

Análise de consumo e simulação de tarifa branca: Abordagem utilizando medidor de energia IoT de baixo custo e aplicativo Mobile

Daniel de Souza Dias*. Me. Fábio Timbó Brito.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Maracanaú, CE Brasil

*(e-mail: daniel.souza.dias05@aluno.ifce.edu.br)

** (e-mail: fabio@ifce.edu.br)

Abstract: This paper presents the development of a power meter system to analyze the consumption profile of low voltage consumer units taking into consideration the actions to reduce the energy bill and make better use of electricity. For this purpose, the developed system is a low-cost single-phase digital meter combined with Internet of Things technologies that allow for correct measurement, data storage, remote monitoring of voltage, current, power, and energy consumption information. The methodology studies the historical data and simulates, through a mobile application, searching the tariff modality the consumer unit is best suited, either for the conventional tariff or for the white tariff. This paper presents hardware and applications that are used in this project system, followed by the analysis of its application in an average power consumer over 800 kWh/month, naming the strengths and limitations of this approach. Finally, simulations are performed to determine the better energy's tariffs to the power consumer.

Resumo: Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de medição de energia elétrica, com o propósito de analisar o perfil de consumo de unidades consumidoras de baixa tensão, permitindo a tomada de ações que visam a redução do faturamento mensal e o melhor aproveitamento de energia elétrica. Para este fim é desenvolvido um sistema que utiliza medidores digitais monofásicos de baixo custo, combinado com tecnologias em internet das coisas que permitem uma medição correta, o armazenamento de dados e o acesso remoto as informações de tensão, corrente, potência e consumo de energia. A metodologia consiste em analisar o histórico de dados e simular, através de aplicativo móvel, em qual modalidade tarifária a unidade consumidora melhor se adequa, seja para a tarifa convencional ou para a tarifa branca. Realiza-se uma apresentação dos materiais e ferramentas que compõem o sistema, seguidos de análise da sua aplicação em uma unidade com consumo médio de energia elétrica acima de 800 kWh/mês, levantando os pontos positivos e as limitações desta abordagem. Por fim, são efetuadas simulações que determinam se a unidade consumidora pode ou não se beneficiar da adesão de tarifa branca.

Keywords: Energy Meter; IoT; ESP32; White Tariff; Firebase.

Palavras-chaves: Medidor de energia; IoT; ESP32; Tarifa-Branca; Firebase.

1. INTRODUÇÃO

As unidades consumidoras de energia brasileiras, vem aos poucos sendo submetidas a novas regras de serviços de tarifação, seja por causa da produção de energias renováveis, ou por conta das mudanças de tarifas ocasionadas pelo estado da economia do país.

Segundo Danna et al. (2020), “Nos períodos mais secos do ano, o Operador Nacional do Sistema Elétrico aumenta a geração a partir de outras fontes mais caras, como as Usinas termelétricas, o que acarreta impactos para o consumidor e para as distribuidoras.” Esta variação no custo de produção de energia é repassada para o consumidor por meio das bandeiras tarifárias. É importante destacar que mesmo estas informações sendo descritas na fatura e disponíveis em vários canais de comunicação, o consumidor tem dificuldade em interpretar e transformar esses dados em algo útil, resultando por exemplo em economia de consumo de energia.

Uma forma atrativa e barata de reduzir despesas com energia é a mudança de contrato de consumo. Esta mudança visa

contratar tarifas mais econômicas de acordo com o perfil da unidade consumidora aplicando pouco investimento se comparado a outras possibilidades. Nesse contexto, a partir de 2018, segundo a ANEEL, iniciou-se a oferta da chamada tarifa branca. Focando nos consumidores residenciais, esta modalidade possui valores de tarifa distintos aplicados de acordo com intervalos do dia, beneficiando as unidades que consomem mais em horário que a tarifa é mais branda.

No trabalho de Limberger et al. (2014), é defendido que a análise da curva de carga do consumidor alinhado ao levantamento de equipamentos, potência e frequência de uso, permite o gerenciamento consciente de recursos e melhor aproveitamento dos benefícios da adesão a tarifa branca. Neste cenário conclui-se que nem todo consumidor será beneficiado por esta mudança de contrato, sendo o controle constante da frequência e distribuição de uso dos equipamentos eletrodomésticos essencial para garantir a redução constante das despesas com energia elétrica, mesmo após a adesão da tarifa branca.

Neste cenário, antes de optar por um novo contrato de tarifação, o consumidor precisa analisar seu consumo diário de energia elétrica. Uma vez que as leituras de consumo fornecidas pelas concessionárias, não refletem o comportamento da unidade consumidora ao longo do dia, surge a necessidade de utilizar instrumentos de medição específicos que podem ter custo elevado, ou até mesmo de contratar consultoria especializada, gerando despesas e tornando esta solução menos acessível aos consumidores residenciais.

