

# APLICATIVO PARA PROJETO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA CONSUMIDORES DO GRUPO A

Jovana dos Santos Argenta  
Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul, RS, Brasil  
jovana.argenta@acad.ufsm.br

Laura Lisiane Callai dos Santos  
Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul, RS, Brasil  
laura.santos@ufsm.br

Ana A. T. Goretti  
Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul, RS, Brasil  
ana.timm@acad.ufsm.br

**Resumo** – Este trabalho tem por finalidade a análise da viabilidade econômica da inserção de Geração Distribuída de sistemas fotovoltaicos para consumidores do Grupo A (alta tensão). O presente trabalho proporciona aos consumidores a opção de adquirir um possível sistema fotovoltaico para atender diferentes porcentagens de consumo e o restante ser atendido pela rede de energia da concessionária local. O aplicativo se mostra uma ferramenta intuitiva e de fácil acesso aos consumidores. Podendo com ele ter acesso a valores de investimento e payback do dimensionamento a partir do seu consumo.

**Palavras-chaves** – ANEEL; Grupo A; Tarifa Verde; Tarifa Azul; MIT App Inventor; Sistemas fotovoltaicos.

## I. INTRODUÇÃO

Os consumidores de energia elétrica são classificados segundo o nível de tensão de atendimento. Consumidores com nível de tensão igual ou superior a 2,3 kV ou atendidos por sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, são classificados como Grupo A (ANEEL, 2011). O fornecimento para consumidores do grupo A estão divididos em 3 estruturas tarifárias diferentes: tarifa convencional, tarifa horo-sazonal verde e tarifa horo-sazonal azul.

Estas modalidades são correlacionadas a um modelo denominado de tarifa binômia, que é estabelecido como “Conjunto de tarifas de fornecimento constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa, em kWh, e à demanda faturável, em kW (PROCEL, 2011). 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 altos custos da energia elétrica atualmente no país, e uma forma de investimento a longo prazo. Com isto, ao crescente avanço da energia fotovoltaica no Brasil, para o consumidor do grupo A é interessante ponderar a possibilidade da adesão a um sistema fotovoltaico para atender uma porcentagem da carga ou sua totalidade, através da análise dos indicadores financeiros do sistema, como valor presente líquido, payback e taxa interna de retorno.

Dessa forma, no presente trabalho foi desenvolvida uma ferramenta em que o usuário indica os valores de discriminação da operação contidos na conta de energia, tal

como, a energia consumida durante os períodos ponta e fora ponta, demanda contratada e as respectivas tarifas com tributos. Com essas informações o mesmo terá acesso aos indicadores financeiros de possíveis dimensionamentos de sistemas fotovoltaicos.

A ferramenta é desenvolvida através do MIT App Inventor, sendo possível analisar diferentes dimensionamentos para porcentagens distintas de cargas atendidas.

## II. ESTRUTURA TARIFÁRIA GRUPO A

De acordo com a resolução normativa nº 1000 (ANEEL, 2021) modalidade tarifária retrata um conjunto de tarifas aplicáveis ao consumo de energia elétrica e à demanda de potência ativa fornecida aos mesmos.

No Brasil, as tarifas do grupo A são constituídas em três modalidades de fornecimento:

- Tarifa Convencional Binômia;
- Tarifa Horo-sazonal Verde;
- Tarifa Horo-sazonal Azul.

A tarifa convencional binômia caracteriza-se por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia (ANEEL, 2017). Esse grupo é dividido em seis subgrupos: A1, A2, A3, A3s, A4 e AS.

Os subgrupos A1, A2 e A3 podem aderir somente à tarifa azul, com contrato de demanda. Os subgrupos A3a, A4 e AS podem aderir a 3 modalidades: Convencional, Azul ou Verde. O presente trabalho parte do princípio que a Unidade Consumidora (UC) já realizou um estudo para determinar qual modalidade tarifária é mais vantajosa.

Na tarifa horo-sazonal verde estão enquadrados os consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS, os mesmos possuem tensão inferior a 69 kV e demanda contratada igual ou superior a 300 kW (ANEEL, 2005). A tarifação é estabelecida com valor monetário aplicável somente ao consumo de energia elétrica ativa, onde diferencia-se em horário de ponta e fora ponta, com um valor único de tarifa para a demanda.

