

Metodologia para Gerenciamento e Manejo de Carga Aplicada a Consumidores Residenciais com Geração Distribuída

*Andrei da Cunha Lima. **Laura Lisiane Callai dos Santos.

*Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, RS.
(e-mail: cunhalimaandrei1@gmail.com)

**Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul, RS.
(e-mail: laura.santos@ufsm.br)

Abstract: This work aims to develop a methodology for managing, forecasting and handling the load of single-phase residential consumers that have distributed generation with storage (battery bank) and that are framed in the white tariff modality. A server was developed in conjunction with a database for storing and handling customer data, such as voltage and current, from photovoltaic generation, the utility network and the battery bank, obtained in a period of 5 minutes between measurements. An internet of things (IOT) microcontroller is used to employ the proposed methodology, using an electronic circuit to perform data collection and communication with the server. Through the user's load curve, the current energy requirement and the level of energy in the batteries, the system is responsible for carrying out the user's intelligent load management, acting in a more economically advantageous way. In load management, the server assesses the user's current energy needs and their instant photovoltaic generation. According to the energy requirement and how much power the user is generating, the server manages the load through solid state relays connected at the utility's network input, at the photovoltaic generation output and between the battery bank and the inverter.

Resumo: Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para o gerenciamento, previsão e manejo de carga de consumidores residenciais monofásicos que possuam geração distribuída com armazenamento (banco de baterias) e que estejam enquadrados na modalidade tarifária branca. Foi desenvolvido um servidor em conjunto com um banco de dados para armazenamento e manejo de dados do cliente, como tensão e corrente, proveniente da geração fotovoltaica, da rede da concessionária e do banco de baterias, obtidos em um período de 5 minutos entre medições. É utilizado um microcontrolador *internet of things* (IOT) para empregar a metodologia proposta, utilizando um circuito eletrônico para realizar a coleta dos dados e a comunicação com o servidor. Através da curva de carga do usuário, da necessidade energética atual e do nível de energia nas baterias, o sistema fica responsável por realizar o manejo inteligente de carga do usuário, atuando de maneira mais vantajosa economicamente. No manejo de carga, o servidor avalia a necessidade energética atual do usuário, e sua geração fotovoltaica instantânea. De acordo com a necessidade energética e com quanto o usuário está gerando de energia, o servidor realiza o manejo da carga através de relés de estado sólido ligados na entrada de rede da concessionária, na saída da geração fotovoltaica e entre o banco de baterias e o inversor.

Keywords: Database; Distributed Generation; Load Handling; Server; White Tariff.

Palavras-chaves: Banco de Dados; Geração Distribuída; Manejo de Carga; Servidor; Tarifa Branca.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) no Brasil é, em sua maioria, atendido por energia proveniente de hidrelétricas. Porém, ao decorrer dos últimos 10 anos, a geração fotovoltaica vem ganhando grande destaque, devido ao grande potencial de geração solar em contexto nacional.

Do ponto de vista do consumidor, a energia solar é uma alternativa frente ao custos da energia elétrica atualmente no país, e uma forma de investimento a longo prazo. Por outro lado, do ponto de vista da concessionária, é vantajoso pela possibilidade da descentralização da carga.

Uma outra medida adotada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e pelas concessionárias é a possibilidade de implantação da tarifa branca. Esta medida, possibilita que, nos horários de maior carregamento do sistema da concessionária,

consumidores residenciais diminuam seu consumo de energia, diminuindo assim a carga do sistema.

A tarifa branca é uma oportunidade para o consumidor reduzir os custos com a conta de energia. O consumidor pode optar pela tarifa branca e pagar uma taxa menor no período onde o carregamento do sistema da concessionária é menor, horário conhecido como fora ponta, em contrapartida, pagar mais nos horários de maior carregamento do sistema, conhecido como horário de ponta (ANEEL, 2015).

Atualmente, no cenário energético brasileiro, sistemas fotovoltaicos estão tornando-se cada vez mais atrativos economicamente. Tais sistemas possuem vantagens, tanto para o consumidor, quanto para a concessionária. De acordo com Benedito (2009), a principal vantagem de sistemas

fotovoltaicos conectados à rede para a concessionária é a possibilidade de gerenciar a demanda de forma descentralizada. No ponto de vista de mercado, segundo Machado (2015), o Brasil é um país privilegiado no contexto de energia fotovoltaica por possuir elevados índices de radiação solar em todo seu território, possuindo uma média anual de 1200 a 2400 kWh/m²/ano.

Visto ao crescente avanço da energia fotovoltaica no Brasil, além da possibilidade da adesão do consumidor residencial à tarifa branca, um sistema capaz de monitorar e tomar decisões torna-se atrativo, pelo fato de ser uma área totalmente inexplorada, com poucos trabalhos englobando esses dois termos em destaque no país. Anesi (2017) afirma que a principal finalidade da criação da tarifa branca é aliviar o sistema elétrico de potência do país nos horários de ponta, portanto, um sistema que faça um manejo consciente de energia torna-se interessante do ponto de vista de consumo.

Além disso, um sistema capaz de prever o montante de energia que o usuário irá gerar na próxima hora pode ocasionar em uma eficiência de energia elétrica, reeducando os hábitos de gasto de energia do consumidor. Conforme Pires (2016), ferramentas voltadas à geração e à previsão de geração fotovoltaica pode servir de auxílio para a crescente utilização desta forma de energia no país.

