

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - ATCC

Faculdade UNA de Pouso Alegre

Uso da tecnologia Internet das coisas para gerenciamento do consumo de energia elétrica residencial

Cleso Costa Silva, José Eduardo Flauzino, Rafael Alexandre Gomes,
Richard Barbosa da Silva

(clesocostasilva@gmail.com, flauzino.eduardo@gmail.com, gomesfael@hotmail.com, richard_eng@outlook.com.br)

Matheus Sêda Borsato Cunha

Professor Orientador

Resumo – Este artigo apresenta um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica baseado na tecnologia da Internet das coisas (IoT). O sistema proposto realiza a coleta de dados diários do consumo e envia ao servidor local. O projeto é constituído por módulo WiFi, sensor de corrente e um aplicativo desenvolvido para exibir e notificar o usuário sobre seu consumo. Mensagens são enviadas diariamente, além de gráficos e relatórios que podem ser gerados mensalmente, facilitando a visualização de cada dia e o seu consumo individual. O sistema foi instalado na residência de dois voluntários para comprovação da viabilidade do produto.

Palavras-chaves: consumo; eficiência energética; Internet das coisas; monitoramento; *smart city*.

1. Introdução

Atualmente, a nível mundial, nota-se uma crescente demanda por energia elétrica. Conforme o Operador Nacional do Sistema Elétrico, o aumento da temperatura oriundo do aquecimento global, impulsiona os consumidores utilizarem mais equipamentos de refrigeração em suas residências ou comércios [1]. Além disso, a expansão da produção industrial elevou o aumento da demanda de energia. Por exemplo, ao se analisar especificamente o histórico do Brasil referente às tarifas de energia, é possível perceber reajustes significativos que chegam na ordem de 43%, sendo eles aprovados pela Agência Nacional de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL). Diante disso, é importante destacar a necessidade de um sistema elétrico mais eficiente desde a geração até o consumo, e adicionalmente seja capaz de fornecer aos consumidores mais informações que os permitirão tomar decisões mais conscientes [1].

Existe uma dependência global por energia elétrica e a aplicação dos recursos naturais a fim de atender esta necessidade deve ser otimizada. Portanto, a matriz energética inclui atualmente diversas fontes de energia, divididas como mostra a Figura 1.

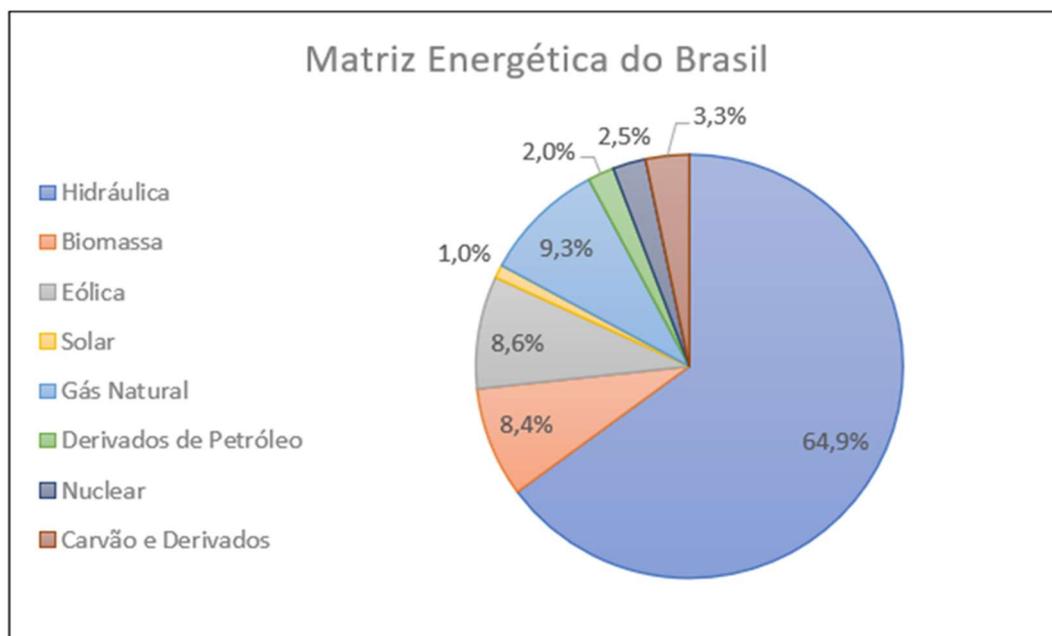


Figura 1 – Matriz Energética [2].

Há uma projeção para um aumento significativo em energia acessível, limpa e sustentável através do uso de energias renováveis como a energia eólica e solar [2]. Assim, haverá uma transformação nos sistemas de energia elétrica, pois com o avanço das tecnologias, comunicação sem fio e sistemas de controle, a integração de dispositivos a rede elétrica favorece o gerenciamento de ativos, gera confiabilidade e economia [3]. As concessionárias de energia estarão entre os três maiores consumidores de produtos e serviços no mundo baseados na tecnologia da Internet das coisas (IoT - *Internet of Things*) visando atender a essa demanda no futuro [4][5].

O rápido avanço das tecnologias faz com que as pessoas tenham acesso à Internet com velocidade e de melhor qualidade. Em virtude disso, o uso da Internet está associado a diversos fins como: comunicação, estudos, entretenimento, entre outros. Dessa forma, as pessoas estão sempre conectadas e as oportunidades são várias surgindo, diariamente, algo novo e inovador. Logo, a Internet oferece uma infinidade de aplicações, entre elas o gerenciamento de sistemas de energia e controle, controlar o uso de água em irrigação, melhorias da qualidade da água e ar em regiões de maior poluição, e também, na medicina, através da conexão entre pacientes a médicos [1][6].

O aumento constante da urbanização requer sustentabilidade, eficiência e soluções inteligentes para o equilíbrio de recursos naturais utilizados para proporcionar uma melhor qualidade de vida para a humanidade. Uma nova gama de aplicações surge, podendo ser utilizado para uma nova proposta de urbanização, chamada cidades inteligentes ou *smart cities*. O objetivo da Internet das Coisas é sensorizar, identificar e permitir a comunicação entre os objetos para aquisição de dados, e a partir da análise, controlar as ações dos sistemas. Neste conceito, uma das aplicações possíveis através da tecnologia IoT é o monitoramento do consumo de energia elétrica por meio de dispositivos inteligentes, visando proporcionar aos consumidores um melhor gerenciamento e controle do consumo de energia elétrica [7].

