



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CAIO SILVA REIS
SÁVIO SILVA DA LUZ

**ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM
A MUDANÇA DA TARIFA CONVENCIONAL PARA A TARIFA BRANCA.**

MACAPÁ
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CAIO SILVA REIS
SÁVIO SILVA DA LUZ

**ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM
A MUDANÇA DA TARIFA CONVENCIONAL PARA A TARIFA BRANCA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Colegiado de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Amapá, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Esp. Hugo Pinheiro da Silva

**MACAPÁ
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborada por Cristina Fernandes– CRB-2/1569

Reis, Caio Silva.

Análise econômico-financeira de um sistema fotovoltaico com a mudança da tarifa convencional para a tarifa branca. / Caio Silva Reis; Sávio Silva da Luz; orientador, Hugo Pinheiro da Silva. – Macapá, 2020.

48 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

1. Sistemas Fotovoltaicos. 2. Serviços de eletricidade - Tarifas. 3. Indicadores econômicos. I. Luz, Sávio Silva da. II. Silva, Hugo Pinheiro da, orientador. III. Fundação Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

333.79320981 R375a

CDD. 22 ed.

**ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM
A MUDANÇA DA TARIFA CONVENCIONAL PARA A TARIFA BRANCA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Colegiado de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Amapá, como requisito para a obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Esp. Hugo Pinheiro da Silva

Data da aprovação: 23/12/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Hugo Pinheiro da Silva (Orientador)

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

Eng^a. Esp. Amanda Monteiro Pinto Barros

Universidade Federal do Amapá - UNIFAP

Prof. Me. Felipe Monteiro

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à Deus, por me conceder saúde e sabedoria ao longo de toda esta jornada.

À minha família, que sempre me apoiou e também me deu forças nos momentos mais difíceis, os quais “tropecei” em algumas matérias. Meus pais, Waldirene e Franck, e minha irmã, Kamila, vocês são as pessoas mais importantes na minha vida.

À minha namorada, Edilene, que me deu conselhos importantíssimos na reta final deste trabalho. Obrigado por me acompanhar neste momento tão importante da minha vida.

Aos meus amigos, desde os mais antigos da *societatem anuli*, nos encontros com hambúrguer em que eu falava de todas as alegrias e tristezas da Engenharia, até os *Dominoroz* e *Lendários*, com as brincadeiras que nós tínhamos em sala de aula. Agradeço por terem me acompanhado todo esse tempo. Somando com o lado do conhecimento, toda a diversão que tivemos foram muito importantes. Tenho certeza que todos serão grandes profissionais.

Ao meu parceiro, Sávio Silva, que construiu junto comigo toda a ideia para que este trabalho pudesse ser realizado.

Ao meu grande colega de turma, João Jorge, que me auxiliou na parte prática deste trabalho, fornecendo o equipamento necessário, além de ensinar coisas práticas que um Engenheiro Eletricista pode enfrentar no mercado de trabalho. Obrigado, JJ.

Ao orientador da qualificação, Prof. Dr. Alaan Ubaiara, que me auxiliou em todos os problemas que tive, corrigindo e adicionando coisas sempre que necessário. Sem a sua ajuda, nada disso seria possível.

Ao orientador Prof. Hugo Pinheiro, pela disponibilidade em ajudar na segunda parte desta trajetória, muito obrigado.

Caio Silva Reis.

Agradeço à Deus por conceder saúde para continuar estudando e conquistando mais uma etapa importante da vida, ao lado da minha família e amigos.

Agradeço a minha avó Socorro por ter proporcionado meus estudos, bem como ter me guiado pelos caminhos da educação. Também agradeço a todos meus familiares que acreditaram em mim.

Agradeço a minha namorada por me ajudar nos momentos difíceis e incentivar a não desistir, assim como meus amigos também o fizeram.

Agradeço ao Caio Reis pela paciência e dedicação a este trabalho e pelos ensinamentos adquiridos com ele.

Agradeço aos professores Alaan Ubaiara e Hugo Pinheiro pela gentileza de terem aceito nosso convite para orientação e por toda solicitude que apresentaram durante a realização deste trabalho bem como durante todo o curso.

Sávio Silva da Luz.

RESUMO

Com intuito de escolher um sistema fotovoltaico com o menor tempo de retorno do investimento (*payback*) possível, aliado a uma possível utilização da nova modalidade tarifária estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), chamada tarifa branca, surge este trabalho. Mediante elaboração de três cenários em que no primeiro caso, o consumidor residencial opta pela tarifa convencional aliada à um Sistema Fotovoltaico Conectado à rede (SFCR), no segundo caso escolhe a mudança da tarifa convencional para a branca aliada novamente à um SFCR e por fim utiliza a tarifa branca com um Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI), o qual atende somente a demanda de consumo de energia intermediária e da ponta. Por meio de indicadores econômicos como VPL (Valor Presente Líquido) e *Payback* foi possível estimar os valores possivelmente economizados e quanto tempo a implementação dos sistemas fotovoltaicos levou para ensejar retorno ou mostrar que não ocorreu retorno ao consumidor. Por fim, observou-se que no primeiro cenário o *payback* foi de 3,7 anos, tornando-se a opção mais atrativa de implementação de sistema entre as três situações.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, Tarifa Branca, Indicadores econômicos.

ABSTRACT

In order to choose a photovoltaic system with the lowest possible time of return on investment (payback) coupled with a possible use of the new tariff modality established by the National Electric Energy Agency, called white tariff, this work appears. Through the elaboration of three scenarios in which in the first case, the residential consumer chooses the conventional tariff combined with an on-grid photovoltaic system, in the second case chooses to change the conventional tariff to white combined with an on-grid system and finally uses the white tariff with an off-grid system, which only meets the demand for intermediate and peak energy consumption. Through economic indicators such as NPV (Net Present Value) and payback, it was possible to estimate the amounts possibly saved and how long it took the implementation of photovoltaic systems to give rise to a return or show that there was no return to the consumer. Finally, it was observed that in the first scenario the payback was 3.7 years, making it the most attractive option for implementing the system among the three situations.

Keywords: Photovoltaic Systems, White Tariff, Economic indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 – Simulação de perfil de consumo de um consumidor comercial..... | 16 |
| Figura 1.2 – Simulação de perfil de consumo de um consumidor residencial | 17 |
| Figura 1.3 – Componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede..... | 18 |
| Figura 1.4 – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com Banco de Baterias..... | 19 |
| Figura 1.5 – Configuração de um sistema fotovoltaico isolado | 21 |
| Figura 2.1 – Visão por Satélite do Condomínio | 26 |
| Figura 2.2 – Analisador de Rede EMBRASUL RE4001 | 26 |
| Figura 2.3 – Instalação do Equipamento | 27 |
| Figura 2.4 – Equipamento Instalado..... | 27 |
| Figura 2.5 – Curva de Carga da Residência | 28 |
| Figura 2.6 – Relatório Resumido..... | 28 |
| Figura 2.8 – Relatório resumido referente à simulação do consumo de energia..... | 29 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 – Irradiação Solar Diária Mensal para a cidade de Macapá..... | 25 |
| Tabela 2.2 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico | 30 |
| Tabela 2.3 – Especificações técnicas do inversor de frequência | 31 |
| Tabela 2.4- Especificações técnicas do inversor senoidal. | 32 |
| Tabela 2.5- Especificações técnicas do controlar de carga..... | 32 |
| Tabela 2.6 - Especificações técnicas da Bateria. | 33 |
| Tabela 3.1 – Simulação de Mudança de Tarifa..... | 34 |
| Tabela 3.2 - Análise Econômica | 35 |
| Tabela 3.3 - Análise Econômica. | 35 |
| Tabela 3.4 - Valores do kWh da CEA e taxa de inflação anual. | 36 |
| Tabela 3.5 - Valores dos consumos demandados por cada horário da tarifa branca..... | 36 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---------------------------------------|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| CEA | Companhia de Eletricidade do Amapá |
| CC | Corrente Contínua |
| CA | Corrente Alternada |
| COPEL | Companhia Paranaense de Energia |
| FDI | Fator de Dimensionamento do Inversor |
| HSP | Hora de Sol Pico |
| kV | Quilovolt |
| kW | Quilowatt |
| kWp | Quilowatt-pico |
| P_{FV} | Potência do gerador fotovoltaico |
| SFCR | Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede |
| SFI | Sistema Fotovoltaico Isolado |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO | 12 |
| CAPÍTULO 1 – MODALIDADES TARIFÁRIAS E TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS..... | 13 |
| 1.1 MODALIDADES TARIFÁRIAS..... | 13 |
| 1.1.1 TARIFA BRANCA | 14 |
| 1.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE | 17 |
| 1.2.1 ETAPAS REFERENTES AO PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UM SFCR | 19 |
| 1.2.2 EQUAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SFCR..... | 20 |
| 1.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO..... | 21 |
| 1.3.1 EQUAÇÕES REFERENTES AO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO..... | 21 |
| 1.4 INDICADORES DE ANÁLISE ECONÔMICA..... | 23 |
| 1.4.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) | 23 |
| 1.4.2 PAYBACK..... | 24 |
| CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS | 25 |
| 2.1 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR | 25 |
| 2.2 LOCAL ESCOLHIDO | 25 |
| 2.3 INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA..... | 26 |
| 2.3.1 PARÂMETROS INICIAIS DE ANÁLISE | 28 |
| 2.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO | 30 |
| 2.4.1 DADOS PRELIMINARES E DIMENSIONAMENTO | 30 |
| CAPÍTULO 3 ANÁLISES E RESULTADOS | 33 |
| 3.1 ANÁLISE DO IMPACTO DA MUDANÇA DE MODALIDADE TARIFÁRIA NA FATURA DE ENERGIA | 33 |
| 3.2 ANÁLISE DA MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL COM SFCR | 34 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3 ANÁLISE DA MODALIDADE TARIFÁRIA BRANCA COM SFCR..... | 35 |
| 3.4 ANÁLISE DA MODALIDADE TARIFÁRIA BRANCA COM SFI..... | 37 |
| CONCLUSÃO..... | 38 |
| REFERÊNCIAS..... | 39 |
| ANEXO A TABELA DE ANÁLISE PARA SFI + TARIFA BRANCA..... | 42 |
| ANEXO B COMPONENTES DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ANALISADOS... | 43 |
| APÊNDICE A – EQUAÇÕES | 45 |
| APÊNDICE B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ANALISADOR DE REDE EMBRASUL RE4001 | 46 |
| APÊNDICE C – PREÇOS DOS COMPONENTES ANALISADOS (EM REAL E DÓLAR) | 48 |

INTRODUÇÃO

Com o intuito de incentivar a produção da própria energia, ainda que em parcelas e na tentativa de tornar menos oneroso, técnica e financeiramente, o sistema de distribuição de energia do país, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) emitiu resoluções sobre geração distribuída para os consumidores. A **Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012** e sua revisão **nº 687/2015**, dispõe sobre as prerrogativas e restrições inerentes ao consumidor que optar por gerar, por meio de fontes renováveis, sua energia. Além de desonerar, ainda que parcialmente, o sistema de distribuição de energia brasileiro, a utilização da geração distribuída enseja a possibilidade de redução do custo da fatura de energia do consumidor que optar por ela.