A tarifa horo-sazonal azul é de obrigatoriedade para as unidades consumidoras atendidas com tensão igual ou

superior a 69 kV, consumidores dos subgrupos A1, A2 e A3. É opcional para consumidores pertencentes aos subgrupos A3a, A4 e AS (PROCEL, 2011). A tarifação diferencia-se pelo acréscimo de período ponta e fora ponta na parte da demanda, que na tarifa verde apenas ocorre para o consumo.

A tarifação das Modalidades horo-sazonal verde são realizadas conforme (1) e (2) e horo-sazonal azul conforme (3) e (4) (ANEEL, 2016).

$$C_{Verde} = T_p \times C_p + T_{fp} \times C_{fp} \quad (1)$$

$$D_{Verde} = T_D \times D_C \quad (2)$$

$$C_{Azul} = T_p \times C_p + T_{fp} \times C_{fp} \quad (3)$$

$$D_{Azul} = T_{DP} \times D_P + T_{DFP} \times D_{FP} \quad (4)$$

Em que:  $C_{Verde}$ : Valor referente ao consumo de energia na modalidade horo-sazonal verde [R\$];  $T_p$ : Tarifa de energia em horário de ponta [R\$/kWh];  $C_p$ : Consumo de energia em horário ponta [kWh];  $T_{fp}$ : Tarifa de energia em horário fora ponta [R\$/kWh];  $C_{fp}$ : Consumo de energia em horário fora ponta [kWh];  $D_{Verde}$ : Valor referente a demanda contratada na modalidade horo-sazonal azul [R\$];  $T_D$ : Valor tarifário único da demanda [R\$/kW];  $D_C$ : Demanda contratada [kW];  $C_{Azul}$ : Valor referente ao consumo de energia na modalidade horo-sazonal azul [R\$];  $D_{Azul}$ : Valor referente a demanda contratada na modalidade horo-sazonal azul [R\$];  $T_{DP}$ : Valor tarifário da demanda em horário ponta [R\$/kW];  $D_P$ : Demanda consumida durante o horário de ponta [kW];  $T_{DFP}$ : Valor tarifário da demanda em horário fora ponta [R\$/kW];  $D_{FP}$ : Demanda consumida durante o horário de fora ponta [kW].

O sistema fotovoltaico se tornou uma alternativa para diminuir os custos com a conta de energia elétrica.

### III. 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, pois 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 Agência 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 utilizado no presente trabalho foi o *on-grid*, composto por módulos fotovoltaicos e inversores.

#### a) Módulos 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; KREZINGER, 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 (5) (FERREIRA, 2019).

$$EP = \frac{P_m \times T_r \times R}{1000} \quad (5)$$

Em que:  $EP$ : Energia produzida por cada módulo [kWh];  $P_m$ : Potência do módulo [Watts];  $T_r$ : Tempo de radiação [Horas];  $R$ : 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 solicitada. Esse cálculo é realizado conforme (6).

$$N_m = \frac{E}{EP} \quad (6)$$

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

Para implementação do sistema se faz necessário o estudo de valores de mercado de alguns modelos de placas solares, comparando 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 (W)	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.

#### b) Inversor

A principal função do inversor é a transformação de corrente contínua, gerada pelos painéis, em corrente alternada. 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 ilha 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 cálculo de dimensionamento do inversor é realizado conforme (7).

$$I = N_m \times EP \quad (7)$$

Em que:  $I$ : é a potência nominal do inversor [Watts];  $N_m$ : é a quantidade de módulos calculados anteriormente;  $EP$ : é a potência de cada módulo [Watts].

Para ser possível a implementação do sistema é necessário o estudo de valores de mercado de inversores. Os tipos e valores de inversores utilizados no desenvolvimento do aplicativo são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2. Modelos de inversores disponíveis no mercado.**

Modelo	Marca	Loja	Potência (W)	Valor (R\$)
Xpower100	Xantrex	Neo Solar	1000	799,00
Kinverch 1500W	Kinverch	Amazon	1500	1.327,81
Kinverch 2000W	Kinverch	Amazon	2000	2.036,29
Min2500tl-x	Growatt	Eletromalu	2500	2.690,71
Min5000tl-x	Growatt	Eletromalu	5000	4.400,66
Min8000tl-x	Growatt	Eletromalu	8000	6.121,66

Fonte: Autora.

O presente trabalho utiliza conexão fotovoltaica conectada sempre à rede elétrica, portanto faz uso do inversor *on-grid*. Como é exposto, são necessários determinados cálculos

para dimensionar um sistema fotovoltaico, diante disto o desenvolvimento de um aplicativo no qual o usuário precisa apenas inserir os valores contidos em sua conta de energia se mostra prático e de fácil entendimento.