Bharathi et al [8] desenvolveram um sistema para monitorar o consumo de energia. O sistema foi composto por sensores de tensão, sensores de corrente, *display* de cristal líquido (LCD – *Liquid Crystal Display*), processador e um módulo WiFi. A projeto realizava o monitoramento da potência total consumida por um equipamento específico e enviava os dados ao servidor, para então ser acessado por uma página de Internet ou um aplicativo móvel [8]. Similarmente, na terceira Conferência Internacional de Convergência Tecnológica ocorrida em 2018, foi apresentado um trabalho para monitoramento de consumo de energia elétrica baseado em tecnologia IoT. O sistema oferecia ao usuário a possibilidade de monitorar equipamentos domésticos em tempo real, utilizando um *hardware* composto por microcontrolador e módulo WiFi, além de um sensor de corrente projetado diretamente na placa de circuito impresso (PCI) [9].

Este trabalho de conclusão de curso apresenta a concepção e a implementação de um sistema de monitoramento de energia elétrica residencial e comercial. O modelo consiste na leitura da corrente diretamente em uma das fases do circuito de um equipamento que se deseja monitorar, cujas informações são enviadas para o servidor. Dessa forma, o consumo de qualquer equipamento que utilize esta solução, é exibido em tempo real por um aplicativo instalado no dispositivo móvel do usuário.

O aplicativo desenvolvido realiza a requisição de dados e exibe aos usuários os cálculos da potência consumida e os valores monetários gastos em tempo real. Além do monitoramento instantâneo, pode-se consultar o consumo diário, demonstrado graficamente para uma melhor análise das informações. Como diferencial, notificações de comparativos da potência média consumida e o valor gasto referente ao dia anterior são enviadas no dispositivo móvel do usuário, não havendo necessidade de realizar essa comparação manualmente, o que proporciona certa comodidade. Em caso de um consumo elevado proporcionado, por exemplo, ao usar o

chuveiro elétrico, o aplicativo também notifica, enviando uma mensagem referente ao período utilizado e apresenta o valor gasto neste evento específico.

Em vista das funcionalidades proporcionadas pelo dispositivo desenvolvido neste trabalho, o principal objetivo é despertar no usuário a consciência dos seus gastos, por intermédio da visualização de valores monetários calculados. Dessa forma, espera-se melhorar a eficiência energética ao eliminar desperdícios, mediante o rastreamento dos aparelhos que possam estar contribuindo para um elevado consumo de energia em determinada residência.

2. Referencial Teórico

A tecnologia IoT vem se destacando cada vez mais devido a sua concepção que visa a conexão massiva entre milhares de equipamentos e dispositivos. Além disso, favorece o conceito de poder realizar várias tarefas sem a interferência humana e em tempo real, mudando assim o cotidiano como se conhece. Uma definição de rede baseada em tecnologia IoT é aquela capaz de controlar e/ou monitorar um ou vários equipamentos, objetos e sistemas de automação, dentro de um ambiente ou a distância por uma rede ligada à Internet, tornando assim essas interações entre objetos rápidas e seguras [10-12].

O conceito de equipamentos que possam de alguma maneira controlar ou monitorar uma residência, se remete a década de 80 a fim de transformar as casas comuns em casas inteligentes [13]. Com o avanço tecnológico recente, a tecnologia IoT vem conquistando muito espaço, e a visão de automatizar completamente uma residência, empresa ou indústria nunca foi tão grande. A possibilidade de conectar diversos equipamentos com dispositivos móveis, provendo uma interação em rede, direta, rápida e confiável, faz dessa tecnologia, uma ferramenta com potencial quase ilimitado [12-14].

Ao enumerar algumas funcionalidades para a tecnologia em questão, nota-se a maleabilidade em que se pode distribuir dentro de uma residência. Essa tecnologia possibilita obter informações de diversos dispositivos que podem oferecer dados importantes, uma vez ligados a rede. Vale destacar, por exemplo, o consumo médio da residência ou mesmo de equipamentos isolados como o chuveiro, portão elétrico, o estado atual das cortinas automáticas, o controle das lâmpadas dos ambientes e outros [13-15].

A interface homem máquina ao longo dos anos vem se provando ser muito bem aceita. Visto que as possibilidades e interações são cada vez mais inseridas na vida cotidiana [13, 14]. Essas interações, traz com suas facilidades um grande esforço para organizar e gerenciar todos

esses objetos. Tal esforço é aplicado com o objetivo de obter sempre uma maior segurança e diversidade de usos [14, 15].

Em 2005, uma multinacional fabricante e distribuidora de energia elétrica e gás, ENEL (*Ente Nazionale per l'energia elettrica*), concluiu um projeto de *smart grid*, na Itália, para medir o consumo de energia elétrica de forma automática, o que proporcionou uma economia de custos operacionais em 500 milhões de euros por ano. Desde então, houve buscas por recursos tecnológicos e melhorias em sistemas semelhantes. Dessa forma, em 2010, foi implementado uma solução baseada em tecnologia IoT, visto que é eficiente, confiável e também possibilita fazer a interação de subestações, sensores, medidores e dispositivos móveis. Adicionalmente, oferece agilidade na resolução de falhas no fornecimento do sistema elétrico de energia e conseqüentemente diminui desperdícios [16].

Outra questão crítica relacionada a energia elétrica é o furto, definido como a utilização ilegal ou não medida de eletricidade pelas concessionárias de distribuição. As perdas financeiras relatadas pelas concessionárias são enormes, visto que somente na Índia é estimado um valor anual que chega a 10 bilhões de rúpias indianas (133 milhões de dólares). Dessa forma, em [17], um sistema feito com baixo custo computacional utilizando a tecnologia IoT foi proposto, mediante a diversas outras aplicações, com o intuito em resolver este problema ao detectar furto de energia desviada do medidor, adulteração nos medidores de consumo ou interceptação diretamente na rede elétrica [17].

Na automação residencial foram detectadas limitações relacionadas a comunicação em longo alcance ao usar o *bluetooth* e a necessidade de um canal dedicado de rede telefônica pública comutada (PSTN - *Public switched telephone network*) para os dispositivos na residência se comunicarem. Portanto, os autores, em [18], realizaram um experimento com um sistema baseado na tecnologia IoT sem apresentar os problemas citados. Esse trabalho possibilitou o acesso e controle de equipamentos domésticos de qualquer lugar do mundo através de um aplicativo. Com isso, pessoas idosas ou com limitações físicas são beneficiadas em controlar qualquer dispositivo de sua casa por um dispositivo móvel, além do monitoramento proporcionado pela tecnologia IoT, que proporciona redução na conta de energia ao controlar os aparelhos residenciais [18].