Dentro desse contexto que vislumbra diminuir a sobrecarga no sistema de distribuição do Brasil, a ANEEL instaurou uma nova modalidade tarifária denominada tarifa branca. Esta modalidade consiste no faturamento de energia da rede de acordo com o horário de consumo. Dessa maneira, caso o consumidor direcione seu consumo para o horário fora da ponta, torna possível certa economia na conta de energia elétrica, além de contribuir para a melhora do fator de utilização da rede. Contudo, a tarifa branca torna-se desvantajosa caso a maior parte do consumo esteja concentrado nos horários de ponta e intermediário e não seja possível a flexibilização da utilização nesses horários

A partir das resoluções emitidas pela agência reguladora e criação da tarifa branca, torna-se interessante a junção de um sistema fotovoltaico com a nova modalidade tarifária supracitada.

Feitas as considerações acima, o presente trabalho tem como objetivo analisar o impacto causado pela mudança da tarifa convencional para a tarifa branca associada à um sistema fotovoltaico com ou sem armazenamento de energia de um consumidor residencial, ou seja, realizar uma análise econômico-financeira da implementação desse sistema. Neste trabalho, o capítulo 1 é referente aos conceitos e fórmulas, ou seja, a fundamentação teórica necessária à compreensão do leitor. No capítulo seguinte há a descrição dos materiais e métodos e já no terceiro capítulo é feita a análise de resultados, por meio de indicadores econômicos.

CAPÍTULO 1 – MODALIDADES TARIFÁRIAS E TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.1 MODALIDADES TARIFÁRIAS

As modalidades tarifárias compreendem um grupo de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas, levando em conta as seguintes modalidades (ANEEL, 2016):

- **Azul:** aplicada às unidades consumidoras do grupo A caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia;
- **Verde:** modalidade tarifária horária verde: aplicada às unidades consumidoras do grupo A caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência;
- **Convencional Binômia:** aplicada às unidades consumidoras do grupo A caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia. Esta modalidade será extinta a partir da revisão tarifária da distribuidora;
- **Convencional Monômia:** aplicada às unidades consumidoras do grupo B, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia;

Em relação aos grupos A e B, a ANEEL, conforme a resolução normativa nº 414/2010, caracteriza-os da seguinte forma:

- Grupo A: Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV; b) subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV; c) subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV; d) subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV; e) subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e f) subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

- Grupo B: Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômnia e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo B1 - residencial; b) subgrupo B2 - rural; c) subgrupo B3 - demais classes; e d) subgrupo B4 - Iluminação pública.

1.1.1 TARIFA BRANCA

De acordo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015) a tarifa branca retrata o uso da rede de distribuição de energia em consonância com o horário de consumo. Logo, quando o consumidor direciona seu consumo para o horário fora da ponta, torna possível uma economia nos seus gastos com energia elétrica, bem como melhora o fator de utilização da rede, diminuindo ou postergando investimentos. Todavia, a tarifa branca torna-se desvantajosa se a maior parte do consumo estiver nos horários de ponta e intermediário, ou seja, caso não seja possível a flexibilização do consumo, transferindo-o para fora da ponta. Nesse caso, a tarifa branca pode resultar em aumento da conta de energia e seria mais vantajoso permanecer na tarifa convencional.

É importante que o consumidor, antes de optar pela Tarifa Branca, conheça seu perfil de consumo e a relação entre a Tarifa Branca e a Convencional. Quanto mais o consumidor deslocar seu consumo para o período fora de ponta e quanto maior for a diferença entre essas duas tarifas, maiores serão os benefícios da Tarifa Branca (ANEEL, 2019).

A ANEEL elucida de maneira bastante clara os benefícios oriundos da utilização da tarifa branca, caso esta seja utilizada em pleno acordo com a flexibilização dos horários de consumo. É interessante e importante que o consumidor conheça a fundo seu perfil de utilização de energia elétrica.

Se optar pela Tarifa Branca, o consumidor tem que ser disciplinado no gerenciamento de seu consumo, pois o horário de utilização da energia é fundamental para a economia na conta de luz. Caso não consiga evitar o consumo no horário de ponta, a adesão à Tarifa Branca pode resultar em uma conta maior: nessa situação, é mais vantajoso continuar na Tarifa Convencional (ANEEL, 2019).

A Agência Nacional de Energia Elétrica classifica a disciplina e o deslocamento do consumo para fora da ponta como o conjunto necessário para que haja economia nos gastos com energia.

Em 2016, a ANEEL, por meio da resolução normativa nº 733/2016 regulamentou a tarifa branca, tornando-a vigente no dia 1º de janeiro de 2018 para novas ligações e para as unidades consumidoras com média anual de consumo mensal superior a 500kw/h. A partir do dia 1º de janeiro de 2019 para as unidades consumidoras com média anual de consumo mensal superior a 250kw/h e a partir do dia 1º de janeiro de 2020 para todas as unidades consumidoras. Outrossim, propôs as seguintes considerações:

- A adesão será uma OPÇÃO do consumidor e a solicitação deverá ser atendida pela distribuidora em até 30 dias;
- A opção pela modalidade tarifária Branca poderá ser exercida por todos os titulares de unidades atendidas em baixa tensão, exceto as unidades consumidoras da subclasse baixa renda da classe residencial, do tipo iluminação pública ou as unidades consumidoras que façam uso do sistema de pré-pagamento;
- A adesão de uma nova ligação, no caso de o consumidor querer iniciar o fornecimento com aplicação da modalidade tarifária Branca, deve ser atendida pela distribuidora dentro dos prazos definidos pela Resolução Normativa nº 414/2010 (máximo de 5 dias em área urbana e 10 dias em área rural);
- O consumidor poderá retornar à Tarifa Convencional a qualquer tempo, devendo ser atendido pela distribuidora em até 30 dias. Após o retorno à Convencional, uma nova adesão à Tarifa Branca só será possível após o prazo de 180 dias;
- Os custos relativos ao medidor e à sua instalação são de responsabilidade da distribuidora; eventuais custos para alterações no padrão de entrada da unidade consumidora competem ao consumidor;
- O consumidor poderá solicitar um medidor com funcionalidades adicionais, devendo, porém, arcar com a diferença de preço desse equipamento em relação ao medidor normal;
- A fatura deverá discriminar os valores de consumo em cada período (ponta, fora de ponta e intermediário).

Vale ressaltar que no caso de o consumidor residir no Estado do Amapá, deverá solicitar a Companhia de Eletricidade do Amapá a mudança de tarifa desejada, seguindo as normas elucidadas no texto acima.

De acordo com a agência, aparelhos como chuveiros elétricos e condicionadores de ar são os que mais elevam o consumo de energia. Logo, deslocar sua utilização para fora da ponta é primordial para indicar se a adesão à tarifa branca ocasionará vantagens. No âmbito da análise entre tarifa branca e convencional, publicadas em resoluções homologatórias e, definidas e reajustadas anualmente, quanto maior a diferença entre elas, mais benefícios serão observados. Por fim, a ANEEL ressalta a importância de considerar alguns possíveis contratemplos no deslocamento do consumo para fora da ponta e as ocasionais vantagens obtidas a partir disso.

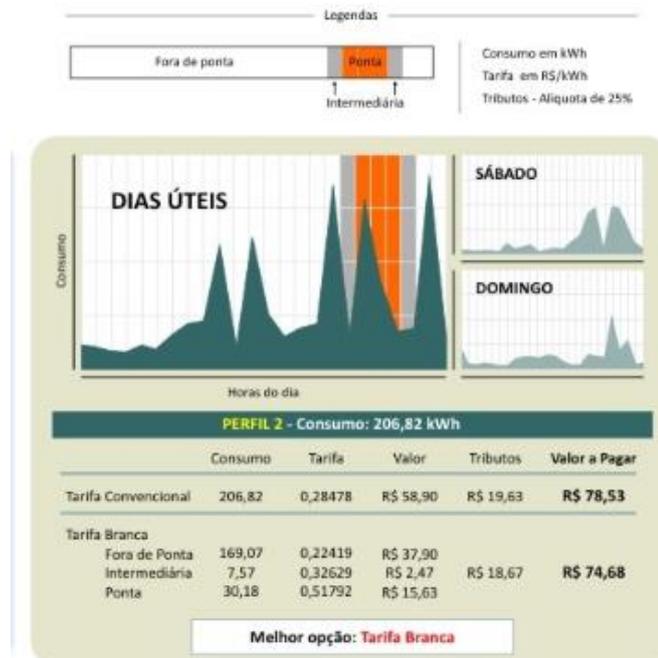
Devido às limitações explanadas anteriormente, percebe-se que a Tarifa Branca não é vantajosa para todo tipo de usuário. Como forma de auxiliar o consumidor, a ANEEL utilizou alguns perfis de consumo fictícios, os quais pertencem a uma determinada classe de UC (Unidade Consumidora). Para um estabelecimento comercial, que funciona 24hrs/dia em todos os dias da semana e um estabelecimento residencial que adequou a utilização de equipamentos de alta potência como chuveiro elétrico para fora da ponta, respectivamente:

Figura 1.1 – Simulação de perfil de consumo de um consumidor comercial.