#### IV. MIT APP INVENTOR

Segundo Cordeiro (2017), do Blog AndroidPro, MIT App Inventor é uma ferramenta de programação baseada em blocos lógicos, desenvolvida pela Google no final de 2010 e atualmente mantida pelo Massachusetts Institute of Technology. A mesma permite a criação de aplicativos para smartphones que rodam no sistema operacional Android, sem que seja necessário conhecimentos profundos de programação. Possui uma interface simples e fácil de usar, o programa foge das linhas de programação normal e possibilita até mesmo usuários que não conhecem programação a lançarem seus aplicativos. Devido ao recurso *drag and drop* (arrastar e soltar), a programação das aplicações acontece de forma simples e intuitiva.

Com o App Inventor é possível criar aplicativos por meio da seleção de componentes a partir da montagem de blocos que determinam o comportamento deles. O aplicativo produzido no MIT App Inventor é feito de forma visual mediante ao encaixe de peças como se fosse um quebra-cabeça. Ao término do projeto é possível fazer o download em um smartphone.

O âmbito do MIT App Inventor é compatível com os sistemas operacionais Mac OS X, Linux, Windows e smartphones Android.

Com isto, o desenvolvimento do aplicativo foi baseado totalmente em programação com blocos, através do MIT App Inventor.

#### V. DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Desse modo, este trabalho tem por objetivo desenvolver um aplicativo que informará ao usuário um valor aproximado de quanto será o investimento que o mesmo terá que fazer para atender uma porcentagem do seu consumo ou o consumo máximo da sua tarifa de energia. Ademais, o aplicativo informará qual será o tempo de retorno do investimento.

O aplicativo desenvolvido para smartphones é executado em seis telas: tela inicial, tela de entrada de dados, duas telas auxiliares e duas telas com resultados. O modelo esquematizado para o aplicativo pode ser observado na Fig. 1.

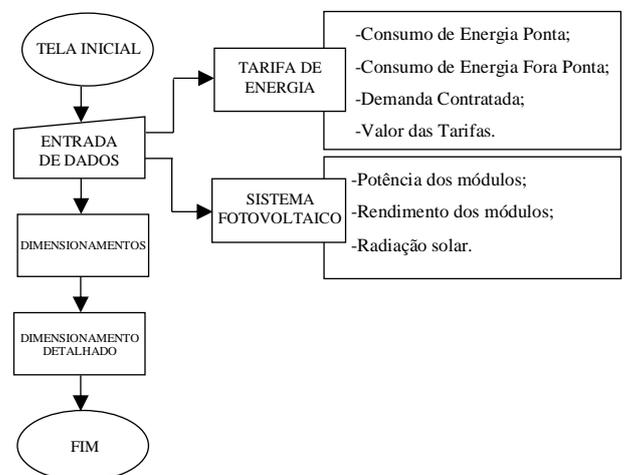


Fig. 1 – Estrutura do aplicativo.

A Fig. 2 apresenta a tela inicial. A qual apresenta o título do aplicativo e possui um botão “Avançar”.



Fig. 2 – Tela inicial do aplicativo.

Ao clicar em “Avançar”, a tela de entrada de dados é aberta. A Fig. 3 apresenta a mesma.

Fig. 3 – Tela de Entrada de Dados.

Neste passo é necessário indicar o consumo de energia no horário ponta e horário fora ponta, em kWh, também a demanda contratada, em kW, e se possuir o consumo reativo, em kWh. O usuário precisa indicar o valor das tarifas TUSD e TE no período ponta, TUSD e TE no período fora ponta e o valor do consumo reativo, em R\$/kWh. Além disto o valor da demanda contratada, em R\$/kW.

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, precisa-se incluir a potência do módulo e o rendimento do mesmo. E a média de radiação da localização onde deseja-se que o sistema seja instalado.

Com isso, o aplicativo possui duas telas auxiliares. As Fig. 4 e 5 apresentam as mesmas.



Fig. 4 – Tela auxiliar 1.