O trabalho [19] tem a proposta de reduzir a mão de obra relacionada às leituras de energia e os erros associados à medição de consumo de modo a oferecer a uma residência, maior eficiência energética. Os autores desenvolveram um *hardware* composto por sensor óptico e módulo WiFi (*NodeMCU*) ESP8266. Os dados são processados, enviados à nuvem e

requisitados em intervalos de 5 minutos através de um sistema que faz a medição em tempo real. Os valores obtidos são representados de maneira gráfica calculando o consumo diário e um padrão de energia consumida em intervalo de 4 horas sendo enviados pelo aplicativo Telegram. Em resumo, este trabalho baseado em tecnologia IoT, oferece um sistema para detectar, calcular e transferir dados em tempo real, fazendo a leitura automática do medidor (AMR - *Automated Meter Reading*) e apresenta os valores aos clientes.

Os autores de [9] relatam um sistema no qual o usuário ao conectar um aparelho na rede elétrica, tal dispositivo começa a registrar os dados e os envia continuamente para a nuvem. O usuário pode decidir quando desligar o aparelho, com base no tempo que deseja analisar as leituras de energia, que está sendo consumida pelo aparelho monitorado.

O *software* foi desenvolvido para um recurso de comunicação bidirecional, com a função de inicializar com os comandos do site da Internet, integrar o microcontrolador e também as unidades eletrônicas adjacentes para controle de dados. Os dados de consumo de energia e os dados de faturamento são transferidos diretamente para a nuvem e disponibilizados no site em tempo real [9,20].

2.1 - Proposta de desenvolvimento

No desenvolvimento do sistema proposto neste artigo, o *software* também está programado para o funcionamento bidirecional, pois o *hardware* e o aplicativo se comunicam através do servidor *Firebase*, demonstrado na Figura 2. Sempre que o sensor for acionado, o microprocessador envia o valor JSON (*JavaScript Object Notation*), que é um formato para estruturar dados no servidor. Assim, podemos obter uma notificação por *push*, único e direcionado somente ao usuário. O *Firebase Functions* verifica a categoria de notificação recebida e envia ao dispositivo através de ID exclusivo, conhecido como *token* do dispositivo. O *token* do dispositivo é o ID único atribuído ao dispositivo móvel [21].

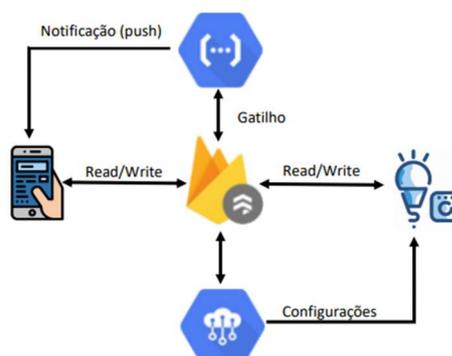


Figura 2 – Arquitetura do sistema

A Figura 3 demonstra a estrutura dos dados do projeto proposto, salvos no servidor *Firebase* em formato JSON, contendo as informações citadas anteriormente para o correto funcionamento do sistema.

```
sensorId: {  
  token: dulW_rx9JHw:APA91bEelqw2a5tFoKnAI,  
  tax: 1.12,  
  connection: on,  
  user: qMnZyH7Q3IN,  
  measure: 1.112  
}
```

Figura 3 – Estrutura JSON

A utilização do sensor de corrente não invasivo permite ao usuário realizar o monitoramento de uma residência, pois se torna mais seguro devido ao formato de grampo ao condutor monitorado. A circulação da corrente pelo condutor produz uma tensão de saída proporcional à corrente. No sistema de cobrança de energia, o consumo pode ser adicionado, permitindo que o consumidor estime o valor gasto [22, 23]. O cálculo de corrente que circula pelo condutor monitorado, pode ser obtido por

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_{p_{sec}}}{I_{p_{pri}}}, \quad (1)$$

onde, N_1 é o número de espiras do primário, N_2 é o número de espiras do secundário, $I_{p_{sec}}$ é a corrente de pico do secundário e $I_{p_{pri}}$ é a corrente pico do primário.

A corrente de pico no secundário do sensor é proporcional à corrente de pico do primário. Logo, o conversor analógico para digital (ADC - *Analog Digital Converter*) do microcontrolador, realiza a amostragem do sinal e converte para corrente média em decimal, permitindo o cálculo da potência média consumida pela expressão

$$P_M = V_{ef} \times I_{ef} \quad (2)$$

onde, P_M é a potência média, V_{ef} é a tensão eficaz e I_{ef} é a corrente eficaz.

Considerando que a aplicação é para uso residencial, o valor de V_{ef} é 127V ou 220V, conforme a rede disponível na casa do usuário.

3. Metodologia

A metodologia adotada para este trabalho foi baseada em abordagem quantitativa, dado que sua comprovação com evidências por meio de contas da concessionária de energia e medições periódicas do consumo através do aplicativo desenvolvido. Diante disso, o estudo atual possui um perfil de natureza aplicada, possibilitando obter conhecimento de maneira prática, demonstrando a instalação de forma descritiva e exploratória sobre um estudo de caso e seus resultados, ao desenvolver um dispositivo de monitoramento de consumo de energia elétrica.

Para interligarmos equipamentos na Internet é necessário um microcontrolador com módulo WiFi responsável pela função de enviar os dados coletados para o servidor de Internet. O módulo utilizado (NodeMCU) contém programação na interface Arduíno, responsável por todos os cálculos necessários e a comunicação via WiFi [6]. O identificador WiFi e a senha estão descritos na programação, o *hardware* fica conectado ao WiFi local sempre que a rede estiver disponível. Os dados enviados para o servidor são atualizados e transmitidos em um determinado intervalo de tempo, definido na programação [6-8].

O sensor utilizado no projeto é o SCT013 50A/1V não invasivo do fabricante YHDC. Este sensor, possui um transformador interno que, através do campo magnético gerado pela passagem de corrente no condutor (lei de Faraday), relaciona o valor do primário pelo secundário. A corrente induzida nas espiras do secundário, permite realizar a leitura pelo ADC do microcontrolador e assim transmitir ao servidor os dados medidos. A biblioteca utilizada é o “enonLib.h”, que é um código aberto para criação de *hardwares*, com a finalidade de leituras de corrente e tensão. Dessa forma, é possível interpretar o valor consumido através da amostragem de corrente induzida no sensor.

