

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE  
UM SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM CARGA  
RESIDENCIAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CORNÉLIO PROCÓPIO  
2016**

TAYANE NICOLAO DA FONSECA

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE  
UM SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM CARGA  
RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de  
Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. João César de Paula Salve

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2016



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Campus Cornélio Procópio**  
**Departamento de Engenharia Elétrica**  
**Curso de Engenharia Elétrica**



## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Tayane Nicolao da Fonseca**

**Estudo da viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração distribuída em carga residencial**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às hs do dia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof(a). Me(a). João Cesar de Paula Salve - Presidente (Orientador)

---

Prof(a). Dr(a). Luiz Marcelo Chiesse da Silva - (Membro)

---

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio - (Membro)

Dedico este trabalho a Deus. Aos meus pais, Écio e Nilva, e ao meu irmão Vitor por todo o apoio durante essa jornada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar o dom da vida, por me dar saúde e força para sempre seguir em frente.

Aos meus pais, Ézio e Nilva, por todo o apoio, carinho, por todos os ensinamentos, por serem meu maior exemplo de vida, pelo amor incondicional. Ao meu irmão Vitor, por todas as risadas, por todo o carinho e amor e por estar sempre comigo independente de tudo.

Ao meu orientador Prof. Me. João César de Paula Salve por todos os ensinamentos, por acreditar na minha capacidade para realização deste trabalho e pela constante dedicação.

Aos professores da banca, Marco Antônio Ferreira Finocchio e Luiz Marcelo Chiesse da Silva, pelas colaborações e sugestões para o trabalho.

Ao meu namorado Renato, por ser meu maior companheiro durante essa jornada, por estar sempre comigo, até mesmo nas horas mais difíceis me alegrando, me ajudando a seguir em frente.

A todos os professores que foram importantes na minha formação profissional e pessoal.

À CAPES pela oportunidade da realização do intercâmbio através do programa Ciência sem Fronteiras.

Aos meus amigos de faculdade Julia, Karina, Jacqueline, Mayara, Alexia, Rodrigo, John, Ildemison, Marcos, Vinícius, André, Bruno, Pedro, Murilo e todos os demais com os quais convivi, por todos estes anos de amizade, companheirismo, pelas risadas e diversões. Esses anos jamais seriam tão bons sem vocês.

Aos meus amigos de Londrina; Juliana, Miriã, Camila, Raysa, Vitor e Érick, por estarem sempre ao meu lado mesmo distante e, pela amizade de muito anos.

A todos meus parentes, tios, tias, primos, primas, por sempre terem acreditado em mim.

A educação, se bem compreendida, é a chave do progresso moral.

Allan Kardec

## RESUMO

FONSECA, Tayane N. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM CARGA RESIDENCIAL. 58 f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento acadêmico de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

A geração distribuída é definida para que cada cliente possa gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis. A energia fotovoltaica, fonte de energia mais utilizada na geração distribuída, é gerada através de módulos fotovoltaicos que convertem a irradiação solar em energia em corrente contínua. Com o auxílio de inversores de corrente, é possível convertê-la em corrente alternada para enviar tal energia para a rede a fim de compensar a energia consumida. O presente trabalho realizou o estudo da viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia fotovoltaica em uma propriedade rural e em uma residência urbana localizadas no município de Buri – SP. Analisando os resultados técnicos e econômicos obtidos com auxílio do *software* Solergo® (2016) pode-se constatar que o projeto proposto é altamente viável para as condições de sistemas implantados nas áreas rurais e urbanas, sendo o mais viável apenas para a área urbana. Foi também realizada a análise de sensibilidade econômica para comparar o retorno do investimento inicial em situações mais otimistas e mais pessimistas onde, em todos os casos, é possível destacar que o sistema, apesar do alto investimento, é de alta viabilidade econômica, técnica, social e ambiental, sendo considerado um sistema autossustentável.

**Palavras-chave:** Economia, Fotovoltaica, Geração Distribuída, Viabilidade.

## ABSTRACT

FONSECA, Tayane N. STUDY OF ECONOMIC FEASIBILITY IMPLEMENTATION OF A DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM IN RESIDENTIAL LOAD. 58 f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento acadêmico de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

Distributed generation is set so that each customer can generate their own energy from renewable sources. Photovoltaics, that is the source of energy that has been used the most in distributed generation, is generated by photovoltaic modules that convert sunlight into energy with direct current. With the help of current inverters, you can convert it into alternating current to send such power to the grid in order to compensate for the energy consumed. This work conducted a study of the economic feasibility of the implementation of a photovoltaic system on a rural property and a townhome located in Buri - SP. Analyzing the technical and economic results obtained with the aid of the software Solergo® (2016) it can be seen that the proposed project is highly feasible for conditions of a implanted systems in rural and urban areas, but the most feasible would be only for the urban area. It was also performed the economic sensitivity analysis to compare the return of the initial investment in more optimistic and more pessimistic situations, where in all cases, still, it is possible to emphasize that the system, despite the high investment, is highly economic, technical, social and environmental feasible, and is considered a self-sustaining system.

**Keywords:** Distributed Generation, Economy, Feasibility, Photovoltaics.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Matriz Elétrica Brasileira 2015.....                                                                                                                             | 13 |
| Figura 2: Variação no percentual de energia elétrica entre os anos de 2014 e 2015.....                                                                                     | 14 |
| Figura 3: Irradiação solar no Brasil.....                                                                                                                                  | 17 |
| Figura 4: Célula fotovoltaica.....                                                                                                                                         | 19 |
| Figura 5: Componentes de um painel solar.....                                                                                                                              | 21 |
| Figura 6: Curva I-V painel fotovoltaico.....                                                                                                                               | 22 |
| Figura 7: Irradiação solar no plano inclinado.....                                                                                                                         | 27 |
| Figura 8: Histórico de consumo energético definido pela companhia de energia elétrica (ELEKTRO PAULISTA) para a residência localizada no município de Buri- SP. ....       | 29 |
| Figura 9: Histórico de consumo energético definido pela companhia de energia elétrica (ELEKTRO PAULISTA) para a propriedade rural localizada no Município de Buri- SP..... | 29 |
| Figura 10: Configuração dos módulos sobre o telhado coberto com telha de barro tipo romana. ....                                                                           | 38 |
| Figura 11: Foto panorâmica do local onde será instalado o sistema proposto. ....                                                                                           | 39 |
| Figura 12: Perfil de sombreamento anual do local onde será instalado o sistema de microgeração de energia, calculado utilizando o software Solergo® (2016). ....           | 39 |
| Figura 13: Procedimentos e Etapas de Acesso para geração distribuída.....                                                                                                  | 40 |
| Figura 14: Exemplo de Compensação de energia. ....                                                                                                                         | 41 |
| Figura 15: Demonstração gráfica do Fluxo de caixa referente ao período de retorno nominal. ....                                                                            | 46 |
| Figura 16: Demonstração gráfica do Fluxo de caixa referente ao período de retorno descontado. ....                                                                         | 47 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Irradiação solar diária média mensal.....                                                                                                                                                                                                                         | 27 |
| Tabela 2: Valores de irradiação direta, difusa, refletida e total consideradas para o município de Itapeva- SP, localizado a 38,9 km da propriedade rural.....                                                                                                              | 28 |
| Tabela 3: Cotação de preços do Kit 1 de materiais fornecidos pela empresa SICES.....                                                                                                                                                                                        | 32 |
| Tabela 4: Cotação de preços do Kit 2 materiais fornecidos pela empresa SICES. ....                                                                                                                                                                                          | 33 |
| Tabela 5: Cotação de preços do Kit 1 materiais, considerado o mais completo, fornecido pela empresa PHB Solar.....                                                                                                                                                          | 33 |
| Tabela 6: Cotação de preços do Kit 2 materiais, considerado o mais simples, fornecido pela empresa PHB Solar.....                                                                                                                                                           | 34 |
| Tabela 7: Cotação de preços do Kit 1 materiais considerando instalação monofásica, fornecido pela empresa NRibeiro.....                                                                                                                                                     | 34 |
| Tabela 8: Cotação de preços do Kit 2 materiais considerando instalação trifásica, fornecido pela empresa NRibeiro.....                                                                                                                                                      | 35 |
| Tabela 9: Tabela dos custos necessários para instalação sistema do sistema fotovoltaico. ....                                                                                                                                                                               | 44 |
| Tabela 10: Valores calculados para Fluxo de Caixa Nominal (FCN), Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e Valor Presente Líquido (VPL). ....                                                                                                                                       | 45 |
| Tabela 11: Período de retorno nominal e descontado calculado para o sistema proposto. ....                                                                                                                                                                                  | 46 |
| Tabela 12: Comparação dos indicadores econômicos do Fluxo de Caixa Nominal (FCN), Fluxo de Caixa Descontado (FCD), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), para os casos onde a micro usina de geração estão localizadas em área Urbana e Rural. .... | 48 |
| Tabela 13: Período de retorno para os casos onde a usina de microgeração de energia estão localizadas em área Urbana e Rural. ....                                                                                                                                          | 49 |
| Tabela 14: Análise de sensibilidade econômica do sistema proposto: Fluxo de Caixa Nominal (FCN), Fluxo de Caixa Descontado (FCD), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), para Taxa de atratividade ou de Desconto de 6%, 9% e 12%. ....              | 50 |
| Tabela 15: Período de retorno para análise de sensibilidade.....                                                                                                                                                                                                            | 51 |

## LISTA DE SIGLAS

|                  |                                                                 |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ABRADEE          | Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica     |
| ANEEL            | Agência Nacional de Energia Elétrica                            |
| CA               | Corrente Alternada                                              |
| CC               | Corrente Contínua                                               |
| COFINS           | Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social          |
| CO <sub>2</sub>  | Dióxido de Carbono                                              |
| EPE              | Empresa de Pesquisa Energética                                  |
| EPI              | Equipamento de Proteção Individual                              |
| EPC              | Equipamento de Proteção Coletiva                                |
| FC               | Fluxo de Caixa                                                  |
| FCD              | Fluxo de Caixa Descontado                                       |
| FCN              | Fluxo de Caixa Nominal                                          |
| H <sub>2</sub> S | Sulfeto de Hidrogênio                                           |
| ICMS             | Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços |
| MPPT             | <i>Maximum Power Point Tracking</i>                             |
| ND               | Norma de Distribuição                                           |
| NO <sub>x</sub>  | Óxido de Nitrogênio                                             |
| NR               | Normativa Regulamentadora                                       |
| OPEN EI          | <i>Open Energy Information</i>                                  |
| PIS              | Programa de Integração Social                                   |
| PRD              | Período de Retorno Descontado                                   |
| PRS              | Período de Retorno Simples                                      |
| SEBRAE           | Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas        |
| SO <sub>2</sub>  | Dióxido de Enxofre                                              |
| TEP              | Tonelada Equivalente de Petróleo                                |
| TIR              | Taxa Interna de Retorno                                         |
| TMA              | Taxa Mínima de Atratividade                                     |
| VPL              | Valor Presente Líquido                                          |
| Wp               | Watt-pico                                                       |