Fonte: ANEEL (2015)

Figura 1.2 – Simulação de perfil de consumo de um consumidor residencial



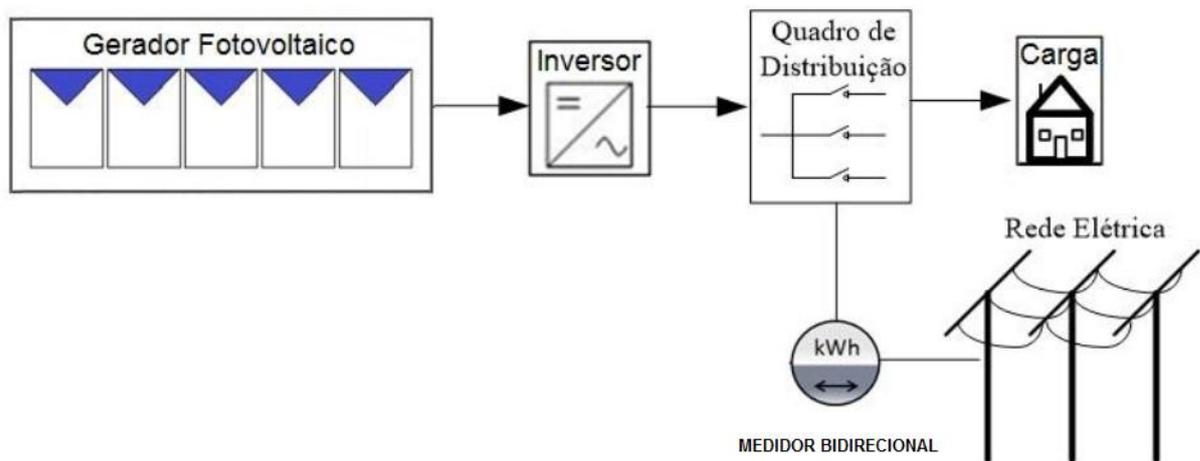
Fonte: ANEEL (2015)

1.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

Um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR), também conhecido como Sistema *ON-GRID* ou *GRID-TIE* pode ser definido como um conjunto de equipamentos que transformam energia solar em elétrica, composto pelo gerador fotovoltaico, inversor de frequência e a rede local, os quais permitem uma troca contínua entre a potência fornecida pelo sistema de distribuição, e a potência fornecida pelo gerador fotovoltaico (ZILLES *et al*, 2012).

O processo de funcionamento de um SFCR se dá através da incidência da radiação solar nos módulos solares, onde se inicia o efeito fotovoltaico (Camargo, 2017). A tensão gerada em C.C(Corrente Contínua), será convertida em C.A(Corrente Alternada) pelo inversor de frequência, o qual enviará a energia para a rede de distribuição ou para o circuito de uma determinada residência.

Figura 1.3 – Componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: PINHO & GALDINO (2014).

As principais vantagens de um SFCR podem ser atribuídas ao fato do sistema poder gerar uma forma de “crédito de energia”, não sendo uma forma de retorno financeiro, e sim um abatimento na conta de energia. De acordo com a **Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012** e sua revisão **nº 687/2015**, o consumidor tem direito, através de fontes renováveis, gerar energia elétrica, e fornecer o excedente para a rede de distribuição de uma determinada localidade. Segundo ANEEL (2015), esta forma de geração possibilita benefícios ao sistema elétrico, tais como o baixo impacto no meio ambiente, redução no carregamento das redes, minimização das perdas, e a diversificação da matriz energética.

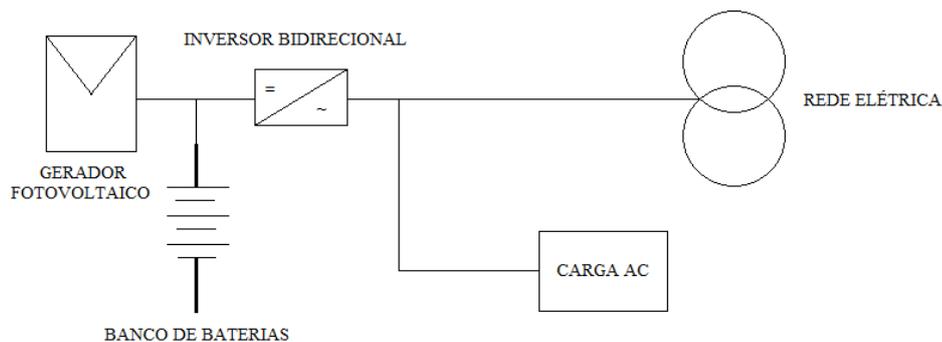
Para Naruto (2017), uma geração distribuída pode ocasionar alguns problemas na rede de distribuição, devido ao fato de se encontrar próximo ao consumidor, visto que quando a proteção não está dimensionada de forma direcional adequada, sobre tensões e fluxos de potência bidirecionais podem ocorrer.

De acordo com HOFF et al, (1996), a geração distribuída pode ser atraente para o setor elétrico, visto as reduções de custos que ela possibilita. Pode-se citar a redução de perdas reativas de potência, redução de perdas nas linhas de transmissão e distribuição e o adiamento de investimentos em novas linhas e subestações. Além disso, há a possibilidade de utilizá-la em locais com menor possibilidade de expansão do sistema de distribuição/transmissão devido a maior flexibilidade para instalação.

Os sistemas conectados à rede remetem prontamente a sua utilização sem um banco de baterias, devido a troca constante entre a energia gerada pelo sistema e a energia proveniente da rede de distribuição. Porém Barbosa et al. (2007) caracteriza um SFCR com acumuladores de energia, o qual apresenta uma função de *backup* para situações de emergência, ou em

localidades que possuem uma qualidade precária na rede. Com isso, o gerador pode prover energia durante o dia, e a noite, as baterias provêm a energia necessária. Além disso, os acumuladores podem ser recarregados tanto pelo gerador, quanto pela energia fornecida pela rede.

Figura 1.4 – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com Banco de Baterias



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em relação ao desempenho de um SFCR, vale destacar:

Além das condições ambientais, clima, recurso solar e temperatura na localidade onde um sistema fotovoltaico é conectado à rede, seu desempenho depende fundamentalmente das características de sua configuração: tipos de tecnologias dos módulos fotovoltaicos e dos inversores. BARBOSA et al. (2007)

1.2.1 ETAPAS REFERENTES AO PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UM SFCR

PINHO & GALDINO (2014) afirmam que as etapas necessárias para a elaboração de um projeto de sistema fotovoltaico são, respectivamente, o levantamento do recurso solar disponível, definição da localização e configuração do sistema, o levantamento adequado do consumo de energia elétrica, o dimensionamento do gerador fotovoltaico, e por fim, o dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência, além do dimensionamento do sistema de armazenamento, caso necessário.

1.2.2 EQUAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SFCR

- Potência do gerador que compõe um SFCR:

$$P_{FV}(Wp) = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (1.1)$$

Onde:

$P_{FV}(Wp)$ - Potência de pico do painel FV;

$E(Wh/dia)$ - Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste;

HSP_{MA} - Média diária anual das horas de sol pico incidente no plano do painel FV;

TD(adimensional) - Taxa de desempenho;

Segundo Pinho e Galdino (2014), a taxa de desempenho (performance ratio) é definida como a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. Para SFCRs residenciais instalados no Brasil, a TD varia entre 70 e 80%, devido às condições de radiação solar encontradas no país.

- Fator de dimensionamento do inversor (FDI)

$$FDI = \frac{P_{Nca}(W)}{P_{FV}(Wp)} \quad (1.2)$$

Onde:

FDI (adimensional) - Fator de dimensionamento do inversor;

$P_{Nca}(W)$ - Potência nominal em corrente alternada do inversor;

$P_{FV}(W)$ - Potência pico do painel fotovoltaico;

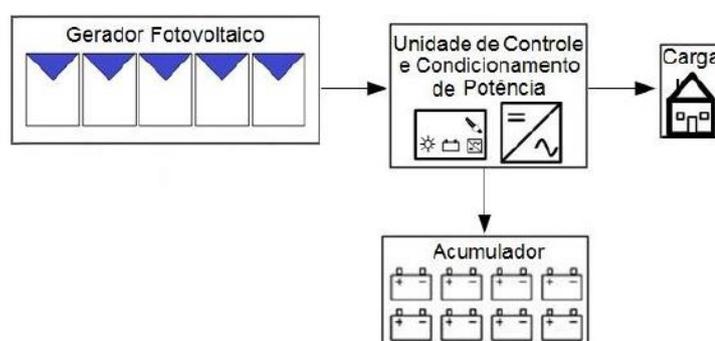
Pinho e Galdino (2014) constatam que na literatura, os valores inferiores de FDI recomendados por fabricantes situam-se na faixa de 0,75 a 0,85, enquanto que o limite superior é de 1,05.

1.3 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

De acordo com Alves (2016) classificam-se como sistemas fotovoltaicos isolados aqueles sistemas os quais o sistema FV é a única fonte de eletricidade disponível, sendo imprescindível a utilização de um banco de baterias para armazenar a energia gerada. Quanto à sua utilização, podem ser dispostos de maneira a suprir uma única residência ou configurados em arranjos que formam mini redes destinados a atender pequenas comunidades.

Para Alvarenga et al. (2014), um sistema fotovoltaico isolado é composto por um painel ou um conjunto de painéis fotovoltaicos, um regulador de carga, uma bateria ou um banco de baterias e um inversor de corrente contínua para corrente alternada.

Figura 1.5 – Configuração de um sistema fotovoltaico isolado



Fonte: PINHO & GALDINO (2014).