Este trabalho descreve o desenvolvimento de instrumento de medição monofásico inteligente de baixo custo, capaz de enviar suas leituras para banco de dados remoto e ainda no desenvolvimento de aplicativo Android capaz de acessar esses dados e fornecer de forma automática simulação de faturamento caso haja adesão da tarifa branca.

Com o domínio das tecnologias *WiFi* e *Bluetooth*, os medidores de energia inteligentes podem causar impactos benéficos no gerenciamento de consumo, nas políticas de investimento da expansão do setor elétrico e na análise de qualidade de energia. Contudo o custo de aquisição destes medidores é obstáculo para sua difusão no mercado. O desenvolvimento de medidores inteligentes de baixo custo é uma tendência e objeto de estudo de vários autores, como é apresentado no trabalho de Lemos (2017).

O objetivo deste sistema é fornecer maior liberdade de gerenciamento ao consumidor de energia elétrica residencial, descartando ou reduzindo o custo final do contrato de consultoria especializada para análise de mudanças tarifárias.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção é feita breve apresentação dos materiais utilizados, assim como sua função específica. A escolha de cada dispositivo, teve como finalidade o menor custo final do sistema e facilidade na reprodução do projeto.

2.1 Medidor de Energia PZEM-016

Para efetuar as leituras de potência e consumo foi escolhido o medidor monofásico PZEM-016 da empresa Peacefair. Este dispositivo é capaz de medir tensão, corrente e potência, entre outras grandezas elétricas, e registra o consumo acumulado de energia elétrica durante seu uso. O dispositivo não possui display físico, sendo a única forma de acesso às leituras, realizada por meio do padrão físico RS-485 e do protocolo MODBUS RTU.

A Fig. 1 mostra o medidor PZEM-016 junto de seu transformador de corrente padrão. Este medidor é comumente comercializado junto de um transformador de corrente do tipo alicate ou do tipo toroidal.



Fig. 1 Medidor de energia elétrica monofásico PZEM-016.

Fonte: Autoria própria (2021)

Na Tabela 1 são listadas as especificações deste modelo de acordo com manual do fabricante (Peacefair, 2020). Embora se trate de um modelo de baixo custo, sua faixa de operação se encaixa na realidade de consumo de grande parte das residências brasileiras de baixa tensão, em fornecimento monofásico.

Tabela 1. Especificações do medidor PZEM-016

Parâmetro	Valor
Fabricante	Peacefair
Tensão de alimentação	80 ~ 260 Vac
Corrente máxima	100 A
Informações de saída	Tensão instantânea, corrente instantânea, potência ativa, consumo acumulado, Fator de potência, Frequência
Resolução de medição de potência ativa	0,1 W
Precisão de medição de potência ativa	0,5 %
Faixa de medição de potência ativa	0 ~ 23 kW
Faixa de registro de consumo	0 ~ 9999,99 kWh
Interface de Comunicação	Modbus RTU/RS-485

Fonte: Autoria própria (2021)

No âmbito de fornecer alternativas para a medição de energia através de medidores IoT, autores como Nascimento et al. (2020) e Costa et al. (2021) propõem sistemas baseados em medidores da do fabricante Peacefair devido ao seu custo acessível e facilidade de integração com o ESP32. Em seus trabalhos também é apresentado o baixo percentual de erro de medição do PZEM, quando comparado a outros dispositivos de medição já consagrados no mercado.

2.2 Microcontrolador Esp32

Tendo em vista a necessidade de adaptar o medidor para armazenar suas leituras, optou-se por utilizar o microcontrolador Esp32, fabricado pela Expressif, para armazenar os dados em nuvem via conexão *WiFi*, seguindo

tendências já adotadas em outros instrumentos de medição encontrados no mercado brasileiro.

A Fig. 2 apresenta a placa ESP-WROOM-32 utilizada ao longo deste trabalho. Esta plataforma foi escolhida pelo seu preço acessível, disponibilidade do mercado local, além de já possuir módulo *WiFi* embutido. Ele possui dois núcleos de processamento que permite a execução de tarefas simultâneas, fornecendo poder suficiente para receber os dados, empacotá-los no formato de salvamento desejado e realizar a escrita no banco de dados de forma remota.

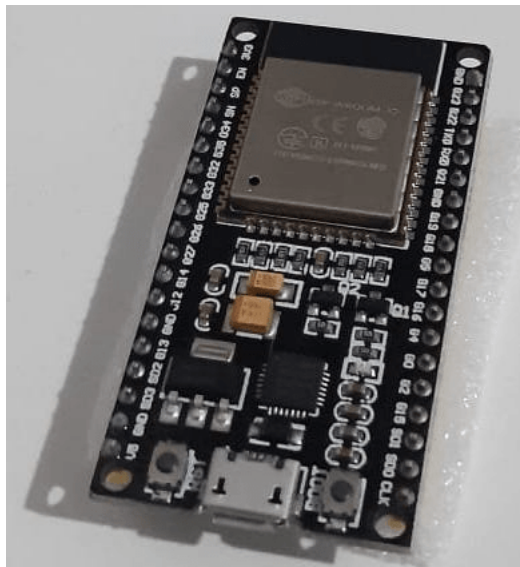


Fig. 2 Placa esp32.