Com o avanço dos incentivos para adoção de micro geração em âmbito nacional, estão surgindo no mercado produtos que aliam micro geração distribuída com automação residencial, possibilitando ao usuário destes sistemas o total controle e manejo de energia em sua residência.

O termo automação vêm, gradativamente, tornando-se assunto de estudo e pesquisa no âmbito nacional e mundial. Enquanto que na indústria estão sendo difundidos os conceitos da indústria 4.0, no meio residencial, o consumidor está cada vez mais propenso a investir em automação residencial: a famosa domótica.

No trabalho apresentado por Ribeiro (2018), é realizado um estudo sobre os benefícios e vantagens de se utilizar automação residencial. O autor propõe um sistema de automação para uma residência tipo *loft*, através de microcontroladores programáveis, cabeamentos, e uma rede de comunicação tipo *Local Area Network* (LAN), com a finalidade de realizar a troca de informações entre os dispositivos. A automação proposta no trabalho foi instalada em “quadros de automação”, que são os sistemas de controle, onde ficam concentrados os microcontroladores responsáveis pela inteligência do sistema de domótica.

Atualmente, com o avanço da internet e com o grau de conectividade e acessibilidade que esta ferramenta oferece aos usuários, o conceito de *internet of things* (IOT) em conjunto com a domótica está se difundindo tanto no mercado mundial como no nacional. Redes inteligentes de informação, servidores e bancos de dados estão sendo paulatinamente incorporados no meio residencial, não restringindo-se apenas ao meio industrial.

Frente à tal perspectiva, o trabalho propõe um sistema inteligente de gerenciamento de carga do consumidor residencial. O sistema proposto conta com um servidor, um

banco de dados para armazenamento de informações dos usuários, um microcontrolador que irá conectar-se à rede Wi-Fi local e enviar informações ao servidor, e uma interface web, com gráficos e informações a respeito do manejo de carga realizado. Além disso, o sistema contará com um método de previsão de geração de energia solar, ou seja, o sistema irá prever quanto a geração distribuída irá gerar na próxima hora, com o intuito de melhorar ainda mais o manejo de energia da residência. Para o consumidor, é interessante conhecer o fluxo de potência em sua residência, com o intuito de saber quando a geração fotovoltaica está suprindo a demanda total da casa, e quando está sendo utilizada energia proveniente da rede da concessionária.

2. METODOLOGIA

A implantação da tarifa branca juntamente com geração distribuída com banco de baterias pode trazer benefícios financeiros para o usuário do sistema. A metodologia de inserção do sistema proposto no sistema de geração pode ser observado na Fig. 1.

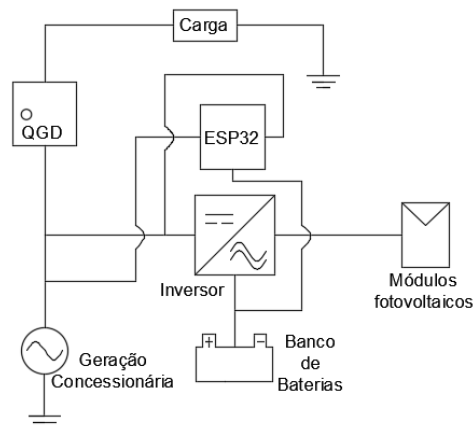


Fig. 1- Sistema de manejo e monitoramento proposto.

Todos os dados coletados instantaneamente, tais como tensão e corrente do banco de baterias, da saída do inversor e da entrada de rede da concessionária são enviados ao servidor, que fica responsável por salvar os dados, e tomar ações de gerenciamento de carga, de acordo com a necessidade energética do usuário e de acordo com a previsão de geração de energia na próxima hora. Esta decisão é enviada ao microcontrolador, sendo que este fica responsável por chavear relés de estado sólido que ficam alocados na geração, no banco de baterias e na rede da concessionária de energia, com o intuito de utilizar a energia elétrica de maneira mais eficiente e reduzir custos.

2.1 Programação do Servidor

Inicialmente foi realizado a programação do servidor. O servidor é responsável por realizar manejo das informações provenientes do microcontrolador, e salvar os dados em um banco de dados.

De acordo com a Fig. 2, existem 4 etapas dentro da programação do servidor. A elaboração da parte lógica consiste em de que forma o servidor realizará o manejo de carga do usuário através dos relés de estado sólido. A parte lógica do servidor visa reduzir os custos da energia, realizando o manejo da maneira mais rentável possível, de acordo com o horário e com a curva de demanda do consumidor. Todo o projeto foi desenvolvido através do software Sublime Text 3, que é um bloco de notas que suporta programação em Python. O microframework utilizado para programação foi o Flask, que possibilita uma programação baseada em rotas de dados.

O segundo bloco representa a elaboração da comunicação servidor – microcontrolador. O protocolo de comunicação utilizado é o HTTP, protocolo largamente empregado na comunicação de navegadores de internet. O microcontrolador envia uma requisição POST para o servidor com as medições de energia realizadas na residência. Posteriormente, o servidor salva essas informações no banco de dados, e retorna uma resposta ao microcontrolador. Caso o servidor tenha sucesso em salvar os dados no banco de dados, a mensagem enviada de volta ao microcontrolador será “ok”. Caso contrário, a mensagem de resposta será “fail”.

