

Aplicativo para Projeto de Sistema Fotovoltaico com Armazenamento Utilizando a Tarifa Branca

Jovana dos Santos Argenta*. Ana A. T. Goretti**
Laura L. C. dos Santos***

*Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (jovana.argenta@acad.ufsm.br)

** Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (ana.timm@acad.ufsm.br)

***Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (laura.santos@ufsm.br)

Abstract: White tariff is the new tariff modality for low voltage consumers. Its creation is related to the costs of production, transmission and distribution of electricity, which vary depending on the day and time of consumption. Based on these variations and to encourage consumers to shift their consumption to times of lower energy demand that this new tariff mode was created. Once the use of photovoltaic systems has intensified in recent years, due to the new needs of society and the modern economy, which seek solutions based on minimum aggression to the environment and maximum efficiency, the present work has as its initial intent to combine the adherence to white tariff with the use of a photovoltaic system with storage, so that the user does not need to change his consumption habits. In this way, the scope of the work is the development of an application for educational purposes about electricity tariff and photovoltaic systems for students and consumers, the same was developed to be accessible and totally intuitive for any user.

Resumo: A tarifa branca é a nova modalidade tarifária para os consumidores em baixa tensão. Sua criação está relacionada com os custos da produção, transmissão e distribuição de energia elétrica, que variam dependendo do dia e do horário de consumo. Com base nessas variações e para incentivar os consumidores a deslocarem seu consumo para os horários de menor demanda de energia que esta nova modalidade tarifária foi criada. Uma vez que, a utilização de sistemas fotovoltaicos tem se intensificado bastante nos últimos anos, devido às novas necessidades da sociedade e da economia moderna, as quais procuram soluções baseadas em mínima agressão ao meio ambiente e máxima eficiência, o presente trabalho tem como intenção inicial aliar a adesão a tarifa branca com a utilização de um sistema fotovoltaico com armazenamento, para que o usuário não precise mudar seus hábitos de consumo. Dessa forma, o escopo do trabalho é o desenvolvimento de um aplicativo para fins de educação sobre tarifa de energia elétrica e sistemas fotovoltaicos para alunos e consumidores, o mesmo foi desenvolvido para ser acessível e totalmente intuitivo para qualquer usuário.

Keywords: ANEEL; White tariff; Photovoltaic system; Batteries; MIT App Inventor.

Palavras-chaves: ANEEL; Tarifa branca; Sistema fotovoltaico; Baterias; MIT App Inventor.

1. INTRODUÇÃO

A geração fotovoltaica vem ganhando grande destaque, em consequência do grande potencial de geração solar no contexto nacional. Do ponto de vista de mercado, segundo Machado (2015), o Brasil é um país privilegiado em energia fotovoltaica por possuir elevados índices de radiação solar em todo seu território, possuindo uma média anual de 1200 a 2400 kWh/m²/ano.

Da perspectiva das concessionárias, a energia solar é vantajosa pela possibilidade da descentralização da carga. Por outro lado, da perspectiva do consumidor, é uma alternativa frente aos custos da energia elétrica atualmente no país, e uma forma de investimento a longo prazo.

Mais uma possibilidade frente a esses custos é a mudança para a tarifa branca. Uma medida adotada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e pelas concessionárias. A mesma, incentiva financeiramente que, nos horários de maior carregamento do sistema da concessionária, consumidores do

Grupo B diminuam seu consumo de energia, diminuindo assim a carga do sistema.

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 intermediário e de ponta (ANEEL, 2015). Assim sendo, uma oportunidade para o consumidor reduzir os custos com a conta de energia. A partir de 2020 todos os consumidores do Grupo B começaram a ter a alternativa de aderir à tarifa branca.

A proposta desse trabalho é o desenvolvimento de um aplicativo para smartphones para fins de educação de alunos e consumidores a que se refere a modelos tarifários e sistemas fotovoltaicos, o mesmo é capaz de analisar diferentes perfis de consumo para consumidores de baixa tensão, através de uma ferramenta em que o usuário indica os aparelhos que possui e seu tempo de uso nos três períodos distintos. E com isso, faz o dimensionamento de um sistema fotovoltaico com

armazenamento para atender os horários de maior carregamento do sistema, conhecidos como horário intermediário e de ponta. A ferramenta é desenvolvida através do MIT App Inventor, baseado em programação com blocos. Assim sendo, a mesma permite analisar diferentes perfis de consumo para consumidores do Grupo B e dimensionar o sistema fotovoltaico com armazenamento voltado para atender os horários de sobrecarga do sistema.

2. TARIFAS DO GRUPO B

De acordo com a resolução normativa N° 414 da ANEEL, modalidade tarifária compreende o conjunto de tarifas que são aplicadas a demanda e consumo de potência ativa. Os consumidores do Grupo B são tarifados na Convencional Monômnia ou na Modalidade Horária Branca.

