things (IOT) Internet das Coisas. Segundo as estatísticas, em janeiro de 2021, o número de usuários de internet ultrapassou os 4,66 bilhões (We Are Social e Hootsuite, 2021). No planeta existe, segundo estimativas de julho de 2020, uma população de 7,8 bilhões de pessoas, sendo assim mais de metade da população mundial estão ligados na rede e com a Internet das Coisas, o número de dispositivos e equipamentos conectados estão aumentando e aumentará consideravelmente cada vez mais rápido.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, o consumo nacional de eletricidade na rede foi de 474.231 GWh em 2020, sendo que 29% deste total pertence à classe de consumo residencial, por outro lado, com mais pessoas em casa em razão da pandemia do COVID 19, o consumo de energia residencial cresceu 4,1%. Ou seja, esse foi o único segmento que registrou crescimento em 2020 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2021).

A fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária de energia ao final de um ciclo de tarifação (que dura em torno de um mês) é a forma tradicional que o usuário tem a sua disposição para acompanhar seu consumo. Observa-se que há uma carência de informações no documento para fins de tarifação.

Um avanço e tecnologia a baixo custo é o trabalho que aqui será criado, o medidor de energia elétrica inteligente, que, ao invés de apenas apresentar leituras do consumo acumulado da energia, também pode apresentar os dados de consumo em tempo real e com precisão. Os consumidores poderão se beneficiar com essas informações em tempo real e o quanto de energia cada equipamento irá consumir realizando

uma grande economia de energia elétrica no final do mês.

Dentre os principais benefícios do medidor de energia elétrica inteligente estão: a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia em tempo real afim de atingir incentivos financeiros, aprimorar a sustentabilidade, a possibilidade de avaliar e visualizar remotamente, permitir que reduzam o erro humano durante o processo de leitura dos medidores assim podendo argumentar junto a concessionária, distribuidora de energia elétrica.

Esse dispositivo é acessível, código aberto disponibilizado livre, de simples entendimento e podendo ser utilizado em vários projetos. Com as portas digitais e analógicas, o Arduino recebe diversas informações dos sensores utilizando para realizar cálculos e análises, a exemplo dos sensores de corrente e tensão utilizados nesse projeto juntamente com Ethernet Shield e módulo Real Time Clock (RTC), que possibilitam a determinação da potência que, associada ao tempo de uso, permite avaliar o consumo de energia de uma residência toda ou um aparelho elétrico individualmente.

Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fornecer e informar em tempo real, por meio de uma aplicação online e via display qual o gasto em Quilo watts hora (KW/H) consumido e informar a tensão, corrente e potência elétrica. Tal sistema, ainda permitirá conexão utilizando uma conexão cabo de rede ou Wi-Fi. A conexão poderá ser feita a partir de um roteador ou switch por meio da utilização de dispositivos com acesso à rede, tais como notebooks, smartphones, tablets, entre outros.

Realizar medição com diversos equipamentos como eletrodomésticos ou no quadro de distribuição e validar os dados gerados comparando com um multímetro calibrado e mostrando em um display Liquid Crystal Display (LCD), Web Browser e um aplicativo para Smartphone; a potência, corrente, tensão e o consumo de energia elétrica 24 horas por dia em qualquer momento ou lugar.

A interface para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo estará tudo em um Secure Digital Card (SD-Card) acoplado no Ethernet Shield, criando um histórico DATALOG. Acreditando que o dispositivo proposto neste trabalho pode alavancar melhoras consideráveis no final do mês com a conta de luz e no setor elétrico brasileiro de forma a baixo custo.

Justificativa

No Brasil, o consumo energético apresenta alto crescimento no decorrer dos últimos anos. O aumento populacional e consequentemente o aumento no número de domicílios proporciona um acréscimo no consumo de energia elétrica residencial.

Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma interface intuitiva para o usuário. A intenção desse projeto é implementar uma alternativa de conscientização e economia de energia elétrica para residências e estabelecimentos a baixo custo. Dentro de todo o cenário apresentado justifica-se o surgimento de novas tecnologias, que visam fornecer ao consumidor, uma forma de obter informações acerca do consumo energético total de uma residência ou individualizado por equipamento. Espera-se um uso mais racional da energia elétrica, uma vez que o consumidor poderá tomar medidas agindo sobre as fontes que mais consomem.

O uso de controles para reduzir o consumo de energia no sistema energético vem tornando-se cada vez mais popular, melhorando a qualidade utilizando equipamentos para monitoramento de gastos gerando uma boa aceitação por parte dos usuários.

Estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias são fundamentais para a



disseminação dessa prática. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para disseminação do conhecimento, levando para os jovens, o contato antecipado com questões ambientais e tecnológicas.

Metodologia

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, artigos técnicos e vídeos explicativos, que tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido.

Analizados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins. Após o aprofundamento dos conhecimentos envolvidos e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados e resultados.

O sistema aborda a construção de um módulo com Arduino, Ethernet Shield com SD Card, Display LCD 20x4, Sensor de Tensão, Transformador de Corrente, Real Time Clock, desenvolvimento programação em C/C++ com IDE Arduino, redes de computadores, desenvolvimento Web Server com HTML e aplicativo para smartphone informando a tensão, potência, corrente elétrica, consumo de energia elétrica e informação do comportamento do dispositivo eletrônico conectado à rede local através da Browser Web, Aplicativo para Smartphone e no próprio display do medidor. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, serão realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. O principal objetivo do medidor de energia elétrica inteligente é o controle do consumo dentro da automação residencial já utilizado em milhares de projetos distintos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos, bastante citados nos artigos e livros (SEGeT?,2005; Bookman, 2014; Erica, 2015.), estes explicando de forma sucinta a utilização do Arduino e seus determinados Shields de forma inteligente na automação residencial.

Pode-se traçar as características básicas da proposta desse trabalho. O foco do medidor é de realizar a medição e consumo de energia elétrica em uma residência, ou qualquer estabelecimento alimentado em tensão secundária (220-127V). Este medidor será instalado junto ao quadro de distribuição da residência ou em um eletrodoméstico com o intuito de monitorar o consumo da residência ou um conjunto de todos os equipamentos ali instalados. Em geral, um medidor inteligente pode apresentar algumas características, as mais importantes, são: Medição de tensão e corrente de entrada de um consumidor alimentado em tensão secundária, informar consumo de energia em tempo real, calcular e informar a tarifa do consumidor, informar consumo de energia com o propósito de montar um padrão de consumo, plataforma interativa para visualização das medições.

Ferramentas Computacionais Utilizadas:

FRITZING - Será o software de criação e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados, nele será desenvolvido o projeto dos circuitos eletrônicos a serem utilizados em paralelo com Arduino e Shields do medidor de consumo de energia;

IDE ARDUINO - Será utilizado para o desenvolvimento e aplicação do software de programação e controle do microcontrolador Arduino e o monitor web via javascript do medidor;

PROTEUS ? Será o software para criação de projetos eletrônicos, composto por uma suíte de ferramentas, incluindo captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso, usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados.

Ferramentas Laboratoriais Utilizadas:

MULTÍMETRO DE BANCADA ? Será utilizado para fazer medidas de indutância, resistência, capacitância e o teste da continuidade, tudo isto com uma maior precisão. Esses valores serão úteis para parametrizar

o comportamento do circuito e sensores usados no projeto;

SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Em dezembro de 2020, o consumo de energia elétrica atingiu 52.890 Gigawatt hora (GWh) considerando autoprodução e perdas, valor 4,6% superior ao verificado no mês anterior e 3,7% superior ao verificado em dezembro de 2019. Semelhante ao registrado no mês anterior, em comparação ao ano passado, as classes residencial e industrial continuaram apresentando crescimento (9,1% e 7,3%, respectivamente), juntamente com a classe rural que, ao contrário do que ocorreu no último mês, voltou a apresentar elevação de 1,8% em relação a dezembro do ano passado. A persistente redução do consumo da classe comercial em relação ao verificado em 2019, ainda que cada vez mais atenuada, demonstra que o setor ainda está sob efeito das medidas adotadas para o enfrentamento do Covid-19. Isso torna o cenário do setor energético brasileiro um tanto quanto preocupante pelo fato de que fica obvio que não está sendo investido em ampliação e manutenção das matrizes energéticas assim como está sendo consumido mais do que gerado. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Com os avanços tecnológicos e facilidade na obtenção de novas tecnologias por diferentes classes da sociedade, o setor energético também deveria ter sido bastante aprimorado. Entretanto quando se fala de setor energético, não se pode responsabilizar somente as empresas geradoras e distribuidoras pela falta de manutenção e ampliação, pois alternativas de redução de consumo e de custos também são opções para o consumidor residencial.

Estima-se que o número de domicílios no Brasil passou de 75 milhões em 2020, e assim como já citado, equipamentos que demandam energia também irão crescer em paralelo.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor residencial brasileiro é responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Na figura 1 abaixo mostra a evolução de intensidade energética mais detalhada através dos gráficos.

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf>. Acessado em 10 jun

2021.

Medição de Energia

Durante a evolução dos sistemas elétricos no Brasil, sempre foi uma grande preocupação com as medições. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada que permanecia acesa (Dahle, 2010). Na figura 2 abaixo mostra o processo de geração e distribuição atual de energia.

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia

Fonte: tresmariasemfoco. Disponível em: <<http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html>>. Acessado em 06 set 2021.

Atualmente, 90% dos medidores de energia utilizados são eletromecânicos, possuem baixo custo e alta disponibilidade. Esse medidor é constituído pelos seguintes elementos:

Um motor, que possui em dois circuitos magnéticos, cada um com uma bobina sendo uma de potência e outra de corrente elétrica, os campos magnéticos são proporcionais à tensão e a corrente de todo circuito medido;

Um disco de alumínio suspenso na região do campo magnético criado pela bobina de corrente, onde são induzidas correntes parasitas, de modo a fazer com que o disco gire no seu próprio eixo. O número de rotações do disco é proporcional à energia consumida pela carga, fornecendo a medida do consumo de energia em quilowatt-hora (KWh).

Esses medidores possuem uma margem de erro máximo de $\pm 2\%$ do valor indicado para a sua faixa nominal, dentro do tempo de vida previsto de operação. Um valor relativamente alto, considerando as perdas que podem onerar o fornecedor e o consumidor final.

Para leitura da medição, é necessário ir até o local onde o medidor está instalado e ver o valor nele registrado, ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico

Fonte: R3 Automação Industrial. Disponível em: <<https://www.automacaor3.com.br/relogio-medidor-de-energia>>. Acessado em 20 ago 2021.

Medidor Inteligente

A implementação de medidor de consumo de energia elétrica inteligente pode ser uma possível solução para a redução da demanda de energia, gestão eficiente na geração e otimização da gestão de recursos. O medidor de consumo de energia inteligente tem capacidade de realizar medição, cálculos e comunicação através de hardware e software. Para interação dessa rede o medidor de consumo de energia inteligente foi projetado para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com determinados padrões. Observa-se que a complexidade do sistema inteligente é maior, porém ele consegue gerar mais informações em uma maior frequência. Enquanto no sistema tradicional a medição ocorre uma vez a cada mês, e para o faturamento, o projeto inteligente mostra em tempo real o consumo e o serviço prestado pela distribuidora facilitar o controle de gasto por parte do consumidor. Além de realizar todas as funções de um medidor tradicional eletromecânico, o medidor de consumo de energia inteligente pode ser usado como sensor em toda a rede elétrica.

A Figura 4 mostra a comparação entre a medição tradicional com medidor eletromecânico de energia e a

inteligente que como base será no projeto aqui mostrado.

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

O medidor de energia elétrica inteligente pode fornecer informações em maior frequência, sobre período pico ou fora de pico e padrão de uso de energia utilizando comunicação bidimensional entre o sistema de ponta e gestor do consumidor. Os consumidores podem reduzir as contas de energia elétrica e os distribuidores podem gerir melhor o seu mercado. Portanto, a utilização do medidor de consumo de energia inteligente é altamente recomendada.

Algumas funções típicas do medidor de consumo de energia inteligente são:

Comunicação bidirecional;

Armazenamento de dados;

Programação;

Segurança;

Exibição de dados, por meio de display, Browser Web e Aplicativo para Smartphone;

Fatura em tempo real;

Tarifa

Além das tarifas de distribuição os Governos; Federal, estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

A correção das tarifas é importante para manter o equilíbrio financeiro da concessão, assegurando a qualidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade.

Conforme mostra a Figura 5 a seguir com dados da (Aneel 2021), os custos de energia representam a maior parte de custos (53,5%), seguido os tributos (29,5%) sem 4,5% de tributos federais PIS e COFINS e 25% tributo estadual ICMS. Referente aos custos de distribuição, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% das tarifas.

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos

Fonte: Aneel. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false>. Acessado em 01 mai 2021.

Com informações da (Neoenergia-Elektro, 2021) temos a descrição dos valores em KW/h das Tarifa de consumo de energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) como mostra na figura 6 abaixo.

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição

Fonte: Neoenergia-Elektro. Disponível em: <<https://www.neoenergiaelektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos>>. Acessado em 14 set 2021.

Cálculo das tarifas para IDE Arduino

Com base em um aparelho qualquer de 9W de potência foi transformado KWh em Quilo Watt segundo (KWs) já que no Arduino será calculado em segundos. Como mostra a figura 7 abaixo, serão esses dados aplicados no programa IDE Ardurino.

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo na figura 8 abaixo mostra os cálculos anteriormente realizados aplicados na IDE Arduino.

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino

Fonte: Elaborado pelo autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A grande parte de medidores inteligentes hoje no mercado são derivados de um projeto Open Source denominado como Open Energy Monitor, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global. Seu funcionamento consiste em medições feitas por sensores e Shields que enviam informações para um microcontrolador central onde são tratadas todas as informações, a fim de enviar todo o levantamento de consumo de energia elétrica.

Internet das Coisas

Comunicação entre todos os objetos físicos?, onde a comunicação que já acontece entre máquinas, e entre pessoas e computadores, se estenderá a outros objetos.

Monk, Simon (2018) em Internet das Coisas, uma introdução com o photon define que: Termo ?Internet das coisas? Internet of Things (IOT) foi proposto por Kevin Ashton em 1999, mas o desenvolvimento do conceito tecnológico foi introduzido pela primeira vez pelo departamento de ciência da computação da Carnegie Mellon University, onde os alunos conectaram à internet uma máquina de venda automática de refrigerantes.

No âmbito da eficiência energética, dentre inúmeras possibilidades, a funcionalidade com enfoque neste projeto é para o monitoramento do uso de energia em um circuito monofásico com o intuito de economizar energia elétrica.

A plataforma IOT permite que o consumidor possa verificar o seu uso de energia instantaneamente ao longo do tempo, permitindo o entendimento de forma intuitiva e o reconhecimento de padrões de consumo que se repetem no decorrer do tempo através de um computador ou smartphone dentro de uma rede.

Construção do Dispositivo

Teorias apresentadas neste item trarão todos os embasamentos abrangentes necessários para compreensão do hardware e software utilizado no trabalho, desde seus funcionamentos básicos como dispositivos até ferramentas utilizadas para sua construção.