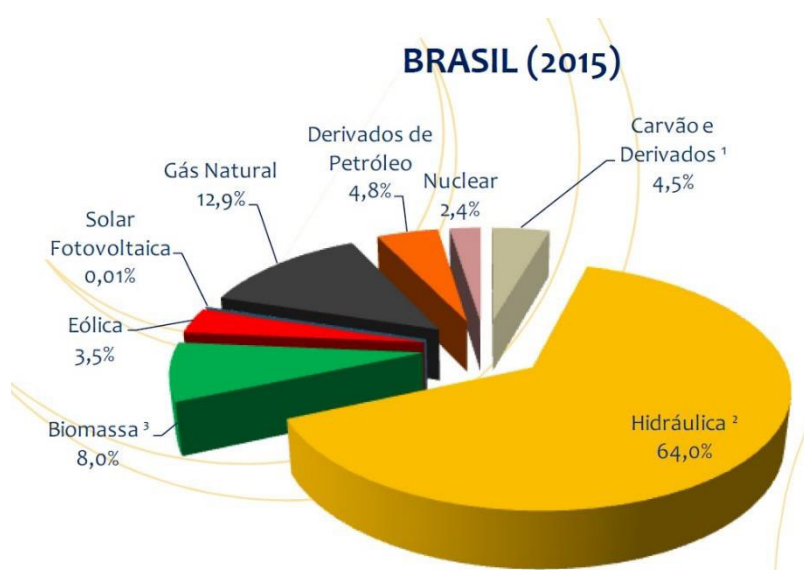
## SUMÁRIO

|                                                                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                                                                                                   | <b>13</b> |
| 1.1. OBJETIVOS .....                                                                                                         | 15        |
| 1.1.1. Objetivo Geral .....                                                                                                  | 15        |
| 1.1.2. Objetivos Específicos .....                                                                                           | 15        |
| 1.2. PROBLEMA .....                                                                                                          | 16        |
| 1.3. JUSTIFICATIVA .....                                                                                                     | 16        |
| <b>2. ENERGIA FOTOVOLTAICA E INDICADORES ECONÔMICOS</b> .....                                                                | <b>19</b> |
| 2.1. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....                                                                                              | 19        |
| 2.1.1. Silício Monocristalino .....                                                                                          | 20        |
| 2.1.2. Silício Policristalino .....                                                                                          | 20        |
| 2.1.3. Filme De Silício Fino .....                                                                                           | 20        |
| 2.2. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....                                                                                             | 21        |
| 2.3. INVERSORES DE CORRENTE.....                                                                                             | 21        |
| 2.4. NORMAS UTILIZADAS.....                                                                                                  | 22        |
| 2.4.1. Resolução normativa ANEEL 687/2015 .....                                                                              | 22        |
| 2.4.2. ND.64 – Conexão entre Microgeração e Minigeração Distribuída em Baixa Tensão e a Rede de Distribuição da Elektro..... | 23        |
| 2.4.3. NR 35 – Trabalho Em Altura .....                                                                                      | 23        |
| 2.4.4. NR 10 – Segurança Em Instalação E Serviços Em Eletricidade .....                                                      | 24        |
| 2.5. INDICADORES ECONÔMICOS .....                                                                                            | 24        |
| 2.5.1. Valor Presente Líquido – VPL.....                                                                                     | 24        |
| 2.5.2. Taxa Interna de Retorno - TIR .....                                                                                   | 25        |
| 2.5.3. Taxa Mínima de Atratividade – TMA.....                                                                                | 25        |
| 2.5.4. Período de Retorno Simples – PRS ou <i>Payback</i> Simples .....                                                      | 25        |
| 2.5.5. Período de Retorno Descontado – PRD ou <i>Payback</i> Descontado.....                                                 | 26        |
| 2.5.6. Fluxo de Caixa – FC.....                                                                                              | 26        |
| <b>3. METODOLOGIA</b> .....                                                                                                  | <b>27</b> |
| 3.1. INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS .....                                                                                            | 28        |
| 3.2. DEFINIÇÃO E CÁLCULO DO NÚMERO DE MÓDULOS .....                                                                          | 29        |
| 3.3. DEFINIÇÃO DO INVERSOR DE CORRENTE.....                                                                                  | 31        |
| 3.4. COTAÇÃO DOS MATERIAIS .....                                                                                             | 32        |
| 3.5. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....                                                                                        | 35        |

|           |                                                                       |           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.1.    | Número Mínimo e Máximo de Módulos em Série.....                       | 35        |
| 3.5.2.    | Número de Fileiras em Paralelo .....                                  | 36        |
| 3.5.3.    | Configuração do Sistema de Acordo com a Área do Telhado .....         | 37        |
| 3.5.4.    | Perdas por Sombreamento.....                                          | 38        |
| 3.5.5.    | Outras Perdas.....                                                    | 39        |
| 3.6.      | PROCEDIMENTOS COM A DISTRIBUIDORA DE ENERGIA .....                    | 40        |
| 3.7.      | CÁLCULO DOS CUSTOS TOTAIS E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....     | 41        |
| <b>4.</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                  | <b>42</b> |
| 4.1.      | ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA .....                                  | 42        |
| 4.1.1.    | Capacidade de Produção de Energia Desconsiderando as Perdas .....     | 42        |
| 4.1.2.    | Produção de Energia Anual em Condições Reais .....                    | 42        |
| 4.1.3.    | Redução na Emissão de Poluentes .....                                 | 43        |
| 4.2.      | CÁLCULO DO CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO D O SISTEMA.....                | 43        |
| 4.3.      | DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES ECONÔMICOS E ANÁLISE DE VIABILIDADE..... | 44        |
| 4.3.1.    | Análise da Viabilidade Econômica .....                                | 45        |
| 4.3.2.    | Análise de Sensibilidade Econômica .....                              | 49        |
| <b>5.</b> | <b>CONSIDERAÇÕES .....</b>                                            | <b>52</b> |
| 5.1.      | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                                | 52        |
|           | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                              | <b>53</b> |
|           | <b>ANEXO A – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO .....</b>                  | <b>56</b> |
|           | <b>ANEXO B – DATASHEET INVERSOR .....</b>                             | <b>58</b> |

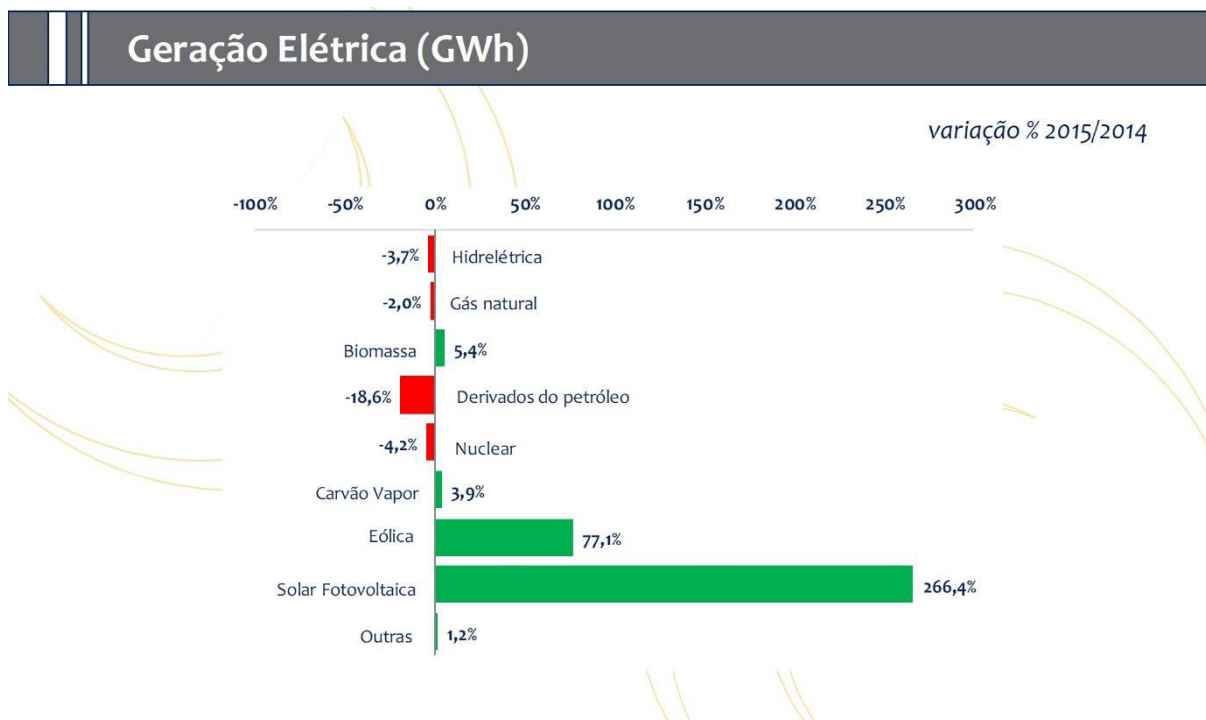
## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui inúmeros recursos energéticos disponíveis. Além dos minérios, possui também muitas fontes energéticas renováveis, como a energia proveniente de água, vento, sol. Essa vastidão nos recursos faz com que a matriz elétrica brasileira tenha a maior parte de geração elétrica vinda de fontes renováveis de energia (ARIKITA, 2016), como é possível observar na Figura 1, representando a energia elétrica ofertada no ano de 2015.



**Figura 1: Matriz Elétrica Brasileira 2015.**  
**Fonte: EPE (2016).**

Dentre as fontes utilizadas, é possível notar que a energia hidráulica possui maior participação na matriz elétrica, porém seus recursos, apesar de abundantes, são esgotáveis e altamente dependentes de fatores aleatórios, como por exemplo a necessidade de chuvas para recompor os reservatórios das usinas para que haja a geração de energia. Devido a isto, nos últimos anos foi possível observar um aumento na utilização de outras fontes renováveis como a eólica e a solar, como é possível notar no gráfico da Figura 2, a seguir.



**Figura 2: Variação no percentual de energia elétrica entre os anos de 2014 e 2015.**

**Fonte: EPE (2016).**

A energia solar, apesar de ser a fonte menos utilizada quantitativamente, apresenta o maior crescimento percentual no último ano (EPE, 2016). O sol, por sua vez, é a maior fonte de energia solar, sendo considerada como uma fonte inesgotável, e também a principal fonte de origem de outros tipos de energia, como a hidráulica, pois através da evaporação gera o ciclo da água; a eólica, na qual os ventos são provenientes de circulação atmosférica, originada pelo aquecimento dos raios solares; entre outras diversas fontes de energia que têm como base o sol (VILLALVA; GAZOLLI, 2012); (PINHO; GALDINO, 2014).

Segundo Ruther (2004), a geração de eletricidade através de painéis fotovoltaicos é considerada a melhor aplicação da energia solar. Com as tecnologias evoluindo, gerando redução nos custos e aumento na eficiência, tem se tornado cada vez mais viável do ponto de vista econômico a utilização da mesma em residências e indústrias, através de sistemas autônomos ou sistemas interligados à rede elétrica.

A ANEEL, através da Resolução Normativa 482 de 2012 e modificada através da Resolução Normativa 687 de 2015, tornou os sistemas fotovoltaicos de geração de energia conectados à rede ainda mais viáveis, seja do ponto de vista burocrático seja pelos incentivos criados para quem instala usina de microgeração ou minigeração compartilhada. Dentre tais incentivos, pode-se destacar a ampliação do período de 36 para 60 meses para a utilização

dos créditos excedentes nos casos onde a energia injetada na rede da concessionária seja maior do que a energia consumida.

Outro benefício contemplado na resolução foi a criação da “geração compartilhada”, que permite a criação de consórcios ou cooperativas para a instalação de usinas de micro ou minigeração distribuída, além da possibilidade de instalação desses tipos de sistemas em condomínios, entre outros.

Com todos os incentivos criados pela ANEEL e pelas distribuidoras de energia locais, a implantação de sistemas solares fotovoltaicos em residências e indústrias no Brasil tem se tornado cada vez mais frequente. Por outro lado, os avanços tecnológicos também têm permitido uma redução significativa nos custos de instalação do sistema, o que tem auxiliado o aumento significativo no número de usinas de geração distribuída instaladas no Brasil.

O presente trabalho consiste na análise da viabilidade técnica e econômica na implantação de um sistema de microgeração distribuída para uma residência urbana e uma propriedade rural localizados no interior de São Paulo.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, dimensionada para suprir o consumo energético de uma propriedade rural e ma residência urbana, no interior do estado de São Paulo.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Verificar os níveis de irradiação da cidade onde será implantado o sistema;
- Calcular o melhor ângulo de inclinação das placas de acordo com a região para obter o melhor resultado;
- Dimensionar o sistema para suprir as necessidades de ambas propriedades;
- Calcular os indicadores econômicos necessários para o estudo;
- Realizar as análises econômica e de sensibilidade econômica do projeto proposto;
- Discutir as questões técnicas e econômicas sobre a viabilidade ou não do projeto.



## 1.2. PROBLEMA

O Brasil produz a maior parte de suas energias através de fontes renováveis, sendo as mesmas responsáveis por 71% da energia gerada em todo o país no ano de 2015. Dentre essas, tem-se por principal fonte a energia hidráulica, que representa 64% da energia total produzida, conforme apresentado anteriormente na Figura 1 (EPE, 2016).