1.3.1 EQUAÇÕES REFERENTES AO SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO

- Determinação do consumo do projeto

$$L = \frac{L_{cc}}{n_g} + \frac{L_{ca}}{n_g n_{inv}} \quad (1.3)$$

Onde:

L_{cc} : consumo diário em corrente contínua;

L_{ca} : consumo diário em corrente alternada;

n_g : eficiência do banco de baterias (%);

n_{inv} : eficiência média diária do inversor (%);

- Consumo a ser atendido

$$C_{cor} = \frac{C'}{\left(1 - \frac{\Omega_{perdas}}{100}\right)} \quad (1.4)$$

Onde:

C_{cor} : consumo corrigido;

C' : consumo da residência;

Ω_{perdas} : percentagem de perdas totais referentes a energia produzida CC e entregue CA (%)

- Capacidade Energética Útil de uma Bateria

$$C_B = C_E \times \frac{P_{Dmax}}{100} \quad (1.5)$$

Onde:

C_B : capacidade energética útil de uma bateria;

C_E : capacidade energética total de uma bateria;

P_{Dmax} : profundidade de descarga máxima (%);

- Capacidade total do banco de baterias

$$C_{BB} = \frac{C_{cor}}{\left(1 - \frac{\Omega_{ac}}{100}\right)} \quad (1.6)$$

Onde:

C_{BB} : capacidade total do banco de baterias;

C_{cor} : consumo corrigido;

Ω_{ac} : percentagem perdas nos dispositivos de armazenamento e controle (%);

- Potência do Módulo Fotovoltaico

$$Potência = 1,25 \times \frac{L}{(HSP)_\beta} \quad (1.7)$$

Onde:

$Potência(Wp)$: potência do módulo fotovoltaico;

HSP_β : horas de sol pico;

L : consumo do projeto;

- Número de Baterias

$$nb = \frac{C_{BB}}{C_B} \quad (1.8)$$

Onde:

C_{BB} : capacidade total do banco de baterias;

nb : Número de baterias;

C_B : capacidade energética útil de uma bateria;

1.4 INDICADORES DE ANÁLISE ECONÔMICA

1.4.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

De acordo com Neto (2012), o valor presente líquido (VPL) é dado pela diferença entre os fluxos previstos de entrada ou saídas em cada período de tempo em caixa e o valor inicial do investimento. É importante ressaltar que o VPL exige que a taxa de desconto utilizada na atualização dos fluxos de caixa seja definida previamente. Por fim, o valor presente líquido expressa o resultado econômico expresso em moeda atualizada. A fórmula do VPL é dada por:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (1.9)$$

Onde:

FC_0 = valor inicial do investimento;

FC_j = fluxos previstos de entradas ou saídas em cada período de tempo;

i = taxa interna de retorno;

t = Tempo (Ano)

VPL = valor presente líquido;

1.4.2 PAYBACK

O payback simples é uma ferramenta de análise econômica, empregada para avaliação do tempo de retorno de um investimento inicial, segundo a equação abaixo (MARQUEZAN; BRONDANI, 2006):

$$p = \frac{I_0}{t \times E} \quad (1.10)$$

Onde:

p = payback simples (ano);

I_0 = investimento inicial (R\$);

t = tarifa de energia elétrica (R\$/kwh);

E = energia real anual (kwh);

De acordo com Heick (2010), o payback descontado é utilizado para calcular o tempo necessário para obter retorno ao investimento feito, utilizando a taxa mínima de atratividade (TMA) para descontar o fluxo de caixa obtido pelo projeto.

Segundo Bruni e Famá (2003), utilizar o payback descontado tem vantagens em relação ao payback simples. É possível citar como uma das vantagens, o fato de o payback descontado levar em consideração o valor do dinheiro no tempo. Em contrapartida, cita-se como desvantagem o fato de não ser uma medida de rentabilidade, outrossim mede apenas o tempo de retorno. A equação utilizada para o cálculo do payback descontado é dada por:

$$FCC(t) = -I + \sum_{j=1}^t \frac{R_j - C_j}{(1+i)^j}; 1 \leq t \leq n \quad (1.11)$$

Onde:

FCC = valor presente de capital, ou seja, o fluxo de caixa descontado para o valor presente cumulativo até o instante t ;

I = valor do investimento inicial em módulo, ou seja ($-I$) é o valor algébrico do investimento localizado no instante 0;

R_j = é a receita proveniente do ano j ;

C_j = é o custo proveniente do ano j ;

i = é a taxa de juros empregada;

j = é o índice genérico que representa os períodos

CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo tratará sobre a execução dos procedimentos de dimensionamento do sistema, considerando desde a avaliação do recurso solar, o local escolhido, medições do consumo de energia elétrica, até os instrumentos e ferramentas computacionais utilizados para tal.

2.1 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR

Visto que o presente trabalho é um projeto de um sistema fotovoltaico para uma residência na zona urbana de Macapá-AP (Latitude: $0^\circ 2' 4''$ Norte, Longitude: $51^\circ 3' 60''$ Oeste), foi necessária a obtenção dos dados relacionados à irradiação solar diária média mensal da cidade. Para tal, o programa METEONORM 7.3 foi utilizado, considerando um plano inclinado de 10° (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Irradiação Solar Diária Mensal para a cidade de Macapá

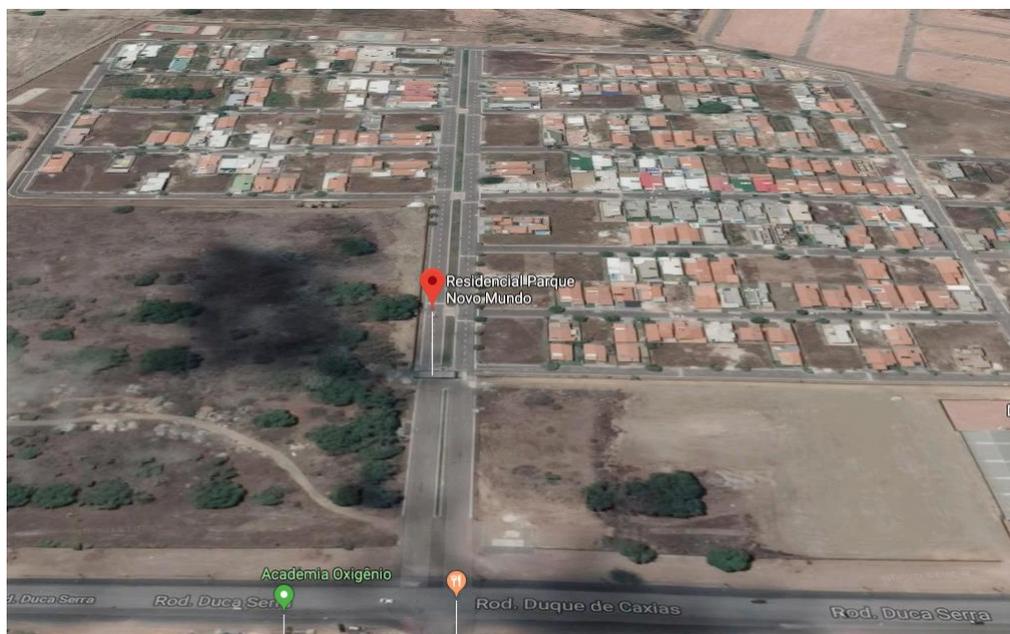
| ÂNGULO | IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MENSAL EM MACAPÁ-AP PARA UM PLANO DE 10° (kWh/m ² .dia) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|-------|
| | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MÉDIA |
| LATITUDE (0°) + 10° | 4,1 | 3,63 | 3,53 | 3,53 | 4,43 | 4,36 | 5,16 | 5,76 | 5,6 | 6,2 | 6 | 5,53 | 4,82 |

Fonte: METEONORM 7.3.

2.2 LOCAL ESCOLHIDO

O dimensionamento foi realizado levando em conta o consumo de uma residência na zona oeste de Macapá, em um condomínio fechado, situado na Rodovia Duca Serra, bairro Cabralzinho (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Visão por Satélite do Condomínio



Fonte: Google Maps(2019).

A residência possui uma laje, a qual considera-se um local adequado a alocação dos painéis.

2.3 INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Para que o consumo de energia elétrica da residência fosse obtido, um analisador de rede do modelo RE4001, da marca EMBRASUL (Figura 2.2) foi utilizado.

Figura 2.2 – Analisador de Rede EMBRASUL RE4001



Fonte: Os Autores.

O equipamento foi ligado a caixa de energia da residência, de forma a obter os dados de consumo por 24h. Devido a não ocorrências de sinistros na rede, ou seja, quedas constantes, optou-se, com a orientação de um técnico experiente, a configuração do tempo de integralização para medição, em 10 segundos.

Figura 2.3 – Instalação do Equipamento



Fonte: Os Autores.

Figura 2.4 – Equipamento Instalado



Fonte: Os Autores.

Após 24 horas com o equipamento realizando as medições, o dado relacionado a potência ativa trifásica consumida foi obtido em forma de gráfico, como mostra a figura 2.5.

Figura 2.5 – Curva de Carga da Residência

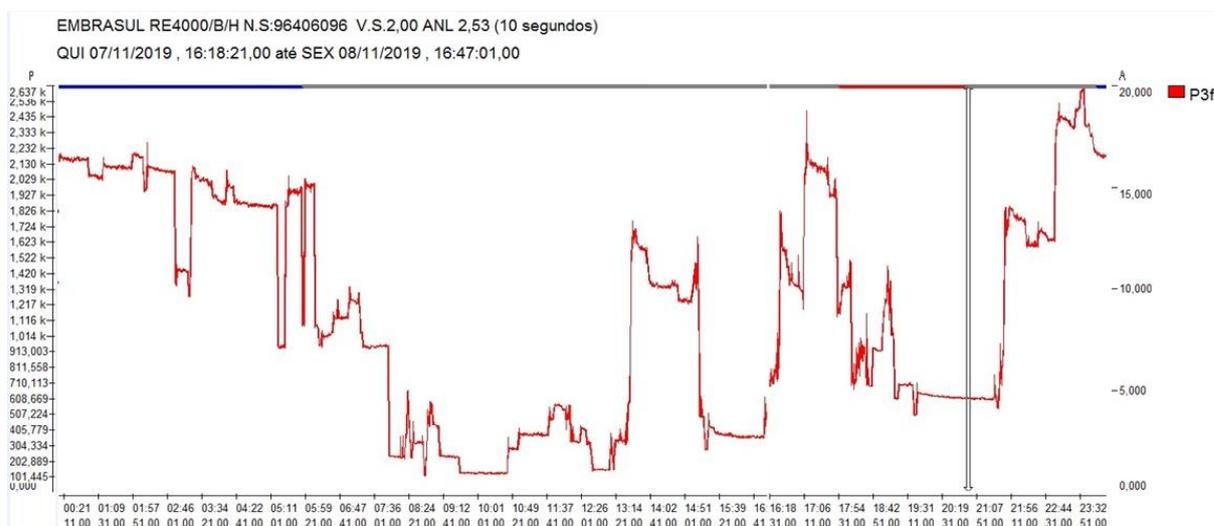


Figura 2.6 – Relatório Resumido

EMBRASUL RE4000/B/H N.S:96406096 V.S.2,00 ANL 2,53 (10 segundos)

Tecnomil Engenharia Industrial LTDA CNPJ: 990 547 510 -20 IE:157 152 325 2222 - 2
Almirante Tamandaré, 207 CEP: 9904746 Porto Alegre RS - Brasil
Tel: 124 45 45 125 47 47 FAX 474 25 22
www.tecnomil.com.br , tecnomil@ig.com.br

RELATÓRIO SEMANAL (Integração = 10 segundos)