Para as conexões do circuito foram utilizados alguns componentes eletrônicos, como dois resistores de

10kohms, um resistor de 330ohm e um capacitor de 100uF/16v. Os componentes são utilizados em diversas funções, porém no projeto são utilizados com objetivo de construir um pequeno circuito eletrônico de divisor de tensão, sendo utilizado para dividir a tensão DC de 5V do Arduino, evitando prejuízo em algum componente no caso de picos de energia altos, o resistor de 330 ohm é utilizado para criar a variação na tensão para medição da corrente elétrica ligado em serie junto ao sensor de corrente SCT013 mostrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Circuito para SCT013

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse projeto, foi desenvolvido uma aplicação Web com a linguagem HTML dentro do IDE do Arduino , que é uma linguagem de marcação para desenvolvimento que permite implementar a página via Browser como monitoramento em tempo real. Dentro da aplicação onde V é a tensão, A é corrente elétrica, P é potência e ou W os Watts como mostra na figura 10 abaixo exemplo de medições e cálculos de uma lâmpada de LED de 100-240V E27 +/- 10W e 3000K.

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de tensão e corrente medidos pelos Shelds, o programa desenvolvido consegue realizar o cálculo da lei de OHM corrente x tensão, encontrando a potência de um equipamento, através do somatório dos KWH por hora, elaborado pelo código desenvolvido e mostrar o resultado e em tempo real o valor a ser pago.

Com a intenção de ter um registro de qualquer anomalia no sistema e conseguir um histórico das medições de tensão, corrente, potência com data e hora, surgiu a necessidade da instalação de um Shield RTC com uma bateria para gravar e segurar data e hora exata e um Micro-SD no Ethernet Shield para salvar os dados como DATALOG e criar um mini banco de dados observados na figura 11 abaixo.

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de montagem e testes, observou-se que somente o sensor de corrente SCT013 não era suficiente para realizar a medição da tensão realizando cálculos da lei de Ohm no programa, já que o resultado oscilou muito. Por isso foi necessário instalar um segundo sensor no projeto, o sensor de tensão AC 127/220V sendo assim um segundo protótipo foi confeccionado.

Primeiro Protótipo

No período de concepção do medidor, a topologia inicial tinha como base três principais componentes: um Arduino UNO, como unidade micro controladora, um Ethernet Shield W5100 que é um microcontrolador capaz de conectar-se às redes de Ethernet/Internet e um sensor de corrente SCT-013, para medir valores de 0 até 100A de corrente alternada somente abraçando um dos cabos do equipamento a ser medido a corrente elétrica.

Ao executar a montagem da primeira versão do medidor em uma protoboard como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 ? Primeiro Protótipo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que os valores lidos de tensão calculado adicionando a potência do equipamento manualmente e calculado pela lei de Ohm nos testes de bancada não correspondiam com os valores esperados, os valores medidos possuíam um alto nível de imprecisão variando mais de 20% para mais ou para menos.

Buscando alternativas para contornar a imprecisão do resultado das tensões, surgiu a possibilidade de utilizar um sensor de tensão sendo suficiente para atender ao projeto, pois o sensor de tensão com baixa variação de apenas 2% para mais ou para menos, excelente Shield que resolveria o problema da medição de tensão, sendo assim o sensor de corrente seria somente para a sua função específica e enxugaria o código no IDE Arduino, sem a necessidade de vários cálculos da lei de ohm no programa em relação ao resultado do valor de tensão.

Segundo Protótipo

Com a aquisição do componente (sensor de tensão) necessário para a segunda versão e final do protótipo, foi iniciada a montagem em uma protoboard como testes.

Com o avanço para a comunicação via Ethernet/Internet pelo Ethernet Shield W5100 e a criação de um DATALOG através do SD-CARD, foi necessário a inserção e um aumento considerável de códigos com HTML o Arduino UNO foi necessário substituir por um superior e com mais memória e a entrada de mais um Shield que seria o Real Time Clock RTC DS3231 para data e hora certa, tanto na visualização em tempo real quanto no DATALOG.

Pensando também em uma possível falha na rede, porque não instalar um display, faltando comunicação temos dos dados de medição para visualização em um display LCD. O projeto ficou mais completo inserindo um display LCD 20x4 de comunicação com Arduino via I2C, com necessidade de inserir uma biblioteca própria no software.

Sendo assim com a substituição pelo modelo Arduino MEGA 2560 R3 foi suficiente para atender o projeto como um todo mostrado na figura 13 abaixo o circuito completo do projeto.

Figura 13 - Circuito Completo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul

O Ethernet Shield permite que a placa Arduino se conecte a uma rede Ethernet/Internet. Baseado no chip de ethernet Wiznet W5100 provendo um stack de rede (ponte entre Arduino e rede) suporta os protocolos TCP e UDP. O Ethernet Shield suporta até quatro conexões simultâneas utilizando a biblioteca Ethernet.h para escrever sketches que se conectam à internet e ethernet.

O Shield de Ethernet é conectado em uma placa Arduino usando pinos longos através do Shield. Isso mantém o layout de pinos intacto permitindo que outro Shield seja empilhado sucessivamente. Com um slot na placa de cartão micro-SD, podendo ser usado para armazenar arquivos como banco de dados para

a rede e compatível com o Arduino Uno e Mega.

O Arduino se comunica tanto com o Shield quanto com o cartão micro-SD usando o barramento Serial Peripheral Interface (SPI) é um protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes). Tanto o Ethernet Shield como a função SDcard compartilham o barramento SPI, então somente um pode estar ativo de cada vez. O Shield fornece um conector padrão RJ45 de Ethernet e o botão de reset no Shield reinicia tanto a ele próprio quanto a placa Arduino independente se o modelo Uno ou Mega observado na figura 14 abaixo.

- Fonte de alimentação: 5V DC
- Interface: SPI
- Suporte cartão SD
- Suporta até quatro ligações de socket simultâneas
- Compatível com Arduino versão standard / série Mega
- Tamanho: 72x55x32mm

Figura 14 ? Ethernet Shield

Fonte: Felipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/ethernet-shield-w5100-para-arduino> >. Acessado em 12 jun 2021.

O Arduino, além de ser uma placa de desenvolvimento, é uma plataforma de código aberto (Open-Source) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi com o intuito de contribuir no aprendizado de eletrônica e automação para estudantes de design e projetistas. O principal objetivo foi criar uma plataforma de baixo custo, para que estudantes pudessem desenvolver seus projetos e protótipos com o menor custo possível. Segundo o site da plataforma Arduino, (arduino.cc, 2021):

“O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (arduino.cc, 2021).”

O Arduino é formado por dois componentes principais: Hardware e Software.

O hardware é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos. Já o software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino, através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado durante o seu funcionamento. Possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo

. Os pinos da placa se dividem nos seguintes moldes:

- Pinos de entrada e saída digital: Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado no IDE.
- Pinos de entradas analógicas: Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.
- Pinos de saídas analógicas: São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação Pulse Width Modulation (PWM).

A alimentação da placa pode ser feita a partir da porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 a 12 volts (Embarcados.com.br, 2021). A linguagem de programação é modelada a partir da linguagem Wiring. Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador. A IDE apresenta muita abstração, possibilitando o uso de um microcontrolador sem que o usuário conheça o mesmo e nem como deve ser usado os registradores internos de trabalho.

A IDE do Arduino possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. A partir do momento que foi feito o upload o Arduino não precisa mais do computador, o Arduino executará o sketch criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

Na Figura 15 observa-se as características construtivas do Arduino:

Figura 15 ? Arduino Mega

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/arduino-mega-2560> >,. Acessado em 14 jun 2021.

Display LCD 20×4 Backlight Azul (20 colunas por 4 linhas) com backlight azul e escrita branca é usado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino e outros projetos eletrônicos. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle, que nesse projeto foi utilizado a ligação I2C, com apenas alimentação 5v e utilizando apenas dois pinos do Arduino: o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 16 abaixo observa-se com mais detalhes o display.

Figura 16 ? Display LCD 20×4 Backlight Azul

Fonte: baudaeletronica. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/display-lcd-20x4-azul.html> >,. Acessado em 18 out 2021.

Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock

Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino muitas vezes a quantidade de pinos disponíveis no Arduino é limitada, após conectar display e sensores sobram poucos pinos para uso. O módulo controla o display lcd usando apenas 2 pinos, o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 17 abaixo observa-se. Especificações:

Endereço I2C: 0x20-0x27 (Padrão 0x20 mas pode ser modificado);

Compatível com Display LCD 16×2 e LCD 20×4;

Tensão de operação: 5V;

Dimensões: 55 x 23 x 14mm.

Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino

Fonte: filipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino> >. Acessado em 18 out 2021.

O sensor de corrente SCT-013 tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas "abraçar" um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado. SCT é a sigla para Split-core Current Transformer, ou seja, transformador de corrente de núcleo dividido. Ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua saída teremos valores entre 0 e 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal (vidadesilicio.com.br, 2021). Para fazer a medição da corrente elétrica o SCT-013 possui uma bobina interna em sua estrutura, como se pode observar na figura 18 abaixo.

Figura 18 ? Sensor de corrente SCT013

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada> >. Acessado em 14 jun 2021.

O Módulo Sensor de Tensão AC 110/220V é capaz de detectar a passagem de tensão alternada no circuito. Projetado para entradas entre 127 e 220 volts (Suporta a tensão máxima de 311 Volts). Composto de um opto-acoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada / Resistor de Pull Down / Capacitor para estabilizar a saída.

O sensor é ligado em paralelo, portanto a corrente do circuito é irrelevante para ele. Na função voltímetro, a leitura pode oscilar em torno de 2% para mais ou para menos. Na figura 19 abaixo observa-se com mais detalhes.

Especificações:

Tipo de sensor: detector de tensão

Tensão de entrada: 0 a 220VAC

Tensão de pico máxima: 311VAC

Tipo de saída: leitura analógica

Dimensões: 16mm (L) X 15mm (A) X 37mm (C)

Peso: 6g

Ligação:

VCC - Ligado ao 5v do Arduino;

OUT - Ligado a uma porta analógica do Arduino;

GND - Ligado ao GND do Arduino.

Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V

Fonte: Autocorerobotica. Disponível em: < <https://www.autocorerobotica.com.br/buscar?q=sensor+tensao> >. Acessado em 14 jun 2021.

Segundo o site filipeflop, (filipeflop.com, 2021):

O Real Time Clock (RTC) DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Na figura 20 abaixo pode-se observar a placa com suas conexões a bateria do modelo CR2032 de 3v e embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão.

Especificações e características:

Controlador: DS3231;

Tensão de operação: 3,3V ? 5VDC;

Interface: I2C;

Bateria compatível: CR2032;

Sensor de temperatura: ~ 3° Celsius de exatidão;

Temperatura de operação: 0 a 40° Celsius;

Computa horas / minutos / segundos / dias da semana / mês / meses / anos (de 2000 a 2099);

Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

Memória: AT24C32 (capacidade de 32Kb que podem ser usados também como RAM estendida ao microcontrolador);

Possui circuito de detecção de falha de energia;

Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS3231

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>;
Acessado em 12 jun 2021.

Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo e possível contato entre o usuário e a corrente elétrica pelo módulo foi projetado uma proteção para que pudesse comportar todos os componentes, foi executado conforme as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Figura 21 ? Confecção da proteção do módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 21 acima mostra a proteção do módulo sendo produzida. Para construir a caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o MDF de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO2, com um comprimento de onda de 10.6 µm /Max e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 22 acima mostra a representação do módulo já com sua proteção montada e pronta para uso e o Arduino precisará de uma alimentação de 5V, podendo ser feito pelo próprio cabo de dados porta USB, por pilha, um carregador de celular ou entrada P4 com tensão de 9V DC.

Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto

Um resumo do ciclo de desenvolvimento pode ser visto na Figura 21 abaixo, que demonstra trechos do código elaborado da aplicação em Arduino de uma forma esquemática. O programa principal possui 6 bibliotecas necessárias para seu funcionamento.

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de tensão da residência e a corrente do equipamento, a potência é dada pelo produto dessas unidades usando a lei de Ohm corrente (A) x tensão (V) como mostra nos trechos do código abaixo na figura 23.

Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da conexão à rede para exibição da página Web e App é necessário definir o endereço MAC e definir um IP fixo na rede equivalente a rede local, nesse caso foi usado o IP 192.168.0.20 para o acesso local mostrado na figura 24 abaixo o trecho do código.

Figura 24 ? Conexão de rede e IP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicativo para Smartphone

Para construir um APP foi utilizado o MIT APP Inventor, uma ferramenta de drag-and-drop (arrastar e soltar) visual para a construção de aplicações em smartphones na plataforma Android.

Composto por duas etapas: o App Inventor Designer e o App Inventor Blocks Editor, cada um com função própria e específica. O primeiro tem o objetivo de construir a interface do seu aplicativo e o segundo de adicionar interatividade aos componentes na tela, basicamente só isso, bem intuitivo.

Para o acesso o usuário deverá inserir Login e Senha já predeterminado no App por exemplo foi usado nesse projeto Login TCC e Senha 2021. Após inserir o aplicativo já irá abrir a próxima tela com as informações do medidor de energia elétrica inteligente.

O aplicativo funcionou perfeitamente, sendo possível a visualização das medições do equipamento ao qual estava conectado no projeto desenvolvido. Desta maneira o uso fica restrito ao equipamento que está conectado na rede elétrica ou equipamento elétrico individual por intermédio do protótipo desenvolvido. Na figura 25 abaixo observa-se com mais detalhes em funcionamento e detalhes da criação do mesmo.

Figura 25 ? APP para dispositivo móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calibração dos sensores e leitura

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um Alicat Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para os sensores de corrente e tensão foram uma lâmpada, uma pistola de cola quente e um aspirador de pó.

Essas abordagens de alguns eletrônicos são para validar as medições em componentes diferentes e que não haja uma configuração para apenas um componente específico, lembrando que no próprio datasheet

do componente o erro previsto é de +/- 2%.

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma tensão nominal de 127V, a tensão real pode ter uma variação de 114,3V a 139,7V. Este desvio de valor acarretou para uma variação dentro da tolerância permitida.

Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validar o funcionamento do sistema foram realizadas medições com 3 tipos de carga: resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó). Os valores foram adquiridos através da Lei de Ohm, onde temos a Corrente Elétrica (A) x Tensão (V) igual a potência (W).

Tabela 3 ? Comparação Potencia (W) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido 127v e medido pelo sensor de tensão, admitindo uma variação de 10% para mais ou para menos sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL, 2021, os valores informados aos usuários podem sofrer uma variação para baixo ou para cima não ultrapassando a porcentagem aceita pela ANEEL.

RESULTADOS

Para a validação do medidor de energia elétrica inteligente, ele foi instalado em equipamento elétricos diferentes como corrente e potência, já a medição de tensão com alimentação monofásica de 127V para todos os equipamentos. Para comparação, os valores obtidos foram comparados com um Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 como mostra na figura 26 abaixo. O Fluke 381 é um aparelho versátil utilizado em diversas aplicações industriais de modo profissional sendo um dos melhores equipamentos para medição de tensão e corrente elétrica no mercado mundial.

Figura 26 - Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381

Fonte: fluke.com. Disponível em: < <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-381> >. Acessado em 12 set 2021.

Medidor de energia elétrica inteligente totalmente calibrado e pronto para ser utilizado como mostra abaixo na figura 27.

Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez montado o protótipo e pronto, foram realizados alguns testes para validação, eliminação de problemas iniciais e refinamento dos resultados. Para análise dos resultados foi um entendimento sobre o comportamento dos sinais de corrente e tensão para os 3 tipos de carga já citados anteriormente, resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó).