O fato da maior fonte de energia elétrica do país ser hidráulica implica na dependência constante do reabastecimento da água através de chuvas. Com isso, no caso de períodos de grande escassez de chuvas, podem ocorrer déficits nas produções e gerações de energia, aumentando os riscos de ocorrência de apagões em indústrias e residências, além de implicar em colapso para a economia do país, seja pela ausência de energia ou pelo aumento nos custos da geração. Este aumento pode ocorrer em função da prática governamental adotada nos casos em que há necessidade de mudança no sistema de geração de energia empregando outras fontes mais caras, em especial as oriundas de derivados do petróleo.

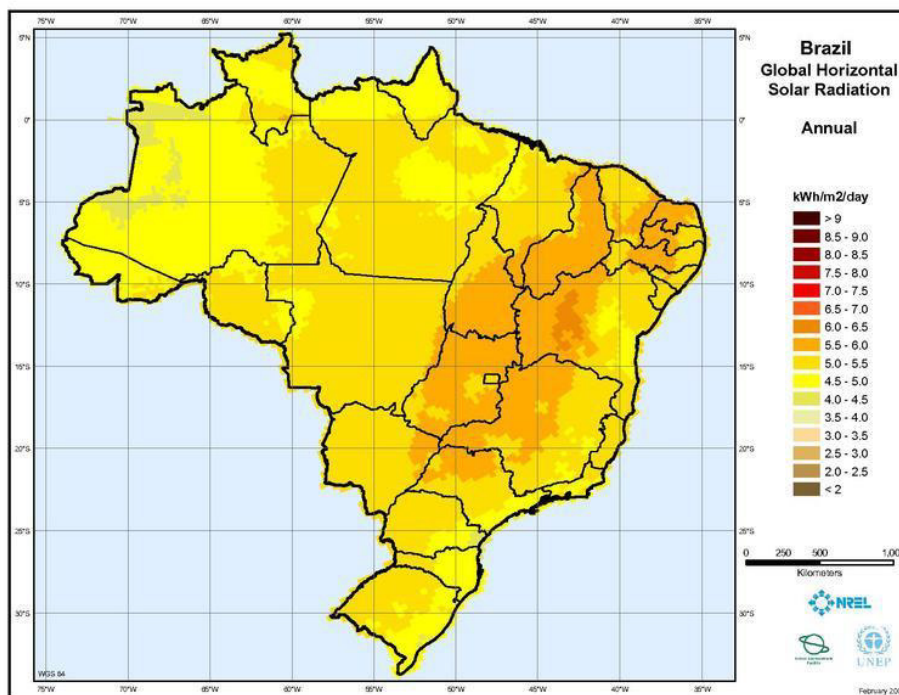
Em função da matriz energética atualmente adotada, o valor da geração e distribuição de energia elétrica no Brasil disponibilizada para o consumo da população tem sido considerado muito cara. Nota-se que as tarifas de energia elétrica praticada pelas concessionárias têm aumentado nos últimos anos devido à inflação, encargos, e tributos a serem pagos, como o ICMS, que pode ser responsável por mais de 30% do valor da conta de energia (ABRADEE, 2016).

A Elektro, concessionária da região em que será estudado e implantado o sistema proposto, adotou um aumento de 20,59% na bandeira verde, 26,49% na bandeira amarela e de 31,22% na bandeira vermelha, entre os anos de 2014 e 2015, nas tarifas residenciais (ANEEL, 2015). Estas taxas implicam diretamente em aumento nas despesas de custo fixo das residências ou das indústrias, o que mostra a necessidade de buscar outras fontes alternativas como é o caso da utilização da geração distribuída.

## 1.3. JUSTIFICATIVA

A incidência de raios solares no Brasil é muito alta, principalmente em comparação com outros países que utilizam a energia solar, como a Alemanha, uma das maiores geradoras

de energia elétrica proveniente de painéis fotovoltaicos. A Figura 3 mostra, por região, a variação estimada da quantidade de raios solares incidentes diretamente no território brasileiro.



**Figura 3: Irradiação solar no Brasil.**  
Fonte: OPEN EI (2010).

Apesar do local proposto para instalação ser numa propriedade rural, onde os custos com a energia elétrica são subsidiados; ou seja, reduzidos; a intenção é utilizar a energia produzida na propriedade para reduzir os custos tanto do respectivo local quanto de uma residência localizada em área urbana. De acordo com a ANEEL (2015), baseado na Resolução Normativa 687/2015, é possível obter o autoconsumo remoto, que significa que a mesma Pessoa Jurídica ou Pessoa Física pode ter múltiplas unidades consumidoras na mesma titularidade para uma única unidade de microgeração ou minigeração distribuída.

Uma grande vantagem da utilização da geração distribuída através de sistema fotovoltaico é o fato de a energia gerada ser creditada em kWh ao invés de creditada em dinheiro, portanto o consumo de energia elétrica do período é abatido na produção gerada e revertida para a rede de distribuição da concessionária. Isto torna a economia do sistema independente das diferentes tarifas adotadas pela concessionária, além do que, na geração de energia superior ao consumo, o excesso poderá ser creditado e utilizado dentro de um período de 60 meses, ou seja, 5 anos a partir da data do crédito.

Desta forma será avaliada a viabilidade técnica e econômica da instalação de um sistema fotovoltaico instalado em uma propriedade rural para suprir o consumo energético da mesma e de uma residência urbana do mesmo proprietário.

## 2. ENERGIA FOTOVOLTAICA E INDICADORES ECONÔMICOS

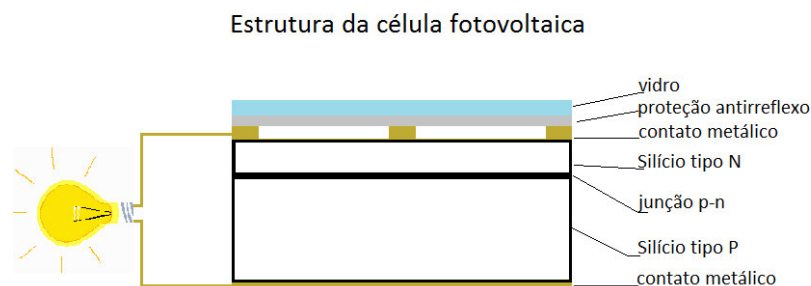
Neste capítulo serão apresentados os indicadores econômicos a serem utilizados e as fundamentações teóricas a respeito de sistemas fotovoltaicos, incluindo as normas necessárias para a instalação dos mesmos, os tipos de células fotovoltaicas existentes e seu funcionamento, além de outros conceitos necessários para o desenvolvimento do trabalho proposto.

### 2.1. CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Segundo Nascimento (2004), o efeito fotovoltaico ocorre quando a luz solar incide sobre materiais semicondutores, que são materiais que possuem características de materiais condutores e de isolantes. O silício, por exemplo, usado em muitas células fotovoltaicas, é um elemento que, em sua forma pura, não possui elétrons livres, portanto não é considerado bom condutor de energia.

Ainda de acordo com Nascimento (2004), para que seja possível que o silício conduza energia é realizado o processo de dopagem. Assim, quando dopado com o fósforo, gera carga negativa (N), ou seja, carga com elétrons livres, e com o boro, gera carga positiva (P), sem a presença de elétrons. As células fotovoltaicas possuem uma camada N fina, e uma camada P mais grossa, que ao se unirem, formam na junção P-N um campo elétrico, pois os elétrons da camada N se deslocam para as lacunas da camada P.

Quando a luz solar incide sobre a célula, cria um fluxo de elétrons da camada P para a N, gerando assim a corrente elétrica, como representada na Figura 4.



**Figura 4: Célula fotovoltaica.**  
**Fonte: Blog voltaico (2015).**

Assim, dentre os diversos tipos de células fotovoltaicas existentes, as mais utilizadas atualmente são as provenientes do silício, pois entre os materiais semicondutores é o que possui tecnologia de fabricação mais viável e a matéria-prima é barata e abundante. De acordo com Villalva e Gazolli (2012), as tecnologias mais comuns utilizadas são as do silício monocristalino, silício policristalino e do filme fino de silício.

#### 2.1.1. Silício Monocristalino

As células fabricadas a partir do Silício Monocristalino são as que atualmente possuem maior eficiência, de até 24% em laboratórios, porém na prática, juntamente com outras células, possui seu rendimento em torno de 15% (CASTRO, 2002). Isto ocorre pelo fato de que a estrutura cristalina está ordenada, possuindo um comportamento uniforme. Porém, devido ao seu processo de fabricação lento e mais cuidadoso, se torna o tipo mais caro encontrado no mercado (WENHAM et. al., 2007).

#### 2.1.2. Silício Policristalino

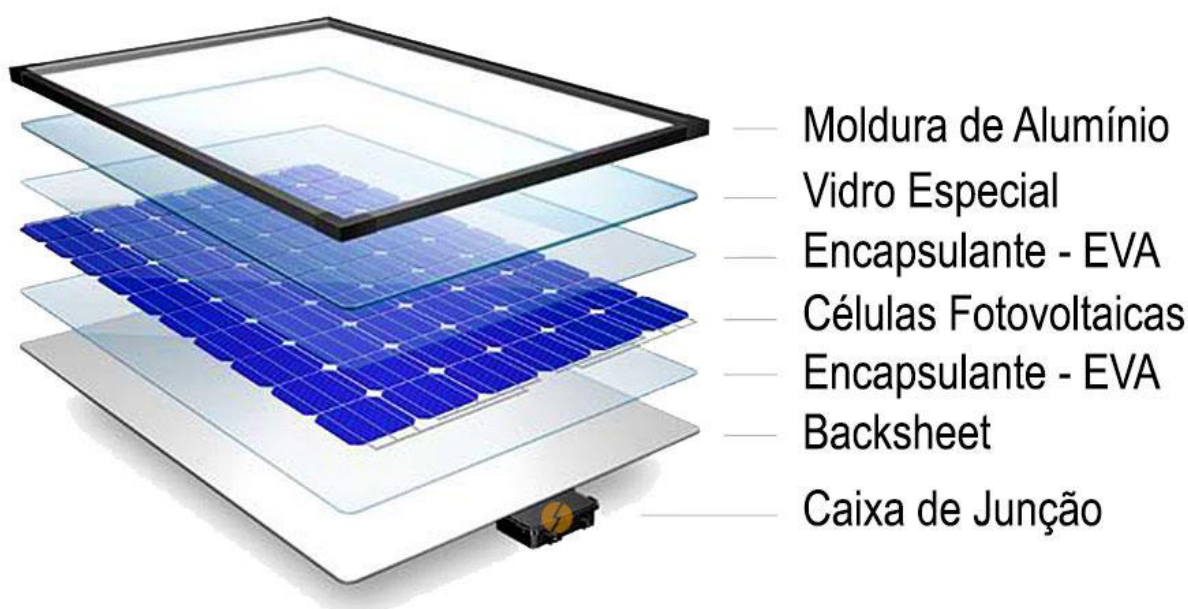
A eficiência desta célula é um pouco menor que a do silício monocristalino, variando em torno de 12% na prática. (CASTRO, 2002). Neste caso a fabricação ocorre de modo mais simples, pois os cristais não estão perfeitamente alinhados, possuindo defeitos que os tornam menos eficientes. Porém seu custo mais baixo os torna mais vendidos no mercado (RUTHER, 2004).

#### 2.1.3. Filme De Silício Fino

As células de filme fino de silício, também conhecidas como células de silício amorfo, são feitas por disposição de finas camadas de silício sobre um metal ou vidro. Seu custo é muito baixo, entretanto sua eficiência também é baixa, em torno de 5% a 10%. Além de possuir rendimento baixo, o processo de degradação desta célula ocorre em curto prazo, tornando-a menos viável para utilização em sistemas fotovoltaicos (BLOG VOLTAICO, 2015).

## 2.2. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Segundo Villalva e Gazolli (2012), um módulo ou placa fotovoltaica é a união em série de várias células fotovoltaicas, acopladas em uma estrutura rígida, para que haja aumento na tensão de saída, tornando-as então responsáveis pela conversão de energia elétrica. De acordo com Prieb (2002), as células são encapsuladas nos módulos para que haja proteção às intempéries, mas, que possibilite a passagem da luz até as mesmas. Além disso, sua estrutura possui molduras metálicas para que a placa possua certa rigidez mecânica, além de facilitar a fixação da mesma. Os componentes necessários em um módulo fotovoltaico estão representados na Figura 5.