Fonte: Autoria própria (2021)

2.3 Conversor TTL para RS-485

Visando a conexão do Esp32 no mesmo barramento de comunicação RS-485 que o medidor PZEM, foi escolhido o módulo conversor TTL para RS-485, similar ao da Fig. 3.

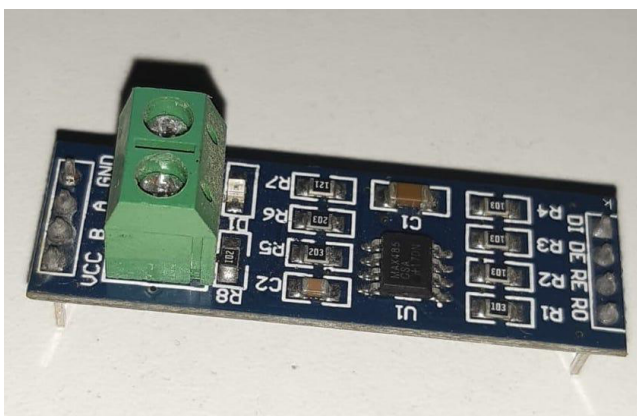


Fig. 3 Modulo conversor TTL para RS-485.

Fonte: Autoria própria (2021)

A Fig. 4 mostra o circuito completo da rede de comunicação. Nesta configuração o medidor transmite suas leituras para o barramento, recebidas pelo Esp32 através deste módulo conversor.

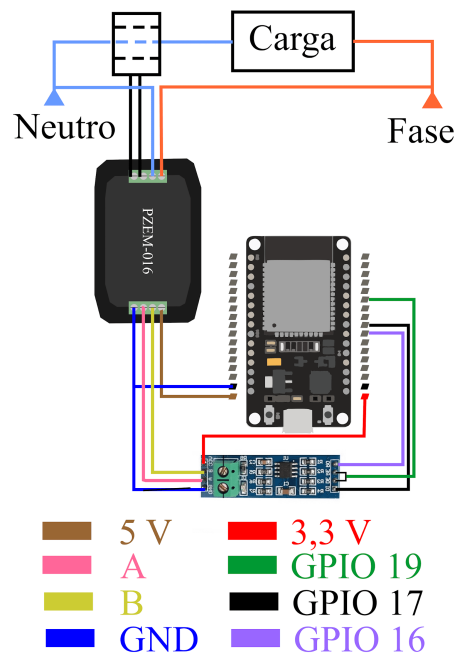


Fig. 4 Circuito completo da rede de Comunicação do sistema.

Fonte: Autoria própria (2021)

2.4 Banco de dados Firebase

Dentre as opções para armazenamento de dados, o Firebase se mostrou uma alternativa gratuita e de fácil integração com os dispositivos e aplicações do sistema. Este consiste em um banco de dados em nuvem desenvolvido e disponibilizado pela empresa Google. Seus principais serviços são o armazenamento em nuvem e a supervisão de dados em tempo real com bibliotecas de suporte para aplicações web, *mobile* e dispositivos similares ao Esp32.

Alguns serviços desta plataforma são disponibilizados em pacote gratuito mensal, uma vez ultrapassados os limites do pacote, para novas requisições de dados ou de armazenamento será cobrado uma taxa. Todo mês é oferecido um novo pacote de serviços gratuitos.

Na Tabela 2 constam as especificações do plano gratuito de acordo com site do desenvolvedor (Firebase, 2021). Para o estudo de caso proposto, o plano gratuito atende com folga todos os requisitos do sistema.

Tabela 2. Especificações do plano gratuito do Firebase

Parâmetro	Valor
Nome do plano	SPARK
Espaço de armazenamento	1 GB
Leituras por dia	50 mil
Gravações por dia	20 mil
Exclusões por dia	20 mil
Custo mensal	gratuito

Fonte: Autoria própria (2021)

Nos trabalhos dos autores Andrade (2021) e Costa et al. (2021), são apresentadas abordagens que se utilizam de APIs

e facilitadores para intermediar o armazenamento e acesso a banco de dados. Este tipo de configuração exige esforço e conhecimento específico para estabelecer um ambiente onde o dispositivo IoT possa armazenar ou consumir dados em nuvem. O Firebase, junto de biblioteca dedicada ao ESP32, abstrai essa etapa disponibilizando um banco de dados não relacional *serverless*, facilitando a implementação do projeto.