Intervalo considerado:

quinta-feira 07/11/2019 16:18:11,00 até sexta-feira 08/11/2019 16:47:01,00

Faixas de horário estabelecidas no software

Intervalo - Fora de ponta: 00:00 - 18:00 23:00 - 24:00

Intervalo - Ponta: 19:00 - 22:00

Intervalo - Reservado: 18:00 - 19:00 22:00 - 23:00

Semana: QUI 07/11/2019 a SEX 08/11/2019

| Horário | Consumo [kWh] | Geração [kWh] | Reativa [kVArh] | FP |
|---------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|
| Ponta | 2,267 | 0,000 | 0,042 | 0,999 ind |
| Fora de ponta | 23,456 | 0,000 | 4,584 | 0,981 ind |
| Reservado | 2,658 | 0,000 | 0,235 | 0,996 ind |
| Total | 28,381 | 0,000 | 4,860 | 0,986 ind |

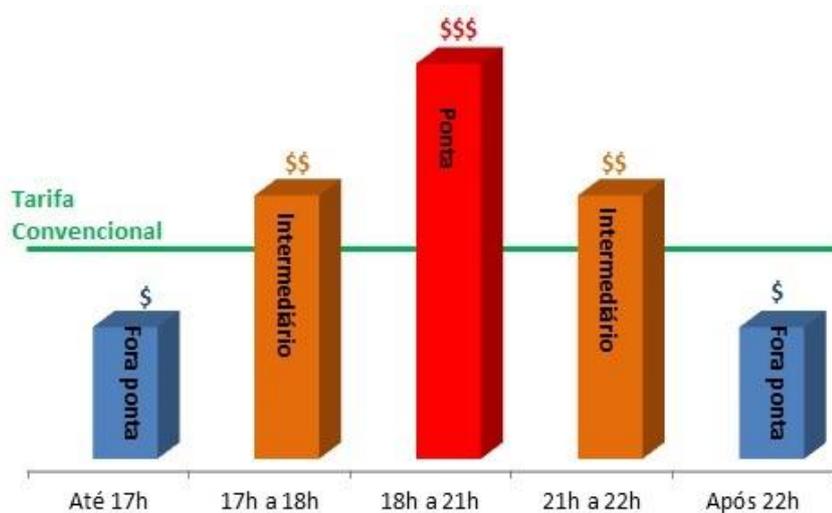
2.3.1 PARÂMETROS INICIAIS DE ANÁLISE

Inicialmente, verificou-se somente como a mudança da tarifa afetaria a fatura de energia da residência. Devido à falta de um simulador por parte da Companhia de Eletricidade do

Amapá (CEA), utilizou-se o simulador da Companhia Paranaense de Energia (COPEL), o qual realiza uma estimativa para o consumidor, se vale a pena realizar a mudança da tarifa convencional para a branca, de acordo com o consumo diário de energia elétrica.

Os valores do R\$/kWh segundo a COPEL utilizando como referência a tarifa branca, com os impostos já inclusos é de R\$ 1,45488 para os horários de ponta, R\$ 0,93679 para os horários intermediários e de R\$ 0,68559 para os horários fora da ponta. Já os valores do R\$/kWh utilizados pela CEA, com os impostos já inclusos, são de R\$ 1,23500 para os horários de ponta, R\$ 0,79400 para os horários intermediários e de R\$ 0,46900 para os horários de fora da ponta.

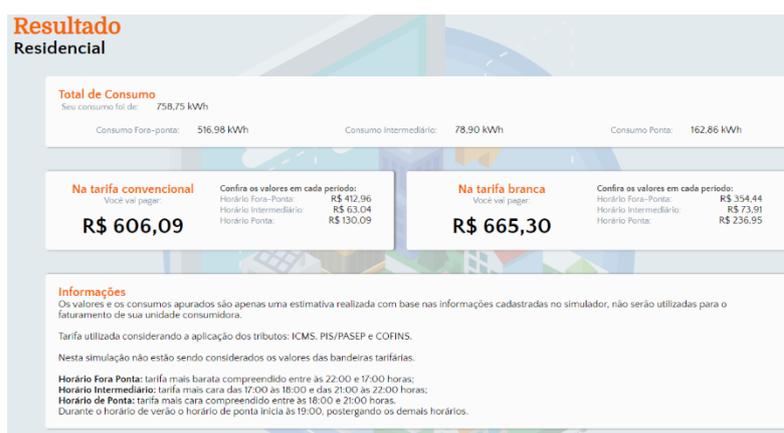
Figura 2.7 – Indicadores de horário para tarifa branca.



Fonte: COPEL.

Baseando-se nos hábitos da residência escolhida, o relatório foi gerado, de acordo com a figura 2.8.

Figura 2.8 – Relatório resumido referente à simulação do consumo de energia



Fonte: COPEL

2.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Com os dados obtidos anteriormente, foi possível iniciar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, com o auxílio da ferramenta computacional Microsoft Office Excel® 2016. Os seguintes casos foram elaborados:

- Modalidade tarifária convencional + SFCR.
- Modalidade tarifária branca + SFCR.
- Modalidade tarifária branca + SFI suprindo somente a demanda intermediária e da ponta.

2.4.1 DADOS PRELIMINARES E DIMENSIONAMENTO

Os dados necessários para o dimensionamento do sistema são a irradiação solar diária mensal na cidade de Macapá e o consumo da residência utilizada neste estudo de caso. A irradiação média, considerando um plano de 10°, é de 4,82 kWh/m².dia (Tabela 2.1) e o consumo da residência escolhida para este estudo de caso é de 28,381 kWh/dia (Figura 2.7). Através do software ANL 7000, a curva de carga foi gerada (Figura 2.6).

- MODALIDADE CONVENCIONAL + SFCR & MODALIDADE BRANCA + SFCR

De posse dos dados preliminares, realizou-se o dimensionamento do SFCR para a residência com tarifa convencional e branca, considerando que o gerador fotovoltaico (FV) deve atender 50% do consumo residencial com taxa de desempenho de 70%. Como o analisador de rede realizou a medição de apenas um dia de consumo, estimou-se o consumo mensal multiplicando o consumo diário por 30, obtendo um valor de 851 kWh. Em seguida utilizando a equação 1.1 calculou-se a potência de pico do gerador FV obtendo um valor de 4,204 kWp.

Visando o melhor custo benefício escolheu-se um módulo fotovoltaico de 155 Wp (Anexo B.1) e um inversor de frequência com potência nominal de 3300 W (Anexo B.2). O preço encontrado para os componentes mencionados está contido no Apêndice C.

Tabela 2.2 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico

| Módulo Upsolar | |
|-------------------------|-------------------|
| Modelo | Up M-155P |
| Potência nominal (Wp) | 155 |
| V _{mpp} (V) | 18,30 |
| I _{mpp} (A) | 8,49 |
| V _{oc} (V) | 23,20 |
| I _{sc} (A) | 8,77 |
| Eficiência do módulo | 15,60% |
| Nº de células | 36 (4x9) |
| Tipo de célula | Si Policristalino |
| NOCT | 45 +/- 2 °C |
| Temperatura de operação | 40~+90 °C |

Fonte: Neosolar

Tabela 2.3 – Especificações técnicas do inversor de frequência.

| Inversor Ecosolys plus | |
|--|-----------------|
| Modelo | ECOS2000 |
| Potência fotovoltaica nominal | 3300W |
| Tensão máxima de entrada(V) | 480 |
| Corrente máxima de entrada (A) | 10 |
| Intervalo MPPT (V) | 125-380 |
| Tensão de saída (v) | ~220 |
| Frequência de saída | 60 Hz |
| Grau de proteção | IP64 |
| Eficiência Máxima | 96,60% |
| Proteção sub/sobre tensão | sim |
| Proteção inversão de polaridade | sim |

Fonte: Neosolar

Utilizando a equação (1) do apêndice A, calculou-se o número de módulos fotovoltaicos (FV) necessários, obtendo-se o valor de 28 módulos. Respeitando a tensão máxima do sistema de 24 V, uma configuração de 2 módulos em série e 14 em paralelo foi considerada a mais adequada. A tensão de máxima potência do gerador FV foi calculada de acordo com a equação (2) do apêndice A, resultando em 36,6 V. De forma análoga, a tensão de circuito aberto, através da equação (3) do apêndice A foi calculada, resultando em 46,4 V.

- MODALIDADE BRANCA + SFI suprindo somente a demanda intermediária e ponta

O dimensionamento do sistema isolado iniciou-se com a obtenção do consumo proveniente dos horários de ponta e intermediário (reservado), sendo a soma de ambos 4,925 kWh (Figura 2.7). O consumo de projeto calculado, considerando uma eficiência de 95% para o inversor e 85% para o banco de baterias, foi de 6099,07 Wh (Equação 1.3). A potência do gerador, visando somente o carregamento do banco para o suprimento dos horários de ponta e intermediário, foi de 2159,72 Wh (Equação 1.7), considerando o critério do pior mês, a qual a irradiação solar é de 3,5 kWh/m².dia para o mês de março (Tabela 2.1).

Utilizou-se o mesmo módulo fotovoltaico dos outros cenários elaborados, com as especificações técnicas presentes na tabela 2.2. Optou-se por um inversor senoidal de 3000 W (Anexo B.4) e um controlador de carga de 45 A (Anexo B.3), com as respectivas especificações técnicas abaixo. O preço dos componentes mencionados está contido no Apêndice C.

Tabela 2.4- Especificações técnicas do inversor senoidal.

| Inversor Senoidal Epever | |
|------------------------------|--------------------|
| Tipo de Onda | Senoidal Pura |
| Modelo | SHI3000-22 |
| Tensão de Entrada | 24 Vcc |
| Tensão de Saída | 220 Vca |
| Potência de Saída (contínua) | 3000 W |
| Potência Máxima de Surto | 6900 W |
| Eficiência | 93% |
| Frequência | 50/60 Hz |
| Corrente sem Carga | < 1,2 A |
| Distorção Harmônica | ≤ 3 % |
| Entrada USB | Não |
| Código IP | IP 20 |
| Dimensões | 507 x 249 x 116 mm |
| Peso | 7,5 kg |
| Temperatura de Operação | -20 °C ~ + 50 °C |

Fonte: Neosolar

Tabela 2.5- Especificações técnicas do controlador de carga.

| Controlador de Carga PWM | |
|----------------------------|------------------------|
| Tipo de Algoritmo de Carga | PWM |
| Modelo | Viewstar VS4524AU |
| Tensão Nominal do Sistema | 12/24 V (automático) |
| Corrente de Carga | 45 A |
| Corrente de Descarga | 45 A |
| Máxima Tensão da Bateria | 32 V |
| Tensão Máxima do Sistema | 50 V |
| Tipos de Bateria | Selada, Gel, Ventilada |
| Visor | Sim |
| Programável | Sim |
| Entrada USB | 5V / 2,4A |
| Bitola Máxima do Cabo | 16 mm ² |
| Aterramento | Comum Positivo |
| Código IP | IP 30 |
| Dimensões | 194 x 118,4 x 63,8 mm |
| Peso | 0,76 kg |
| Temperatura de Operação | 25°C ~ + 55°C |

Fonte: Neosolar

A capacidade energética útil da bateria calculada foi de 1440 Ah (Equação 1.5) e a capacidade total do banco de baterias considerando perdas de 2% foi de 10580,02148 Ah

(Equação 1.6). Além disso, o número de baterias foi calculado resultando em um total de 8 baterias (Equação 1.8) configuradas 2 em série e 4 em paralelo.