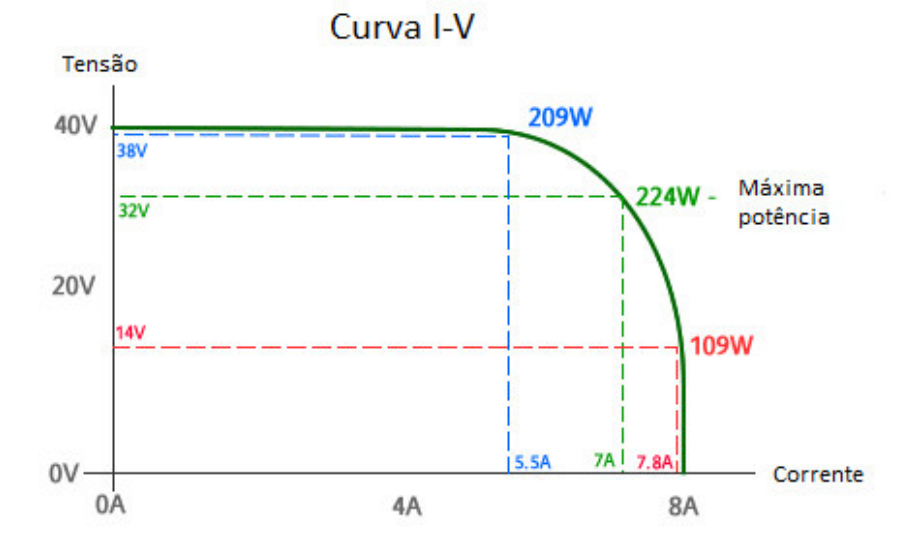


**Figura 5: Componentes de um painel solar.**  
 Fonte: Portal Solar (2016).

## 2.3. INVERSORES DE CORRENTE

Os inversores, ou também chamados de conversores de corrente elétricos, utilizados nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede têm como principal função converter a corrente contínua (CC), obtida pelos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada (CA). Os mesmos também devem controlar a frequência e a amplitudes para que se adequem às cargas, além de sincronizar sua tensão de saída com a tensão da rede. (PINHO; GALDINO, 2014).

Outra função dos inversores é a de rastrear o ponto de operação de máxima potência (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*), que faz com que o sistema funcione sempre na potência máxima independente de fatores que possam influenciar nos mesmos (CASARO; MARTINS, 2010). A Figura 6 mostra o comportamento de uma curva I-V de um painel solar com o ponto de potência máxima.



**Figura 6: Curva I-V painel fotovoltaico.**  
**Fonte: Adaptado de Websolar (2016).**

## 2.4. NORMAS UTILIZADAS

### 2.4.1. Resolução normativa ANEEL 687/2015

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), os consumidores podem gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis desde 2012, quando entrou em vigor a Resolução normativa 482/2012. Em 2015, algumas mudanças foram realizadas com a nova Resolução Normativa 687/2015 que entrou em vigor em março de 2016, favorecendo os clientes que pretendem utilizar as fontes renováveis. Assim, tem por objetivo estabelecer as condições necessárias para o acesso da microgeração ou minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e definir as condições para o sistema de compensação da energia elétrica gerada.

A ANEEL define o sistema de microgeração distribuída como sendo uma central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75kW, enquanto a

minigeração distribuída com potência variando entre 75kW e 5MW, para fontes renováveis não provenientes de recursos hídricos.

Estabelece outros aspectos importantes que são:

- Geração compartilhada: ocorre quando vários interessados, com diferentes CPF/CNPJ, por meio da formação de consórcio ou cooperativa, instalem a usina de micro ou minigeração para compensação visando a redução nas faturas de energia a serem pagas por todos os participantes.
- Autoconsumo remoto: é caracterizado por múltiplas unidades consumidoras de uma mesma Pessoa Física ou Jurídica, que possua a usina de micro ou minigeração em local diferente ao das unidades consumidoras, onde a energia será compensada.
- Geração em condomínio ou múltiplas unidades: pode-se ter uma usina na qual a energia elétrica gerada é repartida entre os participantes do condomínio, podendo o mesmo ser horizontal ou vertical, em que se permite que a energia gerada seja abatida de forma independente de cada participante, desde que a usina de geração esteja na mesma área de propriedade do condomínio.

#### 2.4.2. ND.64 – Conexão entre Microgeração e Minigeração Distribuída em Baixa Tensão e a Rede de Distribuição da Elektro

É a norma que estabelece todos os requisitos técnicos mínimos necessários para a conexão de uma usina de Microgeração ou Minigeração distribuída em paralelo com o sistema de rede de baixa tensão da Elektro, seguindo as obrigações e padrões da Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL.

#### 2.4.3. NR 35 – Trabalho Em Altura

Para os casos de instalação dos sistemas solares nos telhados de residências ou indústrias, além do cumprimento de todas as normas estabelecidas pela ANEEL e pela distribuidora de energia, é necessário que o trabalhador possua conhecimento da Norma Regulamentadora NR-35 comprovado através de certificado de conclusão de curso.

A NR-35 é a norma que define os requisitos mínimos das medidas de proteção para que seja possível a realização do trabalho em altura, visando garantir a segurança e a saúde os



trabalhadores envolvidos. É considerado como trabalho em altura, qualquer atividade realizada acima de 2 metros do nível inferior, havendo risco de queda (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2014).

#### 2.4.4. NR 10 – Segurança Em Instalação E Serviços Em Eletricidade

Para a instalação de projeto fotovoltaico, faz se obrigatório o conhecimento da NR-10, transmitido por meio de cursos criados para habilitação do instalador. Estabelece ainda os requisitos técnicos necessários para a implementação de controle e de sistemas preventivos de segurança e de saúde para os trabalhadores. A norma deve ser aplicada para todas as fases de geração, transmissão e distribuição de energia, incluindo os projetos, instalação, operação e manutenção necessária, além de outros trabalhos permitidos nas proximidades (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2016).

## 2.5.INDICADORES ECONÔMICOS

### 2.5.1. Valor Presente Líquido – VPL

O valor presente líquido (VPL) é a diferença entre o valor presente das receitas e o valor presente dos custos, ou seja, é a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa. É representado pela Equação (1), a seguir (URTADO et al, 2009).

$$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (1)$$

Onde tem-se:

- $FC_t$  é o fluxo de caixa no período;
- $I_0$  é o investimento inicial;
- $T$  é o tempo total da análise;
- $r$  é a taxa de desconto.

O projeto é considerado viável economicamente no intervalo de tempo  $T$  se o valor do VPL calculado for maior que zero. Quanto maior foi o VPL mais viável é considerado o projeto.

### 2.5.2. Taxa Interna de Retorno - TIR

A TIR é obtida igualando a Equação (1) a zero, onde a Taxa interna de retorno assume o valor da taxa de desconto, conforme apresentado pela Equação (2). (SANTOS, 2009)

$$VPL = 0 = \sum_{t=0}^T \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (2)$$

Neste caso, é possível considerar o projeto viável quando a TIR for maior que o valor da Taxa mínima de atratividade (TMA), fazendo com que assim o VPL seja positivo.

### 2.5.3. Taxa Mínima de Atratividade – TMA

A taxa mínima de atratividade, também chamada de taxa de desconto, não possui uma fórmula matemática para a mesma, pois é um valor que varia durante o tempo. É uma taxa de juros em que ao ser realizado o investimento, o investidor espera obter um retorno igual a ela, ou seja, é o mínimo que o investidor se propõe a receber ao fazer um investimento (SANTOS, 2009).

### 2.5.4. Período de Retorno Simples – PRS ou *Payback* Simples

O período de retorno simples ou *payback* é considerado o tempo necessário para que o investidor recupere seus investimentos, ou seja, o tempo para que as receitas cubram o valor dos custos (BRIGHAM et. al, 2001). A Equação (3) descreve o mesmo.

$$PRS = \frac{I_0}{E_{período}} \quad (3)$$

Onde:

- $I_0$  é o investimento inicial;

- $E_{período}$  é a economia gerada em determinado período (ano/mês)

#### 2.5.5. Período de Retorno Descontado – PRD ou *Payback* Descontado

O período de retorno descontado ou *payback* descontado tem o conceito basicamente igual ao do período de retorno simples. A principal diferença se dá no fato de que neste caso o fator tempo no valor do dinheiro é levado em consideração, pois engloba os valores futuros do fluxo de caixa. Neste caso é utilizada uma taxa de desconto, ou taxa mínima de atratividade (TMA) e os conceitos de VPL e TIR (BRIGHAM et. al, 2001).

#### 2.5.6. Fluxo de Caixa – FC

O fluxo de caixa é um instrumento que projeta para períodos futuros as entradas e saídas dos recursos financeiros utilizados em um projeto. É uma estrutura flexível na qual são adicionadas as informações de receita e custos conforme a necessidade. Com as informações presentes no fluxo de caixa, é possível calcular o período de retorno descontado do sistema, seu ponto de equilíbrio, além de realizar a análise de sensibilidade do mesmo (SEBRAE, 2011).

### 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto proposto, a metodologia foi dividida em etapas. Inicialmente foi necessário encontrar a melhor área e disposição para a implantação da usina fotovoltaica, dimensionar o tamanho calculando o número de placas e inversores, e o melhor ângulo de inclinação das placas.

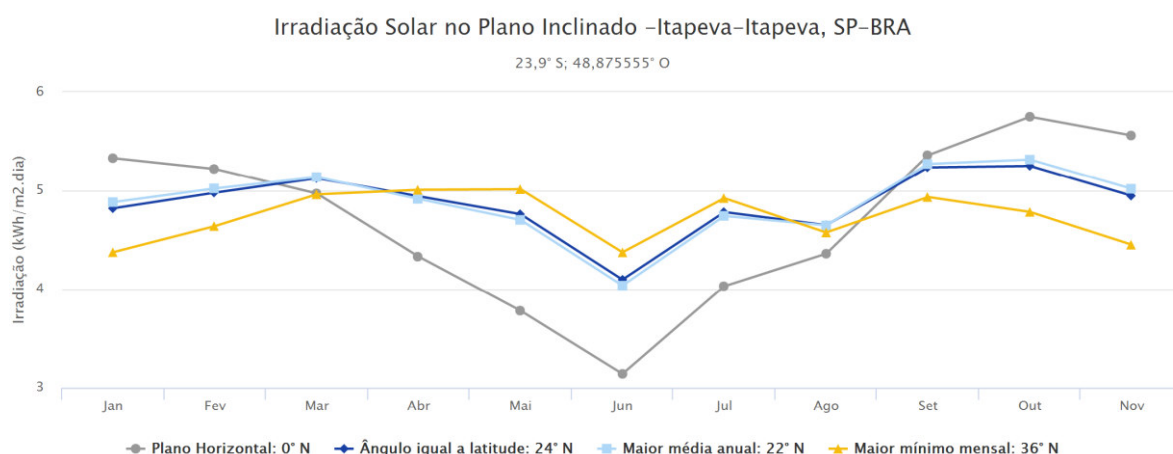
O presente trabalho foi desenvolvido na propriedade rural localizada no município de Buri - SP, com coordenadas geográficas: Latitude: 23° 47' 57" Sul e Longitude: 48° 35' 15" Oeste e altitude de 596m, sobre o telhado de uma residência disposta no sentido leste-oeste e com a inclinação voltada para o norte.

De posse desses dados foi possível obter os gráficos e tabela de irradiação solar total para análise do melhor ângulo para disposição das placas solares, conforme indicado na Tabela 1 e na Figura 7, a seguir.

**Tabela 1: Irradiação solar diária média mensal.**

| Ângulo                  | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------------------------|------------|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|                         |            | Jan                                                            | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média | Delta |
| Plano Horizontal        | 0° N       | 5,33                                                           | 5,22 | 4,97 | 4,33 | 3,78 | 3,14 | 3,78 | 4,03 | 4,36 | 5,36 | 5,75 | 5,56 | 4,63  | 2,61  |
| Ângulo igual a latitude | 24° N      | 4,82                                                           | 4,98 | 5,13 | 4,94 | 4,76 | 4,10 | 4,94 | 4,78 | 4,65 | 5,24 | 5,25 | 4,95 | 4,88  | 1,15  |
| Maior média anual       | 22° N      | 4,88                                                           | 5,02 | 5,14 | 4,91 | 4,70 | 4,04 | 4,87 | 4,74 | 4,65 | 5,27 | 5,32 | 5,02 | 4,88  | 1,28  |
| Maior mínimo mensal     | 36° N      | 4,37                                                           | 4,64 | 4,96 | 5,01 | 5,01 | 4,37 | 5,27 | 4,92 | 4,57 | 4,93 | 4,78 | 4,45 | 4,78  | ,89   |

Fonte: SunData (2016).