2.5 Aplicativo simulador de Tarifa Branca

Uma vez que as leituras sejam armazenadas em banco de dados ou repositório de fácil acesso, é possível realizar a manipulação destes através de planilhas, sites e até mesmo aplicativos genéricos. A fim de facilitar a vida do usuário, automatizar o processo de simulação de faturamento com Tarifa Branca e emitir um relatório intuitivo foi desenvolvido no decorrer deste projeto um aplicativo para dispositivos Android chamado EnergyApp.

Na Fig. 5, são ilustradas as telas principais do aplicativo, contendo as funcionalidades de login, visualização de leituras e simulação.

Com o aplicativo é possível verificar os valores atuais de tensão, corrente, potência ativa e consumo. É possível ainda verificar o custo proveniente do uso de energia elétrica acumulado no dia observado, de acordo com o valor da tarifa aplicada. Ao longo do aprimoramento futuro do projeto, é intenção do autor disponibilizar o aplicativo gratuitamente na loja de aplicativos Android.



Fig. 5 Telas do aplicativo EnergyApp (autoral).

Fonte: Autoria própria (2021)

3. Estudo de Caso e Resultados

Nesta seção, pretende-se apresentar o sistema de medição e simulação de faturamento em tarifa branca aplicado a um estudo de caso. O medidor foi instalado em uma unidade consumidora residencial possuindo as características da Tabela 3. O atual contrato de faturamento da unidade utiliza as tarifas convencionais e ao analisar o histórico dos últimos 12 meses de consumo da residência, fornecido pela concessionária, constatou-se um consumo médio de (800 kWh/mês). Trata-se de um imóvel, onde vive uma família de classe média com 8 pessoas.

Tabela 3. Características da residência em estudo

Parâmetro	Valor
Tipo de consumidor	Residencial
Tipo de alimentação	Monofásica
Tensão de fornecimento	220 V
Consumo médio mensal em 2020	800 kWh/mês
Quantidade de moradores	8
Quantidade de cômodos	9
Quantidade de Televisores	6
Quantidade de geladeiras	2
Quantidade de Máquina de lavar	1
Quantidade de ar-condicionado	1
Concessionária contratada	Enel Ceará
Contrato de tarifação atual	Convencional

Fonte: Autoria própria (2021)

A Tabela 4 lista os eletrodomésticos de maior consumo, junto da rotina de uso de cada equipamento no período de realização deste estudo. De acordo com as informações coletadas, é esperado que entre 18 e 21 horas o consumo de energia elétrica seja consideravelmente menor do que no resto do dia. Desta análise preliminar espera-se que a mudança para a modalidade tarifária branca seja benéfica, pois a maior parte do consumo se concentra durante o período de menor tarifa. Na seção dos resultados, estas constatações serão comparadas com os resultados da simulação.

Tabela 4. Rotina de uso de eletrodomésticos de maior consumo

Parâmetro	Quantidade	Uso
Televisores	6	Utilizados em horários variados ao longo do dia.
Geladeira	2	24 horas por dia.
Ar condicionado	1	Utilizado entre as 21:00 às 6:00 do dia seguinte.
Máquina de costura	3	Utilizada das 8:00 às 17:00 horas de segunda a sexta.
Máquina de lavar	1	Realizado ao menos 6 ciclos de lavagem por semana ao longo do dia.
Bomba elétrica	1	Utilizado frequentemente ao longo do dia.

Fonte: Autoria própria (2021)

As leituras foram efetuadas ao longo do mês de agosto de 2020, em intervalo de 30 dias. Ao fim da coleta de dados, com auxílio do aplicativo desenvolvido, foi realizada a simulação para avaliar se a adesão do contrato de tarifa branca resulta em redução de custos para o consumidor.

3.1 Configuração e instalação do PZEM

A instalação do PZEM é relativamente simples, podendo ser utilizado em quadros gerais de distribuição ou em circuitos individuais monofásicos. O medidor é alimentado diretamente na tensão alternada da rede, e seu transformador de corrente deve envolver um dos condutores fase ou neutro do circuito a ser registrado o consumo, como mostra a Fig. 6.

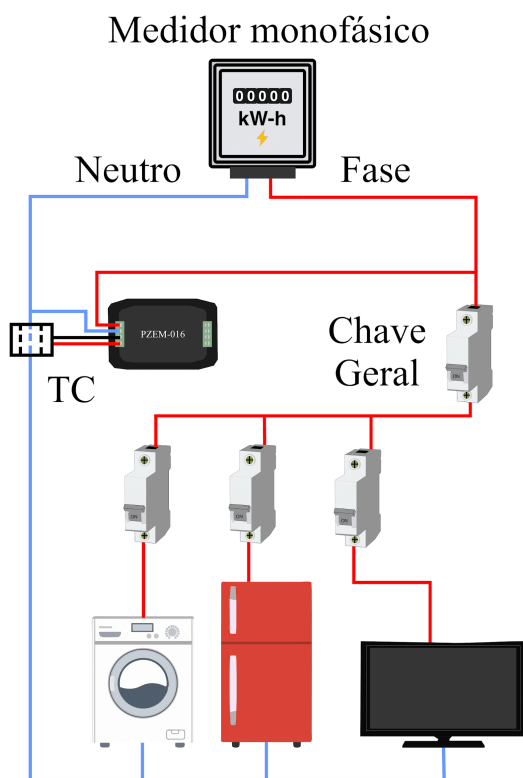


Fig. 6 Circuito exemplo de instalação do PZEM.