A principal particularidade deste sistema, é realizar a leitura dos valores de corrente que está sendo circulada no fio condutor e enviar os dados pela Internet. Um código de programação é escrito para que se haja comunicação do Módulo WiFi (*NodeMCU*) e o servidor para armazenar esses dados no banco de dados.

Este trabalho desenvolveu uma estrutura de um sistema de monitoramento conforme ilustrado na Figura 4.

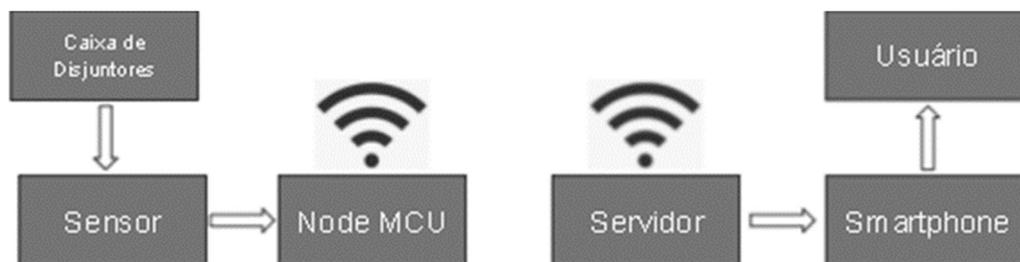


Figura 4 – Diagrama estrutural do Sistema de monitoramento

De modo a obter os dados, validar e analisar os resultados, foi instalado o *hardware* na residência de um dos autores a fim de realizar a análise comportamental do consumo de energia em uma situação com equipamentos comuns residenciais. Simultaneamente, foi instalado na casa de outro voluntário, com um perfil diferente de consumo e equipamentos de potência diferente para comparação dos valores obtidos em ambas as residências.

Por fim, os dados e informações obtidas, foram exportados do aplicativo, armazenados, tratados e comparados com a conta de energia referente ao consumo mensal no mesmo período de instalação do dispositivo. Diante disso, uma análise do histórico de consumo de energia elétrica foi realizada, para constatar uma mudança de hábitos ou eventos que possam consequentemente aumentar o uso de energia elétrica destas residências.

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo será demonstrado os resultados da utilização do sensor de corrente para o monitoramento do consumo de energia na residência de um voluntário e de um dos integrantes, que poderá ser visualizado através dos dados coletados no dispositivo e aplicativo propostos neste trabalho de conclusão de curso.

4.1 Aplicativo

O aplicativo proposto, requer a autenticação do usuário (Figura 5) através de e-mail e senha para que o usuário tenha acesso aos dados registrados sobre o consumo de sua residência. Após realizar o acesso, o usuário visualiza as informações em tempo real, diário e mensal, bastando navegar entre as abas da tela inicial. Caso queira alterar a tarifa utilizada pelos cálculos de consumo em uma tela com as informações do sensor. A instalação do sensor poderá ser realizada diretamente na interface do aplicativo, basta o usuário digitar o valor da tarifa e escanear o código de barras do sensor.



Figura 5 – Tela de autenticação do usuário

4.2 Construção do hardware

A construção do *hardware* foi realizada de acordo com esquema elétrico, destacando a necessidade de utilizar o resistor R4 especificado pelo manual do sensor SCT013, demonstrado na Figura 6, e da placa de circuito impresso na Figura 7.