**Figura 7: Irradiação solar no plano inclinado.**

Fonte: SunData (2016).

Com o auxílio do software Solergo® (2016), consegue-se a estimativa dos valores de irradiação solar direta, difusa, refletida e total, representada na Tabela 2.

**Tabela 2: Valores de irradiação direta, difusa, refletida e total consideradas para o município de Itapeva-SP, localizado a 38,9 km da propriedade rural.**

| Mês       | Irradiação direta [kWh/m <sup>2</sup> ] | Irradiação difusa [kWh/m <sup>2</sup> ] | Irradiação refletida [kWh/m <sup>2</sup> ] | Total das diárias [kWh/m <sup>2</sup> ] | Total mensal [kWh/m <sup>2</sup> ] |
|-----------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| Janeiro   | 2,652                                   | 2,241                                   | 0,025                                      | 4,918                                   | 152,472                            |
| Fevereiro | 2,886                                   | 2,107                                   | 0,025                                      | 5,017                                   | 145,487                            |
| Março     | 3,146                                   | 1,863                                   | 0,023                                      | 5,033                                   | 156,019                            |
| Abril     | 3,153                                   | 1,541                                   | 0,02                                       | 4,714                                   | 141,424                            |
| Mai       | 3,2                                     | 1,24                                    | 0,018                                      | 4,457                                   | 138,179                            |
| Junho     | 2,689                                   | 1,152                                   | 0,015                                      | 3,856                                   | 115,677                            |
| Julho     | 3,525                                   | 1,111                                   | 0,018                                      | 4,654                                   | 144,283                            |
| Agosto    | 3,118                                   | 1,407                                   | 0,019                                      | 4,544                                   | 140,854                            |
| Setembro  | 2,757                                   | 1,75                                    | 0,02                                       | 4,528                                   | 135,825                            |
| Outubro   | 3,231                                   | 1,994                                   | 0,025                                      | 5,251                                   | 162,783                            |
| Novembro  | 3,144                                   | 2,171                                   | 0,027                                      | 5,342                                   | 160,246                            |
| Dezembro  | 2,779                                   | 2,26                                    | 0,026                                      | 5,066                                   | 157,033                            |

Fonte: Solergo®, (2016).

Os dados obtidos pertencem ao município de Itapeva – SP localizada a 38,9km de distância da propriedade do projeto, localizada no município de Buri, pois esta é a localização mais próxima da área do projeto que possui análise climática realizada pelo Atlas Solarimétrico Brasileiro. De posse dos dados obtidos foi possível definir a melhor inclinação para os módulos solares visando a obtenção da maior eficiência na captação da irradiação da energia solar.

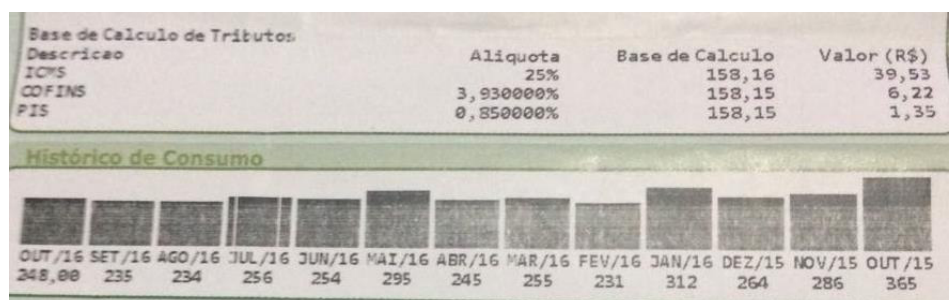
### 3.1.INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS

Os módulos fotovoltaicos instalados, para obterem melhor eficiência, precisam estar dispostos com uma inclinação de 24° ou de 22° Norte, conforme os resultados da Tabela 1.

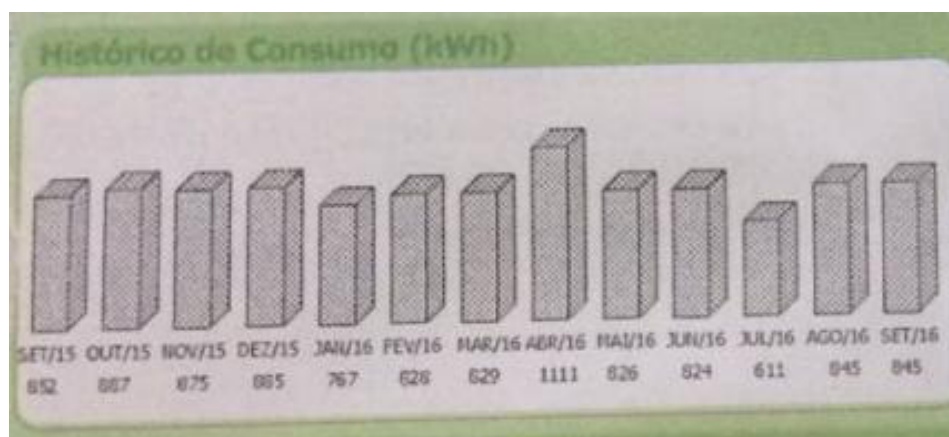
Porém, como o telhado possui uma inclinação de apenas 6°, que está muito aquém da inclinação ideal para a obtenção da maximização da irradiação solar a ser utilizada pelo sistema de microgeração de energia a ser proposto, será proposta a instalação de estrutura que possibilite suportar os módulos na inclinação de 22°.

### 3.2.DEFINIÇÃO E CÁLCULO DO NÚMERO DE MÓDULOS

Em sequência, foi analisado o consumo energético de cada uma das propriedades, sendo ambas localizadas no município de Buri- SP, porém uma na área urbana e outra na área rural, conforme histórico de consumo detalhados nas Figuras 8 e 9. Esses dados básicos são necessários para os cálculos da quantidade de placas fotovoltaicas a serem instaladas sobre o local escolhido, da potência instalada do sistema e para o estudo da viabilidade econômica do projeto.



**Figura 8:** Histórico de consumo energético definido pela companhia de energia elétrica (ELEKTRO PAULISTA) para a residência localizada no município de Buri- SP.



**Figura 9:** Histórico de consumo energético definido pela companhia de energia elétrica (ELEKTRO PAULISTA) para a propriedade rural localizada no Município de Buri- SP.

De acordo com as faturas de energia elétrica, a média mensal de consumo das propriedades é de aproximadamente 1103,83 kWh; e a média anual de 13246 kWh.

Para dimensionar o número de placas necessárias para o sistema serão utilizadas as variáveis das Equações (4) e (5), que representam a energia produzida em cada módulo e o número total de módulos necessários para a montagem do sistema.

$$E_{módulo} = E_S A_{módulo} \eta_{módulo} \quad (4)$$

$$N^{\circ} \text{ módulos} = \frac{\text{Consumo}_{diário}}{E_{módulo}} \quad (5)$$

Onde:

- $E_{módulo}$  é a energia produzida em cada módulo [Wh];
- $E_S$  é a insolação diária [Wh/m<sup>2</sup>/dia];
- $A_{módulo}$  é a área da superfície do módulo [m<sup>2</sup>];
- $\eta_{módulo}$  é a eficiência do módulo;
- $\text{Consumo}_{diário}$  é o consumo de energia diário do local a ser instalado o projeto;
- $N^{\circ} \text{ módulos}$  é o número total de módulos necessários.

Os módulos escolhidos para a realização do projeto são de Silício policristalino de 265Wp da marca *Canadian Solar*, uma das melhores e mais produzidas na atualidade. As três empresas que forneceram as cotações de preços respeitam a potência de 265Wp ou 260Wp (para a empresa NRibeiro) e possuem o mesmo fabricante. As placas possuem dimensões de 1,638m de comprimento e 0,982m de largura, com eficiência de 16,47% para conversão de energia, conforme apresentado no nas especificações técnicas (*Datasheet*) do mesmo, no ANEXO A. Considerando consumo médio mensal de 1103,8kWh, correspondendo a 38,77kWh diário, o número de módulos necessários para suprir a demanda de consumo das propriedades é 30, conforme cálculo segundo as Equações (4) e (5).

O sistema contendo 30 módulos teria uma potência instalada de 7,95kWp, entretanto, como as empresas fornecedoras vendem apenas kits dos materiais necessários (incluindo os módulos, conversor, cabos e a estrutura) com a quantidade de placas sempre em múltiplos de 4, o sistema a ser proposto deve conter 32 módulos, com uma potência instalada total de

8,48kWp, gerando mais energia do que a prevista e suprindo as perdas que possam ocorrer por sombreamento, aquecimento, entre outros.

### 3.3.DEFINIÇÃO DO INVERSOR DE CORRENTE

Para a definição do inversor, deve-se levar em consideração a potência instalada do sistema, a potência máxima suportada pelo inversor, a tensão em corrente contínua do sistema proposto, a faixa de tensão do “MPPT”, que é o rastreamento do ponto de potência máxima e a corrente máxima suportada por *string*, ou seja, por um conjunto de módulos fotovoltaicos conectados em série.

Para a potência instalada, o cálculo realizado para o dimensionamento da potência ideal para o inversor é dado pela Equação (6), a seguir.

$$P_{inv} = 0,9 * P_{inst} \quad (6)$$

Onde tem-se que:

- $P_{inv}$  é a potência ideal do inversor;
- $P_{inst}$  é a energia diária produzida pelos módulos;

Portanto, o valor ideal para o conversor será de:

$$P_{inv} = 0,9 * 8,48 = 7,63kWp$$

Apesar da potência ideal ser de aproximadamente 7,63kWp, como calculado anteriormente, os inversores podem variar de 80% a 120% da potência total instalada, tendo então valor mínimo de 6,78kWp e máximo de 10,18kWp. Isto, levando em consideração a Tensão em corrente contínua (CC) de acordo com o número de módulos em série, a faixa de tensão de cada MPPT e a corrente máxima por *string*, ou seja, por paralelo.

Os inversores são vendidos com diferentes potências de acordo com cada empresa revendedora, sendo possível adquirir os kits com 1 inversor com potência mais elevada, ou com 2 ou mais com valores mais baixos, onde os de valores mais elevados possuem duas entradas MPPTs, enquanto os menores possuem uma entrada MPPT cada, sempre garantindo os requisitos necessários para os mesmos.



A escolha dos inversores ficou definida de acordo com os kits apresentados a seguir, sempre respeitando os padrões previstos anteriormente.

### 3.4.COTAÇÃO DOS MATERIAIS

Após a realização de todos os cálculos necessários para o dimensionamento do projeto, foram feitas 3 (três) cotações de preços de cada um dos equipamentos descritos e necessários para a instalação do sistema proposto, como os painéis, o inversor, os equipamentos de segurança, entre outros. As empresas pesquisadas para as cotações de preços deverão possuir certificados já cadastrados na companhia distribuidora de energia local, no caso a Elektro Paulista. De posse dos dados das cotações, foram definidos os materiais e preços a serem utilizados para o cálculo do custo total do sistema a ser proposto.

Os materiais foram cotados nas três empresas: SICES, PHB Solar e NRibeiro no mês de setembro/2016.

Em cada um dos kits previstos, há um item no qual não é apresentado o preço nas tabelas referente ao componente de fixação adequado de acordo com o tipo de telhado no qual o sistema será instalado. Como o telhado selecionado utiliza telha tipo romana, serão adicionados ganchos de regulação que são necessários para a fixação do sistema e o valor de cada gancho é de R\$48,93 no orçamento da SICES, que foi a única empresa que disponibilizou o custo destes materiais. Como é necessária a adição de 48 ganchos, o valor total do sistema a ser proposto sofrerá acréscimo de R\$2348,64.