2.1 Modalidade Convencional Monômnia

A Modalidade Convencional Monômnia ou Tarifa Convencional, até 2018 era a única modalidade tarifária existente para o Grupo B. A Tarifa Convencional é caracterizada pelo mesmo valor de tarifa de consumo, independentemente do horário em que é consumido (ANEEL, 2010). Não possuindo componente tarifária para demanda, apenas para consumo, logo a tarifação através da Modalidade Convencional Monômnia se dá apenas pelo somatório de consumo total mensal multiplicado pelo valor tarifário cobrado pela distribuidora que atende a unidade consumidora (UC) (ANEEL, 2016). A segunda maneira tarifária disponível para os consumidores pertencentes ao Grupo B é a Modalidade Horária Branca.

2.2 Modalidade Horária Branca

Também chamada de Tarifa Branca, a Modalidade Horária Branca se tornou uma opção para os consumidores do Grupo B a partir do dia 1° de janeiro de 2018. Ela se apresenta como uma opção para as unidades consumidoras que estão enquadradas nos subgrupos B1 (residencial), B2 (rural) e B3 (indústria, comércio e demais classes). Os únicos subgrupos que não podem ser tarifados com a Modalidade Horária Branca são o subgrupo B4 (iluminação pública) e unidades consumidoras que são tarifadas como baixa renda pertencentes ao subgrupo B1 (ANEEL, 2020).

A tarifa branca possui três postos tarifários que variam de acordo com o horário de consumo, os postos tarifários são chamados de tarifa ponta, tarifa intermediária e tarifa fora ponta. A tarifa ponta compreende um período de 3 horas consecutivas diárias, possuindo o valor tarifário mais elevado entre os três postos tarifários da Tarifa Branca o valor tarifário da Tarifa Convencional. Já a tarifa intermediária compreende a um intervalo de tempo de 1 hora a 1 hora de 30 minutos antes e depois dos horários considerados ponta, possuindo o segundo valor mais alto em comparação com os demais postos tarifários e Tarifa Convencional, por último tem-se a tarifa fora ponta que corresponde aos demais horários do dia, finais de semana e feriados. A tarifa fora ponta por sua vez mostra-se a mais barata entre os postos tarifários da Tarifa Branca e Tarifa Convencional (ANEEL, 2020).

A tarifação da Modalidade Horária Branca é realizada conforme (1), (2), (3) e (4) (ANEEL, 2016).

$$PCP = TEP * CMP \quad (1)$$

$$PCI = TEI * CMI \quad (2)$$

$$PCFP = TEFP * CMFP \quad (3)$$

$$TB = PCP + PCI + PCFP \quad (4)$$

Em que: PCP: Preço referente ao montante de energia consumido em horário de ponta [R\$]; TEP: Tarifa de energia em horário ponta [R\$/kWh]; CMP: Consumo em horário ponta [kWh]; PCI: Preço referente ao montante de energia consumido em horário intermediário [R\$]; TEI: Tarifa de energia em horário intermediário [R\$/kWh]; CMI: Consumo em horário intermediário [kWh]; PCFP: Preço referente ao montante de energia consumido em horário fora ponta [R\$]; TEFP: Tarifa de energia em horário fora ponta [R\$/kWh]; CMFP: Consumo em horário fora ponta [kWh]; TB: Valor tarifário da Modalidade Horária Branca [R\$].

Todavia, o aplicativo tem como base de cálculo uma previsão de consumo diário de cada aparelho, informada pelo consumidor. Para realizar as previsões individuais para cada um dos aparelhos da residência utilizou-se o cálculo do consumo diário de energia em cada posto tarifário, conforme (5), (6) e (7).

$$CdiaFP = (P/1000) \times Qtd \times Hfp \quad (5)$$

$$CdiaI = (P/1000) \times Qtd \times Hi \quad (6)$$

$$CdiaP = (P/1000) \times Qtd \times Hp \quad (7)$$

Em que: *CdiaFP*: Consumo diário de energia durante o horário de fora ponta [kWh]; *CdiaI*: Consumo diário de energia durante o horário intermediário [kWh]; *CdiaP*: Consumo diário de energia durante o horário de ponta [kWh]; *P*: Potência do aparelho [Watts]; *Qtd*: Quantidade de aparelhos; *Hfp*: Tempo de utilização do aparelho durante o horário de fora ponta [Horas]; *Hi*: Tempo de utilização do aparelho durante o horário intermediário [Horas]; *Hp*: Tempo de utilização do aparelho durante o horário de ponta [Horas].