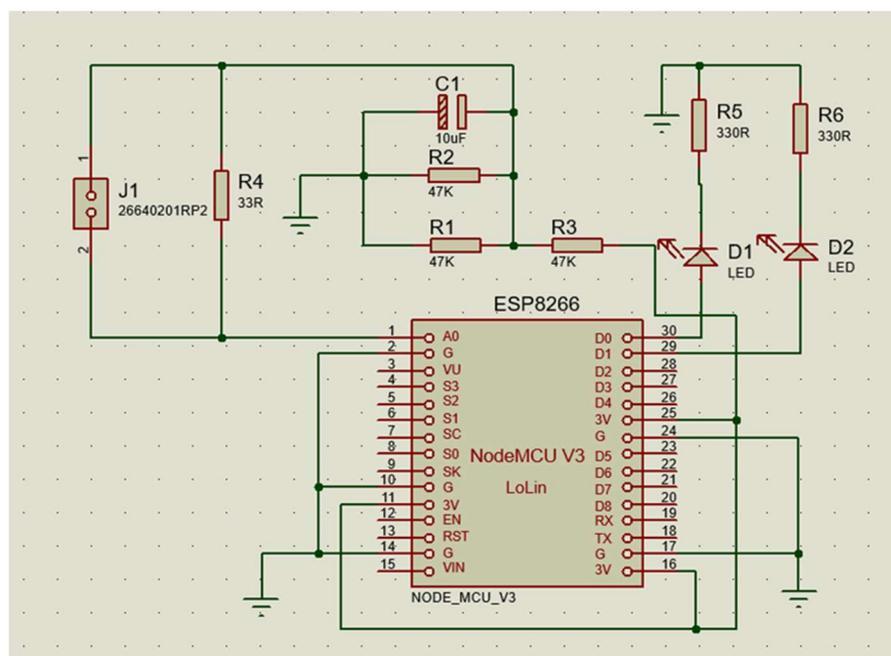


Figura 6 - Esquema elétrico

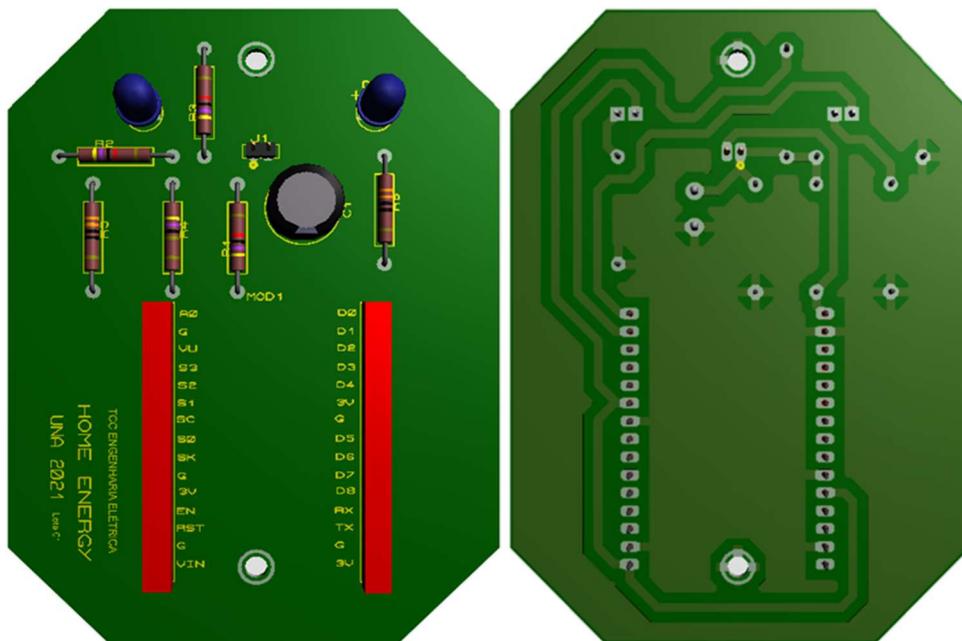


Figura 7 - Placa de circuito impresso

4.3 Instalação

De acordo com a Figura 8, o dispositivo foi adicionado por meio de um código de barras. De modo que, ao ser escaneado utilizando a câmera do dispositivo móvel, ele reconheceu o código referente ao sensor e gravou os dados inseridos no servidor.

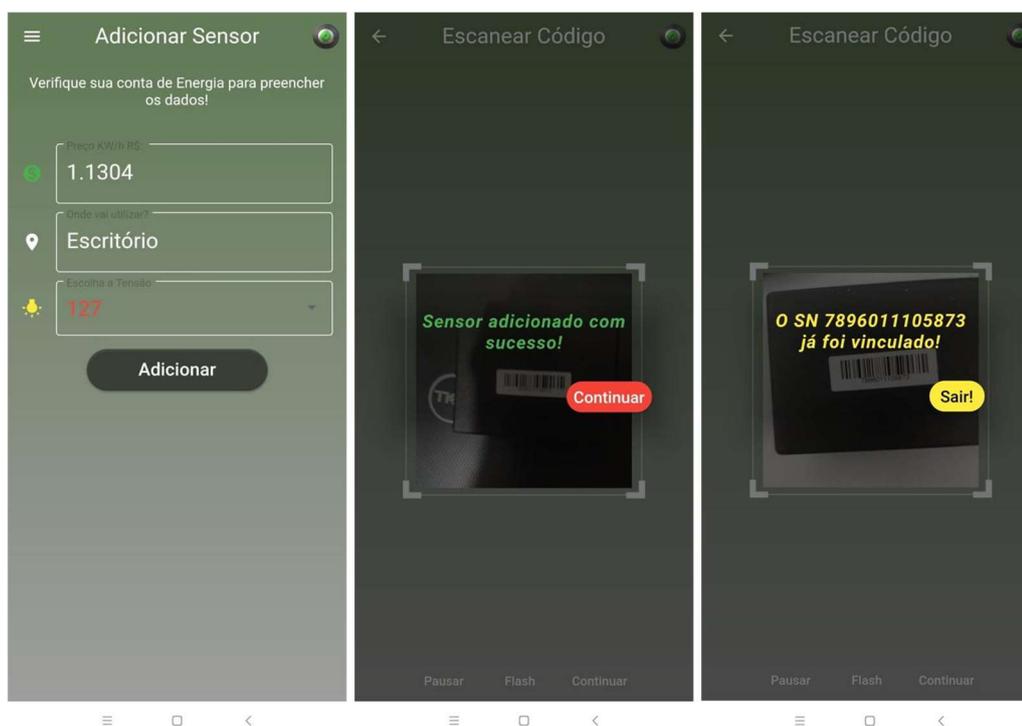


Figura 8 – Cadastro do hardware para troca de dados

O *hardware* foi instalado na caixa de distribuição da residência dos voluntários, instalando o sensor no condutor principal da rede elétrica. Como requisito obrigatório é necessário um ponto de energia para a fonte de alimentação do dispositivo, bem como respeitar o sentido da corrente indicado no sensor, conforme Figura 9.