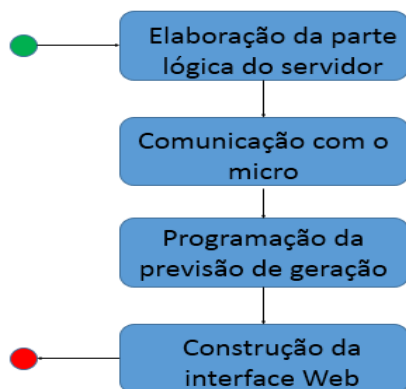


Fig. 2 - Etapas da programação do servidor.

O terceiro bloco, Fig 2, representa a programação da previsão de geração. O sistema contará com um mecanismo que possibilita estimar a geração fotovoltaica do usuário com uma hora de antecedência, de acordo com sua localização geográfica, umidade, radiação e temperatura instantâneas. A programação da previsão de geração do sistema é realizada através da lógica empregada no trabalho de Pires (2016), sendo que a potência máxima de um painel fotovoltaico é calculada computacionalmente através de (1), onde a potência máxima de um painel, ($P_{MÁX}$), é dado em função da potência em condições de teste do painel, (P_{STC}), irradiação solar instantânea G_i , irradiação instantânea em condições de teste G_{STC} , temperatura instantânea T_i , temperatura em condições de teste T_{STC} , e o coeficiente de temperatura γ , que varia de $-0,005^{\circ}C^{-1}$ a $-0,003^{\circ}C^{-1}$. O banco de dados contará com dados de geração fotovoltaica tabelados, baseados na temperatura, umidade relativa e radiação solar. Com esse banco de dados, e na temperatura, umidade e radiação solar instantânea, será possível realizar a previsão da geração fotovoltaica para a residência em questão.

$$P_{MÁX} = P_{STC} \times \frac{G_i}{G_{STC}} [1 - \gamma(T_i - T_{STC})] \quad (1)$$

Por fim, de acordo com o quarto bloco, foi realizada a construção da interface web, na qual apresenta todos os dados referentes às medições realizadas instantaneamente na residência, além de históricos de dados, que podem ser consultados pelo usuário a qualquer momento.

O menu principal conta com três outros menus, que possibilita ao usuário acompanhar o fluxo de potência proveniente do seu sistema de geração distribuída, banco de baterias, e rede da concessionária em tempo real.

A Fig. 3 apresenta a forma como é realizada a comunicação com o microcontrolador e a inserção de dados no sistema, e de que forma o servidor opera.

O primeiro passo é a coleta de dados do microcontrolador. Os dados referentes à corrente proveniente da concessionária, tensão da concessionária, corrente e tensão dos módulos fotovoltaicos, bem como corrente e tensão do banco de baterias são medidos e enviados ao servidor. Posteriormente, o servidor valida se o microcontrolador está registrado no banco de dados, ou seja, se existe um cliente cadastrado na interface web para aquele microcontrolador. Se houver um cadastro no banco de dados, o servidor salva os dados provenientes do usuário e realiza uma previsão do montante de energia os módulos fotovoltaicos poderão gerar uma hora a frente. Caso não houver um cadastro, o servidor espera o cliente realizar o cadastro do microcontrolador através de um computador ou celular, e posteriormente valida os dados enviados.

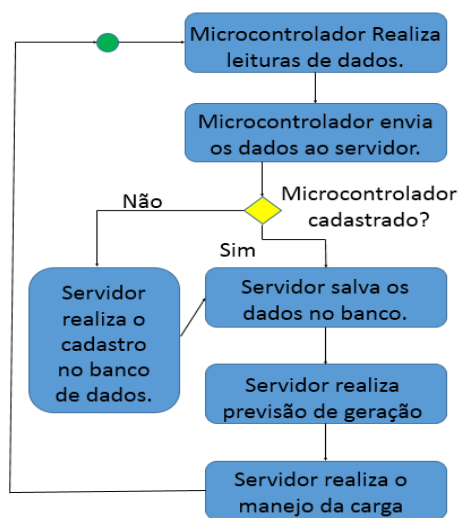


Fig. 3 - Comunicação entre servidor - microcontrolador.

Quanto ao manejo de carga, o servidor seguirá a lógica apresentada nos fluxogramas apresentados na fig.4, fig.5 e fig.6.

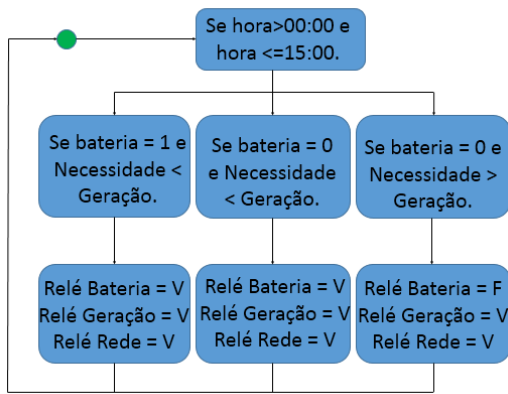


Fig. 4 - Manejo de carga das 00:00 às 15:00.