Então a previsão de todos os aparelhos serão somadas. Conforme (8), (9) e (10).

$$CdiaFPtot = \sum CdiaFPi \quad (8)$$

$$CdiaIot = \sum CdiaIi \quad (9)$$

$$CdiaPtot = \sum CdiaPi \quad (10)$$

Em que: *CdiaFPtot*: previsão do consumo durante os horários da tarifa fora de ponta para os *i* equipamentos da residência [kWh]; *CdiaIot*: previsão do consumo durante os horários da tarifa intermediária para os *i* equipamentos da residência [kWh]; *CdiaPtot*: previsão do consumo durante os horários da tarifa ponta para os *i* equipamentos da residência [kWh]. O cálculo realizado pelo aplicativo da fatura mensal com tarifa branca leva em consideração que nos finais de semana e feriados a tarifa possui valor único ao longo do dia, sendo este valor o período fora de ponta (ANEEL, 2020). Para o cálculo da fatura mensal considerou que, 22 dias são úteis e 8 dias são não úteis, conforme (11), (12), (13) e (14).

$$C1 = (CdiaFPtot \times Tfp \times 30) \quad (11)$$

$$C2 = (CdiaIot \times Ti \times 22) + (CdiaPtot \times Tp \times 22) \quad (12)$$

$$C3 = (CdiaIot \times Tfp \times 8) + (CdiaPtot \times Tfp \times 8) \quad (13)$$

$$Ctb = C1 + C2 + C3 \quad (14)$$

Em que: Tfp : Valor da tarifa fora de ponta [R\$/kWh]; Ti : Valor da tarifa intermediário [R\$/kWh]; Tp : Valor da tarifa na ponta [R\$/kWh]; C_{tb} : Valor do consumo mensal com a tarifa branca.

O período correspondente a tarifa ponta, intermediária e fora ponta, bem como os valores tarifários são definidos pela distribuidora de energia que atende a UC (ANEEL, 2016).

Logo a Modalidade Tarifária Branca se apresenta como uma ótima opção para unidades consumidoras que possuam reduzido consumo nos horários dos postos ponta e intermediário, ou ainda para aquelas que possam alterar seus hábitos de consumo. Entretanto nem toda UC tem como aderir esta estratégia de mudança de hábitos, tornando o investimento em sistemas fotovoltaicos com armazenamento uma opção para este tipo de problema.

3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos se mostram uma alternativa para a geração própria de energia elétrica, apresentando vantagens para o consumidor devido a sua grande versatilidade, a qual permite diversos arranjos, atendendo as mais diversas regiões, desde uma UC que se localiza na montanha até a UC que se localiza em um grande centro (CASTRO *et. al.*, 2020). Para a concessionária de energia ocorre o gerenciamento de carga de forma descentralizada, outro ponto importante é a redução significativa das perdas, a geração fotovoltaica é realizada próxima a carga, não necessitando de linhas de transmissão, reduzindo os custos e perdas, sem mencionar os impactos ambientais ocasionados pelas grandes centrais geradoras (BENEDITO, 2009).

A energia solar fotovoltaica em pequeno porte é classificada como geração distribuída e devido as diversas vantagens da utilização desse tipo de fonte normas regulamentadoras passaram a vigorar no Brasil, como a Resolução Normativa N° 482 da Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de novembro de 2012, a qual estabelece as condições gerais para a utilização de mini e microgeração distribuída, incluindo o sistema de compensação e distribuição de energia.

Posteriormente a resolução normativa N° 482 sofreu algumas modificações e passou a vigorar a Resolução Normativa N° 687, na qual se encontra as definições de mini e microgeração de energia, definições sobre o sistema de compensação de energia onde a UC que possui mini e microgeração injeta energia ativa na rede de distribuição e posteriormente é compensada, através de créditos de energia com o consumo de energia pela UC.

Os sistemas fotovoltaicos são versáteis quanto a sua forma de ligação existindo a opção *on-grid*, *off-grid* (BENEDITO, 2009) e híbrido que consiste na ligação *on-grid* e *off-grid* juntas, permitindo a conexão com a rede da concessionária juntamente com um sistema de armazenamento (SANTOS, 2021). O sistema fotovoltaico híbrido é composto por painéis fotovoltaicos, inversor e banco de baterias.

3.1 Painéis Fotovoltaicos

As células solares são dispositivos semicondutores fabricados a partir de silício (Si) produzem corrente elétrica quando

expostos a luz solar (PENNING; TIMM; FINKLER, 2019). Entretanto uma única célula apresenta uma pequena capacidade de produção de energia, sendo necessário arranjos em série e paralelo, formando assim um módulo (SEGUEL, 2009).

Os módulos possuem parâmetros importantes para a geração fotovoltaica, um deles é a radiação solar incidente. Quanto maior a radiação solar incidente, maior é a potência gerada no painel fotovoltaico (GASPARIN; KRENZINGER, 2017). O segundo parâmetro é a temperatura de operação, sendo 25° o pico máximo de potência (SEGUEL, 2009).

O cálculo de potência produzida para um módulo fotovoltaico é realizado conforme (15) (FERREIRA, 2019).

$$EP = \frac{Pm \times Tr \times \text{Rendimento}}{1000} \quad (15)$$

Em que: EP : Energia produzida por cada módulo [kWh]; Pm : Potência do módulo [Watts]; Tr : Tempo de radiação [Horas]; Rendimento: Valor de eficiência do módulo.