Tabela 2.6 – Especificações técnicas da Bateria.

| Baterias | |
|-------------------------------------|--------------------|
| Partida | 260ah |
| (C5) | 300ah |
| (C10) | 330ah |
| (C25) | 400ah |
| Tensão de Flutuação | 13.2 a 13.6v |
| Tensão de Carga | 14.4 a 14.8v |
| Tensão de Tração | 14.8 a 15.2v |
| Corrente de Partida (CCA) -18°C (A) | 1600 |
| Corrente de Partida (CCA) +18°C (A) | 2950 |
| Reserva de Capacidade (min.) | 900 (C10) |
| Ciclo de Descarga | +/- 5% 11.9v (80%) |
| Peso (Kg) +/- 5% | 55 |
| Número de ciclos aproximadamente | 800 |

Fonte: Maxpower Baterias

CAPÍTULO 3 ANÁLISES E RESULTADOS

No presente capítulo são realizados os estudos relacionados à viabilidade econômica dos diferentes casos dimensionados anteriormente, através das equações previamente apresentadas. A análise econômico-financeira de um sistema fotovoltaico requer a consideração de alguns parâmetros, que vão desde os custos iniciais de investimento (compra dos painéis, inversores, controladores, baterias, instalação e mão de obra), até os custos dos próximos anos relacionados à manutenção desses equipamentos.

3.1 ANÁLISE DO IMPACTO DA MUDANÇA DE MODALIDADE TARIFÁRIA NA FATURA DE ENERGIA

Esta análise se deu através da utilização de um simulador online pertencente à COPEL, a qual foi realizada uma estimativa do consumo mensal referente à residência escolhida, considerando o período de utilização de vários aparelhos (lâmpadas LED, televisores, geladeira, computador), além de mostrar o impacto na fatura caso o consumidor opte pela tarifa branca (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Simulação de Mudança de Tarifa

| Consumo | | Valores por modalidade | | |
|------------------|------------|------------------------|---------------|---------------|
| | | Tarifa convencional | Tarifa branca | Diferença (%) |
| Fora da ponta | 516,98 kWh | R\$ 412,96 | R\$ 354,44 | 0,5852 |
| Intermediário | 78,90 kWh | R\$ 63,04 | R\$ 73,91 | 0,1087 |
| Horário de ponta | 162,86 kWh | R\$ 130,09 | R\$ 236,95 | 1,0686 |
| Total | 758,75 kWh | R\$ 606,09 | R\$ 665,30 | 0,5921 |

Fonte: COPEL

Considerando que a simulação estabeleceu os hábitos reais da residência, percebe-se que a mudança para a tarifa branca não é viável, visto que o consumo nos horários de ponta e intermediário acabam encarecendo a fatura de energia.

3.2 ANÁLISE DA MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL COM SFCR

Para este cenário, realizou-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede de modo que fosse atendida 50% da demanda solicitada. A tabela 3.2 foi desenvolvida com intuito de realizar a análise de viabilidade econômico-financeira do sistema implementado. Somando todos os custos necessários à implementação do sistema, o total apresentado é de R\$ 12.600,55. Por óbvio, no primeiro ano de instalação, ainda não é possível alcançar economia na fatura de energia, o VPL é o mesmo, ou seja -R\$ 12600,55 e o saldo permanece negativo, uma vez que é referente ao investimento inicial necessário como dito anteriormente.

Tabela 3.2 - Análise Econômica.

| Ano | Módulos | | Inversores | | Instalação + Estrutura | O&M 1% | Custo | Economia | VP | Saldo | Payback |
|-----|---------|------------|------------|--------------|---------------------------|------------|----------------|--------------|----------------|---------------|---|
| | Quant. | Preço | Quant. | Preço | | | | | | | |
| 0 | 28 | R\$ 289,00 | 1 | R\$ 2.865,00 | R\$ 1.643,55 | R\$ 0,00 | -R\$ 12.600,55 | R\$ 0,00 | -R\$ 12.600,55 | -R\$12.600,55 | 3,785796624 Preço Kwh CEA R\$ 0,75 taxa inflação 2,89% |
| 1 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 126,01 | -R\$ 126,01 | R\$ 3.680,11 | R\$ 3.454,27 | -R\$ 9.146,28 | |
| 2 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 3.369,81 | -R\$ 5.776,47 | |
| 3 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 3.275,15 | -R\$ 2.501,32 | |
| 4 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 3.183,16 | R\$ 681,84 | |
| 5 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 3.093,75 | R\$ 3.775,59 | |
| 6 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 3.006,85 | R\$ 6.782,45 | |
| 7 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.922,40 | R\$ 9.704,84 | |
| 8 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.840,31 | R\$ 12.545,15 | |
| 9 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.760,53 | R\$ 15.305,68 | |
| 10 | 0 | R\$ 0,00 | 1 | R\$ 2.865,00 | R\$ 429,75 | R\$ 119,36 | -R\$ 3.414,11 | R\$ 392,00 | -R\$ 2.272,89 | R\$ 13.032,80 | |
| 11 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.607,63 | R\$ 15.640,43 | |
| 12 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.534,39 | R\$ 18.174,82 | |
| 13 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.463,20 | R\$ 20.638,02 | |
| 14 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.394,01 | R\$ 23.032,03 | |
| 15 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.326,77 | R\$ 25.358,80 | |
| 16 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.261,42 | R\$ 27.620,22 | |
| 17 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.197,90 | R\$ 29.818,12 | |
| 18 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.136,16 | R\$ 31.954,28 | |
| 19 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.076,16 | R\$ 34.030,44 | |
| 20 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 3.686,75 | R\$ 2.017,84 | R\$ 36.048,28 | |

Fonte: Os autores.

Foram considerados os valores do kWh (CEA) de R\$0,75 para cálculo da economia na fatura de energia e a taxa de inflação de 2,89% a.a. para cálculo do VPL. Por meio do cálculo do *payback* estima-se que a implementação do SFCR levará aproximadamente 3,7 anos para devolver o valor do investimento inicial ao consumidor.

3.3 ANÁLISE DA MODALIDADE TARIFÁRIA BRANCA COM SFCR

Para o presente cenário realizou-se a mesma análise do anterior, porém levou-se em consideração os diferentes preços do kWh referentes aos horários de ponta, fora da ponta e intermediário no cálculo das economias. Além disso, também foram considerados os diferentes consumos demandados em cada horário.

Tabela 3.3 - Análise Econômica.

| Ano | Módulos | | Inversores | | Instalação + Estrutura | O&M 1% | Custo | Economia PONTA | Economia FORA DA PONTA | Economia INTER. | ECONOMIA TOTAL | VP | SALDO | PAYBACK |
|-----|---------|------------|------------|--------------|---------------------------|------------|----------------|-------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|----------------|----------------|---------|
| | Quant. | Preço | Quant. | Preço | | | | | | | | | | |
| 0 | 28 | R\$ 289,00 | 1 | R\$ 2.865,00 | R\$ 1.643,55 | R\$ 0,00 | -R\$ 12.600,55 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | -R\$ 12.600,55 | -R\$ 12.600,55 | 5,249753 | |
| 1 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 126,01 | -R\$ 126,01 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.737,99 | R\$ 2.538,61 | -R\$ 10.061,94 | |
| 2 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 2.479,86 | -R\$ 7.582,07 | |
| 3 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 2.410,21 | -R\$ 5.171,87 | |
| 4 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 2.342,51 | -R\$ 2.829,36 | |
| 5 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 2.276,71 | -R\$ 552,64 | |
| 6 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 2.212,76 | R\$ 1.660,12 | |
| 7 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 2.150,61 | R\$ 3.810,73 | |
| 8 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 2.090,20 | R\$ 5.900,93 | |
| 9 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 2.031,49 | R\$ 7.932,43 | |
| 10 | 0 | R\$ 0,00 | 1 | R\$ 2.865,00 | R\$ 429,75 | R\$ 119,36 | -R\$ 3.414,11 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | -R\$ 550,12 | -R\$ 2.981,45 | R\$ 4.950,98 | |
| 11 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 1.918,97 | R\$ 6.869,95 | |
| 12 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 1.865,07 | R\$ 8.735,03 | |
| 13 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 1.812,69 | R\$ 10.547,71 | |
| 14 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 1.761,77 | R\$ 12.309,49 | |
| 15 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 1.712,29 | R\$ 14.021,77 | |
| 16 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 1.664,19 | R\$ 15.685,96 | |
| 17 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 1.617,45 | R\$ 17.303,41 | |
| 18 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 1.572,02 | R\$ 18.875,43 | |
| 19 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 | R\$ 119,36 | -R\$ 119,36 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.744,63 | R\$ 1.527,86 | R\$ 20.403,29 | |
| 20 | 0 | R\$ 0,00 | 0 | R\$ 0,00 | R\$ - | R\$ - | R\$ 0,00 | R\$ 503,95 | R\$ 1.980,16 | R\$ 379,88 | R\$ 2.863,99 | R\$ 1.619,97 | R\$ 22.023,26 | |

Fonte: Os autores.

Inicialmente, devido a tarifa ser variável, a coluna relacionada à economia foi dividida em três (ponta, fora da ponta, intermediária), sendo a soma destas a coluna ECONOMIA TOTAL. O custo total do projeto é de R\$ 12.600,55. Os valores da Companhia de Eletricidade do Amapá para o kWh em regime de tarifa branca constam na (Tabela 3.4), além do consumo estimado mensal (Tabela 3.5). O payback para esse tipo de sistema com a modalidade branca foi estimado em aproximadamente 5,25 anos.