Conforme a Fig. 4, o elemento comparativo para o servidor realizar o manejo será a bateria: Se a bateria estiver carregada e a necessidade energética do usuário for menor que a geração fotovoltaica, todos os relés serão ligados.

Caso a bateria esteja descarregada e a necessidade for maior que a geração, todos os relés serão ligados também, de forma a carregar a bateria.

Caso a bateria esteja descarregada, e o cliente necessite de mais energia do que está gerando, é deixado a carga da bateria para depois, e são mantidos ligados os relés da geração e da rede da concessionária, pois a geração da residência não será suficiente para suprir a demanda.

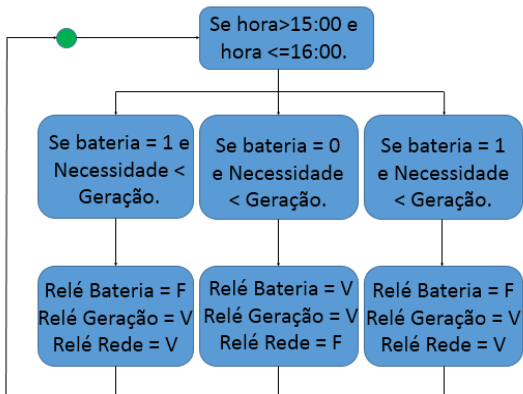


Fig. 5 - Manejo de carga das 15:00 às 16:00.

O manejo de carga das 15:00 até as 16:00, Fig. 5, será fundamentado no nível da bateria também. Porém, diferente do anterior, neste horário, o sistema tenta carregar o banco de baterias se o mesmo encontra-se descarregado, ou manter ele carregado, para utilizar a sua energia no horário de ponta.

Na faixa de horários da Fig. 6, também é priorizado a carga da bateria. Em todos os casos, não será utilizada energia proveniente das baterias, mesmo que o banco esteja totalmente carregado. Isto garante que as baterias estejam carregadas durante o horário de ponta do SEP.

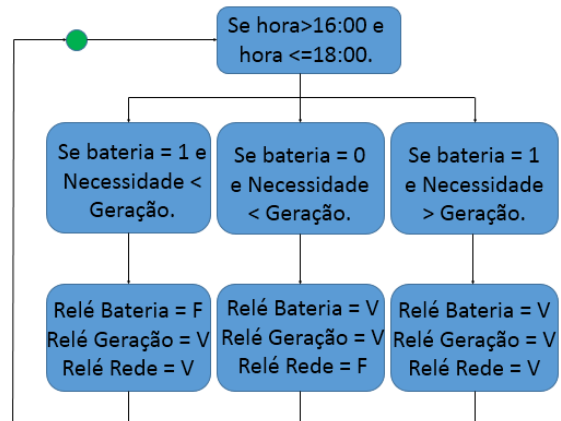


Fig. 6 - Manejo de carga das 16:00 às 18:00.

Por fim, das 18:00 horas até as 00:00, conforme Fig. 7, o sistema tentará não utilizar energia proveniente da concessionária, através do banco de baterias e da geração fotovoltaica. Desta forma, a energia da concessionária não será utilizada, e o consumidor poderá utilizar a energia proveniente totalmente do banco de baterias e da sua geração.

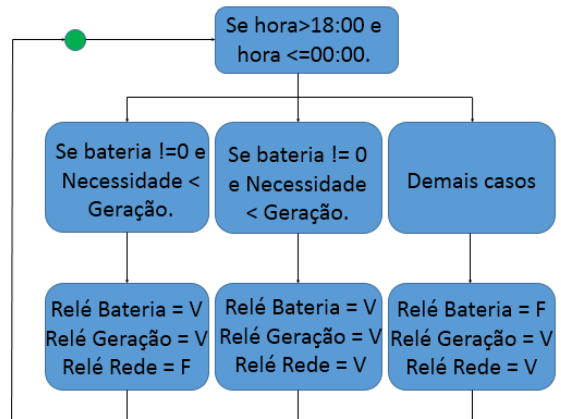


Fig. 7 - Manejo de carga das 18:00 às 00:00.

Após a programação do servidor, o segundo passo da Fig. 2 consistiu em realizar a programação do microcontrolador, equipamento que ficará responsável pela troca de informações entre o sistema da residência e o servidor.

2.2 Programação do Microcontrolador

A segunda etapa da metodologia proposta, Fig. 2, é a programação do microcontrolador. O microcontrolador escolhido para realizar as medições e o gerenciamento de carga do usuário é o ESP32. Este microcontrolador foi escolhido devido à sua versatilidade: ele já apresenta conexão *Wi-Fi* em seu *Chip*, além de possuir um processador extremamente poderoso e veloz. Além disso, o mesmo possui *Bluetooth Low Energy*, o que possibilita a integração com celulares, *tablets*, etc. O diagrama de fluxo da Fig. 8 apresenta o fluxo de ações que serão desenvolvidas na programação do ESP32.

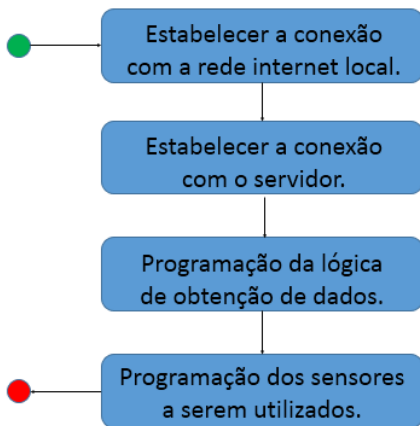


Fig. 8 - Diagrama de fluxo da programação do ESP32.