Fonte: Autoria própria (2021)

Nota-se que esta abordagem pode ser utilizada para analisar o consumo de equipamentos individuais, desde que se trate de carga monofásica com corrente máxima de operação de até 100 A.

3.2 Fluxograma de funcionamento do Esp32

O microcontrolador responsável pelo salvamento das leituras é programado de acordo com o fluxograma apresentado na Fig. 7. Periodicamente o dispositivo aguarda receber alguma mensagem no barramento, empacota as informações no formato exigido pelo banco de dados e os envia aos servidores do Firebase através de requisição HTTP.

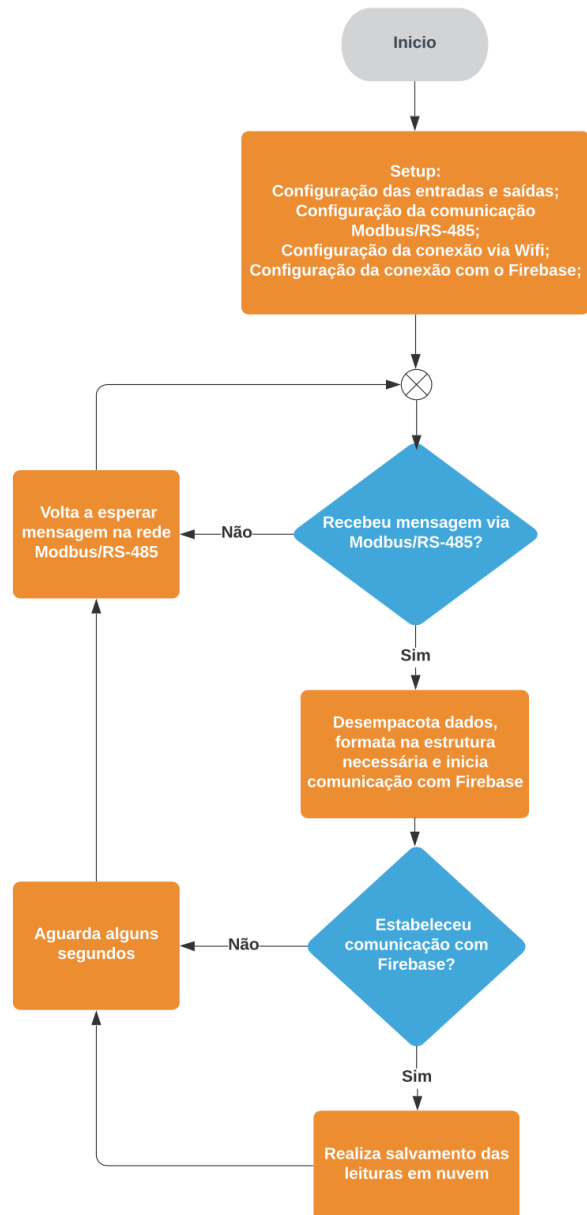


Fig. 7 Fluxograma da rotina de estruturação e salvamento de dados.

Fonte: Autoria própria (2021)

3.3 Circuito de conexão com Esp32

Após instalado o medidor, é preciso conectar ao circuito os dispositivos responsáveis por receber e armazenar as leituras em nuvem. Visando facilitar a instalação e manutenção do circuito, o Esp32 e o módulo conversor foram soldados em placa universal de forma compacta, como mostrado na Fig. 8. O circuito foi projetado para ser acoplado em cima do medidor PZEM, possibilitando a instalação completa do sistema físico dentro de uma caixa de disjuntores convencional.

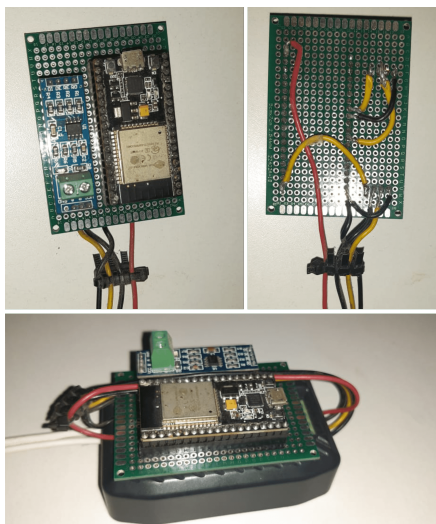


Fig. 8 Hardware completo montado em placa universal.