Tabela 3.4 - Valores do kWh da CEA e taxa de inflação anual.

| | |
|---------------------------------------|---------------|
| Preço Kwh CEA (Horário Fora de Ponta) | Taxa inflação |
| R\$0,46900 | 2,89% |
| Preço Kwh CEA (Horário Intermediário) | Taxa inflação |
| R\$0,79400 | 2,89% |
| Preço Kwh CEA (Horário de Ponta) | Taxa inflação |
| R\$1,23500 | 2,89% |

Fonte: CEA

Tabela 3.5 - Valores dos consumos demandados por cada horário da tarifa branca.

| | | |
|---|------------|--------------------------|
| Consumo mensal Estimado KWh (PONTA) | Local | Demanda atendida pelo GF |
| 68,01 | MCP- AP | 50% |
| Consumo mensal Estimado KWh (INTERMEDIÁRIO) | Local | Demanda atendida pelo GF |
| 79,74 | MCP- AP | 50% |
| Consumo mensal Estimado KWh (FORA DA PONTA) | Local | Demanda atendida pelo GF |
| 703,68 | MCP- AP | 50% |

Fonte: Os Autores.

3.4 ANÁLISE DA MODALIDADE TARIFÁRIA BRANCA COM SFI

Para esta análise, o sistema teve algumas mudanças, de acordo com o terceiro marcador do tópico 2.4.1. Como o sistema deve suprir apenas os horários de ponta e intermediário, foi considerado na análise somente a coluna referente à economia para estes horários (ECONOMIA INTERMEDIÁRIA E ECONOMIA PONTA), sendo a soma destes a coluna ECONOMIA TOTAL. Apesar do sistema demandar uma quantidade menor de painéis fotovoltaicos, devido à adição de um banco de baterias, e controladores de carga, o custo total do projeto aumentou para R\$ 16.276,60. Logo, constatou-se que o sistema não se pagou, devido às constantes trocas de baterias, a cada 4 anos, inversores, a cada 10 anos, e os painéis a cada 25 anos. Para uma projeção de 40 anos, o saldo apenas aumentou, ao invés de diminuir (Anexo 1).

CONCLUSÃO

A normativa da ANEEL relacionada à tarifa branca deu ao consumidor residencial a possibilidade de escolha relacionada à sua fatura de energia. As vantagens que podem ser trazidas dependem inteiramente do perfil de consumo, ou seja, haver uma mudança na curva de carga, diminuindo o consumo nos horários de ponta e intermediário. Com a impossibilidade de realizar tal mudança, surgiu a possibilidade de utilizar um sistema fotovoltaico (conectado à rede e isolado) aliado com a tarifa branca, visando cobrir essa desvantagem. O estudo de caso iniciou com a mudança da modalidade tarifária, e verificou-se que não valia a pena com o perfil estabelecido na simulação. Primeiramente, iniciou-se o dimensionamento de um SFCR suprindo 50% do consumo com a tarifa convencional, e após a análise econômico-financeira calculou-se um payback de 3,7 anos, um resultado atrativo. Em seguida, o mesmo sistema foi utilizado com a tarifa branca, e com a análise econômico-financeira verificou-se um payback de 5,25 anos. Por fim, visando somente a cobertura do consumo nos horários de ponta e intermediário, foi dimensionado um sistema fotovoltaico isolado, porém a análise econômico-financeira não foi considerada atrativa, visto que foi constatado que não havia payback, devido às trocas constantes de componentes no sistema, principalmente o banco de baterias. Logo, constatou-se que a tarifa branca não é uma modalidade atraente para os consumidores que apresentam padrões de consumo semelhantes ao descrito neste trabalho, visto que estes utilizam mais energia justamente nos horários de ponta, e a utilização de um sistema fotovoltaico não melhorou a situação nessas condições, verificando-se que a utilização de um SFCR com a modalidade convencional ainda é a mais atraente para o consumidor.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A. C. et al. Energia Solar Fotovoltaica: Uma aplicação na irrigação da agricultura familiar – Instituto Federal de São Paulo. São Paulo, 2014

ALVES, Dennys Lopes. **Geração Solar Fotovoltaica- Conceitos Básicos.** – Instituto Federal do Rio Grande do Norte. João Câmara, 2016.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n.º 414/2010**, Diretoria Geral, Brasília, set.2010. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em 15 mar.2020

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n.º 482/2012**, Diretoria Geral, Brasília, abr. 2012. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 25 abril.2019

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n.º 687/2015**, Diretoria Geral, Brasília, abr. 2015. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: 30 jun.2019

BARBOSA, E., M. de S.; SILVA, D. O.; MELO, R. de O. **SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE COM BATERIAS SISTEMA UFPE-BRASIL.** In: Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Disponível em: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2007/2007-t004-a011.pdf> . 2007

BRUNI, A. L; RUBENS, F. As Decisões de Investimentos -. Com aplicações na HP12C e Excel. São Paulo: Atlas, 2003.

CAMARGO, L. T. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2017.

CEA – Companhia de eletricidade do Amapá. **Tarifa Branca**. Disponível em:
<<https://cea.portal.ap.gov.br/conteudo/1764/residencial-e-comercial/tarifa-branca>>

COPEL– Companhia Paranaense de Energia Elétrica. **Tarifa Branca**, Curitiba, jan. 2020.
Disponível
em:<<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2FIndustrial%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FB0CA4C8DF4B62F98832581F00058CCF9>>. Acesso em 15
mar.2020

EICK, Guilherme. **VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA NO BRASIL**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Centro Sócio Econômico, Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

EMBRASUL. **Catálogo Analisador de Energia RE-4001**. Disponível em:
www.embrasul.com.br/painel/pdf/Cat%C3%A1logo_RE4001_v05r00_pt_LR.pdf

ELÉTRICA. Agência Nacional de Energia. **Tarifa Branca**. Brasília,2015. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 26 abr 2019.

ELÉTRICA. Agência Nacional de Energia. **Tarifas Consumidores**. Brasília,2016. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores>>. Acesso em: 30 jun 2019.

HOFF, T., WENGER, H. e PEPPER, J. “Distributed Generation: An alternative to electric utility investments in system capacity”. Great Britain: Energy Policy, 1996.

MARQUEZAN, Luiz Henrique Figueira; BRONDANI, Gilberto. **Análise de investimentos**. Revista Eletrônica de Contabilidade, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 35-50, 2006. Disponível em:<
<https://periodicos.ufsm.br/contabilidade/issue/view/320>> Acesso em: 30 jun. 2019

NARUTO, D. T. **VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À**

REDE ELÉTRICA. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

NEOSOLAR ENERGIA - <https://www.neosolar.com.br/>. Acesso em set.2019

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB,2014**

NETO, A. A. Matemática Financeira e Suas Aplicações. São Paulo: Atlas, 2012.

RIBEIRO, U. G. V. Estudo de Viabilidade Econômica de Instalação de Fontes de Energia Renováveis Baseadas em Células Fotovoltaicas Para o Uso Residencial. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) –Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

ZILLES, Roberto.et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** 1.Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ANEXO A TABELA DE ANÁLISE PARA SFI + TARIFA BRANCA