A SICES disponibilizou duas cotações diferentes de acordo com a potência instalada, conforme a escolha do cliente, discriminados nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3: Cotação de preços do Kit 1 de materiais fornecidos pela empresa SICES.**

| item | COD.            | PRODUTO                                                   | QTY        | PREÇO UNITARIO |                      |
|------|-----------------|-----------------------------------------------------------|------------|----------------|----------------------|
|      |                 |                                                           |            | COM PIS-COFINS | FISCAL               |
| 1    | C56P265P        | CANADIAN SOLAR 60CELLS 265W P-SI - 1º lote AGOSTO 2016    | 32         | R\$ 737,32     | R\$ 23.594,31        |
| 2    | ABB3M989905000A | Inversor ABB TRIO-7.5-TL-OUTD-S - Trifásico 380V          | 1          | R\$ 10.068,49  | R\$ 10.068,49        |
| 3    | 499485 STRINGBO | STRING BOX ONESTO - 1/2 CORDA 1 SAIDA NO FUSIVES DC 3/5KW | 1          | R\$ 663,52     | R\$ 663,52           |
| 4    | K2010019294MT   | K2 System_PERFIL ALUMINIO ULTRALIGHT 4,07MT               | 8          | R\$ 105,79     | R\$ 846,28           |
| 5    | K2010019292MT   | K2 System_PERFIL ALUMINIO ULTRALIGHT 2,03MT               | 16         | R\$ 66,12      | R\$ 1.057,85         |
| 6    | K201004107      | K2 System_JUNÇÃO PARA PERFIL EM ALKUMINIO K2              | 16         | R\$ 19,92      | R\$ 318,77           |
| 7    |                 |                                                           | 48         | R\$ 0,00       | R\$ 0,00             |
| 8    | K21005170       | K2 System_TERMINAL FINAL 39..41MM for CAN                 | 16         | R\$ 9,92       | R\$ 158,68           |
| 9    | K22001586       | K2 System_TERMINAL INTERMEDIARIO 39..44MM for CAN/AVP     | 56         | R\$ 9,41       | R\$ 526,99           |
| 10   | K2P1000041      | K2 System_PARAFUSO CABECA MARTELO M10 28/15               | 48         | R\$ 2,36       | R\$ 113,19           |
| 11   | K2P1000042      | K2 System_PORCA M10 INOX A2                               | 48         | R\$ 0,93       | R\$ 44,43            |
| 12   | CABOGM26434     | CABO SOLAR 6MM<1000V_PRETO_NXS_PRY_BAL                    | 70         | R\$ 4,74       | R\$ 331,68           |
| 13   | CABOGM54203     | CABO SOLAR 6MM<1000V_VERMELHO_NXS_PRY_BAL                 | 70         | R\$ 4,74       | R\$ 331,68           |
| 14   | C1344960000     | CONNECTORES FEMEA/MACHO WEID_CABUR_MC4_ou compativel      | 4          | R\$ 23,54      | R\$ 94,15            |
|      |                 |                                                           | <b>434</b> |                | <b>R\$ 38.150,02</b> |

Fonte: Sices (2016).

Tabela 4: Cotação de preços do Kit 2 materiais fornecidos pela empresa SICES.

| item | COD.            | PRODUTO                                                   | QTY        | PREÇO UNITARIO | VALOR DA NOTA        |
|------|-----------------|-----------------------------------------------------------|------------|----------------|----------------------|
|      |                 |                                                           |            | COM PIS-COFINS | FISCAL               |
| 1    | CS6P265P        | CANADIAN SOLAR 60CELLS 265W P-SI - 1º lote AGOSTO 2016    | 32         | R\$ 719,34     | R\$ 23.018,84        |
| 2    | FR4210060       | FRONIUS PRIMO 8.2-1 - com Monitoramento Wi-Fi             | 1          | R\$ 9.800,36   | R\$ 9.800,36         |
| 3    | 499485 STRINGBO | STRING BOX ONESTO - 1/2 CORDA 1 SAIDA NO FUSIVES DC 3/5KW | 1          | R\$ 663,52     | R\$ 663,52           |
| 4    | K2010019294MT   | K2 System_PERFIL ALUMINIO ULTRALIGHT 4,07MT               | 16         | R\$ 105,79     | R\$ 1.692,56         |
| 5    | K201004107      | K2 System_JUNÇÃO PARA PERFIL EM ALKUMINIO K2              | 8          | R\$ 17,93      | R\$ 143,44           |
| 6    |                 |                                                           | 48         | R\$ 0,00       | R\$ 0,00             |
| 7    | K21005170       | K2 System_TERMINAL FINAL 39..41MM for CAN                 | 16         | R\$ 9,92       | R\$ 158,68           |
| 8    | K22001586       | K2 System_TERMINAL INTERMEDIARIO 39..44MM for CAN/AVP     | 56         | R\$ 9,41       | R\$ 526,99           |
| 9    | K2P1000041      | K2 System_PARAFUSO CABECA MARTELO M10 28/15               | 48         | R\$ 2,36       | R\$ 113,19           |
| 10   | K2P1000042      | K2 System_PORCA M10 INOX A2                               | 48         | R\$ 0,93       | R\$ 44,43            |
| 11   | CABOGM26434     | CABO SOLAR 6MM<1000V_PRETO_NXS_PRY_BAL                    | 70         | R\$ 4,74       | R\$ 331,68           |
| 12   | CABOGM54203     | CABO SOLAR 6MM<1000V_VERMELHO_NXS_PRY_BAL                 | 70         | R\$ 4,74       | R\$ 331,68           |
| 13   | C1344960000     | CONECTORES FEMEA/MACHO WEID_CABUR_MC4_ou compativel       | 4          | R\$ 23,54      | R\$ 94,15            |
|      |                 |                                                           | <b>418</b> |                | <b>R\$ 36.919,52</b> |

Fonte: Sices (2016).

Já a empresa PHB Solar também disponibilizou duas cotações, porém seus kits são apresentados, sendo um mais completo e outro mais simples, conforme as Tabelas 5 e 6.

Tabela 5: Cotação de preços do Kit 1 materiais, considerado o mais completo, fornecido pela empresa PHB Solar.

| Opções de parcelamento no Cartão                         |               |               | DESCRIÇÃO                                             | QT. |
|----------------------------------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------------------------|-----|
| Parcelas                                                 | Valor         | Total         |                                                       |     |
| 1x sem juros                                             | R\$ 44.473,14 | R\$ 44.473,14 | CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2               | 70  |
| 2x sem juros                                             | R\$ 22.236,57 | R\$ 44.473,14 | CABO SOLAR VERMELHO COM PROTECAO UV 4,0MM2            | 70  |
| 3x sem juros                                             | R\$ 14.824,38 | R\$ 44.473,14 | CABO SOLAR VD/AM COM PROTECAO UV 6,0MM2               | 70  |
| Financiamento Santander (Sujeito a aprovação de crédito) |               |               | CONECTOR (PAR) MC4 4MM SOLAR                          | 5   |
| 6x parcelas fixas                                        | R\$ 7.470,04  | R\$ 44.820,22 | INTER CLAMP KIT 40MM (GRAMPO INTERMEDIARIO)           | 58  |
| 12x parcelas fixas                                       | R\$ 3.971,03  | R\$ 47.652,41 | END CLAMP KIT 40MM (GRAMPO TERMINADOR)                | 12  |
| Outras condições solicitar o simulador Santander         |               |               | HOOK DE ACO KIT # TELHA (A DEFINIR NO PEDIDO)         | 50  |
| Parcelamento via Boleto (Sujeito a aprovação de crédito) |               |               | EMENDA PERFIL DE ALUMINIO GS                          | 12  |
| Deposito antecipado                                      | 40%           | R\$ 17.789,25 | GRAMPO DE ATERRAMENTO                                 | 6   |
| 30ddl                                                    | 30%           | R\$ 13.341,94 | ABRACADEIRA CABOS                                     | 32  |
| 60ddl                                                    | 30%           | R\$ 13.341,94 | JUMPER DE ATERRAMENTO                                 | 12  |
| Pagamento à vista                                        |               |               | CLIP DE ATERRAMENTO                                   | 58  |
| Depósito Antecipado                                      | R\$ 42.249,48 | 5% desconto   | PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (4,20M) GS | 14  |
|                                                          |               |               | PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (2,10M) GS | 4   |
|                                                          |               |               | STB01-1000V/01,STRING BOX CC+CA                       | 1   |
|                                                          |               |               | STB02-1000V/02,STRING BOX CC+CA                       | 1   |
|                                                          |               |               | PHB3000-SS,INVERSOR FOTOVOLTAICO                      | 1   |
|                                                          |               |               | PHB4600-SS,INVERSOR FOTOVOLTAICO                      | 1   |
|                                                          |               |               | MODULO FOTOVOLTAICO 265WP; (CS6P-265P) CANADIAN SOLAR | 32  |

Fonte: PHB Solar (2016).

**Tabela 6: Cotação de preços do Kit 2 materiais, considerado o mais simples, fornecido pela empresa PHB Solar.**

| Opções de parcelamento no Cartão                         |               |               | DESCRIÇÃO                                                                                            | QT. |
|----------------------------------------------------------|---------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Parcelas                                                 | Valor         | Total         |                                                                                                      |     |
| 1x sem juros                                             | R\$ 40.542,65 | R\$ 40.542,65 | CABO SOLAR PRETO COM PROTECAO UV 4,0MM2                                                              | 70  |
| 2x sem juros                                             | R\$ 20.271,33 | R\$ 40.542,65 | CABO SOLAR VERMELHO COM PROTECAO UV 4,0MM2                                                           | 70  |
| 3x sem juros                                             | R\$ 13.514,22 | R\$ 40.542,65 | CONECTOR (PAR) MC4 4MM SOLAR                                                                         | 5   |
| Financiamento Santander (Sujeito a aprovação de crédito) |               |               | INTER CLAMP KIT 40MM (GRAMPO INTERMEDIARIO)                                                          | 58  |
|                                                          |               |               | END CLAMP KIT 40MM (GRAMPO TERMINADOR)                                                               | 12  |
|                                                          |               |               | HOOK DE ACO KIT # TELHA (A DEFINIR NO PEDIDO)                                                        |     |
| 6x parcelas fixas                                        | R\$ 6.809,84  | R\$ 40.859,07 | EMENDA PERFIL DE ALUMINIO GS                                                                         | 12  |
| 12x parcelas fixas                                       | R\$ 3.620,08  | R\$ 43.440,95 | PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (4,20M) GS                                                | 14  |
| Outras condições solicitar o simulador Santander         |               |               | PERFIL DE ALUMINIO ANODIZADO P/ MODULOS FV (2,10M) GS                                                | 4   |
| Parcelamento via Boleto (Sujeito a aprovação de crédito) |               |               | STB02-1000V/01,String BOX CC                                                                         | 1   |
|                                                          |               |               | STB01-1000V/01,String BOX CC                                                                         | 1   |
| Deposito antecipado                                      | 40%           | R\$ 16.217,06 | PHB3000-SS,INVERSOR FOTOVOLTAICO                                                                     | 1   |
| 30ddl                                                    | 30%           | R\$ 12.162,80 | PHB4600-SS,INVERSOR FOTOVOLTAICO                                                                     | 1   |
| 60ddl                                                    | 30%           | R\$ 12.162,80 | MODULO FOTOVOLTAICO 265WP; (CS6P-265P) CANADIAN SOLAR                                                | 32  |
| Pagamento à vista                                        |               |               | OBS: O modelo de KIT Simples é mais econômico, devido a falta dos itens em vermelho do KIT Completo. |     |
| Depósito Antecipado                                      | R\$ 38.515,52 | 5% desconto   | *INFORMAR O TIPO DE TELHA PARA INCLUIR O GANCHO/HOOK IDEAL AO ORÇAMENTO.                             |     |

Fonte: PHB Solar (2016).

Por fim, a empresa NRibeiro também disponibilizou dois kits, sendo o Kit 1 com apenas um inversor e o Kit 2 com dois inversores. Os Kits variam de acordo com a preferência do cliente e do tipo de instalação do inversor, ou seja, se é monofásica ou trifásica apresentados nas Tabelas 7 e 8.