Fonte: Autoria própria (2021)

3.4 Configuração do Banco de dados

O fato do aplicativo Firebase ser um banco de dados não relacional, gerou a necessidade em organizar as leituras da seguinte forma: Para cada medidor do sistema, as leituras são separadas em coleções de acordo com o ano, mês e dia. A Fig. 9 mostra a estrutura do banco de dados utilizado neste trabalho. Esta configuração permite observar por exemplo todas as leituras de um dia específico, também é possível observar em tempo real qual a leitura mais recente salva no banco.



Fig. 9 Estrutura de salvamento de dados no Firebase.

Fonte: Autoria própria (2021)

Visando o armazenamento de dados que retratem com fidelidade, o comportamento da unidade consumidora ao longo do dia, respeitando os limites de serviço do plano gratuito do Firebase, se fez necessário definir um intervalo entre o salvamento de leituras. Em testes constatou-se que intervalos de até 15 minutos reduzem o uso dos serviços da plataforma, assim como a quantidade de informações a serem processadas em simulação, sem prejudicar os resultados. Contudo neste estudo de caso, foi escolhido amostragem em intervalos de 1 minuto, a fim de testar os limites de uso do plano gratuito.

3.5 Visualização e simulação de dados no aplicativo

Neste trabalho foi definido o uso do aplicativo EnergyApp, desenvolvido pelos autores, para processar as leituras de consumo, realizar simulações e fornecer um relatório contendo

comparativo de faturamento entre a tarifa convencional e a tarifa branca.

Para realizar a simulação de tarifa branca utiliza-se o aplicativo, onde através da tela inicial o usuário é direcionado para a tela de configuração, onde deve informar o período que foi efetuado as leituras, o valor das tarifas e caso houver a data dos feriados ocorridos neste intervalo.

A Fig. 10 exibe o relatório gerado pelo aplicativo ao analisar os dados do estudo de caso, considerando o intervalo de 01 a 31 de agosto de 2020. Note que o relatório fornecido estipula valores baseado apenas nas despesas provenientes do consumo de energia elétrica, sem considerar taxas de serviço, imposto e eventuais despesas previstas no contrato da unidade consumidora.

← Relatório de simulação	← Relatório de simulação
Relatório de simulação Modalidade atual: Tarifa Convencional Modalidade simulada: Tarifa Branca Período: 01/08/2020 - 31/08/2020 ----- Tarifas aplicadas: Convencional: R\$ 0.54645 Fora Ponta: R\$ 0.45600 Ponta: R\$ 1.16658 Intermediária: R\$ 0.72854 ----- Consumo do dia 01: consumo fora ponta: 23.977 kWh consumo intermediário: 1.609 kWh consumo ponta: 2.981 kWh consumo total: 28.57 kWh despesa com tarifa Convencional: R\$ 15.61 despesa com tarifa Branca: R\$ 13.03 ----- Consumo do dia 02: consumo fora ponta: 7.266 kWh consumo intermediário: 2.578 kWh consumo ponta: 4.209 kWh	consumo total: 36.31 kWh despesa com tarifa Convencional: R\$ 19.84 despesa com tarifa Branca: R\$ 19.82 ----- -----Conclusão----- Consumo Total: 935.70 kWh Consumo Total F.Ponta: 756.70 kWh Consumo Total Intermediário: 73.87 kWh Consumo Total Ponta: 105.14 kWh ----- Maior consumo Ponta: 5.69 kWh Maior consumo F.Ponta: 30.17 kWh Maior consumo intermediário: 3.50 kWh Maior consumo dia/mês: 36.67 kWh ----- Despesa Total com T.Convencional: R\$ 511.32 Despesa Total com T.Branca: R\$ 489.83 ----- --Modalidade com menor custo no mês-- Tarifa Branca Diferença de R\$ 21.49 ----- (Este valor reflete apenas despesas resultantes do consumo direto de energia. O valor da conta final é acrescido de taxas de serviço e impostos, de acordo com o contrato de fornecimento de energia)

Fig. 10 Relatório gerado pelo aplicativo simulando dados do estudo de caso.

Fonte: Autoria própria (2021)

3.6 Equações para simulação

As informações resgatadas do Firebase chegam no aplicativo separadas por dia, em agrupamentos de leituras contendo consumo de energia e sua data de registro. Para cada dia os dados foram ordenados de forma crescente a sua data, por fim gerou-se 3 coleções de dados: leituras realizadas no período Fora Ponta, leituras realizadas no período Intermediário e leituras realizadas no período de Ponta.