Logo após a validação da conexão, será desenvolvida a comunicação com o servidor. Como mencionado, a comunicação será realizada através do protocolo HTTP. O microcontrolador ficará responsável por enviar os dados provenientes das medições ao servidor. O microcontrolador enviará os dados através de um JSON, que é um tipo de protocolo de mensagens entre máquinas.

Os dois últimos blocos serão executados em conjunto. A obtenção de dados, apresentada no terceiro bloco, representa a programação referente à obtenção da tensão, corrente e fator de potência da rede elétrica. Basicamente, o microcontrolador ficará responsável por obter dados de 3 fontes: concessionária, banco de baterias e geração fotovoltaica. O esquema de ligação do microcontrolador inserido no circuito da residência está representado na Fig. 1.

De acordo com a Figura 1, o microcontrolador ficará responsável por monitorar a tensão e a corrente em 3 pontos: na geração da concessionária, na saída do inversor, e no barramento do banco de baterias. Em todos estes pontos, haverá sensores de corrente e tensão, além de 3 atuadores para comutação de carga.

A Fig. 9 representa a forma de comunicação entre o microcontrolador – servidor – banco de dados – usuário.

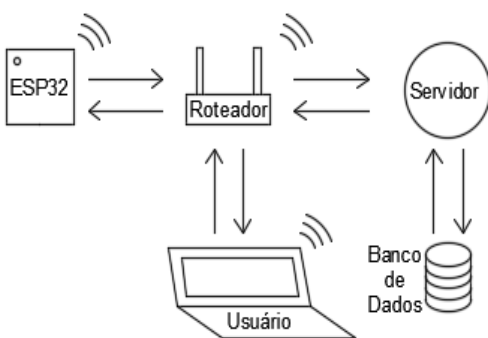


Fig. 9 - Fluxo de informações do sistema proposto.

Conforme a Fig. 9, o fluxo de comunicação entre todos os dispositivos é bidirecional, e o método de comunicação é sem fio. O microcontrolador ficará responsável por coletar os dados e enviá-los ao roteador da casa. O roteador tem a função de realizar a comunicação entre a rede local do usuário com a rede global de internet. Ele realiza a comunicação ESP32 – Servidor, como também a comunicação Cliente – Servidor. O servidor recebe os dados provenientes do roteador da residência, e os salva em um banco de dados. Através da lógica de programação do servidor, o mesmo envia uma resposta ao roteador, e por fim este fica responsável de entregar esta informação ao microcontrolador.

Após a validação da lógica de funcionamento do servidor, foi realizado o projeto do circuito eletrônico, para realização das medições práticas que serão enviadas ao servidor para o manejo, e chaveamento dos relés de estado sólido.

2.3 Circuito Eletrônico

Depois da construção e programação do servidor e do microcontrolador, foi elaborado um circuito eletrônico. O circuito eletrônico foi projetado e validado através do software de simulação Proteus. A Fig. 10 apresenta todos os componentes utilizados para implementação do circuito eletrônico.

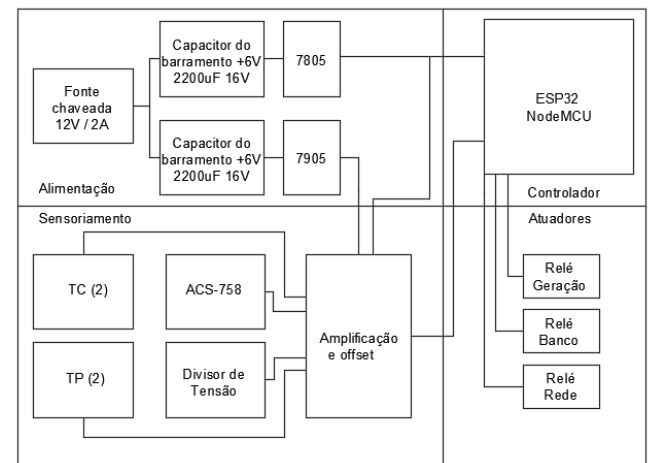


Fig. 10 - Diagrama com os componentes do sistema.

Como pode ser observado na Fig. 10, o circuito é subdividido em alimentação, sensoriamento, controle e atuadores. O circuito de alimentação consiste em uma fonte chaveada de 12V e 2A, capacitores de barramento para criar uma tensão simétrica de 6V. Esta tensão, por sua vez é aplicada a reguladores de tensão, e posteriormente a um filtro de espúrios com capacitores cerâmicos.

A tensão simétrica é necessária para alimentar o circuito de amplificação e *offset*, que consiste em um amplificador operacional TL074, e um amplificador operacional TL072. Todo o projeto de ganho e *offset* dos amplificadores foi realizado através da análise da malha de controle do amplificador, utilizando a metodologia do curto-circuito virtual das entradas. Os sinais aplicados aos amplificadores são provenientes dos sensores utilizados para medição das grandezas elétricas: dois transformadores de corrente e dois transformadores de tensão para a medição de grandezas

alternadas, e um ACS758 com buffer de tensão e um sensor de tensão desenvolvido com optoacoplador TIL111, divisor resistivo e buffer de tensão para medição de grandezas contínuas, provenientes do banco de baterias.