Para validá-lo foram realizados testes lado a lado para aferição do medidor de energia elétrica inteligente como mostra a figura 28 abaixo. Os comparativos com alicate amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 e medidor de energia elétrica inteligente mostram no display de cada equipamento: tensão (V), corrente elétrica (A) e potência (W). Somente o medidor de energia elétrica inteligente é capaz de calcular e mostrar em tempo real a potência (W) através do programa carregado no microcontrolador Arduino.

Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comparativo mostra uma semelhança entre os resultados apresentadas pelo medidor de energia elétrica inteligente e o Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381. Os horários em que os picos de consumo acontecem coincidem e a variação em sua magnitude é inferior a 5%.

Apesar da pequena diferença entre os valores lidos, a informação mostrada é mais que suficiente para que o usuário possa acompanhar o seu consumo em tempo real com uma precisão adequada para auxiliá-lo na tomada de decisão referente aos seus hábitos de consumo.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho, com características experimentais, fez com que fosse necessário criar um protótipo confiável possibilitando a visualização remoto através de smartphones e computadores conectados nas redes via cabo ou Wifi. Porém é importante salientar que foi utilizado um sensor de corrente SCT013 até 100A, medidas de corrente possuem uma oscilação na precisão de mais ou menos 2%.

Para o cálculo da potência utilizado o valor de tensão da rede elétrica medido pelo módulo sensor de tensão 127/220V e o valor da corrente elétrica calculado em cima da lei de OHM que nos fornece o valor da potência consumida.

Aplicações com o uso de IOT vêm ganhando destaque na automação em geral capazes de abranger diversas aplicações e uma ferramenta de fácil utilização. O fato de possuir uma grande facilidade para

interligar o processo físico do projeto desenvolvido por meio de um sistema distribuído utilizado no projeto um Ethernet Shield W5100 para criar um Servidor Web que tem como função fornecer uma página web como monitoramento por computadores e smartphones contendo informações enviadas pelo Arduino captado dos sensores. Tal fator ficou evidente no decorrer da criação deste presente trabalho.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelos próprios fabricantes dos equipamentos utilizados na medição, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dão pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não do real, já que se tem uma variação de no máximo 10% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 2% sobre os sensores utilizados.

Para isso, a motivação como propósito a utilização em residências, dada uma rotatividade em cada família. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos e verificando os pontos onde são possíveis a redução de consumo da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEDB et. Al. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Disponível em: < https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/05/256_SEGET%20-%20Automacao%20Residencial.pdf >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020> >. Acessado em 24 de mai. de 2021.
- BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - a review. 1. ed. London: IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015.
- BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
- BRAZCUBAS et. Al. Gestão do Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/download/501/603> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Dahle, David. 2010. Samuel Gardiner's lamp--?hour meter (1872). Dave's old Watthour Meter webpage. [Online] 2010. [Citado em: 06 de Julho de 2012.] < <http://watthourmeters.com/others/gardiner.html> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- MONK, SIMON. Internet das Coisas um Introdução com Photon. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- MONK, SIMON. Projetos com Arduino e Android. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- PUC GOIAS et. Al. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. Disponível em: < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf> >. Acesso em 03 de mar. de 2021.
- Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 01, p. 7-23, 2017. Disponível em: < https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/TI_EaD/article/download/1686/800 >. Acesso em 13 de mai. de 2021.
- STEVAN JR, SERGIO LUIZ; SILVA, RODRIGO ADAMSHUK. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- VYAKARANAM, Bharat et al. A study of the impact of peak demand on increasing vulnerability of cascading failures to extreme contingency events. IEEE Power & Energy Society General Meeting, p.1-5, jul. 2017. IEEE.



Sensor de Corrente[A]0.11 A0.15 A2.95 A
Fluke 3810.10 A0.12 A2.40 A

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]129.90 V130.01 V128.26 V
Fluke 381130.40 V130.30 V128.60 V

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]13.35 W19.50 W378.36 W
Fluke 381 (Cálculo lei de Ohm)13.04 W15.63 W308.64 W



=====

Arquivo 1: [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Arquivo 2: <https://lastminuteengineers.com/ds3231-rtc-arduino-tutorial> (2071 termos)

Termos comuns: 0

Similaridade: 0,00%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento <https://lastminuteengineers.com/ds3231-rtc-arduino-tutorial> (2071 termos)

=====

Universidade Paulista - UNIP

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Limeira

2021

Universidade Paulista - UNIP



Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes

Limeira

2021

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes.

Aprovada em 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Thais Rocha

Prof. Me. Nome completo



Prof. Esp. Nome completo

DEDICATÓRIA

?Com gratidão, dedico este trabalho primeiro a Deus. Devo a Ele tudo o que sou e serei. Minha esposa Juliane e meu filho João Otávio, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado. ?

?Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes?.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Com o consumo de energia elétrica muito elevado, uma forma de economizar é mensurando quais aparelhos consomem mais, um gasto muito elevado e extremamente desnecessário. Esse consumo pode ser medido com um medidor de energia elétrica inteligente utilizando Arduino, Shields, sensores com software embarcado e aberto, apresentando isso de forma gráfica em tempo real e de fácil entendimento e visualização. Amostras em tempo real gerados pela avaliação de toda residência ou dos aparelhos elétricos individualmente auxiliam a aproveitar melhor seu consumo. Com a enorme popularização da Internet das Coisas, proporciona que objetos comuns do nosso cotidiano possam estar conectados entre si por meio de uma rede local ou pela Internet. Este projeto apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em Internet das Coisas para a medição de consumo de energia elétrica, onde o usuário poderá acompanhar o seu consumo instantâneo de energia elétrica sem a necessidade de esperar a fatura mensal. Com esse cenário o desenvolvimento de um aparelho que coletará informações de consumo e eventuais casos críticos na rede elétrica registrando logs em um cartão SD, já que o projeto também mostrará medições de potência, corrente e tensão elétrica. Conectado em um ponto estratégico da residência, priorizando a instalação no consumidor final. O projeto funcionando de forma simples e amigável torna os dados de consumo do aparelho elétrico recebidos através dos sensores do Arduino e enviados graficamente para um display e remotamente via Browser Web e APP em uma rede local ou Internet, contendo dados elétricos e do consumo em tempo real. Com os resultados, o usuário poderá avaliar melhor seu consumo de energia elétrica, podendo economizar recursos financeiros e naturais.

Palavra-Chave: Arduino; Sensor; Consumo de Energia; Corrente; Medidor.

ABSTRACT

With very high electricity consumption, a way to save is measuring which appliances consume more, a very high and extremely unnecessary expense. This consumption can be measured with an intelligent electric

energy meter using Arduino, Shields, sensors with embedded and open software, presenting it in real-time graphical form and easy to understand and visualize. Real-time sampling generated by evaluating the entire home or individual electrical appliances helps to make better use of your consumption. With the huge popularity of the Internet of Things, it allows common objects of our daily lives to be connected to each other through a local network or the Internet. This project presents the development of an Internet of Things-based device for measuring electricity consumption, where the user will be able to monitor their instantaneous electricity consumption without having to wait for the monthly bill. With this scenario, the development of a device that will collect consumption information and eventual critical cases in the electrical network, recording logs on an SD card, since the project will also show measurements of power, current and electrical voltage. Connected at a strategic point in the home, prioritizing installation for the final consumer. The project works in a simple and user-friendly way and makes the electrical appliance consumption data received through Arduino sensors and sent graphically to a display and remotely via Web Browser and APP on a local network or Internet, containing electrical and consumption data in time real. With the results, the user will be able to better evaluate his electric energy consumption, being able to save financial and natural resources.

Key Words: Arduino; Sensor; Energy consumption; Chain; Meter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil18
- Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia18
- Figura 3 ? Medidor Eletromecânico19
- Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente20
- Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos22
- Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição22
- Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas23
- Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino23
- Figura 9 - Circuito para SCT01325
- Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser26
- Figura 11 ? DataLog no Cartão SD27
- Figura 12 ? Primeiro Protótipo28



Figura 13 - Circuito Completo29
Figura 14 ? Ethernet Shield31
Figura 15 ? Arduino Mega33
Figura 16 ? Display LCD 20x4 Backlight Azul34
Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino34
Figura 18 ? Sensor de corrente SCT01335
Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V36
Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS323137
Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo38
Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo38
Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa39
Figura 24 ? Conexão de rede e IP40
Figura 25 ? APP para dispositivo móvel41
Figura 26 - Alicates Amperímetro duplo True-RMS Fluke 38143
Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando44
Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência45

TABELAS

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos42
Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos42
Tabela 3 ? Comparação Potência (W) entre instrumentos42



LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

GWh - Gigawatt-hora

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços

IDE - Integrated Development Environment

IEC - International Electrotechnical Commission

IOT - Internet of Things

IP - Internet Protocol

KWh - Quilo watts hora

KWs ? Quilo watts segundo

LAN - Local Area Network

LCD - Liquid Crystal Display

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

PIS ? Programas de Integração Social

PWM - Pulse Width Modulation

RJ45 - Registered Jack 45

SD-Card - Secure Digital Card

TC - Transformador de Corrente

TCP - Transmission Control Protocol

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

USB - Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO12

1.1Objetivo13

1.2Justificativa14

1.3Metodologia14



2.SETOR ELÉTICO BRASILEIRO	17
2.1Medição de Energia	18
2.1.1Medidor Inteligente	20
2.2Tarifa	21
2.3Cálculo das tarifas para IDE Arduino	23
3.DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.1Internet das Coisas	24
3.2Construção do Dispositivo	25
3.2.1Primeiro Protótipo	27
3.2.2Segundo Protótipo	29
3.2.3Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul	30
3.2.4Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock	34
3.2.5Proteção do Módulo	37
3.3Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto	39
3.3.1Aplicativo para Smartphone	40
3.4Calibração dos sensores e leitura	41
4.RESULTADOS	43
5.CONCLUSÃO	46
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

INTRODUÇÃO

Com todas essas novas invenções e o aumento de tecnologias significantes, tornou-se possível que equipamentos comuns do nosso cotidiano se comuniquem. O conceito de equipamentos conectados é conhecido por Internet of Things (IOT) Internet das Coisas. Segundo as estatísticas, em janeiro de 2021, o número de usuários de internet ultrapassou os 4,66 bilhões (We Are Social e Hootsuite, 2021). No planeta existe, segundo estimativas de julho de 2020, uma população de 7,8 bilhões de pessoas, sendo assim mais de metade da população mundial estão ligados na rede e com a Internet das Coisas, o número de dispositivos e equipamentos conectados estão aumentando e aumentará consideravelmente cada vez mais rápido.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, o consumo nacional de eletricidade na rede foi de 474.231 GWh em 2020, sendo que 29% deste total pertence à classe de consumo residencial, por outro lado, com mais pessoas em casa em razão da pandemia do COVID 19, o consumo de energia residencial cresceu 4,1%. Ou seja, esse foi o único segmento que registrou crescimento em 2020 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2021).

A fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária de energia ao final de um ciclo de tarifação (que dura em torno de um mês) é a forma tradicional que o usuário tem a sua disposição para acompanhar seu consumo. Observa-se que há uma carência de informações no documento para fins de tarifação.

Um avanço e tecnologia a baixo custo é o trabalho que aqui será criado, o medidor de energia elétrica inteligente, que, ao invés de apenas apresentar leituras do consumo acumulado da energia, também pode apresentar os dados de consumo em tempo real e com precisão. Os consumidores poderão se beneficiar com essas informações em tempo real e o quanto de energia cada equipamento irá consumir realizando

uma grande economia de energia elétrica no final do mês.

Dentre os principais benefícios do medidor de energia elétrica inteligente estão: a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia em tempo real afim de atingir incentivos financeiros, aprimorar a sustentabilidade, a possibilidade de avaliar e visualizar remotamente, permitir que reduzam o erro humano durante o processo de leitura dos medidores assim podendo argumentar junto a concessionária, distribuidora de energia elétrica.

Esse dispositivo é acessível, código aberto disponibilizado livre, de simples entendimento e podendo ser utilizado em vários projetos. Com as portas digitais e analógicas, o Arduino recebe diversas informações dos sensores utilizando para realizar cálculos e análises, a exemplo dos sensores de corrente e tensão utilizados nesse projeto juntamente com Ethernet Shield e módulo Real Time Clock (RTC), que possibilitam a determinação da potência que, associada ao tempo de uso, permite avaliar o consumo de energia de uma residência toda ou um aparelho elétrico individualmente.

Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fornecer e informar em tempo real, por meio de uma aplicação online e via display qual o gasto em Quilo watts hora (KW/H) consumido e informar a tensão, corrente e potência elétrica. Tal sistema, ainda permitirá conexão utilizando uma conexão cabo de rede ou Wi-Fi. A conexão poderá ser feita a partir de um roteador ou switch por meio da utilização de dispositivos com acesso à rede, tais como notebooks, smartphones, tablets, entre outros.

Realizar medição com diversos equipamentos como eletrodomésticos ou no quadro de distribuição e validar os dados gerados comparando com um multímetro calibrado e mostrando em um display Liquid Crystal Display (LCD), Web Browser e um aplicativo para Smartphone; a potência, corrente, tensão e o consumo de energia elétrica 24 horas por dia em qualquer momento ou lugar.

A interface para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo estará tudo em um Secure Digital Card (SD-Card) acoplado no Ethernet Shield, criando um histórico DATALOG. Acreditando que o dispositivo proposto neste trabalho pode alavancar melhoras consideráveis no final do mês com a conta de luz e no setor elétrico brasileiro de forma a baixo custo.

Justificativa

No Brasil, o consumo energético apresenta alto crescimento no decorrer dos últimos anos. O aumento populacional e consequentemente o aumento no número de domicílios proporciona um acréscimo no consumo de energia elétrica residencial.

Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma interface intuitiva para o usuário. A intenção desse projeto é implementar uma alternativa de conscientização e economia de energia elétrica para residências e estabelecimentos a baixo custo. Dentro de todo o cenário apresentado justifica-se o surgimento de novas tecnologias, que visam fornecer ao consumidor, uma forma de obter informações acerca do consumo energético total de uma residência ou individualizado por equipamento. Espera-se um uso mais racional da energia elétrica, uma vez que o consumidor poderá tomar medidas agindo sobre as fontes que mais consomem.

O uso de controles para reduzir o consumo de energia no sistema energético vem tornando-se cada vez mais popular, melhorando a qualidade utilizando equipamentos para monitoramento de gastos gerando uma boa aceitação por parte dos usuários.

Estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias são fundamentais para a



disseminação dessa prática. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para disseminação do conhecimento, levando para os jovens, o contato antecipado com questões ambientais e tecnológicas.

Metodologia

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, artigos técnicos e vídeos explicativos, que tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido.

Analisados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins. Após o aprofundamento dos conhecimentos envolvidos e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados e resultados.

O sistema aborda a construção de um módulo com Arduino, Ethernet Shield com SD Card, Display LCD 20x4, Sensor de Tensão, Transformador de Corrente, Real Time Clock, desenvolvimento programação em C/C++ com IDE Arduino, redes de computadores, desenvolvimento Web Server com HTML e aplicativo para smartphone informando a tensão, potência, corrente elétrica, consumo de energia elétrica e informação do comportamento do dispositivo eletrônico conectado à rede local através da Browser Web, Aplicativo para Smartphone e no próprio display do medidor. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, serão realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. O principal objetivo do medidor de energia elétrica inteligente é o controle do consumo dentro da automação residencial já utilizado em milhares de projetos distintos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos, bastante citados nos artigos e livros (SEGeT?,2005; Bookman, 2014; Erica, 2015.), estes explicando de forma sucinta a utilização do Arduino e seus determinados Shields de forma inteligente na automação residencial.