Na Tabela 5 é listado os períodos utilizados para separação dos dados de acordo com os horários estabelecidos pelo órgão brasileiro regulamentador para aplicação da tarifa branca (Aneel, 2021). Uma vez que as leituras estão ordenadas, o valor equivalente ao consumo daquele período é obtido pela operação do último valor de consumo da coleção subtraído pelo primeiro valor.

Tabela 5. Postos tarifários para aplicação de Tarifa Branca.

Denominação	Período
Horário Fora Ponta	00:00 às 16:29 e 21:31 às 23:59.
Horário Ponta	17:30 às 20:30.
Horário Intermediário	16:30 às 17:29 e 20:31 às 21:30.

Fonte: Autoria própria (2021)

A equação (1) descreve o cálculo base do consumo em determinado período.

$$kWh_{Período} = kWh_{Final} - kWh_{Inicial} \quad (1)$$

O consumo total do dia é definido pelo somatório do equivalente de cada coleção, como descreve a equação (2).

$$kWh_{dia} = kWh_{ForaPonta} + kWh_{Ponta} + kWh_{Int} \quad (2)$$

A despesa de cada período é calculada pela multiplicação do consumo pela respectiva tarifa em reais, como representa a equação (3).

$$D_{Período} = kWh_{Período} \cdot Tarifa_{P.Branca} \quad (3)$$

A despesa total do dia aplicada à Tarifa Branca é definida pelo somatório das despesas de cada coleção, como descreve a equação (4).

$$D_{DiaBranca} = D_{F.Ponta} + D_{Ponta} + D_{Int} \quad (4)$$

A despesa total do dia aplicada à tarifa convencional é definida pelo consumo total do dia multiplicado pela tarifa convencional, como descreve a equação (5).

$$D_{DiaConvencional} = kWh_{dia} \cdot T_{Conv} \quad (5)$$

A despesa total do mês aplicada à Tarifa Branca é definida pelo somatório das despesas de cada dia, como descreve a equação (6).

$$D_{MêsBranca} = \sum_{DiaInicial}^{DiaFinal} D_{DiaBranca} \quad (6)$$

A despesa total do mês aplicada à Tarifa Convencional é definida pelo somatório das despesas de cada dia, como descreve a equação (7).

$$D_{MêsConvencional} = \sum_{DiaInicial}^{DiaFinal} D_{DiaConvencional} \quad (7)$$

Durante os fins de semana e feriados a Tarifa Branca se mantém no valor da tarifa fora ponta independente do período do dia.

3.7 Resultados obtidos.

Durante o estudo de caso, foi coletado dados a respeito do consumo em quilowatt-hora em intervalos de 30 segundos. Estes dados foram utilizados em simulações através do aplicativo desenvolvido. Segundo dados fornecidos pela Enel (2020), foram utilizadas as configurações listadas na Tabela 6, para simular a adesão à tarifa branca.

Tabela 6. Configuração de simulação.

Parâmetro	Configuração
Período	01/08/2020 a 31/08/2020
Ferriados	nenhum.
Tarifa Convencional	R\$ 0,54645 por kWh
Tarifa Fora Ponta	R\$ 0,45600 por kWh
Tarifa Ponta	R\$ 1,16658 por kWh
Tarifa Intermediária	R\$ 0,72854 por kWh

Fonte: Autoria própria (2021)

A Tabela 7 lista o resultado da simulação fornecido pelo aplicativo. No intervalo de estudo, a mudança de contrato para a tarifa branca traria uma redução de R\$ 21,49 ao consumidor.

Tabela 7. Resultados da simulação.

Parâmetro	Valor
Maior consumo por dia	36,67 kWh
Maior consumo em Horário de Ponta	5,69 kWh
Maior consumo em Horário Fora Ponta	30,17 kWh
Maior consumo em Horário Intermediário	3,50 kWh
Consumo total do período de simulação	935,70 kWh
Consumo total do período de Ponta.	105,14 kWh
Consumo total do período de Fora Ponta.	756,70 kWh
Consumo total do período de Intermediário.	73,87 kWh
Despesa mensal com Tarifa Convencional	R\$ 511,32
Despesa mensal com Tarifa Branca	R\$ 489,83

Fonte: Autoria própria (2021)

Através da simulação é obtido que o maior consumo acumulado sob o intervalo da tarifa de fora ponta é de 30,17 kWh. Durante o levantamento inicial foi constatado que um ar-condicionado de consumo médio de 0,57 kWh, estipulado de acordo com dados do fabricante, está ligado diariamente de 8 a 9 horas durante o período de fora ponta. Isto significa que este eletrodoméstico foi responsável por aproximadamente 15,11% do consumo fora ponta no dia com maior valor registrado neste período.

O consumo total do sistema foi validado comparando a diferença entre o valor registrado no medidor da concessionária no início e no fim do período de estudo, gerando um percentual de erro aproximado de 0,93% no consumo acumulado mensal.