Os 6 sinais de tensão são posteriormente enviados ao microcontrolador ESP32, que foi programado em C para manipulação das variáveis envolvidas. Posteriormente, estas informações são enviadas ao servidor, que realiza a lógica de manejo de carga, e devolve a resposta ao microcontrolador instantaneamente.

A informação devolvida ao microcontrolador é utilizada para chavear os relés de estado sólido, de acordo com as Figuras de manejo dos relés, apresentadas anteriormente neste trabalho.

Após a realização do projeto, através de equacionamento de ganho, offset e esforços nos componentes, foi elaborado o circuito eletrônico do sistema proposto. A Fig. 11 apresenta a disposição física dos componentes do circuito eletrônico implementado.

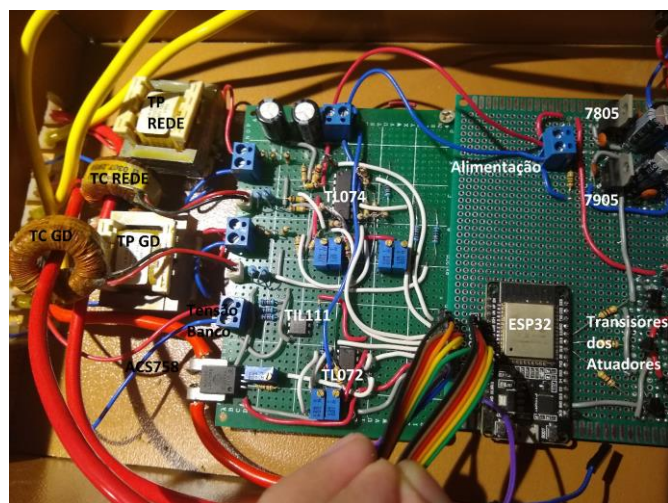


Fig. 11 - Circuito eletrônico implementado.

O circuito foi submetido a 2 tipos de teste: testes de conexão com o servidor e envio de dados, e testes de precisão das medições. O teste de envio de informações apresentou resultados satisfatórios, mostrando que a taxa de transmissão de pacotes entre servidor – microcontrolador foi estabelecida em torno de 0,3 segundos.

Os resultados obtidos no segundo teste, a respeito da precisão do circuito, está representado na Tabela 1.

Tabela 1 - Medições práticas realizadas no circuito.

| | TP | TC | Sensor de Tensão DC |
|------------------|-------------|-------------|---------------------|
| Faixa de medição | 218V - 230V | 2,6A – 8,6A | 45,2V - 54 V |
| Erro máximo | 0,176% | 1,56% | 1,64% |

Conforme pode ser observado na Tabela 1, o erro máximo de medição de tensão para os transformadores de potencial, (em relação à um multímetro profissional Minipa ET-3702A), foi de 0,176%, mostrando que o sistema realmente apresentou precisão na leitura de tensão alternada.

Considerando medições de corrente alternada, o erro máximo registrado foi de 1,56%.

No sensor de tensão que foi utilizado para medições de tensão contínua do banco de baterias, foi registrado um erro de 1,64%. De acordo com esses dados, observa-se que o circuito de sensoriamento proposto apresenta valores precisos de medições em comparação a um modelo comercial de medidor de tensão e corrente. Em seguida, foi elaborado um estudo de caso para validar o comportamento do servidor em conjunto com o microcontrolador.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso realizado para comprovar a eficácia do funcionamento da metodologia foi baseado em um consumidor residencial que consome um montante de energia superior aos 500kWh ao mês. A curva de carga do usuário do sistema considerada para o estudo está representada na Fig. 12. Observa-se que nos horários de ponta do sistema é onde ocorre a maior demanda de energia. Através do sistema fotovoltaico e do banco de baterias, o consumo de energia elétrica proveniente da rede de energia da concessionária diminuirá.

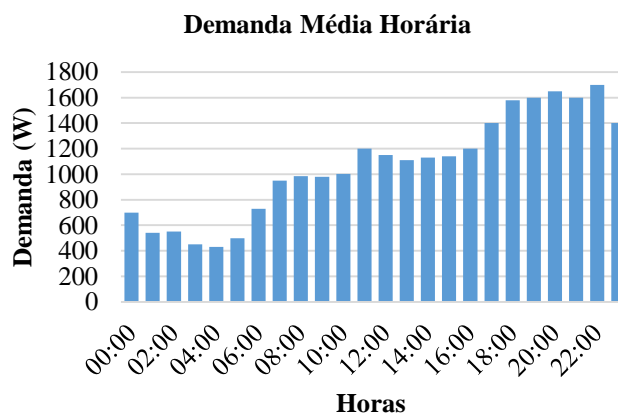


Fig. 12 - Necessidade energética diária.

Para esse perfil de consumo, foi considerado um banco de baterias de 3kWh, e um arranjo de 15 módulos fotovoltaicos de 250W.

A carga do banco de baterias, Fig. 13, foi baseada para atender à necessidade energética do consumidor no horário de ponta, horário em que o valor da energia proveniente da concessionária é mais elevado (das 18h às 22h).