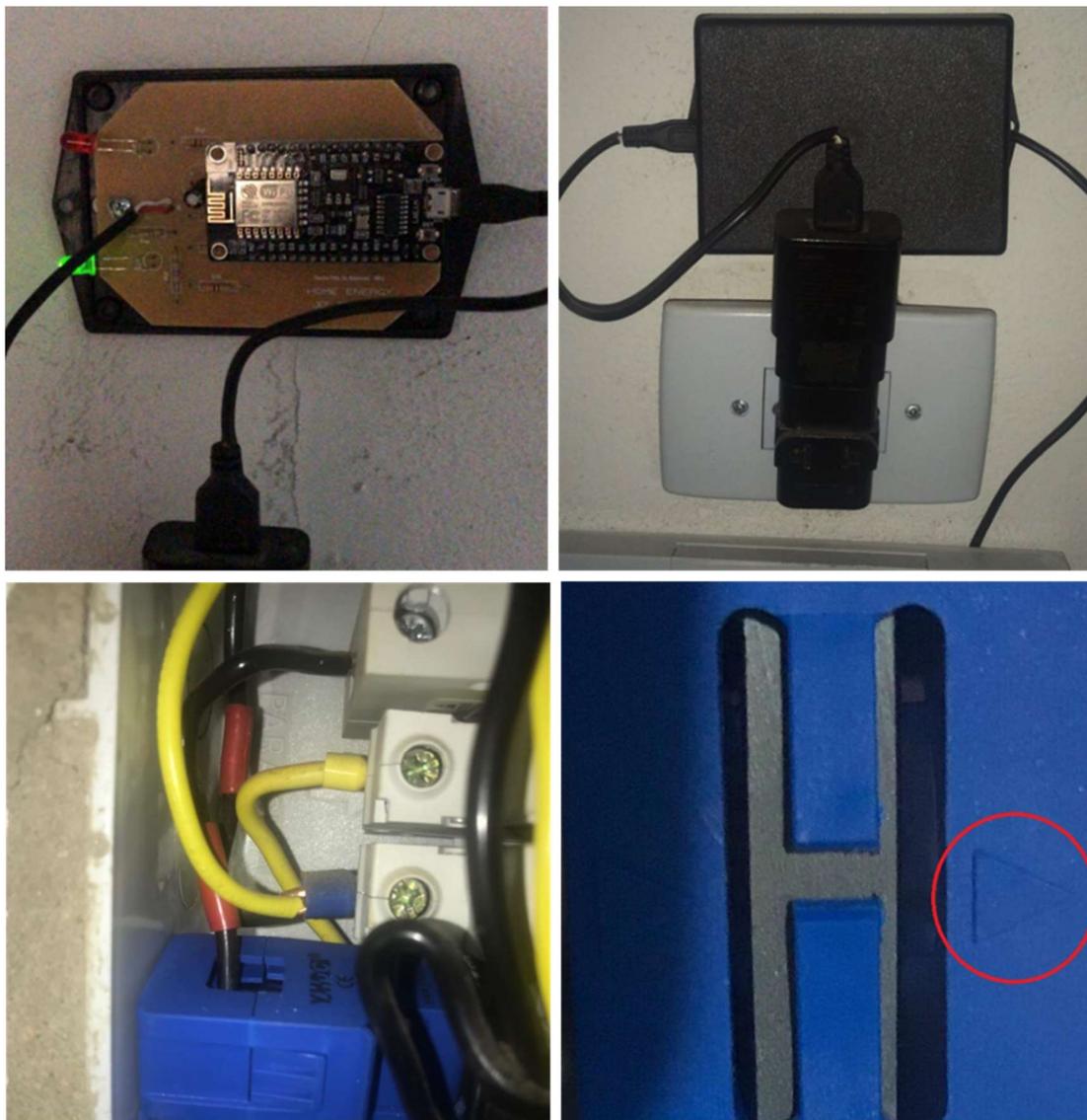


Figura 9 - Instalação do hardware

4.4 Análise dos dados

Durante o desenvolvimento deste trabalho, realizou-se a verificação da corrente medida pelo sistema proposto através do sensor e comparamos com a corrente medida por um amperímetro convencional, conforme mostrado na Figura 10. A aferição foi realizada simultaneamente pelo sensor e exibido na interface do aplicativo, e comparado pelo

amperímetro, ambos no mesmo condutor do chuveiro de 127 V. Realizando a conversão da potência de 5125 Watts por hora em corrente pela expressão (2).



Figura 10 - Comparação com amperímetro

O valor medido pelo sistema proposto neste artigo é de 40,35 A e no amperímetro de 39,9 A. Deste modo, a precisão no instante da medição foi de 98,9%.

Na implementação na casa do voluntário 1, foi feito um comparativo com os dados da concessionária de energia elétrica dos últimos 3 meses. Este consumidor usa equipamentos comuns, como: geladeira, chuveiro, televisão e iluminação em uma rede bifásica, possuindo um consumo de energia média de 3,73 kW por dia, como demonstrado na Figura 11.

Histórico de Consumo			
MÊS/ANO	CONSUMO kWh	MÉDIA kWh/Dia	Dias
NOV/21	112	3,73	30
OUT/21	120	3,87	31
SET/21	111	3,58	31
AGO/21	120	3,63	33
JUL/21	93	3,20	29
JUN/21	105	3,50	30
MAI/21	108	3,85	28
ABR/21	118	3,57	33
MAR/21	95	3,16	30
FEV/21	97	3,46	28
JAN/21	114	3,45	33
DEZ/20	122	4,20	29
NOV/20	132	4,00	33

Figura 11 - Conta de energia voluntário 1

Comparando com os dados coletados pelo sistema proposto. O valor de consumo diário obtido foi de 3,77 kW por dia, como mostrado na Figura 12.

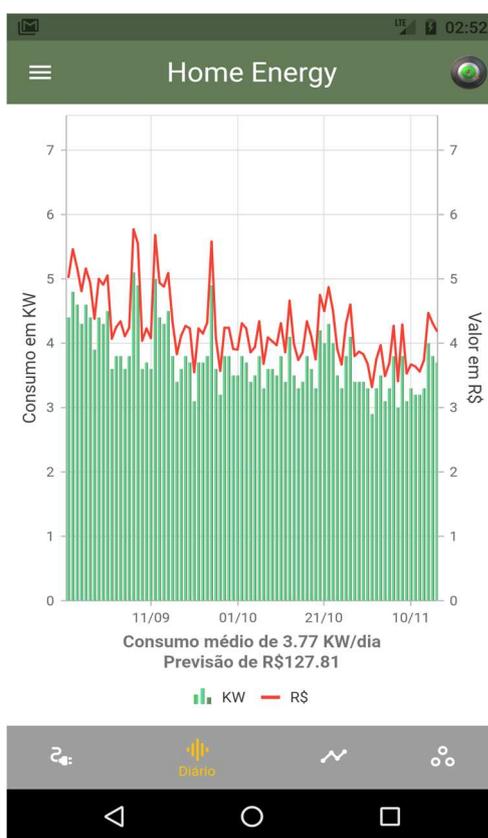


Figura 12 - Dados coletados sensor do voluntário 1

Comparando os dados coletados do perfil de uso na residência deste voluntário através do sistema e com a conta de energia elétrica, temos $\frac{3.73 \text{ kW}}{3.77 \text{ kW}} * 100 = 98,93\%$ de precisão.

A previsão de gastos exibida no aplicativo, demonstrada na Figura 12, foi de R\$127,81. O valor faturado para o consumo de energia em novembro/2021 recebido pelo voluntário foi de R\$126,60, conforme Figura 13.

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	112	1,13043802	126,60

Figura 13 - Fatura de energia voluntário 1

Na outra instalação realizada na casa do voluntário 2, com um perfil de consumo maior que voluntário 1, teve um consumo médio de 5,23 kW por dia nos últimos 90 dias, como demonstrado na Figura 14.

Mês/Ano	Consumo kWh	Média kWh/Dia	Dias
NOV/21	161	5,36	30
OUT/21	148	4,93	30
SET/21	173	5,40	32
AGO/21	176	5,67	31
JUL/21	192	6,19	31
JUN/21	174	5,80	30
MAI/21	158	5,64	28
ABR/21	184	5,57	33
MAR/21	161	5,36	30
FEV/21	154	5,50	28
JAN/21	164	4,96	33
DEZ/20	145	5,00	29
NOV/20	143	4,61	31

Figura 14 - Extrato de consumo do voluntário 2

Comparando com os dados coletados pelo sistema proposto. O valor de consumo diário obtido foi de 5,50 kW por dia, como mostrado na Figura 15.

Comparando os dados coletados do perfil de uso na residência deste voluntário 2 através do sistema e com a conta de energia elétrica, temos $\frac{5,23 \text{ kW}}{5,50 \text{ kW}} * 100 = 95,09\%$ de precisão.

A previsão de gastos exibida no aplicativo, demonstrada na Figura 15, foi de R\$186,48. O valor faturado para o consumo de energia em novembro/2021 recebido da concessionária pelo voluntário 2, foi de R\$181,98, conforme Figura 16.