Pode-se traçar as características básicas da proposta desse trabalho. O foco do medidor é de realizar a medição e consumo de energia elétrica em uma residência, ou qualquer estabelecimento alimentado em tensão secundária (220-127V). Este medidor será instalado junto ao quadro de distribuição da residência ou em um eletrodoméstico com o intuito de monitorar o consumo da residência ou um conjunto de todos os equipamentos ali instalados. Em geral, um medidor inteligente pode apresentar algumas características, as mais importantes, são: Medição de tensão e corrente de entrada de um consumidor alimentado em tensão secundária, informar consumo de energia em tempo real, calcular e informar a tarifa do consumidor, informar consumo de energia com o propósito de montar um padrão de consumo, plataforma interativa para visualização das medições.

Ferramentas Computacionais Utilizadas:

FRITZING - Será o software de criação e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados, nele será desenvolvido o projeto dos circuitos eletrônicos a serem utilizados em paralelo com Arduino e Shields do medidor de consumo de energia;

IDE ARDUINO - Será utilizado para o desenvolvimento e aplicação do software de programação e controle do microcontrolador Arduino e o monitor web via javascript do medidor;

PROTEUS ? Será o software para criação de projetos eletrônicos, composto por uma suíte de ferramentas, incluindo captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso, usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados.

Ferramentas Laboratoriais Utilizadas:

MULTÍMETRO DE BANCADA ? Será utilizado para fazer medidas de indutância, resistência, capacitância e o teste da continuidade, tudo isto com uma maior precisão. Esses valores serão úteis para parametrizar

o comportamento do circuito e sensores usados no projeto;

SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Em dezembro de 2020, o consumo de energia elétrica atingiu 52.890 Gigawatt hora (GWh) considerando autoprodução e perdas, valor 4,6% superior ao verificado no mês anterior e 3,7% superior ao verificado em dezembro de 2019. Semelhante ao registrado no mês anterior, em comparação ao ano passado, as classes residencial e industrial continuaram apresentando crescimento (9,1% e 7,3%, respectivamente), juntamente com a classe rural que, ao contrário do que ocorreu no último mês, voltou a apresentar elevação de 1,8% em relação a dezembro do ano passado. A persistente redução do consumo da classe comercial em relação ao verificado em 2019, ainda que cada vez mais atenuada, demonstra que o setor ainda está sob efeito das medidas adotadas para o enfrentamento do Covid-19. Isso torna o cenário do setor energético brasileiro um tanto quanto preocupante pelo fato de que fica obvio que não está sendo investido em ampliação e manutenção das matrizes energéticas assim como está sendo consumido mais do que gerado. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Com os avanços tecnológicos e facilidade na obtenção de novas tecnologias por diferentes classes da sociedade, o setor energético também deveria ter sido bastante aprimorado. Entretanto quando se fala de setor energético, não se pode responsabilizar somente as empresas geradoras e distribuidoras pela falta de manutenção e ampliação, pois alternativas de redução de consumo e de custos também são opções para o consumidor residencial.

Estima-se que o número de domicílios no Brasil passou de 75 milhões em 2020, e assim como já citado, equipamentos que demandam energia também irão crescer em paralelo.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor residencial brasileiro é responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Na figura 1 abaixo mostra a evolução de intensidade energética mais detalhada através dos gráficos.

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf>. Acessado em 10 jun

2021.

Medição de Energia

Durante a evolução dos sistemas elétricos no Brasil, sempre foi uma grande preocupação com as medições. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada que permanecia acesa (Dahle, 2010). Na figura 2 abaixo mostra o processo de geração e distribuição atual de energia.

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia

Fonte: tresmariasemfoco. Disponível em: <<http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html>>. Acessado em 06 set 2021.

Atualmente, 90% dos medidores de energia utilizados são eletromecânicos, possuem baixo custo e alta disponibilidade. Esse medidor é constituído pelos seguintes elementos:

Um motor, que possui em dois circuitos magnéticos, cada um com uma bobina sendo uma de potência e outra de corrente elétrica, os campos magnéticos são proporcionais à tensão e a corrente de todo circuito medido;

Um disco de alumínio suspenso na região do campo magnético criado pela bobina de corrente, onde são induzidas correntes parasitas, de modo a fazer com que o disco gire no seu próprio eixo. O número de rotações do disco é proporcional à energia consumida pela carga, fornecendo a medida do consumo de energia em quilowatt-hora (KWh).

Esses medidores possuem uma margem de erro máximo de $\pm 2\%$ do valor indicado para a sua faixa nominal, dentro do tempo de vida previsto de operação. Um valor relativamente alto, considerando as perdas que podem onerar o fornecedor e o consumidor final.

Para leitura da medição, é necessário ir até o local onde o medidor está instalado e ver o valor nele registrado, ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico

Fonte: R3 Automação Industrial. Disponível em: <<https://www.automacaor3.com.br/relogio-medidor-de-energia>>. Acessado em 20 ago 2021.

Medidor Inteligente

A implementação de medidor de consumo de energia elétrica inteligente pode ser uma possível solução para a redução da demanda de energia, gestão eficiente na geração e otimização da gestão de recursos. O medidor de consumo de energia inteligente tem capacidade de realizar medição, cálculos e comunicação através de hardware e software. Para interação dessa rede o medidor de consumo de energia inteligente foi projetado para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com determinados padrões. Observa-se que a complexidade do sistema inteligente é maior, porém ele consegue gerar mais informações em uma maior frequência. Enquanto no sistema tradicional a medição ocorre uma vez a cada mês, e para o faturamento, o projeto inteligente mostra em tempo real o consumo e o serviço prestado pela distribuidora facilitar o controle de gasto por parte do consumidor. Além de realizar todas as funções de um medidor tradicional eletromecânico, o medidor de consumo de energia inteligente pode ser usado como sensor em toda a rede elétrica.

A Figura 4 mostra a comparação entre a medição tradicional com medidor eletromecânico de energia e a

inteligente que como base será no projeto aqui mostrado.

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

O medidor de energia elétrica inteligente pode fornecer informações em maior frequência, sobre período pico ou fora de pico e padrão de uso de energia utilizando comunicação bidimensional entre o sistema de ponta e gestor do consumidor. Os consumidores podem reduzir as contas de energia elétrica e os distribuidores podem gerir melhor o seu mercado. Portanto, a utilização do medidor de consumo de energia inteligente é altamente recomendada.

Algumas funções típicas do medidor de consumo de energia inteligente são:

Comunicação bidirecional;

Armazenamento de dados;

Programação;

Segurança;

Exibição de dados, por meio de display, Browser Web e Aplicativo para Smartphone;

Fatura em tempo real;

Tarifa

Além das tarifas de distribuição os Governos; Federal, estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

A correção das tarifas é importante para manter o equilíbrio financeiro da concessão, assegurando a qualidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade.

Conforme mostra a Figura 5 a seguir com dados da (Aneel 2021), os custos de energia representam a maior parte de custos (53,5%), seguido os tributos (29,5%) sem 4,5% de tributos federais PIS e COFINS e 25% tributo estadual ICMS. Referente aos custos de distribuição, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% das tarifas.

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos

Fonte: Aneel. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false>. Acessado em 01 mai 2021.

Com informações da (Neoenergia-Elektro, 2021) temos a descrição dos valores em KW/h das Tarifa de consumo de energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) como mostra na figura 6 abaixo.

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição

Fonte: Neoenergia-Elektro. Disponível em: <<https://www.neoenergiaelektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos>>. Acessado em 14 set 2021.

Cálculo das tarifas para IDE Arduino

Com base em um aparelho qualquer de 9W de potência foi transformado KWh em Quilo Watt segundo (KWs) já que no Arduino será calculado em segundos. Como mostra a figura 7 abaixo, serão esses dados aplicados no programa IDE Ardurino.

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo na figura 8 abaixo mostra os cálculos anteriormente realizados aplicados na IDE Arduino.

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino

Fonte: Elaborado pelo autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A grande parte de medidores inteligentes hoje no mercado são derivados de um projeto Open Source denominado como Open Energy Monitor, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global. Seu funcionamento consiste em medições feitas por sensores e Shields que enviam informações para um microcontrolador central onde são tratadas todas as informações, a fim de enviar todo o levantamento de consumo de energia elétrica.

Internet das Coisas

Comunicação entre todos os objetos físicos?, onde a comunicação que já acontece entre máquinas, e entre pessoas e computadores, se estenderá a outros objetos.

Monk, Simon (2018) em Internet das Coisas, uma introdução com o photon define que: Termo ?Internet das coisas? Internet of Things (IOT) foi proposto por Kevin Ashton em 1999, mas o desenvolvimento do conceito tecnológico foi introduzido pela primeira vez pelo departamento de ciência da computação da Carnegie Mellon University, onde os alunos conectaram à internet uma máquina de venda automática de refrigerantes.

No âmbito da eficiência energética, dentre inúmeras possibilidades, a funcionalidade com enfoque neste projeto é para o monitoramento do uso de energia em um circuito monofásico com o intuito de economizar energia elétrica.

A plataforma IOT permite que o consumidor possa verificar o seu uso de energia instantaneamente ao longo do tempo, permitindo o entendimento de forma intuitiva e o reconhecimento de padrões de consumo que se repetem no decorrer do tempo através de um computador ou smartphone dentro de uma rede.

Construção do Dispositivo

Teorias apresentadas neste item trarão todos os embasamentos abrangentes necessários para compreensão do hardware e software utilizado no trabalho, desde seus funcionamentos básicos como dispositivos até ferramentas utilizadas para sua construção.

Para as conexões do circuito foram utilizados alguns componentes eletrônicos, como dois resistores de

10kohms, um resistor de 330ohm e um capacitor de 100uF/16v. Os componentes são utilizados em diversas funções, porém no projeto são utilizados com objetivo de construir um pequeno circuito eletrônico de divisor de tensão, sendo utilizado para dividir a tensão DC de 5V do Arduino, evitando prejuízo em algum componente no caso de picos de energia altos, o resistor de 330 ohm é utilizado para criar a variação na tensão para medição da corrente elétrica ligado em serie junto ao sensor de corrente SCT013 mostrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Circuito para SCT013

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse projeto, foi desenvolvido uma aplicação Web com a linguagem HTML dentro do IDE do Arduino , que é uma linguagem de marcação para desenvolvimento que permite implementar a página via Browser como monitoramento em tempo real. Dentro da aplicação onde V é a tensão, A é corrente elétrica, P é potência e ou W os Watts como mostra na figura 10 abaixo exemplo de medições e cálculos de uma lâmpada de LED de 100-240V E27 +/- 10W e 3000K.

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de tensão e corrente medidos pelos Shelds, o programa desenvolvido consegue realizar o cálculo da lei de OHM corrente x tensão, encontrando a potência de um equipamento, através do somatório dos KWH por hora, elaborado pelo código desenvolvido e mostrar o resultado e em tempo real o valor a ser pago.

Com a intenção de ter um registro de qualquer anomalia no sistema e conseguir um histórico das medições de tensão, corrente, potência com data e hora, surgiu a necessidade da instalação de um Shield RTC com uma bateria para gravar e segurar data e hora exata e um Micro-SD no Ethernet Shield para salvar os dados como DATALOG e criar um mini banco de dados observados na figura 11 abaixo.

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de montagem e testes, observou-se que somente o sensor de corrente SCT013 não era suficiente para realizar a medição da tensão realizando cálculos da lei de Ohm no programa, já que o resultado oscilou muito. Por isso foi necessário instalar um segundo sensor no projeto, o sensor de tensão AC 127/220V sendo assim um segundo protótipo foi confeccionado.

Primeiro Protótipo

No período de concepção do medidor, a topologia inicial tinha como base três principais componentes: um Arduino UNO, como unidade micro controladora, um Ethernet Shield W5100 que é um microcontrolador capaz de conectar-se às redes de Ethernet/Internet e um sensor de corrente SCT-013, para medir valores de 0 até 100A de corrente alternada somente abraçando um dos cabos do equipamento a ser medido a corrente elétrica.

Ao executar a montagem da primeira versão do medidor em uma protoboard como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 ? Primeiro Protótipo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que os valores lidos de tensão calculado adicionando a potência do equipamento manualmente e calculado pela lei de Ohm nos testes de bancada não correspondiam com os valores esperados, os valores medidos possuíam um alto nível de imprecisão variando mais de 20% para mais ou para menos.

Buscando alternativas para contornar a imprecisão do resultado das tensões, surgiu a possibilidade de utilizar um sensor de tensão sendo suficiente para atender ao projeto, pois o sensor de tensão com baixa variação de apenas 2% para mais ou para menos, excelente Shield que resolveria o problema da medição de tensão, sendo assim o sensor de corrente seria somente para a sua função específica e enxugaria o código no IDE Arduino, sem a necessidade de vários cálculos da lei de ohm no programa em relação ao resultado do valor de tensão.

Segundo Protótipo

Com a aquisição do componente (sensor de tensão) necessário para a segunda versão e final do protótipo, foi iniciada a montagem em uma protoboard como testes.

Com o avanço para a comunicação via Ethernet/Internet pelo Ethernet Shield W5100 e a criação de um DATALOG através do SD-CARD, foi necessário a inserção e um aumento considerável de códigos com HTML o Arduino UNO foi necessário substituir por um superior e com mais memória e a entrada de mais um Shield que seria o Real Time Clock RTC DS3231 para data e hora certa, tanto na visualização em tempo real quanto no DATALOG.

Pensando também em uma possível falha na rede, porque não instalar um display, faltando comunicação temos dos dados de medição para visualização em um display LCD. O projeto ficou mais completo inserindo um display LCD 20x4 de comunicação com Arduino via I2C, com necessidade de inserir uma biblioteca própria no software.

Sendo assim com a substituição pelo modelo Arduino MEGA 2560 R3 foi suficiente para atender o projeto como um todo mostrado na figura 13 abaixo o circuito completo do projeto.

Figura 13 - Circuito Completo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul

O Ethernet Shield permite que a placa Arduino se conecte a uma rede Ethernet/Internet. Baseado no chip de ethernet Wiznet W5100 provendo um stack de rede (ponte entre Arduino e rede) suporta os protocolos TCP e UDP. O Ethernet Shield suporta até quatro conexões simultâneas utilizando a biblioteca Ethernet.h para escrever sketches que se conectam à internet e ethernet.

O Shield de Ethernet é conectado em uma placa Arduino usando pinos longos através do Shield. Isso mantém o layout de pinos intacto permitindo que outro Shield seja empilhado sucessivamente. Com um slot na placa de cartão micro-SD, podendo ser usado para armazenar arquivos como banco de dados para

a rede e compatível com o Arduino Uno e Mega.

O Arduino se comunica tanto com o Shield quanto com o cartão micro-SD usando o barramento Serial Peripheral Interface (SPI) é um protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes). Tanto o Ethernet Shield como a função SDcard compartilham o barramento SPI, então somente um pode estar ativo de cada vez. O Shield fornece um conector padrão RJ45 de Ethernet e o botão de reset no Shield reinicia tanto a ele próprio quanto a placa Arduino independente se o modelo Uno ou Mega observado na figura 14 abaixo.