Após determinar a quantidade de potência ativa que o painel fotovoltaico pode gerar é necessário saber quantos painéis fotovoltaicos são necessários para atender a demanda da UC. Esse cálculo é realizado conforme (16).

$$Nm = \frac{E}{EP} \quad (16)$$

Em que: Nm : Número de módulos necessários; E : Consumo de energia que deve ser atendido [kWh]. EP : Energia produzida por um módulo fotovoltaico [kWh];

Para a implementação de um sistema fotovoltaico é necessário o estudo dos valores de mercado de alguns modelos de placas solares, comparando o seu custo e potência. Os tipos e valores de módulos solares são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos de módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado.

Modelo	Loja	Potência (Wp)	Valor (R\$)
RSM080P	Minha Casa Solar	80	378,73
RS6E-155M	Neo Solar	155	439,00
RS6C 280P	Minha Casa Solar	280	718,50
UP-M340P	Neo Solar	340	889,00
CS3W	Minha Casa Solar	450	1.398,02
CS7L	Minha Casa Solar	585	1.727,79

Fonte: Autora

É no arranjo fotovoltaico que ocorre a transformação de energia solar em energia elétrica, entretanto essa energia é gerada em corrente contínua, necessitando de um inversor para poder transformar a corrente contínua para corrente alternada, alimentando assim a grande maioria das cargas das UCs.

3.2 Inversor

A principal função de um inversor é a transformação de corrente contínua, gerada pelos painéis, em corrente alternada, rede elétrica. O inversor quando conectado com a rede se comporta como uma fonte de corrente, injetando na mesma uma corrente elétrica com baixo conteúdo harmônico que se encontra sincronizado com a rede de distribuição da

concessionária de energia, ele também possui outras finalidades como sistema de detecção de ilhamento e sistema de rastreamento de ponto de máxima potência (GAZOLI; VILALVA; GUERRA., 2012).

Existem dois tipos de inversores os *on-grid* ou *grid-tie* e *off-grid*. Os inversores *on-grid* fazem a conversão de energia dos painéis fotovoltaicos ou banco de baterias e mantem a UC conectada à rede elétrica da distribuidora, já os inversores *off-grid* trabalham de forma independente, pois estão somente conectados aos painéis fotovoltaicos ou banco de baterias, não possuindo conexão alguma com a rede de distribuição (BOSO *et. al.*, 2015).

O presente trabalho utiliza a conexão fotovoltaica híbrida, portanto faz uso do inversor *grid-tie*.

Para ser possível a implementação do sistema é necessário o estudo de valores de mercado de inversores *grid-tie*. Os tipos e valores de inversores *grid-tie* são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos de inversores *grid-tie* disponíveis no mercado.

Modelo	Loja	Potência (Wp)	Valor (R\$)
Kinverch 2000W	Amazon	2000	2.036,29
Min2500tl-x	Eletromalu	2500	2.690,71

Fonte: Autora.

Para maior segurança energética, é interessante aliar o sistema fotovoltaico com armazenamento em banco de baterias, pois através da mesma é possível utilizar energia proveniente da geração fotovoltaica em outros períodos do dia.

3.3 Banco de Baterias

Existem diversas formas de armazenar energia, dentre as opções disponíveis se destaca o armazenamento em banco de baterias, visto que este sistema apresenta um ótimo custo-benefício e grande versatilidade (SANTOS, 2014). Dentre os tipos de baterias o tipo chumbo-ácido é amplamente utilizado, sendo as mais desenvolvidas, permitindo rápidas cargas e descargas (TOLEDO, 2012). As baterias chumbo-ácido possuem diversas formas construtivas, dentre elas, se destaca o modelo estacionário, pois esse tipo é destinado para alimentação ininterrupta (COPETTI; MACAGNAN, 2007). Logo, se tratando de sistemas fotovoltaicos o tipo de bateria indicado é o tipo estacionária.

Para poder realizar o cálculo de dimensionamento de um banco de baterias é preciso definir alguns parâmetros importantes, sendo o primeiro deles a autonomia da bateria, ou seja, o número de dias em que o banco de baterias atende determinada carga sem precisar ser recarregado (CHANG, 2012). O segundo parâmetro é a profundidade de descarga, ou seja, qual porcentagem da capacidade total será descarregada diariamente, sendo indicado de acordo com o Manual da Bateria estacionária *Freedom* uma porcentagem de descarga de 20%. O terceiro parâmetro é a temperatura ambiente, de acordo com diversos fabricantes de baterias chumbo-ácido estacionárias é 25°C (FERREIRA, 2021).

Com a temperatura ambiente, autonomia e profundidade de descarga do banco de baterias definidos é possível realizar o dimensionamento do banco de baterias, conforme (17).

$$Ah = \frac{E \times 1000}{Vb \times Pd} \quad (17)$$

Em que: *Ah*: Dimensionamento da capacidade de armazenamento do banco de baterias; *E*: Demanda mensal de energia que deve ser atendido [kWh]; *Vb*: Tensão da bateria [Volts]; *Pd*: Profundidade de descarga da bateria.

Em seguida, calcula-se quantas baterias são necessárias segundo a bateria escolhida, conforme (18).

$$Nb = \frac{Ah}{B} \quad (18)$$

Em que: *Nb*: Número de baterias necessárias; *B*: Valor ampère-hora escolhido da bateria a ser usada no sistema.