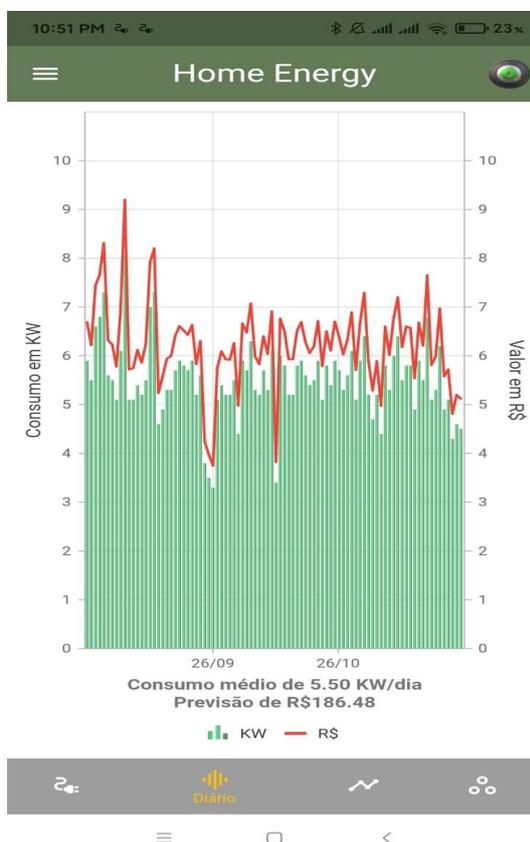


Figura 15 - Dados coletados sensor do voluntário 2

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	161	1,13043802	181,98

Figura 16 - fatura de energia do voluntário 2

A mesma tarifa por kW/hora da conta foi utilizada no sistema proposto para maior precisão na comparação entre os valores obtidos. Entretanto, o aplicativo permite realizar a alteração da tarifa na interface, possibilitando o usuário realizar a análise dos dados com exatidão, demonstrado na Figura 17.

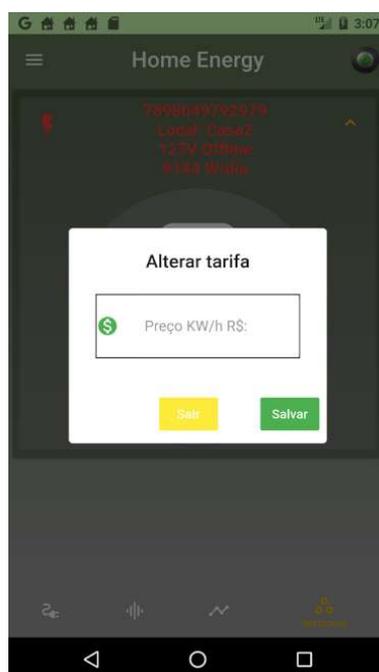


Figura 17 - Alteração da tarifa

4.5 Conscientização sobre o consumo

A interface do sistema proposto apresentou para ambos os usuários através de notificações alertas de consumo, como mostrado na Figura 18.



Figura 18 - Notificação por *push*

Esta notificação é exibida mesmo com o aplicativo fechado, possibilitando assim aos usuários terem consciência do consumo de energia elétrica em suas residências. Caso o usuário deseje consultar os valores gastos no consumo recebidos em notificações, continuará disponível na interface do aplicativo os registros das últimas 48 horas, como demonstrado na Figura 19.



Figura 19 - Registro de consumo por uso de chuveiro

O sistema possibilita ao usuário a verificação de consumo em tempo real, exibindo na interface do aplicativo os valores gastos no momento. Esta informação permite que o usuário tenha uma visão de quais equipamentos estão ligados no momento, permitindo que ele detecte se algum equipamento está consumindo além do esperado. Conforme a Tabela 1, o aplicativo mostra baseado em potência consumida os ícones com possíveis equipamentos ligados no momento da medição.

Após testes experimentais, com o intuito de limitar o envio de dados ao servidor sem que afetasse a exibição na interface, foi definido a quantidade de 20 medições a cada 3 segundos. Assim, o sistema exibe ao usuário as informações de forma clara e objetiva dos seus gastos de energia elétrica, para isto, basta que o usuário toque, na tela do seu dispositivo móvel, o botão da interface “ON” e “OFF” para desligar, como mostrado na Figura 20.

Tabela 1 - Possíveis equipamentos consumindo

Equipamentos	Consumo
Stand-by	0 a 50 Watts
Lâmpadas	51 a 100 Watts
TV + Lâmpadas	101 a 200 Watts
Freezer	201 a 400 Watts
Ferro de passar	401 a 1800 Watts
Chuveiro	Acima de 1800 Watts



Figura 20 - Consumo em tempo real

5. Conclusões

Ao relacionar o tema IoT aplicado a eficiência energética, pode-se observar aplicações como forma de solução para otimizar o gerenciamento de energia nas empresas ou residências. Desta forma, um sistema de monitoramento de energia desenvolvido com essa tecnologia, pode registrar e acompanhar os níveis de tensão, corrente e potência. Também é possível acumular o consumo de energia para visualização posterior e apresentar relatórios ao consumidor final, possuindo a vantagem de reduzir custos, identificar desperdícios e obter consciência sobre o consumo.

Diante disso, a proposta de desenvolver um dispositivo de simples instalação, custo acessível, preciso na medição dos valores medidos e com demonstração dos dados através de uma interface intuitiva foi alcançada.

Então, o objetivo de possuir um gerenciamento mais eficaz do consumo de energia, ocorreu através de dois voluntários que instalaram este dispositivo em suas residências e isso os permitiu ter uma estimativa de valor bem próximo do faturado pela concessionária de energia ao final do mês.

Assim sendo, o trabalho mostrou-se satisfatório e viável pois apresentou aferições próximas do valor real mensal consumido e mensurado pela concessionária, alcançando precisão dos resultados nas duas instalações acima de 95%. Além disso, o envio de mensagens consegue chamar a atenção do usuário ao despertar a consciência sobre o consumo exacerbado, fazendo-o otimizar o gerenciamento de sua energia elétrica residencial.

A aplicação do sistema na residência de um voluntário para monitoramento do chuveiro, provou apresentar pontos positivos quanto a conscientização da energia elétrica. Sendo relatado, os seguintes itens abaixo:

- Poder visualizar de forma interativa tanto o gasto em tempo real do equipamento ligado, como também o valor convertido em valor monetário.
- A facilidade em não ser necessário acessar o aplicativo para ver seu consumo.
- O recebimento de mensagens *push* no celular, aparelho do qual sempre está com o proprietário, facilitando sua leitura de forma simplificada e objetiva.
- A capacidade de identificar equipamentos defeituosos, usando como parâmetro algum consumo anormal.