- Fonte de alimentação: 5V DC
- Interface: SPI
- Suporte cartão SD
- Suporta até quatro ligações de socket simultâneas
- Compatível com Arduino versão standard / série Mega
- Tamanho: 72x55x32mm

Figura 14 ? Ethernet Shield

Fonte: Felipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/ethernet-shield-w5100-para-arduino> >. Acessado em 12 jun 2021.

O Arduino, além de ser uma placa de desenvolvimento, é uma plataforma de código aberto (Open-Source) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi com o intuito de contribuir no aprendizado de eletrônica e automação para estudantes de design e projetistas. O principal objetivo foi criar uma plataforma de baixo custo, para que estudantes pudessem desenvolver seus projetos e protótipos com o menor custo possível. Segundo o site da plataforma Arduino, (arduino.cc, 2021):

“O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (arduino.cc, 2021).”

O Arduino é formado por dois componentes principais: Hardware e Software.

O hardware é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos. Já o software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino, através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado durante o seu funcionamento. Possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo

. Os pinos da placa se dividem nos seguintes moldes:

- Pinos de entrada e saída digital: Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado no IDE.
- Pinos de entradas analógicas: Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.
- Pinos de saídas analógicas: São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação Pulse Width Modulation (PWM).

A alimentação da placa pode ser feita a partir da porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 a 12 volts (Embarcados.com.br, 2021). A linguagem de programação é modelada a partir da linguagem Wiring. Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador. A IDE apresenta muita abstração, possibilitando o uso de um microcontrolador sem que o usuário conheça o mesmo e nem como deve ser usado os registradores internos de trabalho.

A IDE do Arduino possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. A partir do momento que foi feito o upload o Arduino não precisa mais do computador, o Arduino executará o sketch criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

Na Figura 15 observa-se as características construtivas do Arduino:

Figura 15 ? Arduino Mega

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/arduino-mega-2560> >,. Acessado em 14 jun 2021.

Display LCD 20×4 Backlight Azul (20 colunas por 4 linhas) com backlight azul e escrita branca é usado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino e outros projetos eletrônicos. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle, que nesse projeto foi utilizado a ligação I2C, com apenas alimentação 5v e utilizando apenas dois pinos do Arduino: o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 16 abaixo observa-se com mais detalhes o display.

Figura 16 ? Display LCD 20×4 Backlight Azul

Fonte: baudaeletronica. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/display-lcd-20x4-azul.html> >,. Acessado em 18 out 2021.

Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock

Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino muitas vezes a quantidade de pinos disponíveis no Arduino é limitada, após conectar display e sensores sobram poucos pinos para uso. O módulo controla o display lcd usando apenas 2 pinos, o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 17 abaixo observa-se. Especificações:

Endereço I2C: 0x20-0x27 (Padrão 0x20 mas pode ser modificado);

Compatível com Display LCD 16×2 e LCD 20×4;

Tensão de operação: 5V;

Dimensões: 55 x 23 x 14mm.

Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino

Fonte: filipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino> >. Acessado em 18 out 2021.

O sensor de corrente SCT-013 tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas "abraçar" um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado. SCT é a sigla para Split-core Current Transformer, ou seja, transformador de corrente de núcleo dividido. Ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua saída teremos valores entre 0 e 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal (vidadesilicio.com.br, 2021). Para fazer a medição da corrente elétrica o SCT-013 possui uma bobina interna em sua estrutura, como se pode observar na figura 18 abaixo.

Figura 18 ? Sensor de corrente SCT013

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada> >. Acessado em 14 jun 2021.

O Módulo Sensor de Tensão AC 110/220V é capaz de detectar a passagem de tensão alternada no circuito. Projetado para entradas entre 127 e 220 volts (Suporta a tensão máxima de 311 Volts). Composto de um opto-acoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada / Resistor de Pull Down / Capacitor para estabilizar a saída.

O sensor é ligado em paralelo, portanto a corrente do circuito é irrelevante para ele. Na função voltímetro, a leitura pode oscilar em torno de 2% para mais ou para menos. Na figura 19 abaixo observa-se com mais detalhes.

Especificações:

Tipo de sensor: detector de tensão

Tensão de entrada: 0 a 220VAC

Tensão de pico máxima: 311VAC

Tipo de saída: leitura analógica

Dimensões: 16mm (L) X 15mm (A) X 37mm (C)

Peso: 6g

Ligação:

VCC - Ligado ao 5v do Arduino;

OUT - Ligado a uma porta analógica do Arduino;

GND - Ligado ao GND do Arduino.

Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V

Fonte: Autocorerobotica. Disponível em: < <https://www.autocorerobotica.com.br/buscar?q=sensor+tensao> >. Acessado em 14 jun 2021.

Segundo o site filipeflop, (filipeflop.com, 2021):

O Real Time Clock (RTC) DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Na figura 20 abaixo pode-se observar a placa com suas conexões a bateria do modelo CR2032 de 3v e embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão.

Especificações e características:

Controlador: DS3231;

Tensão de operação: 3,3V ? 5VDC;

Interface: I2C;

Bateria compatível: CR2032;

Sensor de temperatura: ~ 3° Celsius de exatidão;

Temperatura de operação: 0 a 40° Celsius;

Computa horas / minutos / segundos / dias da semana / mês / meses / anos (de 2000 a 2099);

Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

Memória: AT24C32 (capacidade de 32Kb que podem ser usados também como RAM estendida ao microcontrolador);

Possui circuito de detecção de falha de energia;

Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS3231

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>;
Acessado em 12 jun 2021.

Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo e possível contato entre o usuário e a corrente elétrica pelo módulo foi projetado uma proteção para que pudesse comportar todos os componentes, foi executado conforme as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Figura 21 ? Confecção da proteção do módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 21 acima mostra a proteção do módulo sendo produzida. Para construir a caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o MDF de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO2, com um comprimento de onda de 10.6 µm /Max e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 22 acima mostra a representação do módulo já com sua proteção montada e pronta para uso e o Arduino precisará de uma alimentação de 5V, podendo ser feito pelo próprio cabo de dados porta USB, por pilha, um carregador de celular ou entrada P4 com tensão de 9V DC.

Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto

Um resumo do ciclo de desenvolvimento pode ser visto na Figura 21 abaixo, que demonstra trechos do código elaborado da aplicação em Arduino de uma forma esquemática. O programa principal possui 6 bibliotecas necessárias para seu funcionamento.

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de tensão da residência e a corrente do equipamento, a potência é dada pelo produto dessas unidades usando a lei de Ohm corrente (A) x tensão (V) como mostra nos trechos do código abaixo na figura 23.

Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da conexão à rede para exibição da página Web e App é necessário definir o endereço MAC e definir um IP fixo na rede equivalente a rede local, nesse caso foi usado o IP 192.168.0.20 para o acesso local mostrado na figura 24 abaixo o trecho do código.

Figura 24 ? Conexão de rede e IP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicativo para Smartphone

Para construir um APP foi utilizado o MIT APP Inventor, uma ferramenta de drag-and-drop (arrastar e soltar) visual para a construção de aplicações em smartphones na plataforma Android.

Composto por duas etapas: o App Inventor Designer e o App Inventor Blocks Editor, cada um com função própria e específica. O primeiro tem o objetivo de construir a interface do seu aplicativo e o segundo de adicionar interatividade aos componentes na tela, basicamente só isso, bem intuitivo.

Para o acesso o usuário deverá inserir Login e Senha já predeterminado no App por exemplo foi usado nesse projeto Login TCC e Senha 2021. Após inserir o aplicativo já irá abrir a próxima tela com as informações do medidor de energia elétrica inteligente.

O aplicativo funcionou perfeitamente, sendo possível a visualização das medições do equipamento ao qual estava conectado no projeto desenvolvido. Desta maneira o uso fica restrito ao equipamento que está conectado na rede elétrica ou equipamento elétrico individual por intermédio do protótipo desenvolvido. Na figura 25 abaixo observa-se com mais detalhes em funcionamento e detalhes da criação do mesmo.

Figura 25 ? APP para dispositivo móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calibração dos sensores e leitura

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um Alicata Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para os sensores de corrente e tensão foram uma lâmpada, uma pistola de cola quente e um aspirador de pó.

Essas abordagens de alguns eletrônicos são para validar as medições em componentes diferentes e que não haja uma configuração para apenas um componente específico, lembrando que no próprio datasheet

do componente o erro previsto é de +/- 2%.

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma tensão nominal de 127V, a tensão real pode ter uma variação de 114,3V a 139,7V. Este desvio de valor acarretou para uma variação dentro da tolerância permitida.

Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validar o funcionamento do sistema foram realizadas medições com 3 tipos de carga: resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó). Os valores foram adquiridos através da Lei de Ohm, onde temos a Corrente Elétrica (A) x Tensão (V) igual a potência (W).

Tabela 3 ? Comparação Potencia (W) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido 127v e medido pelo sensor de tensão, admitindo uma variação de 10% para mais ou para menos sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL, 2021, os valores informados aos usuários podem sofrer uma variação para baixo ou para cima não ultrapassando a porcentagem aceita pela ANEEL.

RESULTADOS

Para a validação do medidor de energia elétrica inteligente, ele foi instalado em equipamento elétricos diferentes como corrente e potência, já a medição de tensão com alimentação monofásica de 127V para todos os equipamentos. Para comparação, os valores obtidos foram comparados com um Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 como mostra na figura 26 abaixo. O Fluke 381 é um aparelho versátil utilizado em diversas aplicações industriais de modo profissional sendo um dos melhores equipamentos para medição de tensão e corrente elétrica no mercado mundial.

Figura 26 - Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381

Fonte: fluke.com. Disponível em: < <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-381> >. Acessado em 12 set 2021.

Medidor de energia elétrica inteligente totalmente calibrado e pronto para ser utilizado como mostra abaixo na figura 27.

Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez montado o protótipo e pronto, foram realizados alguns testes para validação, eliminação de problemas iniciais e refinamento dos resultados. Para análise dos resultados foi um entendimento sobre o comportamento dos sinais de corrente e tensão para os 3 tipos de carga já citados anteriormente, resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó).

Para validá-lo foram realizados testes lado a lado para aferição do medidor de energia elétrica inteligente como mostra a figura 28 abaixo. Os comparativos com alicate amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 e medidor de energia elétrica inteligente mostram no display de cada equipamento: tensão (V), corrente elétrica (A) e potência (W). Somente o medidor de energia elétrica inteligente é capaz de calcular e mostrar em tempo real a potência (W) através do programa carregado no microcontrolador Arduino.

Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comparativo mostra uma semelhança entre os resultados apresentadas pelo medidor de energia elétrica inteligente e o Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381. Os horários em que os picos de consumo acontecem coincidem e a variação em sua magnitude é inferior a 5%.

Apesar da pequena diferença entre os valores lidos, a informação mostrada é mais que suficiente para que o usuário possa acompanhar o seu consumo em tempo real com uma precisão adequada para auxiliá-lo na tomada de decisão referente aos seus hábitos de consumo.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho, com características experimentais, fez com que fosse necessário criar um protótipo confiável possibilitando a visualização remoto através de smartphones e computadores conectados nas redes via cabo ou Wifi. Porém é importante salientar que foi utilizado um sensor de corrente SCT013 até 100A, medidas de corrente possuem uma oscilação na precisão de mais ou menos 2%.

Para o cálculo da potência utilizado o valor de tensão da rede elétrica medido pelo módulo sensor de tensão 127/220V e o valor da corrente elétrica calculado em cima da lei de OHM que nos fornece o valor da potência consumida.

Aplicações com o uso de IOT vêm ganhando destaque na automação em geral capazes de abranger diversas aplicações e uma ferramenta de fácil utilização. O fato de possuir uma grande facilidade para



interligar o processo físico do projeto desenvolvido por meio de um sistema distribuído utilizado no projeto um Ethernet Shield W5100 para criar um Servidor Web que tem como função fornecer uma página web como monitoramento por computadores e smartphones contendo informações enviadas pelo Arduino captado dos sensores. Tal fator ficou evidente no decorrer da criação deste presente trabalho.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelos próprios fabricantes dos equipamentos utilizados na medição, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dão pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não do real, já que se tem uma variação de no máximo 10% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 2% sobre os sensores utilizados.

Para isso, a motivação como propósito a utilização em residências, dada uma rotatividade em cada família. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos e verificando os pontos onde são possíveis a redução de consumo da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AEDB et. Al. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Disponível em: < https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/05/256_SEGET%20-%20Automacao%20Residencial.pdf >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020> >. Acessado em 24 de mai. de 2021.
- BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - a review. 1. ed. London: IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015.
- BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
- BRAZCUBAS et. Al. Gestão do Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/download/501/603> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Dahle, David. 2010. Samuel Gardiner's lamp--?hour meter (1872). Dave's old Watthour Meter webpage. [Online] 2010. [Citado em: 06 de Julho de 2012.] < <http://watthourmeters.com/others/gardiner.html> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- MONK, SIMON. Internet das Coisas um Introdução com Photon. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- MONK, SIMON. Projetos com Arduino e Android. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- PUC GOIAS et. Al. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. Disponível em: < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf> >. Acesso em 03 de mar. de 2021.
- Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 01, p. 7-23, 2017. Disponível em: < https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/TI_EaD/article/download/1686/800 >. Acesso em 13 de mai. de 2021.
- STEVAN JR, SERGIO LUIZ; SILVA, RODRIGO ADAMSHUK. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- VYAKARANAM, Bharat et al. A study of the impact of peak demand on increasing vulnerability of cascading failures to extreme contingency events. IEEE Power & Energy Society General Meeting, p.1-5, jul. 2017. IEEE.



Sensor de Corrente[A]0.11 A0.15 A2.95 A
Fluke 3810.10 A0.12 A2.40 A

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]129.90 V130.01 V128.26 V
Fluke 381130.40 V130.30 V128.60 V

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]13.35 W19.50 W378.36 W
Fluke 381 (Cálculo lei de Ohm)13.04 W15.63 W308.64 W



=====

Arquivo 1: [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Arquivo 2: <https://www.cnn.com/2019/01/09/finance/best-time-to-pay-your-credit-card-bill/index.html> (1364 termos)

Termos comuns: 0

Similaridade: 0,00%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [TCC_FlavioAlandeLimaGoncalves_T8146F-4.docx](#) (7138 termos)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento <https://www.cnn.com/2019/01/09/finance/best-time-to-pay-your-credit-card-bill/index.html> (1364 termos)

=====

Universidade Paulista - UNIP

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Limeira

2021

Universidade Paulista - UNIP



Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes

Limeira

2021

Flávio Alan de Lima Gonçalves

MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA INTELIGENTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UNIP, como requisito parcial à obtenção do Bacharelado em Ciência da Computação sob a orientação do professor Me. Sergio Eduardo Nunes.

Aprovada em 15 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Thais Rocha

Prof. Me. Nome completo



Prof. Esp. Nome completo

DEDICATÓRIA

?Com gratidão, dedico este trabalho primeiro a Deus. Devo a Ele tudo o que sou e serei. Minha esposa Juliane e meu filho João Otávio, os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigado. ?

?Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes?.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Com o consumo de energia elétrica muito elevado, uma forma de economizar é mensurando quais aparelhos consomem mais, um gasto muito elevado e extremamente desnecessário. Esse consumo pode ser medido com um medidor de energia elétrica inteligente utilizando Arduino, Shields, sensores com software embarcado e aberto, apresentando isso de forma gráfica em tempo real e de fácil entendimento e visualização. Amostras em tempo real gerados pela avaliação de toda residência ou dos aparelhos elétricos individualmente auxiliam a aproveitar melhor seu consumo. Com a enorme popularização da Internet das Coisas, proporciona que objetos comuns do nosso cotidiano possam estar conectados entre si por meio de uma rede local ou pela Internet. Este projeto apresenta o desenvolvimento de um dispositivo baseado em Internet das Coisas para a medição de consumo de energia elétrica, onde o usuário poderá acompanhar o seu consumo instantâneo de energia elétrica sem a necessidade de esperar a fatura mensal. Com esse cenário o desenvolvimento de um aparelho que coletará informações de consumo e eventuais casos críticos na rede elétrica registrando logs em um cartão SD, já que o projeto também mostrará medições de potência, corrente e tensão elétrica. Conectado em um ponto estratégico da residência, priorizando a instalação no consumidor final. O projeto funcionando de forma simples e amigável torna os dados de consumo do aparelho elétrico recebidos através dos sensores do Arduino e enviados graficamente para um display e remotamente via Browser Web e APP em uma rede local ou Internet, contendo dados elétricos e do consumo em tempo real. Com os resultados, o usuário poderá avaliar melhor seu consumo de energia elétrica, podendo economizar recursos financeiros e naturais.

Palavra-Chave: Arduino; Sensor; Consumo de Energia; Corrente; Medidor.

ABSTRACT

With very high electricity consumption, a way to save is measuring which appliances consume more, a very high and extremely unnecessary expense. This consumption can be measured with an intelligent electric

energy meter using Arduino, Shields, sensors with embedded and open software, presenting it in real-time graphical form and easy to understand and visualize. Real-time sampling generated by evaluating the entire home or individual electrical appliances helps to make better use of your consumption. With the huge popularity of the Internet of Things, it allows common objects of our daily lives to be connected to each other through a local network or the Internet. This project presents the development of an Internet of Things-based device for measuring electricity consumption, where the user will be able to monitor their instantaneous electricity consumption without having to wait for the monthly bill. With this scenario, the development of a device that will collect consumption information and eventual critical cases in the electrical network, recording logs on an SD card, since the project will also show measurements of power, current and electrical voltage. Connected at a strategic point in the home, prioritizing installation for the final consumer. The project works in a simple and user-friendly way and makes the electrical appliance consumption data received through Arduino sensors and sent graphically to a display and remotely via Web Browser and APP on a local network or Internet, containing electrical and consumption data in time real. With the results, the user will be able to better evaluate his electric energy consumption, being able to save financial and natural resources.

Key Words: Arduino; Sensor; Energy consumption; Chain; Meter.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil18
- Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia18
- Figura 3 ? Medidor Eletromecânico19
- Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente20
- Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos22
- Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição22
- Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas23
- Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino23
- Figura 9 - Circuito para SCT01325
- Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser26
- Figura 11 ? DataLog no Cartão SD27
- Figura 12 ? Primeiro Protótipo28



Figura 13 - Circuito Completo29
Figura 14 ? Ethernet Shield31
Figura 15 ? Arduino Mega33
Figura 16 ? Display LCD 20x4 Backlight Azul34
Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino34
Figura 18 ? Sensor de corrente SCT01335
Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V36
Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS323137
Figura 21 ? Confeção da proteção do módulo38
Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo38
Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa39
Figura 24 ? Conexão de rede e IP40
Figura 25 ? APP para dispositivo móvel41
Figura 26 - Alicates Amperímetro duplo True-RMS Fluke 38143
Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando44
Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência45

TABELAS

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos42
Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos42
Tabela 3 ? Comparação Potência (W) entre instrumentos42



LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

GWh - Gigawatt-hora

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadoria e Serviços

IDE - Integrated Development Environment

IEC - International Electrotechnical Commission

IOT - Internet of Things

IP - Internet Protocol

KWh - Quilo watts hora

KWs ? Quilo watts segundo

LAN - Local Area Network

LCD - Liquid Crystal Display

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

PIS ? Programas de Integração Social

PWM - Pulse Width Modulation

RJ45 - Registered Jack 45

SD-Card - Secure Digital Card

TC - Transformador de Corrente

TCP - Transmission Control Protocol

TE - Tarifa de Energia

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

USB - Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO12

1.1Objetivo13

1.2Justificativa14

1.3Metodologia14

2.SETOR ELÉTICO BRASILEIRO	17
2.1Medição de Energia	18
2.1.1Medidor Inteligente	20
2.2Tarifa	21
2.3Cálculo das tarifas para IDE Arduino	23
3.DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	24
3.1Internet das Coisas	24
3.2Construção do Dispositivo	25
3.2.1Primeiro Protótipo	27
3.2.2Segundo Protótipo	29
3.2.3Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20×4 Backlight Azul	30
3.2.4Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock	34
3.2.5Proteção do Módulo	37
3.3Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto	39
3.3.1Aplicativo para Smartphone	40
3.4Calibração dos sensores e leitura	41
4.RESULTADOS	43
5.CONCLUSÃO	46
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

INTRODUÇÃO

Com todas essas novas invenções e o aumento de tecnologias significantes, tornou-se possível que equipamentos comuns do nosso cotidiano se comuniquem. O conceito de equipamentos conectados é conhecido por Internet of Things (IOT) Internet das Coisas. Segundo as estatísticas, em janeiro de 2021, o número de usuários de internet ultrapassou os 4,66 bilhões (We Are Social e Hootsuite, 2021). No planeta existe, segundo estimativas de julho de 2020, uma população de 7,8 bilhões de pessoas, sendo assim mais de metade da população mundial estão ligados na rede e com a Internet das Coisas, o número de dispositivos e equipamentos conectados estão aumentando e aumentará consideravelmente cada vez mais rápido.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, o consumo nacional de eletricidade na rede foi de 474.231 GWh em 2020, sendo que 29% deste total pertence à classe de consumo residencial, por outro lado, com mais pessoas em casa em razão da pandemia do COVID 19, o consumo de energia residencial cresceu 4,1%. Ou seja, esse foi o único segmento que registrou crescimento em 2020 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2021).

A fatura de energia elétrica fornecida pela concessionária de energia ao final de um ciclo de tarifação (que dura em torno de um mês) é a forma tradicional que o usuário tem a sua disposição para acompanhar seu consumo. Observa-se que há uma carência de informações no documento para fins de tarifação.

Um avanço e tecnologia a baixo custo é o trabalho que aqui será criado, o medidor de energia elétrica inteligente, que, ao invés de apenas apresentar leituras do consumo acumulado da energia, também pode apresentar os dados de consumo em tempo real e com precisão. Os consumidores poderão se beneficiar com essas informações em tempo real e o quanto de energia cada equipamento irá consumir realizando

uma grande economia de energia elétrica no final do mês.

Dentre os principais benefícios do medidor de energia elétrica inteligente estão: a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia em tempo real afim de atingir incentivos financeiros, aprimorar a sustentabilidade, a possibilidade de avaliar e visualizar remotamente, permitir que reduzam o erro humano durante o processo de leitura dos medidores assim podendo argumentar junto a concessionária, distribuidora de energia elétrica.

Esse dispositivo é acessível, código aberto disponibilizado livre, de simples entendimento e podendo ser utilizado em vários projetos. Com as portas digitais e analógicas, o Arduino recebe diversas informações dos sensores utilizando para realizar cálculos e análises, a exemplo dos sensores de corrente e tensão utilizados nesse projeto juntamente com Ethernet Shield e módulo Real Time Clock (RTC), que possibilitam a determinação da potência que, associada ao tempo de uso, permite avaliar o consumo de energia de uma residência toda ou um aparelho elétrico individualmente.

Objetivo

Este trabalho tem por objetivo fornecer e informar em tempo real, por meio de uma aplicação online e via display qual o gasto em Quilo watts hora (KW/H) consumido e informar a tensão, corrente e potência elétrica. Tal sistema, ainda permitirá conexão utilizando uma conexão cabo de rede ou Wi-Fi. A conexão poderá ser feita a partir de um roteador ou switch por meio da utilização de dispositivos com acesso à rede, tais como notebooks, smartphones, tablets, entre outros.

Realizar medição com diversos equipamentos como eletrodomésticos ou no quadro de distribuição e validar os dados gerados comparando com um multímetro calibrado e mostrando em um display Liquid Crystal Display (LCD), Web Browser e um aplicativo para Smartphone; a potência, corrente, tensão e o consumo de energia elétrica 24 horas por dia em qualquer momento ou lugar.

A interface para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo estará tudo em um Secure Digital Card (SD-Card) acoplado no Ethernet Shield, criando um histórico DATALOG. Acreditando que o dispositivo proposto neste trabalho pode alavancar melhoras consideráveis no final do mês com a conta de luz e no setor elétrico brasileiro de forma a baixo custo.

Justificativa

No Brasil, o consumo energético apresenta alto crescimento no decorrer dos últimos anos. O aumento populacional e consequentemente o aumento no número de domicílios proporciona um acréscimo no consumo de energia elétrica residencial.

Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma interface intuitiva para o usuário. A intenção desse projeto é implementar uma alternativa de conscientização e economia de energia elétrica para residências e estabelecimentos a baixo custo. Dentro de todo o cenário apresentado justifica-se o surgimento de novas tecnologias, que visam fornecer ao consumidor, uma forma de obter informações acerca do consumo energético total de uma residência ou individualizado por equipamento. Espera-se um uso mais racional da energia elétrica, uma vez que o consumidor poderá tomar medidas agindo sobre as fontes que mais consomem.

O uso de controles para reduzir o consumo de energia no sistema energético vem tornando-se cada vez mais popular, melhorando a qualidade utilizando equipamentos para monitoramento de gastos gerando uma boa aceitação por parte dos usuários.

Estudos voltados para a viabilidade econômica de novas tecnologias são fundamentais para a



disseminação dessa prática. Além disso, a divulgação no meio acadêmico é de grande importância para disseminação do conhecimento, levando para os jovens, o contato antecipado com questões ambientais e tecnológicas.

Metodologia

A teoria deste trabalho foi embasada através de livros técnicos, artigos científicos, artigos técnicos e vídeos explicativos, que tenham como tema central a abordagem semelhante ao que foi desenvolvido.

Analisados portfólios de fabricantes de medidores inteligentes, com o objetivo de identificar melhor as tecnologias existentes para estes fins. Após o aprofundamento dos conhecimentos envolvidos e nos medidores inteligentes existentes iniciará o desenvolvimento do protótipo. O protótipo foi implementado a um estudo de caso para validação de seu funcionamento e coleta de dados e resultados.

O sistema aborda a construção de um módulo com Arduino, Ethernet Shield com SD Card, Display LCD 20x4, Sensor de Tensão, Transformador de Corrente, Real Time Clock, desenvolvimento programação em C/C++ com IDE Arduino, redes de computadores, desenvolvimento Web Server com HTML e aplicativo para smartphone informando a tensão, potência, corrente elétrica, consumo de energia elétrica e informação do comportamento do dispositivo eletrônico conectado à rede local através da Browser Web, Aplicativo para Smartphone e no próprio display do medidor. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, serão realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. O principal objetivo do medidor de energia elétrica inteligente é o controle do consumo dentro da automação residencial já utilizado em milhares de projetos distintos, desde objetos do cotidiano até instrumentos científicos complexos, bastante citados nos artigos e livros (SEGGeT?,2005; Bookman, 2014; Erica, 2015.), estes explicando de forma sucinta a utilização do Arduino e seus determinados Shields de forma inteligente na automação residencial.

Pode-se traçar as características básicas da proposta desse trabalho. O foco do medidor é de realizar a medição e consumo de energia elétrica em uma residência, ou qualquer estabelecimento alimentado em tensão secundária (220-127V). Este medidor será instalado junto ao quadro de distribuição da residência ou em um eletrodoméstico com o intuito de monitorar o consumo da residência ou um conjunto de todos os equipamentos ali instalados. Em geral, um medidor inteligente pode apresentar algumas características, as mais importantes, são: Medição de tensão e corrente de entrada de um consumidor alimentado em tensão secundária, informar consumo de energia em tempo real, calcular e informar a tarifa do consumidor, informar consumo de energia com o propósito de montar um padrão de consumo, plataforma interativa para visualização das medições.

Ferramentas Computacionais Utilizadas:

FRITZING - Será o software de criação e desenvolvimento de circuitos eletrônicos utilizados, nele será desenvolvido o projeto dos circuitos eletrônicos a serem utilizados em paralelo com Arduino e Shields do medidor de consumo de energia;

IDE ARDUINO - Será utilizado para o desenvolvimento e aplicação do software de programação e controle do microcontrolador Arduino e o monitor web via javascript do medidor;

PROTEUS ? Será o software para criação de projetos eletrônicos, composto por uma suíte de ferramentas, incluindo captura esquemática, simulação e módulos de projetos de placas de circuito impresso, usadas principalmente para o projeto de circuitos integrados.

Ferramentas Laboratoriais Utilizadas:

MULTÍMETRO DE BANCADA ? Será utilizado para fazer medidas de indutância, resistência, capacitância e o teste da continuidade, tudo isto com uma maior precisão. Esses valores serão úteis para parametrizar

o comportamento do circuito e sensores usados no projeto;

SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Em dezembro de 2020, o consumo de energia elétrica atingiu 52.890 Gigawatt hora (GWh) considerando autoprodução e perdas, valor 4,6% superior ao verificado no mês anterior e 3,7% superior ao verificado em dezembro de 2019. Semelhante ao registrado no mês anterior, em comparação ao ano passado, as classes residencial e industrial continuaram apresentando crescimento (9,1% e 7,3%, respectivamente), juntamente com a classe rural que, ao contrário do que ocorreu no último mês, voltou a apresentar elevação de 1,8% em relação a dezembro do ano passado. A persistente redução do consumo da classe comercial em relação ao verificado em 2019, ainda que cada vez mais atenuada, demonstra que o setor ainda está sob efeito das medidas adotadas para o enfrentamento do Covid-19. Isso torna o cenário do setor energético brasileiro um tanto quanto preocupante pelo fato de que fica obvio que não está sendo investido em ampliação e manutenção das matrizes energéticas assim como está sendo consumido mais do que gerado. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Com os avanços tecnológicos e facilidade na obtenção de novas tecnologias por diferentes classes da sociedade, o setor energético também deveria ter sido bastante aprimorado. Entretanto quando se fala de setor energético, não se pode responsabilizar somente as empresas geradoras e distribuidoras pela falta de manutenção e ampliação, pois alternativas de redução de consumo e de custos também são opções para o consumidor residencial.

Estima-se que o número de domicílios no Brasil passou de 75 milhões em 2020, e assim como já citado, equipamentos que demandam energia também irão crescer em paralelo.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o setor residencial brasileiro é responsável por aproximadamente 30% do consumo total de energia elétrica no Brasil. (Atlas da energia elétrica do Brasil, 2020).

Na figura 1 abaixo mostra a evolução de intensidade energética mais detalhada através dos gráficos.

Figura 1 ? Evolução da intensidade energética no Brasil

Fonte: EPE. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf>. Acessado em 10 jun

2021.

Medição de Energia

Durante a evolução dos sistemas elétricos no Brasil, sempre foi uma grande preocupação com as medições. Os primeiros dispositivos concebidos para medir o consumo de energia baseavam sua medição no tempo que uma lâmpada que permanecia acesa (Dahle, 2010). Na figura 2 abaixo mostra o processo de geração e distribuição atual de energia.

Figura 2 - Processo de Geração e Distribuição de Energia

Fonte: tresmariasemfoco. Disponível em: <<http://tresmariasemfoco.blogspot.com/2011/10/geracao-transporte-e-distribuicao-da.html>>. Acessado em 06 set 2021.