**Tabela 7: Cotação de preços do Kit 1 materiais considerando instalação monofásica, fornecido pela empresa NRibeiro.**

| Gerador Fotovoltaico 8,32kWp - 2x Inversor 3,6kW Monofásico |                                                                   |     |                |                  |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----|----------------|------------------|
| Item                                                        | Produto                                                           | Qty | Preço unitario | Preço Total Item |
| 1                                                           | Painel fotovoltaico Policristalino 260Wp                          | 32  | R\$ 799,12     | R\$ 25.571,96    |
| 2                                                           | Inversor ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S                                    | 2   | R\$ 5.790,55   | R\$ 11.581,10    |
| 3                                                           | String box ABB 2str 25A 1000V sd OTDC 25 F3                       | 2   | R\$ 1.001,23   | R\$ 2.002,47     |
| 4                                                           | Acessório Modulo Monitoramento VSN700-01-E0 ( ≤5 inversores mono) | 0   | R\$ 3.789,04   | R\$ -            |
| 5                                                           | Conjunto PV-Stick Macho e Femea sem crimp                         | 4   | R\$ 23,90      | R\$ 95,60        |
| 6                                                           | Cabo solar flex FV 6.00mm <sup>2</sup> 1KV PT                     | 70  | R\$ 4,45       | R\$ 311,31       |
| 7                                                           | Cabo solar flex FV 6.00mm <sup>2</sup> 1KV VM                     | 70  | R\$ 4,45       | R\$ 311,31       |
| 8                                                           | Estrutura Solar Romagnole Telhado 04 Placas Telha cerâmica        | 8   | R\$ 496,90     | R\$ 3.975,21     |
| 9                                                           |                                                                   |     |                |                  |
| Valor total do Sistema                                      |                                                                   |     |                | R\$ 43.848,95    |

Fonte: NRibeiro (2016).

**Tabela 8: Cotação de preços do Kit 2 materiais considerando instalação trifásica, fornecido pela empresa NRibeiro.**

| Gerador Fotovoltaico 8,32kWp - Inversor 8,5kW Trifásico |                                                            |     |                |                  |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----|----------------|------------------|
| Item                                                    | Produto                                                    | Qty | Preço unitario | Preço Total Item |
| 1                                                       | Painel fotovoltaico Policristalino 260Wp                   | 32  | R\$ 799,12     | R\$ 25.571,96    |
| 2                                                       | Inversor ABB TRIO-8.5-TL-OUTD-S                            | 1   | R\$ 11.086,71  | R\$ 11.086,71    |
| 3                                                       | String box ABB 2str 25A 1000V sd OTDC 25 F3                | 2   | R\$ 1.001,23   | R\$ 2.002,47     |
| 4                                                       | Acessório Modulo Monitoramento VSN300 WiFi Logger Card ABB | 0   | R\$ 818,65     | R\$ -            |
| 5                                                       | Conjunto PV-Stick Macho e Femea sem crimp                  | 4   | R\$ 23,90      | R\$ 95,60        |
| 6                                                       | Cabo solar flex FV 6.00mm <sup>2</sup> 1KV PT              | 70  | R\$ 4,45       | R\$ 311,31       |
| 7                                                       | Cabo solar flex FV 6.00mm <sup>2</sup> 1KV VM              | 70  | R\$ 4,45       | R\$ 311,31       |
| 8                                                       | Estrutura Solar Romagnole Telhado 04 Placas Telha cerâmica | 8   | R\$ 496,90     | R\$ 3.975,21     |
| 9                                                       |                                                            |     |                | R\$ -            |
| Valor total do Sistema                                  |                                                            |     |                | R\$ 43.354,57    |

**Fonte: NRibeiro (2016).**

Entre as cotações disponibilizadas pelas empresas, optou-se pelo kit 2, apresentado pela empresa SICES, pois é o kit que possui melhor preço em relação aos materiais oferecidos e os equipamentos apresentados são de marcas conhecidas no mercado e de boa qualidade, além de ser o único kit que disponibiliza o sistema de monitoramento do inversor que permite o cliente acompanhar a produção de energia elétrica em tempo real, ou seja, foi considerado com o melhor custo-benefício.

### 3.5.DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Como o sistema ficou dimensionado de acordo com os equipamentos vendidos na opção 2 oferecida pela empresa SICES, é possível calcular o número mínimo e máximo de módulos em série, o número máximo de fileiras em paralelo, definir a configuração do sistema de acordo com a área do telhado, sempre considerando as perdas previstas por temperatura, por sombreamento, etc.

#### 3.5.1. Número Mínimo e Máximo de Módulos em Série

Existe uma quantidade mínima e máxima de módulos que podem estar conectados em série de acordo com o range de tensão da entrada MPPT do inversor e a tensão máxima de operação do módulo. Assim, o número de módulos que podem ser instalados em série em cada MPPT é dado pela Equação (7), a seguir.

$$\frac{V_{MPPTm\acute{a}x}}{V_{mp}} > N^{\circ} \text{ m\acute{o}dulos em s\acute{e}rie} > \frac{V_{MPPTm\acute{i}n}}{V_{mp}} \quad (7)$$

Onde:

- $V_{MPPTm\acute{a}x}$  é a tensão máxima de entrada de cada MPPT do inversor;
- $V_{MPPTm\acute{i}n}$  é a tensão mínima de entrada de cada MPPT do inversor;
- $V_{mp}$  é a tensão em máxima potência do módulo em condição padrão de ensaio.

Portanto, atualizando a Equação com os valores reais do inversor e dos módulos, ambos disponíveis nos Anexos A e B, tem-se que o número máximo de módulos em série é igual a:

$$N^{\circ} \text{ m\acute{a}x m\acute{o}dulos em s\acute{e}rie} = \frac{V_{MPPTm\acute{a}x}}{V_{mp}} = \frac{800}{30,6} = 26,14 \approx 26 \text{ m\acute{o}dulos}$$

Já o limite mínimo de módulos que podem ser associados em série para cada MPPT, é de:

$$N^{\circ} \text{ m\acute{i}n m\acute{o}dulos em s\acute{e}rie} = \frac{V_{MPPTm\acute{i}n}}{V_{mp}} = \frac{270}{30,6} = 8,82 \approx 9 \text{ m\acute{o}dulos.}$$

### 3.5.2. Número de Fileiras em Paralelo

Assim como há um limite de módulos que podem ser conectados em série, também há uma quantidade máxima de fileiras (painéis em série) que são conectadas em paralelo. Este valor depende da corrente máxima suportada por cada entrada MPPT do inversor. O cálculo é realizado através da Equação (8).

$$N^{\circ} \text{ fileiras em paralelo} = \frac{I_m}{I_{mp}} \quad (8)$$

Considerando:

- $I_m$  é a corrente máxima por MPPT;
- $I_{mp}$  é a corrente em máxima potência do módulo.

Portanto, para o sistema escolhido, o número máximo de fileiras em paralelo é:

$$N^{\circ} \text{ fileiras em paralelo} = \frac{18}{8,66} = 2,08 \approx 2 \text{ fileiras}$$

Seguindo as condições de limites calculadas, os módulos fotovoltaicos ficarão dispostos em 1 fileira com 16 módulos em série para cada entrada MPPT do inversor, permitindo o funcionamento do sistema em boas condições de trabalho.

### 3.5.3. Configuração do Sistema de Acordo com a Área do Telhado

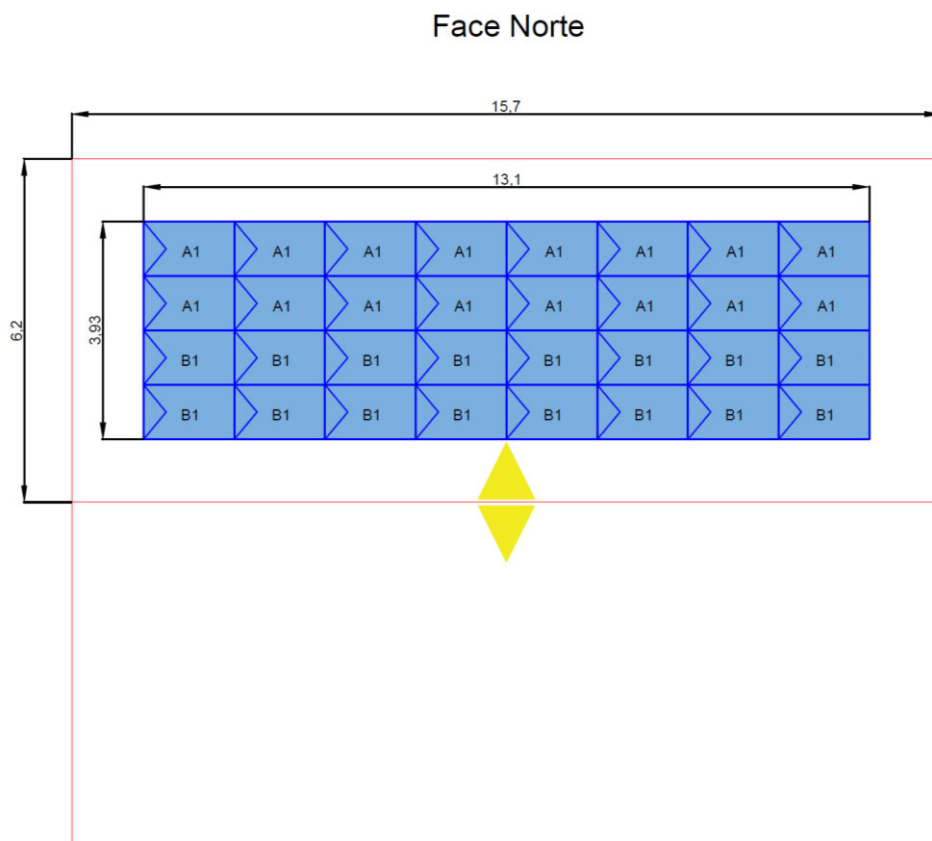
O telhado onde será instalado o sistema possui área de 97,34m<sup>2</sup>, sendo 15,70 m de comprimento por 6,20 m de largura com a face direcionada para o norte. Os módulos serão instalados apenas sobre a face do telhado voltado para o norte. Assim, será possível a obtenção da melhor configuração para os módulos para que se obtenha harmonia do ponto de vista visual, e para que evite o máximo possível o sombreamento.

Utilizando o comprimento do telhado, e considerando que os módulos estão posicionados deitados, é possível calcular a quantidade máxima de módulos na mesma fileira, e utilizando a largura do telhado calcula-se o número máximo de fileiras que podem ser utilizadas sobre a parte do telhado disposta para o norte.

$$\frac{\text{Comprimento telhado}}{\text{Comprimento módulo}} = \frac{15,70}{1,638} = 9,58 \approx 9 \text{ módulos}$$

$$\frac{\text{Largura telhado}}{\text{Largura módulo}} = \frac{6,2}{0,982} = 6,31 \approx 6 \text{ módulos}$$

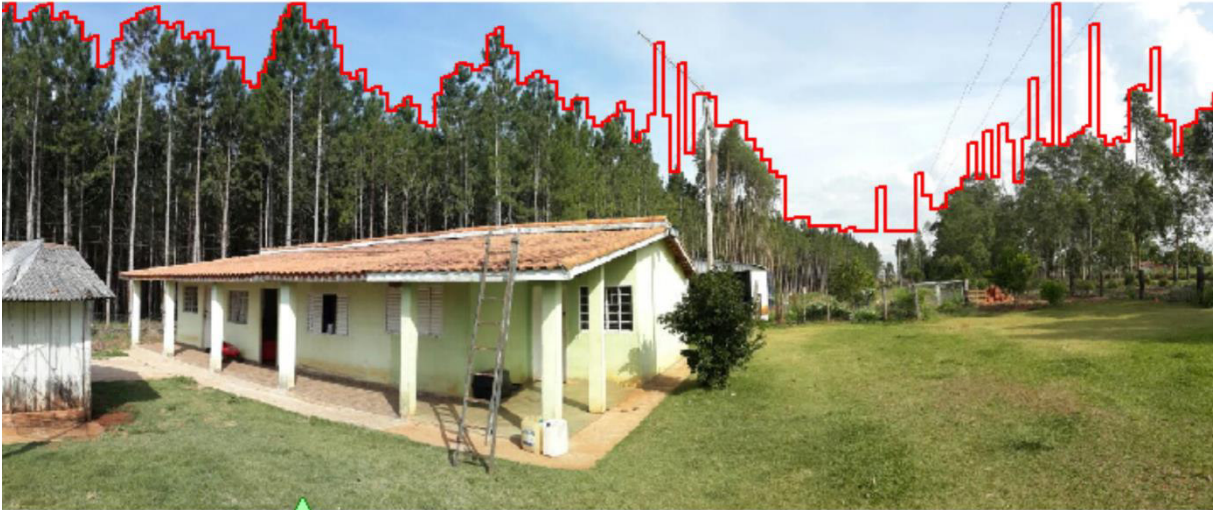
Portanto, para que haja uma harmonia visual e respeitando os limites máximo e mínimo de módulos de acordo com as medidas do telhado, serão instaladas 4 fileiras com 8 módulos cada, conforme apresentado na Figura 10.