Ao fazer a pesquisa de satisfação, pontos negativos também foram reportados, gerando *feedbacks* de melhorias, como a necessidade imprescindível de acesso à Internet durante 24 horas por dia, para uma coleta de dados eficaz. Por isso, em situações de ocorrência de falta de acesso, faz-se necessário reiniciar o *hardware* para restabelecimento do envio dos dados para o servidor novamente.

Por fim, após a aplicação deste projeto algumas sugestões para trabalhos futuros foram pensadas, sendo elas:

- Melhorar o *hardware* proposto para facilitar a instalação sem a necessidade de uma fonte externa.
- Realizar atualizações do firmware remotamente.
- Corrigir o problema de falhas da conexão de rede WiFi, sem a necessidade de reiniciar o dispositivo.
- Realizar monitoramento em redes bifásicas e trifásicas.
- Criptografar a comunicação do *hardware* até o *Firebase*.
- Bufferizar os dados do *device* para não os perder caso fique sem a conexão com a Internet.
- Permitir que o usuário insira um valor desejado de *trigger* para envio da notificação *push*.

6. Referências Bibliográficas

- [1] RN Rodrigues, RG Nagel e JK Jatta, "Sistema de supervisão de consumo de energia elétrica baseado em plataforma web," *2016 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109 / ARGENCON.2016.7585330.
- [2] G. Bedi, G. K. Venayagamoorthy and R. Singh, " Towards an Intelligent Power Network with Internet of Things (IoT)," *accepted for publication in Intelligent Systems Conference 2017*.
- [3] Y. K. Chen, "Challenges and opportunities of internet of things," *17th Asia and South Pacific Design Automation Conference, Sydney, NSW, 2012*, pp. 383-388.
- [4] R. Bigliani, J-F. Segalotto and G. Gallotti, "Shaping a New Battleground in the IoT Era: Highlights from the 2016 IDC Pan-European Utilities Executive Summit," *IDC Energy Insights*, June 2016.
- [5] G. Bedi, GK Venayagamoorthy, R. Singh, RR Brooks e K. Wang, "Review of Internet of Things (IoT) em Electric Power and Energy Systems," *no IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, não. 2, pp. 847-870, abril de 2018, doi: 10.1109 / IIOT.2018.2802704.
- [6] M. R. Hasan, E. Hossain, H. M. Resalat Faruque and T. Sultan, "IoT Based Smart Energy Management in Residential Applications," *2019 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology (ICASERT)*, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICASERT.2019.8934523.
- [7] M. Aboelmaged, Y. Abdelghani e MA Abd El Ghany, "Wireless IoT based metering system for energy eficiente smart cites", *2017 29th International Conference on Microelectronics (ICM)*, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109 / ICM. 2017.8268836.
- [8] R. Bharathi, "Power Consumption Monitoring System using IoT," *vol. 173, no. 5*, pp. 23–25, 2017.
- [9] S. K. S. Gunturi and M. S. K. Reddy, "IoT Based Domestic Energy Monitoring Device," *2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/I2CT.2018.8529756.
- [10] S. K. Vishwakarma, P. Upadhyaya, B. Kumari and A. K. Mishra, "Smart Energy Efficient Home Automation System Using IoT," *2019 4th International Conference on Internet of*

Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777607.

[11] M. Zouai, O. Kazar, B. Haba and H. Saouli, "Smart house simulation based multi-agent system and internet of things," *2017 International Conference on Mathematics and Information Technology (ICMIT)*, 2017, pp. 201-203, doi: 10.1109/MATHIT.2017.8259717.

[12] J. Jung, S. Chun and K. Lee, "Hypergraph-based overlay network model for the Internet of Things," *2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2015, pp. 104-109, doi: 10.1109/WF-IoT.2015.7389035.

[13] L. Salman et al., "Energy efficient IoT-based smart home," *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2016, pp. 526-529, doi: 10.1109/WF-IoT.2016.7845449.

[14] A. K. Gupta and R. Johari, "IOT based Electrical Device Surveillance and Control System," *2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/IoT-SIU.2019.8777342.

[15] L. C. Souza, J. J. P. C. Rodrigues, G. D. Scarpioni, D. A. A. Santos, V. H. C. de Albuquerque and S. K. Dhurandher, "An IoT Automated Curtain System for Smart Homes," *2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2018, pp. 249-253, doi: 10.1109/ICACCI.2018.8554650.

[16] S. Karimulla e K. Ravi, "A Review on Importance of Smart Grid in Electrical Power System", *2019 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, 2019, pp. 022-027, doi: 10.1109 /ICCPEIC45300.2019.9082355.

[17] MJ Jeffin, GM Madhu, A. Rao, G. Singh e C. Vyjayanthi, "Internet of Things Enabled Power Theft Detection and Smart Meter Monitoring System," *2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 2020, pp. 0262 -0267, doi: 10.1109 / ICCSP48568.2020.9182144.

[18] SK Vishwakarma, P. Upadhyaya, B. Kumari e AK Mishra, "Smart Energy Efficient Home Automation System Using IoT", *2019 4ª Conferência Internacional sobre Internet das Coisas: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*, 2019, pp. 1- 4, doi: 10.1109 / IoT-SIU.2019.8777607.

- [19] S. Karthikeyan e PTV Bhuvaneshwari, "sistema de monitoramento de medidor de energia residencial em tempo real baseado em IoT", *2017 Trends in Industrial Measurement and Automation (TIMA)*, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109 / TIMA.2017.8064790.
- [20] M. O. Onibonoje, "An IoT Design Approach to Residential Energy Metering, Billing and Protection," *2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422580.
- [21] S. Sarkar, S. Gayen and S. Bilgaiyan, "Android Based Home Security Systems Using Internet of Things(IoT) and Firebase," *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, 2018, pp. 102-105, doi: 10.1109/ICIRCA.2018.8597197.
- [22] Z. H. Che Soh, I. H. Hamzah, S. A. Che Abdullah, M. A. Shafie, S. N. Sulaiman and K. Daud, "Energy Consumption Monitoring and Alert System via IoT," *2019 7th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 2019, pp. 265-269, doi: 10.1109/FiCloud.2019.00044.
- [23] M. Stusek, J. Pokorny, P. Masek, J. Hajny and J. Hosek, "A non-invasive electricity measurement within the smart grid landscape: Arduino-based visualization platform for IoT," *2017 9th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*, 2017, pp. 423-429, doi: 10.1109/ICUMT.2017.8255171.