| Ano | Quant. | Médulos | Preço | Inversores | Quant. | Preço | CONT. CARGA | Quant. | Preço | BATERIAS | Quant. | Preço | Instalação - Estrutura | O&M 1% | Custo | Economia PONTA | Economia MITER. | ECONOMIA TOTAL | VP | SAÍDO | |
|-----|--------|---------|-------------|------------|-------------|-------|-------------|--------|-----------|-------------|----------|-------------|------------------------|-------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| 0 | 14 | | R\$2.089,00 | 1 | R\$2.089,00 | 1 | R\$449,00 | 8 | R\$995,00 | R\$1.181,60 | R\$50,00 | R\$1.627,77 | R\$1.181,60 | R\$0,00 | -R\$1.627,77 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$16.276,60 | -R\$16.276,60 |
| 1 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.401,63 | -R\$ 14.874,97 | -R\$ 14.874,97 |
| 2 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.362,25 | -R\$ 13.112,71 | -R\$ 13.112,71 |
| 3 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.323,99 | -R\$ 12.188,72 | -R\$ 12.188,72 |
| 4 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$1.194,00 | 8 | R\$995,00 | R\$1.194,00 | R\$1.627,77 | -R\$9.316,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | -R\$15.049,29 | -R\$ 27.398,02 | -R\$ 27.398,02 |
| 5 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.250,66 | -R\$ 25.987,26 | -R\$ 25.987,26 |
| 6 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.215,53 | -R\$ 24.771,83 | -R\$ 24.771,83 |
| 7 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.181,39 | -R\$ 23.390,44 | -R\$ 23.390,44 |
| 8 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$380,70 | 6 | R\$380,70 | R\$380,70 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.148,61 | -R\$ 22.009,05 | -R\$ 22.009,05 |
| 9 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.115,47 | -R\$ 20.627,66 | -R\$ 20.627,66 |
| 10 | 0 | | R\$0,00 | 1 | R\$2.089,00 | 1 | R\$449,00 | 0 | R\$0,00 | R\$380,70 | 6 | R\$380,70 | R\$380,70 | R\$1.627,77 | -R\$2.837,47 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | -R\$2.837,47 | -R\$ 38.533,11 | -R\$ 38.533,11 |
| 11 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.082,31 | -R\$ 37.151,80 | -R\$ 37.151,80 |
| 12 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$1.194,00 | 8 | R\$995,00 | R\$1.194,00 | R\$1.627,77 | -R\$9.316,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$1.049,01 | -R\$ 45.816,81 | -R\$ 45.816,81 |
| 13 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$995,76 | -R\$ 48.465,25 | -R\$ 48.465,25 |
| 14 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$967,79 | -R\$ 47.497,47 | -R\$ 47.497,47 |
| 15 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$940,60 | -R\$ 46.536,86 | -R\$ 46.536,86 |
| 16 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$1.194,00 | 8 | R\$995,00 | R\$1.194,00 | R\$1.627,77 | -R\$9.316,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | -R\$10.691,49 | -R\$ 57.248,35 | -R\$ 57.248,35 |
| 17 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$888,31 | -R\$ 56.359,84 | -R\$ 56.359,84 |
| 18 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$863,55 | -R\$ 55.496,29 | -R\$ 55.496,29 |
| 19 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$839,49 | -R\$ 54.657,00 | -R\$ 54.657,00 |
| 20 | 0 | | R\$0,00 | 1 | R\$2.089,00 | 1 | R\$449,00 | 8 | R\$995,00 | R\$1.174,70 | 8 | R\$995,00 | R\$1.174,70 | R\$1.627,77 | -R\$11.786,47 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | -R\$12.333,83 | -R\$ 66.990,83 | -R\$ 66.990,83 |
| 21 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$792,81 | -R\$ 66.198,03 | -R\$ 66.198,03 |
| 22 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$770,94 | -R\$ 65.527,09 | -R\$ 65.527,09 |
| 23 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$749,07 | -R\$ 64.856,14 | -R\$ 64.856,14 |
| 24 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$1.194,00 | 8 | R\$995,00 | R\$1.194,00 | R\$1.627,77 | -R\$9.316,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | -R\$8.451,41 | -R\$ 73.307,55 | -R\$ 73.307,55 |
| 25 | 14 | | R\$889,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$606,98 | 0 | R\$0,00 | R\$606,98 | R\$1.627,77 | -R\$4.815,67 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | -R\$3.774,82 | -R\$ 77.082,37 | -R\$ 77.082,37 |
| 26 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$667,35 | -R\$ 76.460,82 | -R\$ 76.460,82 |
| 27 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$668,23 | -R\$ 75.892,64 | -R\$ 75.892,64 |
| 28 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$1.194,00 | 8 | R\$995,00 | R\$1.194,00 | R\$1.627,77 | -R\$9.316,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$7.595,56 | -R\$ 83.288,20 | -R\$ 83.288,20 |
| 29 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$631,22 | -R\$ 82.556,98 | -R\$ 82.556,98 |
| 30 | 0 | | R\$0,00 | 1 | R\$2.089,00 | 1 | R\$449,00 | 0 | R\$0,00 | R\$380,70 | 6 | R\$380,70 | R\$380,70 | R\$1.627,77 | -R\$2.837,47 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | -R\$1.487,76 | -R\$ 84.144,74 | -R\$ 84.144,74 |
| 31 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$596,26 | -R\$ 83.548,48 | -R\$ 83.548,48 |
| 32 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$1.194,00 | 8 | R\$995,00 | R\$1.194,00 | R\$1.627,77 | -R\$9.316,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | -R\$6.777,47 | -R\$ 90.325,95 | -R\$ 90.325,95 |
| 33 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$563,24 | -R\$ 89.821,71 | -R\$ 89.821,71 |
| 34 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$547,42 | -R\$ 89.115,90 | -R\$ 89.115,90 |
| 35 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$532,04 | -R\$ 88.683,26 | -R\$ 88.683,26 |
| 36 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$1.194,00 | 8 | R\$995,00 | R\$1.194,00 | R\$1.627,77 | -R\$9.316,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | -R\$6.047,48 | -R\$ 94.730,74 | -R\$ 94.730,74 |
| 37 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$502,57 | -R\$ 94.228,27 | -R\$ 94.228,27 |
| 38 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$486,45 | -R\$ 93.726,79 | -R\$ 93.726,79 |
| 39 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$470,33 | -R\$ 93.225,31 | -R\$ 93.225,31 |
| 40 | 0 | | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | 0 | R\$0,00 | R\$0,00 | R\$1.627,77 | -R\$1.627,77 | R\$1.007,91 | R\$ 397,76 | R\$1.604,90 | R\$454,21 | -R\$ 92.723,83 | -R\$ 92.723,83 |

Fonte: Os Autores.

ANEXO B COMPONENTES DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ANALISADOS



(1)

Fonte: Neosolar



(2)

Fonte: Neosolar



(3)

Fonte: Neosolar



(4)

Fonte: Neosolar



(5)

Fonte: Maxpower Baterias

APÊNDICE A – EQUAÇÕES

$$N^{\circ}M_{FV} = \frac{PG_{FV}}{PNM_{FV}} \quad (1)$$

$N^{\circ}M_{FV}$ - Número de módulos fotovoltaicos;

PG_{FV} - Potência do gerador fotovoltaico;

PNM_{FV} - Potência nominal do módulo fotovoltaico;

$$TMPG_{FV} = \frac{NM_S}{VMPP} \quad (2)$$

$TMPG_{FV}$ - Tensão de máxima potência do gerador FV;

NM_S - Número de módulos em série;

$VMPP$ - Tensão de máxima potência do módulo;

$$TCAG_{FV} = \frac{NM_S}{VOC} \quad (3)$$

$TCAG_{FV}$ - Tensão de circuito aberto do gerador FV;

NM_S - Número de módulos em série;

VOC - Tensão de circuito aberto do módulo;

APÊNDICE B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ANALISADOR DE REDE EMBRASUL RE4001

7. Especificações Técnicas

| CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS | |
|--|--|
| Alimentação | |
| Faixa Vac: | 85 a 300Vac (Fonte Trifásica) |
| Faixa Vdc: | 100 a 300Vdc |
| Consumo: | 5VA |
| Entradas de tensão | |
| Número de entradas: | 3 (VA,VB,VC) |
| Faixa de medição: | 30 a 300Vac (Fase-Neuro) 519V (F-F) |
| Resolução: | 0,01V |
| Precisão: | 0,2% |
| Sobrecarga de tensão: | +10% valor máximo durante 1 segundo. |
| Impedância de entrada: | 2M : |
| Amplitude de banda: | 1500Hz |
| Entradas de corrente | |
| Número de entradas: | 3 (IA,IB,IC) |
| Tipo: | Sensor flexível* ou alicate rígido |
| Faixa de medição: | Com sensor flexível: 5A a 3000A |
| | Com Alicate rígido AL100: 0,05A a 100A |
| | Com Alicate rígido AL1000: 5A a 1000A |
| <i>*Deve-se optar pelo diâmetro do sensor flexível: 160mm ou 240mm</i> | |
| Resolução: | 0,01A |
| Precisão: | 0,2% + precisão do sensor de corrente |
| Amplitude de banda: | 1500Hz |
| Combinações de fiação | |
| Monofásicas: | 2F |
| Bifásicas: | 2F, 3F |
| Trifásicas: | 3F, 4F |
| CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E DE SEGURANÇA | |
| Dimensões frontais: | 232 x 180mm |
| Profundidade: | 102mm |
| Peso: | 1,5kg |
| Grau de proteção: | IP54 |
| Grau de Poluição: | II (grau 2) |
| Categoria: | CATIII |
| Isolação: | 2,5kV - 60Hz |
| Características ambientais | |
| Temperatura de operação: | -10°C a 60°C |
| Temperatura de armazenamento: | -20°C a 70°C |
| Umidade: | 0% a 95%, sem condensação |
| PARÂMETROS MEDIDOS | |
| Tensões: | Por fase e trifásicas |
| Correntes: | Por fase e de Neutro (calculada) |
| Desequilíbrios: | Percentuais de desbalanceamentos entre as fases de tensão (NEMA e IEC) |
| Potências: | Ativas, reativas e aparentes por fase e totais |
| Precisão das potências: | ± 0,5% + precisão do sensor de corrente |

| | |
|---|---|
| Fator de potência: | Indutivo e capacitivo |
| Precisão do FP: | ± 0,5% |
| Fator de deslocamento: | Indutivo e capacitivo |
| Range do FP: | 0,001 até 1 indutivo e 0,001 até 1 capacitivo |
| Distorções: | DHTi, DHTv, TDD, DHT GLOBAL |
| Características do módulo de harmônicas | |
| Ordens medidas: | 1° (fund) até 25° (pares e ímpares) |
| Ângulo de fase: | 0° a 360° |
| Tratamento de dados: | Formas de onda |
| | Planilhas pré configuradas |
| | Gráficos e relatório pré-definidos |
| | Filtro de extremos em V ou I para todas as fases |
| Histogramas (Espectro harmônico): | Percentuais e valores absolutos |
| Normas | |
| Métodos de medição utilizados: | IEC 61000-4-30 |
| Harmônicos: | IEC 61000-4-7 |
| Sistema de amostragem | |
| Resolução: | 128 amostras por ciclo (Simultaneamente em todos os canais) |
| Intervalo de integração: | De 200 milissegundos a 10 minutos |
| Memória para registros | |
| Capacidade da memória interna: | 2GB |
| Autonomia: | Integração em 1 segundo: superior a 2 semanas* |
| | Integração em 10 minutos: 24 anos* |
| Base de tempo: | Cristal de quartzo - Resolução de 10ms |
| Bateria: | Interna para armazenamento de dados (Recarrega automático) |
| <i>*Medição consecutiva com todos os parâmetros registrados simultaneamente</i> | |
| Display | |
| Tipo: | LCD alfa numérico 2 linhas x 16 colunas |
| Retroiluminação: | Com backlight azul |
| Teclado | |
| Força de contato: | 160 ± 30g |
| Vida útil: | 50.000 ciclos (mínimo) |
| Interfaces de comunicação | |
| Ethernet | Porta Ethernet RJ45 a 100Mbps (TCP/IP) |
| CARACTERÍSTICAS DO SOFTWARE | |
| Compatibilidade com sistema operacional: | Windows XP e superiores |
| Memória do computador: | > 1GB de RAM |
| Atualizações: | Gratuitas |
| Software de análise: | Acompanha o equipamento |

Fonte: EMBRASUL

APÊNDICE C – PREÇOS DOS COMPONENTES ANALISADOS (EM REAL E DÓLAR)

| COMPONENTE | PREÇO (R\$) | COMPONENTE SIMILAR | PREÇO (US\$) |
|--|--------------------|---|---------------------|
| MÓDULO UPSOLAR M155-P | R\$ 289 | ALTE 150 WATT 12V POLY SOLAR PANEL | \$ 175 |
| INVERSOR ECOSOLYS PLUS 3300W | R\$ 2865 | SMA SUNNY BOY 3.0- US-41 GRID TIE INVERTER 3000W | \$ 1199 |
| INVERSOR SENOIDAL SHI3000 (Offgrid) | R\$ 2089 | PURE SINE WAVE INVERTER SAMLEX PST-3000-24 | \$ 1089 |
| CONTROLADOR DE CARGA PWM 45A EPEVER | R\$ 449 | CHARGE CONTROLLER MORNINGSTAR TRISTAR TS-45 | \$ 178 |
| BATERIA MAXPOWER MP- 3000 400 Ah | R\$ 995 | CONCORDE PVX- 4050HT AGM 405 Ah | \$644 |

Fonte: Os Autores