Para implementar o sistema fotovoltaico híbrido se faz necessário um estudo de valores de mercado de baterias estacionárias. Os tipos e valores de baterias estacionárias são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Modelos de baterias estacionárias disponíveis no mercado.

Modelo	Loja	Tensão (V)	Valor (R\$)
DF700	Americanas	12	396,05
DF2000	Magazine Luiza	12	683,10
DF3000	Magazine Luiza	12	1.305,90
DF4100	E-usina	12	1.569,90

Fonte: Autora.

Como é exposto, são necessários diversos cálculos para dimensionar um sistema fotovoltaico híbrido. Diante disto o desenvolvimento de um aplicativo no qual apenas se seleciona os equipamentos de uma UC se mostra prático e de fácil entendimento, tanto para os consumidores, que possuem a possibilidade de simular o comportamento da Tarifa Branca para a sua UC, quanto para a área educacional que pode analisar o comportamento da Tarifa Branca à frente de diversos tipos de demandas e o funcionamento de um dimensionamento de um sistema fotovoltaico com armazenamento.

4. DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Como mencionado, a tarifa branca é uma nova alternativa tarifária para as unidades consumidoras do grupo B. O preço a ser pago na fatura varia conforme os horários em que mais se utiliza energia. A mesma é indicada para consumidores que utilizam energia em baixa tensão e que possuam a maioria do seu consumo focado no período fora de ponta, se tornando significativo o conhecimento do seu perfil de consumo antes de aderir a nova opção tarifária. Para essa mudança é preciso ser responsável com o gerenciamento de seu consumo, visto que poderá pagar uma conta de energia maior do que pagaria utilizando a tarifa convencional. Desse modo, o desenvolvimento do aplicativo se deu para que o usuário consiga realizar de forma simples simulações do seu consumo

de energia elétrica e assim aprenda como funciona a tarifa de energia.

Em conjunto a isto, é proposto que o consumidor tenha acesso aos princípios de dimensionamento de um sistema fotovoltaico com armazenamento para atender a demanda requerida durante os horários de maior carregamento do sistema elétrico da concessionária.

O aplicativo para smartphones desenvolvido está dividido em cinco etapas:

Inicialização; Informações; Seleção equipamentos; Consumo de Energia; e Sistema Fotovoltaico com Armazenamento.

4.1 Etapa 1: Inicialização

Na inicialização é apresentada a tela denominada “Menu” do aplicativo, com o título: “Projeto de um Sistema Fotovoltaico com Armazenamento Utilizando a Tarifa Branca”. A Fig. 1 apresenta a tela inicial.



Fig. 1 – Tela “Menu” do aplicativo.

A tela apresentada na Fig. 1 possui três botões como opções para prosseguir no aplicativo. O primeiro, denominado “Informações”, deve ser utilizado para quem não tem conhecimento prévio sobre o funcionamento da estrutura tarifária brasileira. O segundo, “Equipamentos” é de onde o usuário deve partir para definir o seu perfil de consumo. E o terceiro, “Cálculos” deve ser utilizado somente se o consumidor já possuir os valores do seu consumo em kWh de cada posto tarifário (ponta, intermediário e fora ponta).

4.2 Etapa 2: Informações

Ao clicar no botão “Informações”, uma nova tela é aberta. A mesma tem como intuito esclarecer ao usuário sobre as modalidades tarifárias branca e convencional.

Após a apresentação das informações o usuário pode optar pelos botões “Voltar”, “Avançar” ou “Menu”.

4.3 Etapa 3: Seleção de Equipamentos

Ao clicar em “Avançar”, a tela que abrirá será a mesma se o usuário clicar em “Menu” e em seguida “Equipamentos”.

Neste passo, é fornecida uma lista de equipamentos para que o usuário selecione os equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos que utiliza durante seu cotidiano.

Deverá ser informado junto ao aparelho que o consumidor possui: A quantidade do mesmo, a potência em Watts e o tempo, em horas, de uso do aparelho nos períodos de fora ponta, intermediário e ponta. A lista de aparelhos elétricos e eletrodomésticos está separada em 2 telas. Na Fig. 2 estão sendo apresentados os equipamentos.

Aparelho	Qtd.	Pot.	Fora Ponta	Intermediário	Ponta
Air Condicionado	0	3520	0	0	0
Carregador de Celular	0	20	0	0	0
Chuveiro Elétrico	0	5500	0	0	0
Fogão Elétrico	0	6000	0	0	0
Forno Elétrico	0	1500	0	0	0
Geladeira	0	500	0	0	0
Jarro Elétrica	0	1500	0	0	0
Lâmpadas LED	0	15	0	0	0
Lavadora de Roupas	0	100	0	0	0
Liquidificador	0	200	0	0	0
Micro-Ondas	0	1400	0	0	0
Televisor 1	0	175	0	0	0
Ventilador	0	150	0	0	0

Aparelhos	Qtd.	Pot.	Fora Ponta	Intermediário	Ponta
Aquecedor	0	1000	0	0	0
Aspirador de Pó	0	1200	0	0	0
Caeteira	0	800	0	0	0
Chapinha de Cabelo	0	500	0	0	0
Computador	0	200	0	0	0
Exaustor de Fogão	0	60	0	0	0
Ferro Elétrico	0	1000	0	0	0
Fritador	0	500	0	0	0
Lâmpada Incandescente	0	60	0	0	0
Secador de Cabelos	0	700	0	0	0
Torradeira Elétrica	0	2500	0	0	0
Torradeira	0	800	0	0	0
Outro Aparelho	0	0	0	0	0

Fig. 2 – Lista de aparelhos.