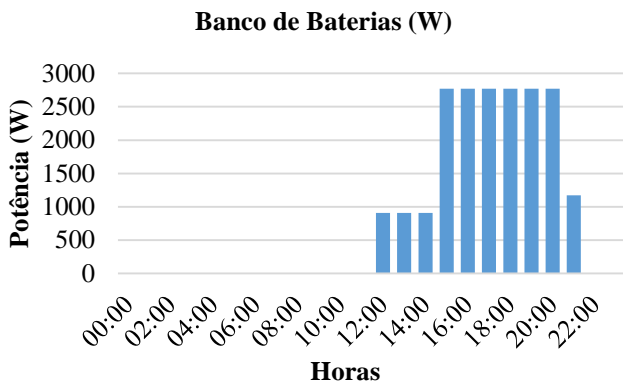


Fig. 13 - Manejo do banco de baterias.

A Fig. 14 mostra o gráfico da potência entregue pela geração distribuída à residência.

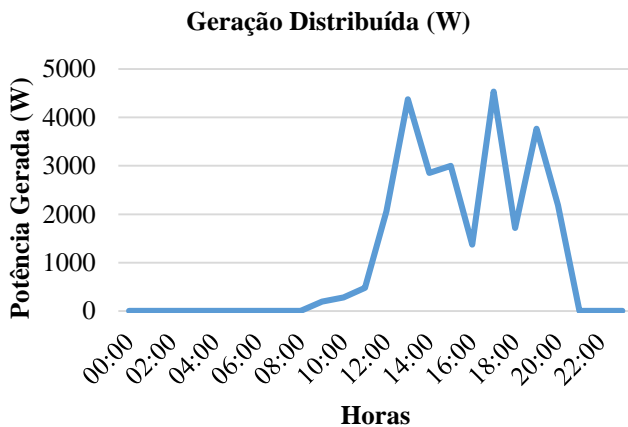


Fig. 14 - Curva de Geração distribuída.

Por fim, tem-se a última curva do sistema: a curva da energia proveniente da concessionária, Fig. 15. Observa-se que com o sistema proposto, o consumo de energia proveniente da rede da concessionária caiu drasticamente, ocasionando uma economia na conta de energia elétrica do cliente referente ao estudo de caso 1.

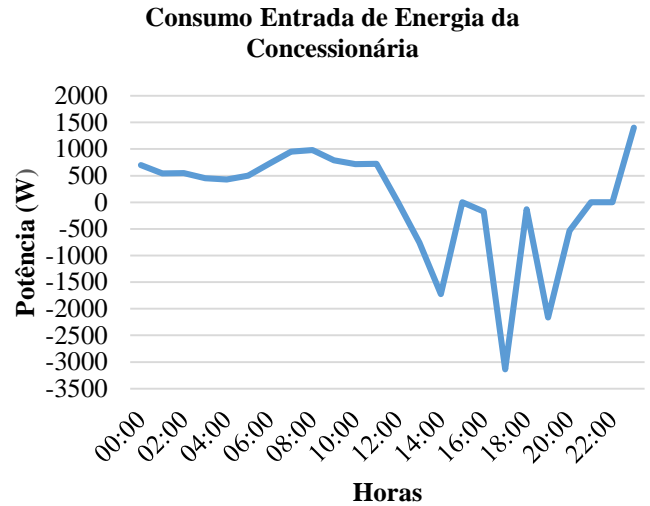


Fig. 15 - Consumo da rede de energia elétrica durante o dia.

Quanto aos valores referentes à previsão de geração, foram utilizados dados de umidade, radiação e temperatura obtidos no dia primeiro de Janeiro de 2016, na localidade de São Martinho da Serra, RS. Com esses dados, realizou-se duas simulações: a primeira, consistiu em calcular o valor da potência entregue pelo sistema do estudo de caso, utilizando os dados de umidade, radiação e temperatura já existentes no banco de dados. A segunda simulação consistiu em enviar os dados horários climatológicos para o servidor, sendo que desta vez ele ficaria encarregado de prever o montante de potência que o sistema seria capaz de entregar, considerando uma hora à frente. Em suma, a primeira simulação consiste em um cálculo exato do valor de potência que será gerado pelo sistema, enquanto a segunda simulação é um valor estimado, previsto pelo sistema. A Fig. 16 mostra o comparativo entre os valores calculados e os valores previstos.

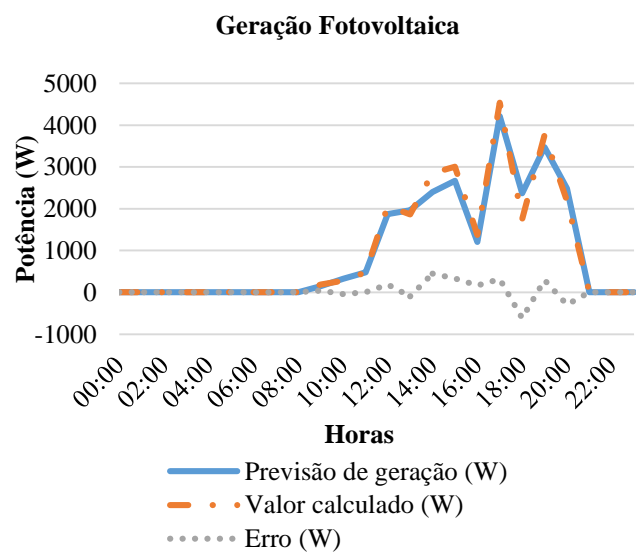


Fig. 16 - Comparativo entre a previsão de geração fotovoltaica e o valor exato.