Atualmente, 90% dos medidores de energia utilizados são eletromecânicos, possuem baixo custo e alta disponibilidade. Esse medidor é constituído pelos seguintes elementos:

Um motor, que possui em dois circuitos magnéticos, cada um com uma bobina sendo uma de potência e outra de corrente elétrica, os campos magnéticos são proporcionais à tensão e a corrente de todo circuito medido;

Um disco de alumínio suspenso na região do campo magnético criado pela bobina de corrente, onde são induzidas correntes parasitas, de modo a fazer com que o disco gire no seu próprio eixo. O número de rotações do disco é proporcional à energia consumida pela carga, fornecendo a medida do consumo de energia em quilowatt-hora (KWh).

Esses medidores possuem uma margem de erro máximo de $\pm 2\%$ do valor indicado para a sua faixa nominal, dentro do tempo de vida previsto de operação. Um valor relativamente alto, considerando as perdas que podem onerar o fornecedor e o consumidor final.

Para leitura da medição, é necessário ir até o local onde o medidor está instalado e ver o valor nele registrado, ilustrado na Figura 3 abaixo.

Figura 3 ? Medidor Eletromecânico

Fonte: R3 Automação Industrial. Disponível em: <<https://www.automacaor3.com.br/relogio-medidor-de-energia>>. Acessado em 20 ago 2021.

Medidor Inteligente

A implementação de medidor de consumo de energia elétrica inteligente pode ser uma possível solução para a redução da demanda de energia, gestão eficiente na geração e otimização da gestão de recursos. O medidor de consumo de energia inteligente tem capacidade de realizar medição, cálculos e comunicação através de hardware e software. Para interação dessa rede o medidor de consumo de energia inteligente foi projetado para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com determinados padrões. Observa-se que a complexidade do sistema inteligente é maior, porém ele consegue gerar mais informações em uma maior frequência. Enquanto no sistema tradicional a medição ocorre uma vez a cada mês, e para o faturamento, o projeto inteligente mostra em tempo real o consumo e o serviço prestado pela distribuidora facilitar o controle de gasto por parte do consumidor. Além de realizar todas as funções de um medidor tradicional eletromecânico, o medidor de consumo de energia inteligente pode ser usado como sensor em toda a rede elétrica.

A Figura 4 mostra a comparação entre a medição tradicional com medidor eletromecânico de energia e a

inteligente que como base será no projeto aqui mostrado.

Figura 4 ? Comparação entre medição tradicional e inteligente

Fonte: Elaborado pelo autor.

O medidor de energia elétrica inteligente pode fornecer informações em maior frequência, sobre período pico ou fora de pico e padrão de uso de energia utilizando comunicação bidimensional entre o sistema de ponta e gestor do consumidor. Os consumidores podem reduzir as contas de energia elétrica e os distribuidores podem gerir melhor o seu mercado. Portanto, a utilização do medidor de consumo de energia inteligente é altamente recomendada.

Algumas funções típicas do medidor de consumo de energia inteligente são:

Comunicação bidirecional;

Armazenamento de dados;

Programação;

Segurança;

Exibição de dados, por meio de display, Browser Web e Aplicativo para Smartphone;

Fatura em tempo real;

Tarifa

Além das tarifas de distribuição os Governos; Federal, estadual e Municipal cobram na conta de luz o Programa de Integração Social (PIS) / Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição para Iluminação Pública, respectivamente.

A correção das tarifas é importante para manter o equilíbrio financeiro da concessão, assegurando a qualidade do fornecimento de energia elétrica à sociedade.

Conforme mostra a Figura 5 a seguir com dados da (Aneel 2021), os custos de energia representam a maior parte de custos (53,5%), seguido os tributos (29,5%) sem 4,5% de tributos federais PIS e COFINS e 25% tributo estadual ICMS. Referente aos custos de distribuição, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% das tarifas.

Figura 5 ? Encargos setoriais, tributos

Fonte: Aneel. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false>. Acessado em 01 mai 2021.

Com informações da (Neoenergia-Elektro, 2021) temos a descrição dos valores em KW/h das Tarifa de consumo de energia (TE) e Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) como mostra na figura 6 abaixo.

Figura 6 ? Tarifa de Consumo de Energia e Sistema de Distribuição

Fonte: Neoenergia-Elektro. Disponível em: <<https://www.neoenergiaelektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos>>. Acessado em 14 set 2021.

Cálculo das tarifas para IDE Arduino

Com base em um aparelho qualquer de 9W de potência foi transformado KWh em Quilo Watt segundo (KWs) já que no Arduino será calculado em segundos. Como mostra a figura 7 abaixo, serão esses dados aplicados no programa IDE Ardurino.

Figura 7 ? Cálculo consumo e tarifas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo na figura 8 abaixo mostra os cálculos anteriormente realizados aplicados na IDE Arduino.

Figura 8 ? Cálculo na IDE Arduino

Fonte: Elaborado pelo autor.

DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A grande parte de medidores inteligentes hoje no mercado são derivados de um projeto Open Source denominado como Open Energy Monitor, projeto que visa desenvolver dispositivos de código aberto para monitoramento de energia e ajudar a sustentabilidade de forma global. Seu funcionamento consiste em medições feitas por sensores e Shields que enviam informações para um microcontrolador central onde são tratadas todas as informações, a fim de enviar todo o levantamento de consumo de energia elétrica.

Internet das Coisas

Comunicação entre todos os objetos físicos?, onde a comunicação que já acontece entre máquinas, e entre pessoas e computadores, se estenderá a outros objetos.

Monk, Simon (2018) em Internet das Coisas, uma introdução com o photon define que: Termo ?Internet das coisas? Internet of Things (IOT) foi proposto por Kevin Ashton em 1999, mas o desenvolvimento do conceito tecnológico foi introduzido pela primeira vez pelo departamento de ciência da computação da Carnegie Mellon University, onde os alunos conectaram à internet uma máquina de venda automática de refrigerantes.

No âmbito da eficiência energética, dentre inúmeras possibilidades, a funcionalidade com enfoque neste projeto é para o monitoramento do uso de energia em um circuito monofásico com o intuito de economizar energia elétrica.

A plataforma IOT permite que o consumidor possa verificar o seu uso de energia instantaneamente ao longo do tempo, permitindo o entendimento de forma intuitiva e o reconhecimento de padrões de consumo que se repetem no decorrer do tempo através de um computador ou smartphone dentro de uma rede.

Construção do Dispositivo

Teorias apresentadas neste item trarão todos os embasamentos abrangentes necessários para compreensão do hardware e software utilizado no trabalho, desde seus funcionamentos básicos como dispositivos até ferramentas utilizadas para sua construção.

Para as conexões do circuito foram utilizados alguns componentes eletrônicos, como dois resistores de

10kohms, um resistor de 330ohm e um capacitor de 100uF/16v. Os componentes são utilizados em diversas funções, porém no projeto são utilizados com objetivo de construir um pequeno circuito eletrônico de divisor de tensão, sendo utilizado para dividir a tensão DC de 5V do Arduino, evitando prejuízo em algum componente no caso de picos de energia altos, o resistor de 330 ohm é utilizado para criar a variação na tensão para medição da corrente elétrica ligado em serie junto ao sensor de corrente SCT013 mostrado na figura 9 abaixo.

Figura 9 - Circuito para SCT013

Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse projeto, foi desenvolvido uma aplicação Web com a linguagem HTML dentro do IDE do Arduino , que é uma linguagem de marcação para desenvolvimento que permite implementar a página via Browser como monitoramento em tempo real. Dentro da aplicação onde V é a tensão, A é corrente elétrica, P é potência e ou W os Watts como mostra na figura 10 abaixo exemplo de medições e cálculos de uma lâmpada de LED de 100-240V E27 +/- 10W e 3000K.

Figura 10 - Medições e cálculos de uma lâmpada de LED no Bowser

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores de tensão e corrente medidos pelos Shelds, o programa desenvolvido consegue realizar o cálculo da lei de OHM corrente x tensão, encontrando a potência de um equipamento, através do somatório dos KWH por hora, elaborado pelo código desenvolvido e mostrar o resultado e em tempo real o valor a ser pago.

Com a intenção de ter um registro de qualquer anomalia no sistema e conseguir um histórico das medições de tensão, corrente, potência com data e hora, surgiu a necessidade da instalação de um Shield RTC com uma bateria para gravar e segurar data e hora exata e um Micro-SD no Ethernet Shield para salvar os dados como DATALOG e criar um mini banco de dados observados na figura 11 abaixo.

Figura 11 ? DataLog no Cartão SD

Fonte: Elaborado pelo autor.

No processo de montagem e testes, observou-se que somente o sensor de corrente SCT013 não era suficiente para realizar a medição da tensão realizando cálculos da lei de Ohm no programa, já que o resultado oscilou muito. Por isso foi necessário instalar um segundo sensor no projeto, o sensor de tensão AC 127/220V sendo assim um segundo protótipo foi confeccionado.

Primeiro Protótipo

No período de concepção do medidor, a topologia inicial tinha como base três principais componentes: um Arduino UNO, como unidade micro controladora, um Ethernet Shield W5100 que é um microcontrolador capaz de conectar-se às redes de Ethernet/Internet e um sensor de corrente SCT-013, para medir valores de 0 até 100A de corrente alternada somente abraçando um dos cabos do equipamento a ser medido a corrente elétrica.

Ao executar a montagem da primeira versão do medidor em uma protoboard como mostra a figura 12 abaixo.

Figura 12 ? Primeiro Protótipo

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que os valores lidos de tensão calculado adicionando a potência do equipamento manualmente e calculado pela lei de Ohm nos testes de bancada não correspondiam com os valores esperados, os valores medidos possuíam um alto nível de imprecisão variando mais de 20% para mais ou para menos.

Buscando alternativas para contornar a imprecisão do resultado das tensões, surgiu a possibilidade de utilizar um sensor de tensão sendo suficiente para atender ao projeto, pois o sensor de tensão com baixa variação de apenas 2% para mais ou para menos, excelente Shield que resolveria o problema da medição de tensão, sendo assim o sensor de corrente seria somente para a sua função específica e enxugaria o código no IDE Arduino, sem a necessidade de vários cálculos da lei de ohm no programa em relação ao resultado do valor de tensão.

Segundo Protótipo

Com a aquisição do componente (sensor de tensão) necessário para a segunda versão e final do protótipo, foi iniciada a montagem em uma protoboard como testes.

Com o avanço para a comunicação via Ethernet/Internet pelo Ethernet Shield W5100 e a criação de um DATALOG através do SD-CARD, foi necessário a inserção e um aumento considerável de códigos com HTML o Arduino UNO foi necessário substituir por um superior e com mais memória e a entrada de mais um Shield que seria o Real Time Clock RTC DS3231 para data e hora certa, tanto na visualização em tempo real quanto no DATALOG.

Pensando também em uma possível falha na rede, porque não instalar um display, faltando comunicação temos dos dados de medição para visualização em um display LCD. O projeto ficou mais completo inserindo um display LCD 20x4 de comunicação com Arduino via I2C, com necessidade de inserir uma biblioteca própria no software.

Sendo assim com a substituição pelo modelo Arduino MEGA 2560 R3 foi suficiente para atender o projeto como um todo mostrado na figura 13 abaixo o circuito completo do projeto.

Figura 13 - Circuito Completo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ethernet Shield W5100, Arduino MEGA 2560 R3 e Display LCD 20x4 Backlight Azul

O Ethernet Shield permite que a placa Arduino se conecte a uma rede Ethernet/Internet. Baseado no chip de ethernet Wiznet W5100 provendo um stack de rede (ponte entre Arduino e rede) suporta os protocolos TCP e UDP. O Ethernet Shield suporta até quatro conexões simultâneas utilizando a biblioteca Ethernet.h para escrever sketches que se conectam à internet e ethernet.

O Shield de Ethernet é conectado em uma placa Arduino usando pinos longos através do Shield. Isso mantém o layout de pinos intacto permitindo que outro Shield seja empilhado sucessivamente. Com um slot na placa de cartão micro-SD, podendo ser usado para armazenar arquivos como banco de dados para

a rede e compatível com o Arduino Uno e Mega.

O Arduino se comunica tanto com o Shield quanto com o cartão micro-SD usando o barramento Serial Peripheral Interface (SPI) é um protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes). Tanto o Ethernet Shield como a função SDcard compartilham o barramento SPI, então somente um pode estar ativo de cada vez. O Shield fornece um conector padrão RJ45 de Ethernet e o botão de reset no Shield reinicia tanto a ele próprio quanto a placa Arduino independente se o modelo Uno ou Mega observado na figura 14 abaixo.

- Fonte de alimentação: 5V DC
- Interface: SPI
- Suporte cartão SD
- Suporta até quatro ligações de socket simultâneas
- Compatível com Arduino versão standard / série Mega
- Tamanho: 72x55x32mm

Figura 14 ? Ethernet Shield

Fonte: Felipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/ethernet-shield-w5100-para-arduino> >. Acessado em 12 jun 2021.

O Arduino, além de ser uma placa de desenvolvimento, é uma plataforma de código aberto (Open-Source) criada em 2005 pelo italiano Massimo Banzi com o intuito de contribuir no aprendizado de eletrônica e automação para estudantes de design e projetistas. O principal objetivo foi criar uma plataforma de baixo custo, para que estudantes pudessem desenvolver seus projetos e protótipos com o menor custo possível. Segundo o site da plataforma Arduino, (arduino.cc, 2021):

?O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica Open-Source que se baseia em hardware e software flexíveis e fáceis de usar. É destinado a artistas, designers, hobbistas e qualquer pessoa interessada em criar objetos ou ambientes interativos. O Arduino pode sentir o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores e pode interagir com os seus arredores, controlando luzes, motores e outros atuadores. O microcontrolador na placa é programado com a linguagem de programação Arduino, baseada na linguagem Wiring, e o ambiente de desenvolvimento Arduino, baseado no ambiente Processing. Os projetos desenvolvidos com o Arduino podem ser autônomos ou podem comunicar-se com um computador para a realização da tarefa, com uso de software específico (arduino.cc, 2021).?

O Arduino é formado por dois componentes principais: Hardware e Software.

O hardware é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos. Já o software é uma IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado), que é executado em um computador onde é feita a programação, conhecida como sketch, na qual será feita upload para a placa de prototipagem Arduino, através de uma comunicação serial. O sketch feito pelo projetista dirá à placa o que deve ser executado durante o seu funcionamento. Possui diversos conectores que servem para interface com o mundo externo

. Os pinos da placa se dividem nos seguintes moldes:

- Pinos de entrada e saída digital: Esses pinos podem ser utilizados como entradas ou saídas digitais de acordo com a necessidade do projeto e conforme foi definido no sketch criado no IDE.
- Pinos de entradas analógicas: Esses pinos são dedicados a receber valores analógicos, por exemplo, a tensão de um sensor. O valor a ser lido deve estar na faixa de 0 a 5 V onde serão convertidos para valores entre 0 e 1023.
- Pinos de saídas analógicas: São pinos digitais que podem ser programados para serem utilizados como saídas analógicas, utilizando modulação Pulse Width Modulation (PWM).