Ao clicar em “Próximo”, após a inserção dos aparelhos, o aplicativo realizará o cálculo do consumo diário de energia em cada posto tarifário e armazenará essas informações para a próxima tela.

O cálculo do consumo diário de energia em cada posto tarifário foi realizado a partir de (5), (6) e (7). A Fig. 3 apresenta o consumo do usuário em kWh em cada posto tarifário a partir dos equipamentos inseridos conforme Fig. 2. Juntamente com os espaços para o usuário inserir o valor da tarifa convencional e, os valores da tarifa branca.

4.4 Etapa 4: Consumo de Energia

FORA PONTA	INTERMEDIÁRIO	PONTA
0	0	0

CONVENCIONAL	FORA PONTA
0.643	0.507
INTERMEDIÁRIO	PONTA
0.752	1.164

Fig. 3 – Tela de cálculos 1.

Ao clicar em “Avançar”, uma nova tela é aberta. Essa tela auxilia o usuário a encontrar os valores de tarifa da sua permissionária e/ou concessionária, conforme site da ANEEL.

Ao clicar em “Calcular” (Fig. 3), os resultados aparecerão em uma nova tela, conforme Fig. 4.



Fig. 4 – Tela de resultados 1.

O cálculo da fatura mensal de energia considerando a tarifa convencional realizou-se a partir do método citado na revisão. O da fatura mensal de energia considerando o uso da tarifa branca foi feito a partir de (11), (12), (13) e (14). O aplicativo informará também, em termos financeiros, qual a modalidade mais adequada para o consumidor aderir.

No caso de o usuário ter interesse em aprender quais são os procedimentos para aderir a tarifa branca, ao clicar em “Próximo”, uma nova tela com algumas instruções irá abrir, todas as informações foram retiradas do site oficial da ANEEL.

O aplicativo também possibilita ao usuário simular o dimensionamento de um sistema fotovoltaico com armazenamento para atender os horários de ponta e intermediário.

4.5 Passo 5: Sistema Fotovoltaico com Armazenamento

Através do cálculo do consumo em cada posto tarifário, o aplicativo disponibiliza ao usuário a informação de um valor médio de quanto seria um investimento em um sistema fotovoltaico com armazenamento para gerar a energia consumida durante os horários intermediário e de ponta. Com isso, o aplicativo apresenta de forma prática e simples o funcionamento do dimensionamento de um sistema fotovoltaico com banco de baterias.

A Fig. 5 apresenta a tela onde o usuário deve inserir as especificações do sistema que deseja para que o dimensionamento seja realizado.

O aplicativo foi programado para carregar automaticamente o valor no campo “Energia Utilizada” com os valores de consumo em kWh dos postos tarifários intermediário e ponta, de acordo com os valores inseridos na Fig. 2. Para os cálculos de quantos módulos fotovoltaicos serão necessários para atender determinado consumo de energia, calcula-se inicialmente a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos escolhidos pelo usuário a partir de (15). Logo, para calcular o número de módulos necessários, utilizou-se (16).



Fig. 5 – Tela de cálculos 2.

Para facilitar o uso do aplicativo, o mesmo concede um valor médio de radiação anual por estado. Para cada sigla de estado selecionado, está salvo no banco de dados do aplicativo o valor médio de radiação anual do respectivo estado. Ao clicar, por exemplo, na sigla do Acre que é “AC” o valor referente irá para a tela anterior (Fig. 5).

Para os resultados de números de baterias necessários para atender o consumo de energia nos horários oportunos, calculou-se previamente quantos ampères-hora são necessários para atender o consumidor a partir de (17). Em seguida, a partir de (18) calculou-se quantas baterias são necessárias segundo a bateria escolhida pelo consumidor.

Para o aplicativo ser capaz de apresentar um valor médio do sistema fotovoltaico com armazenamento, foi estabelecido que o usuário selecione a potência dos módulos fotovoltaicos e ampères-hora de baterias.

Para cada valor de tensão disponibilizado foi estabelecido no banco de dados um preço médio que será utilizado nos próximos resultados. Da mesma forma, foi estabelecido no banco de dados um preço médio para cada valor de ampère-hora, que será utilizado posteriormente.

A seguir, ao clicar em “Calcular” (Fig. 5), o aplicativo buscará os valores salvos no banco de dados de acordo com a tensão do módulo e o ampère-hora da bateria escolhidos anteriormente. E assim, especificará o preço médio dos módulos e as baterias multiplicando o valor salvo no banco de dados pelo número necessário de ambos equipamentos. A Fig. 10 apresenta a tela final do aplicativo.