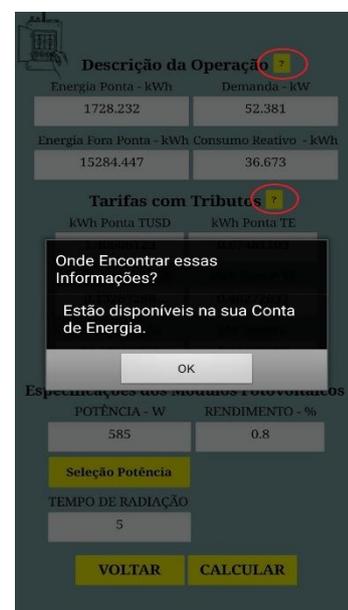


Fig. 5 – Tela auxiliar 2.

A Fig. 4 apresenta a tela de opções de potência dos módulos. Para o cálculo do dimensionamento ser realizado achou-se melhor limitar as opções. Utilizou-se os valores fornecidos na Tabela 1.

A Fig. 5 apresenta a informação fornecida caso o usuário tenha dúvida de onde encontrar as informações que devem ser inseridas da tela da Fig. 3.

Ao clicar em “Calcular” na tela de entrada de dados, a tela de resultados 1 é aberta. A Fig. 6 apresenta a tela citada.



Fig. 6 – Tela de Resultados 1.

Esta tela apresenta os valores circunstanciados da conta de energia, os cálculos foram realizados a partir de (1), (2), (3) e (4). Conjuntamente exibe o valor do investimento necessário e o tempo de retorno do mesmo para 20, 40, 60, 80 e 100% do consumo estabelecido na tela de entrada de dados.

Se o usuário desejar informações mais detalhadas dos valores apresentados de cada porcentagem da carga atendida, se faz necessário clicar no botão indicado pela mesma. Assim abrirá a tela de resultados 2, apresentada na Fig. 7.

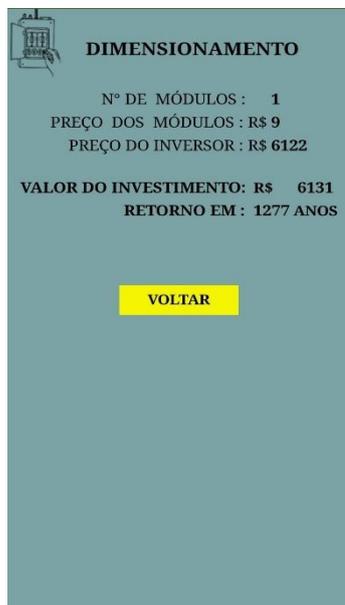


Fig. 7 – Tela de Resultados 2.

Tem-se nesta tela acesso às informações detalhadas do dimensionamento do sistema. Como número de módulos, preço do conjunto, preço do inversor para atender a potência dos módulos. E novamente o valor total do investimento e tempo de retorno do mesmo.

O cálculo de potência produzida para um módulo fotovoltaico é realizado conforme (5) e o número de módulos necessários para atender a demanda solicitada é realizado

conforme (6). O cálculo de dimensionamento do inversor é realizado conforme (7).

Os preços dos módulos fotovoltaicos são armazenados no banco de dados previamente, e a partir da potência selecionada Fig. 4 os valores são multiplicados pelo valor dimensionado da quantidade. De forma similar é realizado com os valores dos inversores. De acordo com a potência total dimensionada os valores são estabelecidos. Os valores utilizados estão presentes nas Tabelas 1 e 2.

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

## VI. ESTUDO DE CASO

No estudo de caso proposto foi considerada uma UC do subgrupo A4, da tarifa horo-sazonal verde. As Tabelas 3 e 4 apresentam os dados da UC.

**Tabela 3. Dados de energia da UC**

Energia Ponta	kWh	1728,232
Energia Fora Ponta	kWh	12284,447
Demanda	kW	52,381
Consumo Reativo	kWh	36,673

Fonte: Autora.

**Tabela 4. Valores da tarifa de energia da UC**

	R\$
Tarifa TUSD Ponta	1,4061
Tarifa TUSD Fora Ponta	0,1329
Tarifa TE Ponta	0,6748
Tarifa TE Fora Ponta	0,4027
Tarifa Reativo	0,4227
Tarifa Demanda	35,4298

Fonte: Autora.

Com os valores das Tabelas 3 e 4 inseridos na tela de entrada de dados do aplicativo, Fig. 2, o consumidor do subgrupo A4 será informado dos valores que ele poderá investir em um sistema fotovoltaico, e o tempo de retorno do investimento em questão.

A Fig. 8 apresenta os resultados do estudo de caso realizado no aplicativo.