Vale ressaltar que esta abordagem permite o uso de medidores mais precisos desde que transmita as leituras de consumo via RS-485.

4. CONCLUSÕES

A partir do estudo de caso apresentado, constata-se que a abordagem deste projeto permite a coleta de dados de consumo de energia elétrica em unidades consumidoras residenciais monofásicas, facilita a disponibilidade dos dados em nuvem e possibilita o acesso e processamento dos mesmos através do aplicativo EnergyApp. Os resultados do estudo de caso mostram a capacidade da abordagem em avaliar quantitativamente o consumo de energia elétrica da unidade. Com a simulação conclui-se que a adesão ao contrato de tarifa branca resultaria em uma redução de R\$ 21,49 no período de análise. O levantamento inicial apontava o uso de ar condicionado como causa do alto faturamento mensal, contudo foi possível mensurar que o mesmo participa em aproximadamente 12,44 % do consumo diário da residência.

Para uma análise mais completa é indicado que o levantamento dos dados e simulações contemple o mínimo de 3 a 12 meses, comparando o desempenho individual de cada mês, evitando conclusões baseadas em dados que não refletem a sazonalidade do consumo da residência.

O *hardware* utilizado neste trabalho possui um custo médio aproximado de R\$ 290,00, considerando fornecedores locais. Contudo vale ressaltar que a escolha do medidor pode ser baseada no requisito de enviar dados de consumo seguindo protocolo Modbus RTU via rede RS-485. Existem vários modelos no mercado brasileiro que atendem esta especificação, tal como alguns medidores das empresas Schneider e da Panasonic, contudo são equipamentos de custo elevado.

O banco de dados em nuvem do Firebase oferece um plano de serviços gratuito que atende as necessidades do estudo de caso, contudo para replicar este projeto em escala industrial é interessante analisar outros pacotes de serviços que melhor se encaixem no padrão de consumo de dados e comportem maior espaço de armazenamento.

O aplicativo permite a simulação de adesão de Tarifa Branca, o que abstrai do usuário todas as particularidades de tratamento de dados e cálculos. O relatório gerado embasa a análise técnica, necessária para definir qual o contrato de modalidade tarifária melhor que se encaixa nos padrões de consumo da unidade, o que possibilita um menor custo mensal.

Uma limitação desta abordagem é a dependência de acesso a internet de forma constante. Uma alternativa proposta é adicionar um sistema de cartão de memória, que registra as medições e dispara uma rotina para salvar os dados em nuvem periodicamente, assim que for detectado conexão wifi. Desta forma é possível ainda garantir um backup local dos dados salvos em cartão micro SD.

Em estudo posterior, pretende-se avaliar este sistema para ligação em rede RS-485 junto a dispositivos interruptores, utilizando um único controlador para gestão de dados, armazenamento em nuvem e controle do acionamento de cargas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a minha família, amigos e professores por todo o apoio nesta jornada de aprendizado.

REFERÊNCIAS

- Andrade, L. H. O. (2021). Analisador de eficiência energética conectado à internet. Universidade Federal de Uberlândia. URL <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/31723>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- Aneel (2021). Tarifa Branca. URL <https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>. Acesso em: 14 fev. 2021.
- Costa, K. R., Antunes, F. L. M., Nascimento, A. J. P., Muniz, A. L., Castelo, R., Carvalho, G. M. C. P. (2021). MQTT based Monitoring and Management System for Distributed Generation Units. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Proceedings of the 13th Seminar on Power Electronics and Control. URL <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/21812>. Acesso em: 23 ago. 2021.
- Danna, d., Paiva, I. H. (2020). A economia comportamental e o aperfeiçoamento das bandeiras tarifárias da energia elétrica. Revista de gestão, economia e negócios (REGEN). URL <https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/regen/article/view/5154>. Acesso em: 24 fev. 2021.
- Enel (2020). Tarifas ENEL-CE. URL https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas_Enel.html. Acesso em: 20 out. 2020.
- Firestore (2021). Firestore Pricing. URL <https://firebase.google.com/pricing?hl=pt-br>. Acesso em: 14 fev. 2021.
- Lemos, I. P. (2017). Medidor de Energia para Avaliação da Adesão à Tarifa Branca em Smart Grids. URL <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/923/2/IVAN%20PEDROTTI%20LEMONS.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2021.
- Limberger, M. A. C., Souza, R. C., Calili, R. F. (2014). Estudo da tarifa branca para classe residencial pela medição de consumo de energia e de pesquisas de posse e hábitos. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ). URL <http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2014/pdf/arq0254.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2021.
- Nascimento, B., Diógenes, D. P. D. (2020). Medidor de Grandezas Elétricas com Acesso Remoto. Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). URL <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/r4em/article/view/9600/10322>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- Peacfair (2018). PZEM-014/016 AC Communication module. URL <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81GtKIoyZaL.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.