Fig. 6 – Tela de resultados 2.

Para validação da ferramenta desenvolvida foi realizado um estudo de caso.

5. ESTUDO DE CASO

No estudo de caso foi simulado o consumo de energia durante o verão de uma residência onde moram quatro pessoas. Três residentes trabalham no período do dia e ficam em casa no período da noite. E um passa a tarde e à noite em casa. A concessionária escolhida foi a RGE Sul. A Tabela 4 mostra os equipamentos definidos pelo consumidor.

Tabela 4. Lista de aparelhos do estudo de caso.

Lista de Aparelhos			Tempo de uso nos postos tarifários		
Aparelho	Quant.	Pot. (W)	FP (Horas)	I (Horas)	P (Horas)
Ar-Condicionado	1	3516	5	0	0
Cafeteira	1	800	0,083	0	0
Carregador de Cel.	4	20	4	0	0
Chuveiro Elétrico	1	5500	0,33	0,167	0,167
Computador	1	200	1	0	0
Geladeira	1	500	8,75	1,75	1,5
Jarra Elétrica	1	1500	0,083	0	0
Lâmpadas LED	8	15	2	2	3
Lavadora de Roupas	1	100	0,5	0	0
Micro-Ondas	1	1400	0,083	0	0
Televisor	1	175	2	1	1
Ventilador	1	150	2	0	0

Fonte: Autora.

Inseridos os aparelhos e seus tempos de uso, obteve-se o consumo de energia diário em cada posto tarifário. A Tabela 5 apresenta o consumo do usuário em kWh em cada posto tarifário da tarifa branca.

Tabela 5. Consumo diário de energia.

Consumo Diário - kWh		
Ponta	Intermediária	Fora Ponta
25,3371	1,9685	1,8435

Fonte: Autora.

Posteriormente, o usuário preenche as lacunas com os preços das tarifas convencional, fora ponta, intermediário e ponta para obter os valores das contas de energia, com a tarifa convencional e com a tarifa branca. A tabela 6 apresenta os valores de tarifas usados na simulação.

Tabela 6. Valores de Tarifa.

Convencional	Ponta	Intermediária	Fora Ponta
R\$ 0,643	R\$ 1,164	R\$ 0,752	R\$ 0,507

Fonte: Autora.

A Tabela 7 apresenta os valores da conta de energia considerando as tarifas convencional e branca.

Tabela 7. Preços da conta de energia.

Tarifa Convencional	R\$ 562,29
Tarifa Branca	R\$ 480,61

Fonte: Autora.

Como o consumo de energia dos moradores é maior nos períodos em que a tarifa é mais baixa, é vantajoso a adesão a tarifa branca.

Os moradores podem reduzir ainda mais a sua fatura mensal de energia aderindo a um sistema fotovoltaico com armazenamento. A tabela 8 apresenta as especificações escolhidas pelo usuário, os módulos fotovoltaicos, a radiação e as especificações das baterias.

Tabela 8. Especificações sistema fotovoltaico.

Especificações Sistema Fotovoltaico	
Potência – Watts	345
Rendimento – %	0,8
Tempo de Radiação	6

Fonte: Autora.

A tabela 9 apresenta as especificações do sistema de armazenamento escolhidas pelo usuário.

Tabela 9. Especificações sistema de armazenamento.

Especificações Sistema de Armazenamento	
Tensão – Volts	12
Profundidade de Descarga – %	0,8
Ampère-Hora	50

Fonte: Autora.

O aplicativo calculou o preço médio final de quanto o consumidor gastaria para aderir ao sistema e gerar o consumo durante os postos tarifários intermediário e ponta. A Fig. 8 apresenta o resultado do dimensionamento do sistema fotovoltaico com armazenamento para atender os horários de consumo nos postos tarifários intermediário e ponta.



Fig. 8 – Preço do sistema.

A mudança de tarifa convencional para tarifa branca é uma boa alternativa, visto que os consumidores estão adequados aos horários dos postos tarifários da concessionária em questão, ou seja, utilizam seus eletrodomésticos e eletroeletrônicos em sua maioria no horário fora de ponta. Como os moradores possuem um alto consumo de energia, a adesão a um sistema fotovoltaico com armazenamento é uma boa escolha, dado que com o sistema em funcionamento os consumidores irão pagar somente o que utilizarem no posto tarifário de menor preço.

6. CONCLUSÕES

A partir do ano de 2020 a tarifa branca passou a ser opcional para todas as unidades consumidoras do grupo B. Tendo como principal finalidade diminuir o excesso de cargas no período de ponta, evitando maiores custos de expansão no sistema elétrico brasileiro.

No mesmo momento em que a adesão a tarifa branca pode parecer atrativa para alguns consumidores, para outros pode ser inapropriada, devido ao alto consumo de energia nos períodos em que a tarifa tem preço elevado. Por essa razão, é importante que o consumidor conheça o seu perfil de consumo de energia e realize simulações do seu consumo mensal.