Através da realização da simulação do sistema durante um dia, pôde-se determinar a economia gerada ao consumidor, se o mesmo adotasse a metodologia proposta, e adotasse a utilização de um banco de baterias (sem considerar os custos de implantação deste sistema). O cenário comparativo proposto conta com os mesmos dados de curvas de demanda e geração, a diferença entre ambos é a utilização de um banco de baterias, e a aplicação da metodologia proposta. A Tabela 2 evidencia as diferenças e semelhanças entre ambos os sistemas.

Tabela 2 - Comparativo entre os sistemas.

| Sistema 1 (estudo de caso) | Sistema 2 |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 15 módulos fotovoltaicos | 15 módulos fotovoltaicos |
| Banco de baterias de 3kWh | Sem banco de Baterias |
| Empregando a metodologia de manejo | Sem empregar a metodologia de manejo |
| Residência adequada à tarifa branca | Residência adequada à tarifa branca |

Foram realizadas simulações considerando-se os dois sistemas, e concluiu-se que o sistema que aplica a metodologia gera economia de energia elétrica ao usuário. A Tabela 3 apresenta uma estimativa de economia que o sistema 1 pode gerar, em comparação ao sistema 2 com as mesmas curvas de demanda e de geração, porém que não aplica a metodologia proposta no trabalho. o gerenciamento foi realizado de acordo com a necessidade energética atual do usuário, e do valor da tarifa, de acordo com a lógica do servidor explicada na metodologia deste trabalho.

Conforme observado na Tabela 3, o sistema proposto pode gerar uma economia anual de até R\$ 509 ao usuário neste estudo de caso.

Tabela 3 - Economia gerada pela metodologia proposta.

| | |
|-----------------------|------|
| Economia Diária (R\$) | 1,41 |
| Economia Mensal (R\$) | 42,4 |
| Economia Anual (R\$) | 509 |

De acordo com a resposta do servidor, do microcontrolador, e do sistema de comunicação, foi possível realizar as conclusões acerca do trabalho, onde são apresentadas na próxima seção.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma metodologia para gerenciamento de carga de consumidores residenciais com geração distribuída e adaptados à tarifa branca. Ressalta-se que durante a revisão bibliográfica, não foi possível encontrar nenhum trabalho na literatura que integrasse esses termos em uma única pesquisa. De acordo com o resultado, a metodologia proposta gerou economia para o usuário do sistema, além de possibilitar um controle de fluxo de potência na residência.

Em relação ao circuito prático, observou-se que os resultados de medições do circuito de sensoriamento foram precisos. Além disso, pôde-se validar o chaveamento de carga com os relés de estado sólido, de acordo com a resposta enviada pelo servidor.

O servidor de obtenção de dados, bem como a interface gráfica elaborada mostraram-se funcionar satisfatoriamente. Foram realizados testes com a interface gráfica com o usuário, mostrando-se responsiva e de fácil interação e compreensão. Todos os dados pertinentes a energia e consumo podem ser visualizados na interface elaborada.

Sistemas de geração fotovoltaica estão tornando-se atrativos economicamente no país, portanto, a partir do momento que houverem maiores incentivos por parte do governo para adoção desta tecnologia, maior será a procura por tecnologias de manejo de carga e automação residencial para sistemas fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

ANESI, Caroline. Desenvolvimento de Ferramenta para análise de Migração de Consumidores de Baixa Tensão à Tarifa Branca. 2017.

BENEDITO, Ricardo da Silva. Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LEMONS, Ivan Pedrotti et al. Medidor de Energia para Avaliação da Adesão à Tarifa Branca em Smart Grids. 2017.

LIMBERGER, Marcos Alexandre Couto; SOUZA, Reinaldo Castro; CALILI, Rodrigo Flora. Estudo da Tarifa Branca para Classe Residencial pela Medição de Consumo de Energia e de Pesquisas de Posse de Hábitos. XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Salvador-BA, set. 2014.

PIRES, Camilla Leimann et al. Metodologia para previsão de carga e geração no horizonte de curtíssimo prazo. 2016.

RIBEIRO, Carlos Eduardo. DOMÓTICA: viabilidade da Automação Residencial. 2018.

SANTOS, Laura Lisiane Callai dos Santos et al. Metodologia para análise da tarifa branca e da geração distribuída de pequeno porte nos consumidores residenciais de baixa tensão. 2014.

SIGAKI, Lucas; LOPES, Luiz Fernando Braga; VIEIRA, Ricardo Bortolo. Automação residencial controlada via rede de internet e integrado com dispositivos móveis. Revista de Pós-Graduação da Faculdade Cidade Verde, v. 3, n. 2, 2017.

Tarifa Branca. ANEEL 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 12 de Ago. de 2019.

THOMAZ, Talita et al. Estudo de viabilidade econômica de adesão à tarifa branca para consumidores residenciais com geração distribuída fotovoltaica. 2017.