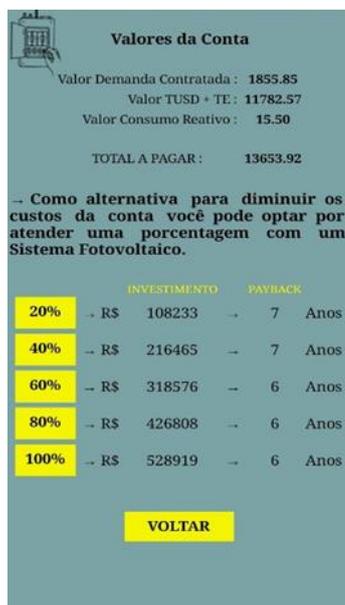


Fig. 8 – Tela de Resultados 1 do Estudo de Caso.

A Fig. 9 apresenta os resultados mais detalhados do dimensionamento, dos valores de investimentos e do payback.

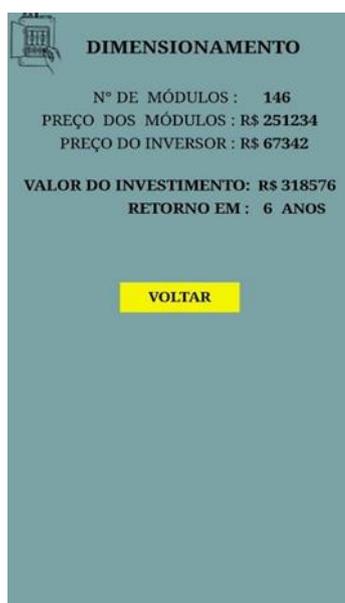


Fig. 9 – Tela de Resultados 2 do Estudo de Caso.

A Fig. 9 apresenta os resultados com 60% da carga atendida com o sistema fotovoltaico. Optou-se por analisar essa porcentagem pois considerou-se o menor valor de payback.

## VII. CONCLUSÕES

A Geração Distribuída (GD) de energia elétrica é uma nova opção de geração de energia que objetiva minimizar ou eliminar os custos com linhas de transmissão, diminuir as perdas no sistema e oferecer melhor qualidade no serviço.

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes de energia que mais cresce no mundo, devido ao grande potencial energético renovável. O Brasil possui um alto nível de insolação, com isso, no cenário brasileiro está se tornando cada vez mais atrativo a adesão de sistemas fotovoltaicos.

Diferentemente do dimensionamento para consumidores do Grupo B, um dimensionamento para atender ao consumo máximo de um consumidor do Grupo A pode ser inviável por algumas características, por exemplo, o valor do investimento ser muito elevado ou o consumidor não ter espaço suficiente para instalação de todos os módulos fotovoltaicos necessários.

Este trabalho apresenta uma metodologia para que consumidores do grupo A façam o dimensionamento de um sistema fotovoltaico e imediatamente visualizem indicadores financeiros. Como mostrado na Fig. 8, o usuário terá acesso a cinco opções de dimensionamentos segundo seu consumo. Possibilitando assim a análise dos indicadores financeiros.

O que facilita o uso do aplicativo é o fato de todos os dados solicitados no mesmo, serem disponibilizadas na conta de energia do usuário.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL, (2010a). Nota Técnica nº 362/2010. Estrutura Tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica - Sinal econômico para a baixa tensão. [Consultado em 20 julho de 2022]. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota\\_tecnica\\_n%C2%BA\\_362\\_2010\\_sre-srd-aneel.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_362_2010_sre-srd-aneel.pdf).
- [2] 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/altatensao/654800?inheritRedirect=false](https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgBE/content/altatensao/654800?inheritRedirect=false)
- [3] Brasil. ANEEL, (2010). Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010 *RESOLUÇÃO NORMATIVA n.º 414*, 9 de setembro de 2010
- [4] 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
- [5] LOEBENS, T., (2020). DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA DEFINIÇÃO DA MELHOR MODALIDADE TARIFÁRIA PARA CONSUMIDORES DO GRUPO B. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul.
- [6] CORRÊA. I., (2020). ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE CARGA PARA CONSUMIDORES RESIDENCIAIS DE BAIXA TENSÃO. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul.
- [7] Gazoli, J. R., Villalva, M. G. e Guerra, J., (2012). Energia solar fotovoltaica – sistemas conectados à rede elétrica. O setor Elétrico.
- [8] MIT APP INVENTOR. Disponível em: [appinventor.mit.edu](http://appinventor.mit.edu)