Uma alternativa para a adesão a tarifa branca valer a pena é aliar um sistema fotovoltaico com armazenamento voltado para atender a carga utilizada nos períodos intermediário e ponta. Ou seja, enquanto for horário fora ponta o consumidor utiliza normalmente a energia da concessionária. A partir do horário intermediário e de ponta ele passa a utilizar a energia gerada pelos painéis e armazenada no banco de baterias.

Tendo em vista a importância em simular o consumo de energia antes de aderir a tarifa branca, e a possibilidade de aliar o novo modelo tarifário a um sistema fotovoltaico híbrido, esse trabalho torna-se de extrema utilidade para fins de educação no que se refere a tarifa de energia e sistemas fotovoltaicos com armazenamento. Como também facilitar para o consumidor de baixa tensão a simular ambas questões para seu perfil de energia.

Devido ao grande crescimento dos dispositivos eletrônicos móveis e, conseqüentemente o uso de aplicativos, a ferramenta foi desenvolvida para que o usuário seja capaz de fazer a simulação de forma simples, e entenda como funciona essa nova modalidade tarifária. Além de poder simular uma nova alternativa de investimento.

Desta forma, o usuário do aplicativo passa a conhecer o seu perfil de consumo e define se é vantajoso migrar para a nova tarifa, ou até mesmo, aderir a um sistema fotovoltaico com armazenamento para que não seja necessário o deslocamento do uso das cargas para períodos onde a tarifa é mais barata.

REFERÊNCIAS

- Alvarenga, C. A., (2018). *COMO DIMENSIONAR UM GERADOR FOTOVOLTAICO COM BATERIAS*. Belo Horizonte.
- ANEEL, (2016). *Tarifas Consumidores* [em linha]. [Consultado em 22 de janeiro de 2022]. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgBE/content/alta-tensao/654800?inheritRedirect=false
- ANEEL, (2020). Tarifa Branca [em linha]. [Consultado em 24 de janeiro de 2022]. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>
- Benedito, R. S., (2009). *Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos Técnico, Econômico e Regulatório*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- Brasil. ANEEL, (2010). Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010 *RESOLUÇÃO NORMATIVA n.º 414*, 9 de setembro de 2010.
- Brasil. ANEEL, (2012). Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012 *RESOLUÇÃO NORMATIVA n.º 482*, 17 de abril de 2012.
- Brasil. ANEEL, (2015). Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015 *RESOLUÇÃO NORMATIVA n.º 687*, 24 de novembro de 2015.
- Castro, M. S. d., Belchior, F. N., Oliveira, G. D. d., Santos, J. D. e Pires, S. R., (2020). Análise do Impacto da Geração Fotovoltaica na Universidade Federal de Goiás/ Analysis of the Impact of Photovoltaic Generation at the Federal University of Goiás. *Brazilian Applied Science Review* [em linha]. 4(5), 3023–3042. [Consultado em 23 de janeiro de 2022]. Disponível em: doi: 10.34115/basrv4n5-022
- Chang, C. A., (2012). *Otimização Técnico Econômica de um Sistema Híbrido Fotovoltaico-Diesel com Banco de Baterias*. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Copetti, J. B. e Macagnan, M. H., (2007). BATERIAS EM SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS. *I Congresso Brasileiro de Energia Solar*.
- Ferreira, A. F. e Pereira Rosa, G., (2019). Geração De Energia Elétrica Através De Sistemas Fotovoltaicos Para Consumidores Comerciais De Pequeno Porte. *Revista Eletrônica TECCEN* [em linha]. 12(2), 83–93. [Consultado em 23 de janeiro de 2022]. Disponível em: doi: 10.21727/teccen.v12i2.1893
- Gasparin, F. P. e Krenzinger, A., (2017). DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DEZ CIDADES BRASILEIRAS COM DIFERENTES ORIENTAÇÕES DO PAINEL. *Revista Brasileira de Energia Solar*. 8(1).
- Gazoli, J. R., Villalva, M. G. e Guerra, J., (2012). Energia solar fotovoltaica – sistemas conectados à rede elétrica. *O setor Elétrico*.
- Penning, J. A., Timm, A. U. e Finkler, R., (2019). ENERGIA SOLAR: ESTUDO DE CASO DE UMA RESIDÊNCIA NA CIDADE DE CAXIAS DO SUL/RS. *11º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*.
- Santos, L. L. C., (2014). *METODOLOGIA PARA ANÁLISE DA TARIFA BRANCA E DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE PEQUENO PORTE NOS CONSUMIDORES RESIDENCIAIS DE BAIXA TENSÃO*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria.
- Santos, T., (2021). Sistema Fotovoltaico Híbrido: Entenda O Que É e Suas Aplicações [em linha]. *Cursos e Projetos*. [Consultado em 23 de janeiro de 2022]. Disponível em: <https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/>
- Seguel, J. I. L., (2009). *Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Toledo, F., (2012). *Desvendando as redes elétricas inteligentes*. Rio de Janeiro: BRASPORT.