A alimentação da placa pode ser feita a partir da porta USB do computador ou através de um adaptador AC. Para o adaptador AC recomenda-se uma tensão de 9 a 12 volts (Embarcados.com.br, 2021). A linguagem de programação é modelada a partir da linguagem Wiring. Quando pressionado o botão upload da IDE, o código escrito é traduzido para a linguagem C e é transmitido para o compilador avr-gcc, que realiza a tradução dos comandos para uma linguagem que pode ser compreendida pelo microcontrolador. A IDE apresenta muita abstração, possibilitando o uso de um microcontrolador sem que o usuário conheça o mesmo e nem como deve ser usado os registradores internos de trabalho.

A IDE do Arduino possui uma linguagem própria baseada na linguagem C e C++. A partir do momento que foi feito o upload o Arduino não precisa mais do computador, o Arduino executará o sketch criado, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

Na Figura 15 observa-se as características construtivas do Arduino:

Figura 15 ? Arduino Mega

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://www.vidadesilicio.com.br/arduino-mega-2560> >,. Acessado em 14 jun 2021.

Display LCD 20×4 Backlight Azul (20 colunas por 4 linhas) com backlight azul e escrita branca é usado em toda indústria e em projetos eletrônicos com Arduino e outros projetos eletrônicos. A ligação com Arduino é muito simples, feita basicamente com 4 pinos de dados e 2 de controle, que nesse projeto foi utilizado a ligação I2C, com apenas alimentação 5v e utilizando apenas dois pinos do Arduino: o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 16 abaixo observa-se com mais detalhes o display.

Figura 16 ? Display LCD 20×4 Backlight Azul

Fonte: baudaeletronica. Disponível em: < <https://www.baudaeletronica.com.br/display-lcd-20x4-azul.html> >,. Acessado em 18 out 2021.

Módulo Serial I2C, Sensor de Corrente, Tensão e Real Time Clock

Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino muitas vezes a quantidade de pinos disponíveis no Arduino é limitada, após conectar display e sensores sobram poucos pinos para uso. O módulo controla o display lcd usando apenas 2 pinos, o pino analógico (SDA) e o pino analógico (SCL). Na figura 17 abaixo observa-se. Especificações:

Endereço I2C: 0x20-0x27 (Padrão 0x20 mas pode ser modificado);

Compatível com Display LCD 16×2 e LCD 20×4;

Tensão de operação: 5V;

Dimensões: 55 x 23 x 14mm.

Figura 17 ? Módulo Serial I2C para Display LCD Arduino

Fonte: filipeflop. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino> >. Acessado em 18 out 2021.

O sensor de corrente SCT-013 tem como principal vantagem o fato de não precisar de contato elétrico com o circuito para medir a corrente elétrica alternada. Ou seja, não é preciso abrir o circuito para ligá-lo em série com a carga, basta apenas "abraçar" um dos cabos ligados ao equipamento a ser monitorado. SCT é a sigla para Split-core Current Transformer, ou seja, transformador de corrente de núcleo dividido. Ele poder medir valores de 0 até 100A de corrente alternada. Em sua saída teremos valores entre 0 e 50mA proporcionais ao valor de corrente percorrido no condutor principal (vidadesilicio.com.br, 2021). Para fazer a medição da corrente elétrica o SCT-013 possui uma bobina interna em sua estrutura, como se pode observar na figura 18 abaixo.

Figura 18 ? Sensor de corrente SCT013

Fonte: Vidadesilicio. Disponível em: < <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada> >. Acessado em 14 jun 2021.

O Módulo Sensor de Tensão AC 110/220V é capaz de detectar a passagem de tensão alternada no circuito. Projetado para entradas entre 127 e 220 volts (Suporta a tensão máxima de 311 Volts). Composto de um opto-acoplador que assegura o isolamento da tensão AC na entrada / Resistor de Pull Down / Capacitor para estabilizar a saída.

O sensor é ligado em paralelo, portanto a corrente do circuito é irrelevante para ele. Na função voltímetro, a leitura pode oscilar em torno de 2% para mais ou para menos. Na figura 19 abaixo observa-se com mais detalhes.

Especificações:

Tipo de sensor: detector de tensão

Tensão de entrada: 0 a 220VAC

Tensão de pico máxima: 311VAC

Tipo de saída: leitura analógica

Dimensões: 16mm (L) X 15mm (A) X 37mm (C)

Peso: 6g

Ligação:

VCC - Ligado ao 5v do Arduino;

OUT - Ligado a uma porta analógica do Arduino;

GND - Ligado ao GND do Arduino.

Figura 19 ? Sensor de Tensão AC 127/220V

Fonte: Autocorerobotica. Disponível em: < <https://www.autocorerobotica.com.br/buscar?q=sensor+tensao> >. Acessado em 14 jun 2021.

Segundo o site filipeflop, (filipeflop.com, 2021):

O Real Time Clock (RTC) DS3231 é um relógio de tempo real de alta precisão e baixo consumo de energia. Na figura 20 abaixo pode-se observar a placa com suas conexões a bateria do modelo CR2032 de 3v e embutido um sensor de temperatura e um cristal oscilador para melhorar sua exatidão.

Especificações e características:

Controlador: DS3231;

Tensão de operação: 3,3V ? 5VDC;

Interface: I2C;

Bateria compatível: CR2032;

Sensor de temperatura: ~ 3° Celsius de exatidão;

Temperatura de operação: 0 a 40° Celsius;

Computa horas / minutos / segundos / dias da semana / mês / meses / anos (de 2000 a 2099);

Consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento;

Memória: AT24C32 (capacidade de 32Kb que podem ser usados também como RAM estendida ao microcontrolador);

Possui circuito de detecção de falha de energia;

Figura 20 ? Real Time Clock RTC DS3231

Fonte: Felipeflop. Disponível em:< <https://www.filipeflop.com/produto/real-time-clock-rtc-ds3231/>>;
Acessado em 12 jun 2021.

Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo e possível contato entre o usuário e a corrente elétrica pelo módulo foi projetado uma proteção para que pudesse comportar todos os componentes, foi executado conforme as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Figura 21 ? Confecção da proteção do módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 21 acima mostra a proteção do módulo sendo produzida. Para construir a caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o MDF de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO2, com um comprimento de onda de 10.6 µm /Max e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 22 ? Foto da caixa de proteção com o módulo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 22 acima mostra a representação do módulo já com sua proteção montada e pronta para uso e o Arduino precisará de uma alimentação de 5V, podendo ser feito pelo próprio cabo de dados porta USB, por pilha, um carregador de celular ou entrada P4 com tensão de 9V DC.

Implementação do Software e Bibliotecas no Projeto

Um resumo do ciclo de desenvolvimento pode ser visto na Figura 21 abaixo, que demonstra trechos do código elaborado da aplicação em Arduino de uma forma esquemática. O programa principal possui 6 bibliotecas necessárias para seu funcionamento.

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de tensão da residência e a corrente do equipamento, a potência é dada pelo produto dessas unidades usando a lei de Ohm corrente (A) x tensão (V) como mostra nos trechos do código abaixo na figura 23.

Figura 23 ? Inclusão de Bibliotecas e cálculos no programa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realização da conexão à rede para exibição da página Web e App é necessário definir o endereço MAC e definir um IP fixo na rede equivalente a rede local, nesse caso foi usado o IP 192.168.0.20 para o acesso local mostrado na figura 24 abaixo o trecho do código.

Figura 24 ? Conexão de rede e IP

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aplicativo para Smartphone

Para construir um APP foi utilizado o MIT APP Inventor, uma ferramenta de drag-and-drop (arrastar e soltar) visual para a construção de aplicações em smartphones na plataforma Android.

Composto por duas etapas: o App Inventor Designer e o App Inventor Blocks Editor, cada um com função própria e específica. O primeiro tem o objetivo de construir a interface do seu aplicativo e o segundo de adicionar interatividade aos componentes na tela, basicamente só isso, bem intuitivo.

Para o acesso o usuário deverá inserir Login e Senha já predeterminado no App por exemplo foi usado nesse projeto Login TCC e Senha 2021. Após inserir o aplicativo já irá abrir a próxima tela com as informações do medidor de energia elétrica inteligente.

O aplicativo funcionou perfeitamente, sendo possível a visualização das medições do equipamento ao qual estava conectado no projeto desenvolvido. Desta maneira o uso fica restrito ao equipamento que está conectado na rede elétrica ou equipamento elétrico individual por intermédio do protótipo desenvolvido. Na figura 25 abaixo observa-se com mais detalhes em funcionamento e detalhes da criação do mesmo.

Figura 25 ? APP para dispositivo móvel

Fonte: Elaborado pelo autor.

Calibração dos sensores e leitura

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um Alicata Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para os sensores de corrente e tensão foram uma lâmpada, uma pistola de cola quente e um aspirador de pó.

Essas abordagens de alguns eletrônicos são para validar as medições em componentes diferentes e que não haja uma configuração para apenas um componente específico, lembrando que no próprio datasheet

do componente o erro previsto é de +/- 2%.

Tabela 1 ? Comparação Corrente (A) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com uma tensão nominal de 127V, a tensão real pode ter uma variação de 114,3V a 139,7V. Este desvio de valor acarretou para uma variação dentro da tolerância permitida.

Tabela 2 ? Comparação Tensão (V) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para validar o funcionamento do sistema foram realizadas medições com 3 tipos de carga: resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó). Os valores foram adquiridos através da Lei de Ohm, onde temos a Corrente Elétrica (A) x Tensão (V) igual a potência (W).

Tabela 3 ? Comparação Potencia (W) entre instrumentos

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido 127v e medido pelo sensor de tensão, admitindo uma variação de 10% para mais ou para menos sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL, 2021, os valores informados aos usuários podem sofrer uma variação para baixo ou para cima não ultrapassando a porcentagem aceita pela ANEEL.

RESULTADOS

Para a validação do medidor de energia elétrica inteligente, ele foi instalado em equipamento elétricos diferentes como corrente e potência, já a medição de tensão com alimentação monofásica de 127V para todos os equipamentos. Para comparação, os valores obtidos foram comparados com um Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 como mostra na figura 26 abaixo. O Fluke 381 é um aparelho versátil utilizado em diversas aplicações industriais de modo profissional sendo um dos melhores equipamentos para medição de tensão e corrente elétrica no mercado mundial.

Figura 26 - Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381

Fonte: fluke.com. Disponível em: < <https://www.fluke.com/pt-br/produto/teste-eletrico/alicates-amperimetros/fluke-381> >. Acessado em 12 set 2021.

Medidor de energia elétrica inteligente totalmente calibrado e pronto para ser utilizado como mostra abaixo na figura 27.

Figura 27 ? Medidor de energia elétrica Inteligente validando

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez montado o protótipo e pronto, foram realizados alguns testes para validação, eliminação de problemas iniciais e refinamento dos resultados. Para análise dos resultados foi um entendimento sobre o comportamento dos sinais de corrente e tensão para os 3 tipos de carga já citados anteriormente, resistiva (lâmpada e pistola de cola quente) e indutiva (Aspirador de pó).

Para validá-lo foram realizados testes lado a lado para aferição do medidor de energia elétrica inteligente como mostra a figura 28 abaixo. Os comparativos com alicate amperímetro duplo True-RMS Fluke 381 e medidor de energia elétrica inteligente mostram no display de cada equipamento: tensão (V), corrente elétrica (A) e potência (W). Somente o medidor de energia elétrica inteligente é capaz de calcular e mostrar em tempo real a potência (W) através do programa carregado no microcontrolador Arduino.

Figura 28 - Comparativo entre o medidor proposto e o de referência

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comparativo mostra uma semelhança entre os resultados apresentadas pelo medidor de energia elétrica inteligente e o Alicate Amperímetro duplo True-RMS Fluke 381. Os horários em que os picos de consumo acontecem coincidem e a variação em sua magnitude é inferior a 5%.

Apesar da pequena diferença entre os valores lidos, a informação mostrada é mais que suficiente para que o usuário possa acompanhar o seu consumo em tempo real com uma precisão adequada para auxiliá-lo na tomada de decisão referente aos seus hábitos de consumo.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento desse trabalho, com características experimentais, fez com que fosse necessário criar um protótipo confiável possibilitando a visualização remoto através de smartphones e computadores conectados nas redes via cabo ou Wifi. Porém é importante salientar que foi utilizado um sensor de corrente SCT013 até 100A, medidas de corrente possuem uma oscilação na precisão de mais ou menos 2%.

Para o cálculo da potência utilizado o valor de tensão da rede elétrica medido pelo módulo sensor de tensão 127/220V e o valor da corrente elétrica calculado em cima da lei de OHM que nos fornece o valor da potência consumida.

Aplicações com o uso de IOT vêm ganhando destaque na automação em geral capazes de abranger diversas aplicações e uma ferramenta de fácil utilização. O fato de possuir uma grande facilidade para

interligar o processo físico do projeto desenvolvido por meio de um sistema distribuído utilizado no projeto um Ethernet Shield W5100 para criar um Servidor Web que tem como função fornecer uma página web como monitoramento por computadores e smartphones contendo informações enviadas pelo Arduino captado dos sensores. Tal fator ficou evidente no decorrer da criação deste presente trabalho.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelos próprios fabricantes dos equipamentos utilizados na medição, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dão pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não do real, já que se tem uma variação de no máximo 10% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 2% sobre os sensores utilizados.

Para isso, a motivação como propósito a utilização em residências, dada uma rotatividade em cada família. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos e verificando os pontos onde são possíveis a redução de consumo da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEDB et. Al. Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário. Disponível em: < https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos/05/256_SEGET%20-%20Automacao%20Residencial.pdf >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Atlas da Eficiência Energética no Brasil 2020: Relatório de Indicadores. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil-2020> >. Acessado em 24 de mai. de 2021.
- BARAI SRIDHAR KRISHNAN, B. V. G. Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - a review. 1. ed. London: IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2015.
- BOLZANI, C. A. M. Residências Inteligentes. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.
- BRAZCUBAS et. Al. Gestão do Consumo de Energia Elétrica. Disponível em: < <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/download/501/603> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- Dahle, David. 2010. Samuel Gardiner's lamp--?hour meter (1872). Dave's old Watthour Meter webpage. [Online] 2010. [Citado em: 06 de Julho de 2012.] < <http://watthourmeters.com/others/gardiner.html> >. Acesso em 26 de fev. de 2021.
- MONK, SIMON. Internet das Coisas um Introdução com Photon. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- MONK, SIMON. Projetos com Arduino e Android. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- PUC GOIAS et. Al. Automação Residencial: Elementos Básicos, Arquiteturas, Setores, Aplicações e Protocolos. Disponível em: < <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17829/material/ARTIGO02.pdf> >. Acesso em 03 de mar. de 2021.
- Revista Maiêutica, Indaial, v. 2, n. 01, p. 7-23, 2017. Disponível em: < https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/TI_EaD/article/download/1686/800 >. Acesso em 13 de mai. de 2021.
- STEVAN JR, SERGIO LUIZ; SILVA, RODRIGO ADAMSHUK. Automação e Instrumentação Industrial com Arduino Teoria e Projetos. 1. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- VYAKARANAM, Bharat et al. A study of the impact of peak demand on increasing vulnerability of cascading failures to extreme contingency events. IEEE Power & Energy Society General Meeting, p.1-5, jul. 2017. IEEE.



Sensor de Corrente[A]0.11 A0.15 A2.95 A
Fluke 3810.10 A0.12 A2.40 A

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]129.90 V130.01 V128.26 V
Fluke 381130.40 V130.30 V128.60 V

InstrumentosLâmpadaCola QuenteAspirador
Sensor de Corrente[A]13.35 W19.50 W378.36 W
Fluke 381 (Cálculo lei de Ohm)13.04 W15.63 W308.64 W