**Figura 10: Configuração dos módulos sobre o telhado coberto com telha de barro tipo romana.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

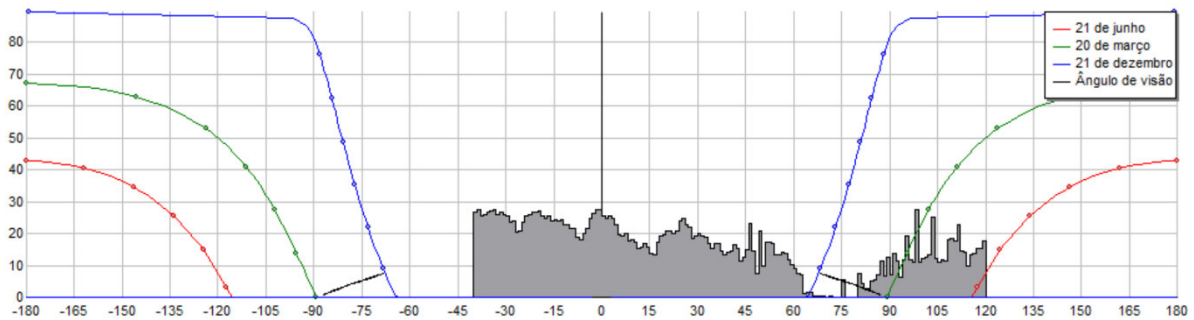
#### 3.5.4. Perdas por Sombreamento

A principal perda da eficiência dos módulos é função da área atingida pelo sombreamento do sistema. Portanto, para o cálculo da porcentagem de perda por sombreamento foi utilizado o *software* Solergo<sup>®</sup> (2016), que realiza os cálculos utilizando imagem de foto panorâmica do local a ser utilizado para a instalação do sistema proposto, que está apresentada na Figura 11.



**Figura 11:** Foto panorâmica do local onde será instalado o sistema proposto indicando o horizonte.

O software analisa o horizonte do local de instalação e gera um gráfico do perfil de sombreamento em diferentes épocas do ano, conforme apresenta a Figura 12.



**Figura 12:** Perfil de sombreamento anual do local onde será instalado o sistema de microgeração de energia, calculado utilizando o software Solergo® (2016).

Fonte: Solergo® (2016).

O software também considera as possíveis perdas por sombreamento de obstáculos posicionados sobre o telhado no qual será instalado o sistema de microgeração. Porém, como não há nenhum obstáculo, tal perda foi considerada igual a zero. Assim, de acordo com o perfil de sombreamento, foi obtida uma perda de apenas 0,8% da capacidade de rendimento dos módulos a serem propostos.

### 3.5.5. Outras Perdas

Além da perda por sombreamento, outras perdas também podem influenciar na eficiência dos módulos, sendo elas calculadas também pelo software:

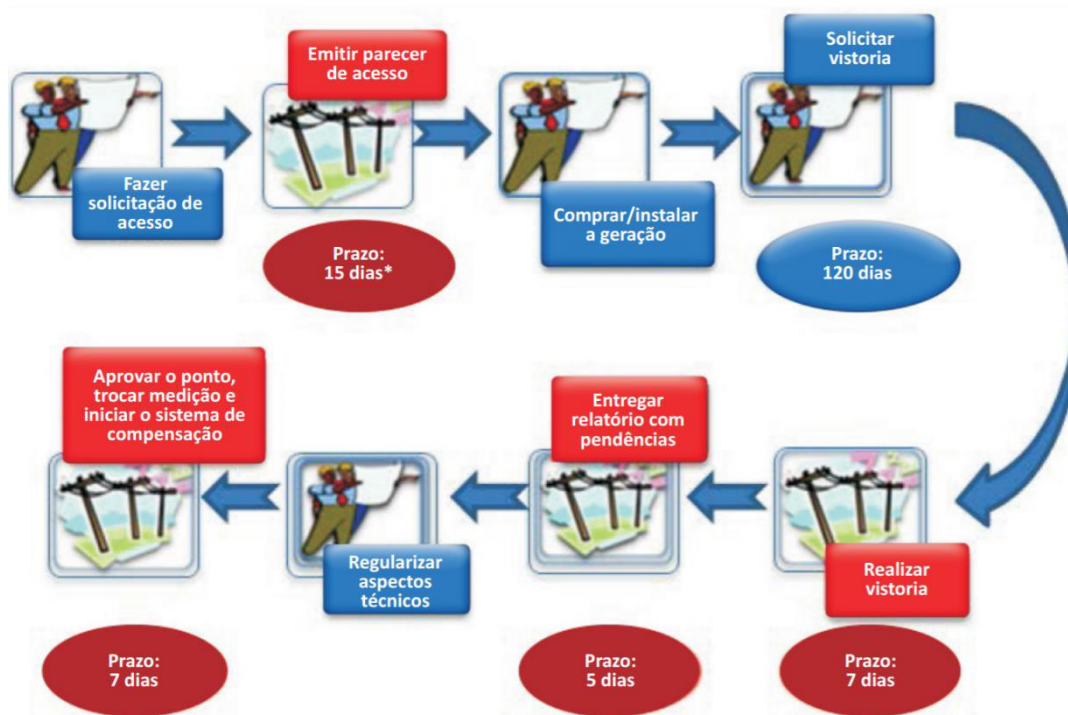


- Perda devido ao aumento de temperatura: 5,5%;
- Perda de desacoplamento: 2,5%;
- Perdas em corrente contínua (analisada em função dos cabos): 0%;
- Outras perdas (sujeira, tolerância, etc): 2,5%;
- Perdas devido à conversão: 4%;
- **Total:** 14,5%.

### 3.6.PROCEDIMENTOS COM A DISTRIBUIDORA DE ENERGIA

Para a utilização do sistema fotovoltaico, há uma série de etapas a serem realizadas para a aprovação do projeto junto à distribuidora de energia, e como será realizado o sistema de compensação de energia.

Inicialmente, as etapas necessárias para a aprovação do projeto na concessionária de energia local são representadas pela Figura 13, na qual os itens destacados em azul são de responsabilidade do engenheiro eletricista responsável pela instalação e os itens em vermelho são as obrigações da distribuidora de energia e em todos os casos os prazos devem ser cumpridos.



**Figura 13: Procedimentos e Etapas de Acesso para geração distribuída.**  
**Fonte: ANEEL (2016)**

Após realizadas todas as etapas do procedimento, a própria concessionária troca o relógio de medição por um relógio bidirecional, para o cálculo da diferença entre o consumo e a produção de energia; ou a adição de outro relógio unidirecional, para a aferição de geração e de consumo de energia em cada um dos medidores separadamente (ANEEL, 2016).

Tal medição é realizada, e caso o cliente, durante um certo mês, produza mais energia do que o seu consumo, o excesso de energia produzida medido pela concessionária é creditado em kWh para o cliente, para que em um período futuro (dentro de 60 meses), quando o consumo foi maior do que a produção, esse crédito seja utilizado, como exemplificado na Figura 14 (ANEEL, 2016).

| Mês | Consumo (kWh) | Injetado (kWh) | Crédito acumulado (kWh) | Fatura sem GD* | Fatura com GD* | Diferença  |
|-----|---------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|------------|
| Jan | 330           | 353            | 23                      | R\$ 168,30     | R\$ 51,00      | R\$ 117,30 |
| Fev | 360           | 360            | 23                      | R\$ 183,60     | R\$ 51,00      | R\$ 132,60 |
| Mar | 460           | 335            | 0                       | R\$ 234,60     | R\$ 52,02      | R\$ 182,58 |

$\text{Fatura março} = (\text{Consumo} - \text{Injetado} - \text{Crédito utilizado}) \times \text{Tarifa energia}$   
 $\text{Fatura março} = (460 - 335 - 23) \times 0,51 = \text{R\$ } 52,02$

**Figura 14: Exemplo de Compensação de energia.**  
**Fonte: ANEEL (2016).**

### 3.7. CÁLCULO DOS CUSTOS TOTAIS E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Por fim, para a determinação dos indicadores econômicos e estudo de viabilidade do projeto, serão utilizados o custo total do sistema a ser proposto, bem como o cálculo da média anual de gastos a serem economizados nas faturas de energia elétrica.

Entre os indicadores será destacado o tempo de retorno do investimento a ser realizado, mais conhecido como *payback* simples e *payback* descontado, fluxo de caixa nominal e descontado, valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e taxa mínima de atratividade (TMA).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor entendimento e clareza, os resultados obtidos para o trabalho a são apresentados e discutidos, conforme a sequência dos itens e subitens abaixo.

### 4.1. ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA

#### 4.1.1. Capacidade de Produção de Energia Desconsiderando as Perdas

Em condições ideais, a irradiação solar anual seria de 1764,86kW/m<sup>2</sup>. Assim, a energia anual a ser produzida será calculada por meio da Equação (9).

$$Energia = E_{Sanual} * N^{\circ}módulos * \eta_{módulo} * A_{módulo} \quad (9)$$

Substituindo os valores na equação obtém-se a quantidade de energia anual total de:

$$Energia = 1764,86 * 32 * 0,1647 * 1,608 = 14966,03 \text{ kWh}$$

Sendo assim, o sistema tem capacidade de produzir em média 1247,17kWh por mês, ou média diária de 41,57kWh.

#### 4.1.2. Produção de Energia Anual em Condições Reais

Somando todas as perdas, incluindo a de sombreamento, o sistema possui 15,3% de perdas totais. Portanto se o sistema, em condições ideais produziria 14966,03kWh anualmente, em condições reais, seria possível produzir 84,7% da energia, conforme cálculo abaixo:

$$Energia \text{ anual produzida} = 0,847 * 14966,03 = 12676,7 \text{ kWh}$$

O que comprova que o sistema, do ponto de vista técnico pode ser considerado altamente viável, pois a energia produzida anualmente é equivalente a 95,7% da energia consumida, ou seja, abrange praticamente todo o consumo energético. Além disso, caso o

consumo energético aumente, há espaço físico e capacidade do inversor disponíveis para a adição de mais módulos fotovoltaicos para ampliação do sistema conforme a necessidade.

#### 4.1.3. Redução na Emissão de Poluentes

Como a energia fotovoltaica é considerada energia limpa, quando se utiliza este tipo de geração de energia há redução na emissão de poluentes para o ambiente em comparação com a produção de outras fontes de energia. Com o uso do software Solergo<sup>®</sup> (2016), calcula-se estas reduções de emissão de poluentes, com os dados apresentados a seguir.

Comparando a geração do sistema proposto com a produção equivalente de energia de uma termoelétrica, esta redução anual será de aproximadamente:

- 9,11 kg de Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>);
- 11,49 kg de Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>);
- 0,41 kg de poeiras;
- 6,78 t de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

Já quando comparado com a produção equivalente de energia de uma geotérmica, esta redução anual de poluente será de:

- 0,4 kg de Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S);
- 0,8 t de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>);
- 2,99 TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo).

#### 4.2. CÁLCULO DO CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Além do valor do kit comprado, ainda foram considerados os custos de outros materiais elétricos que não estavam inclusos nos orçamentos, como os disjuntores para a *String Box* de corrente alternada (CA) que é comercializado separadamente desses materiais. Também foram considerados os custos de mão-de-obra para a instalação do sistema, além das despesas com equipamentos de proteção individual e coletiva (EPI e EPC), conforme detalhados na Tabela 9.

**Tabela 9: Tabela dos custos necessários para instalação sistema do sistema fotovoltaico.**

| <b>Despesas fixas</b>                                                                                                                                                                  | <b>Valor</b>        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Kit fotovoltaico                                                                                                                                                                       | R\$ 36919,52        |
| Ganchos de fixação                                                                                                                                                                     | R\$ 2348,64         |
| <b>Despesas adicionais</b>                                                                                                                                                             |                     |
| Materiais elétricos e ferramentas usados na instalação (disjuntores, furadeira, parafusadeira, lixadeira e serra circular, alicate de crimpagem, multímetro, alicate amperímetro, etc) | R\$ 1800,00         |
| Equipamentos de segurança EPI e EPC (capacete, óculos de segurança, luvas de proteção, cinto tipo paraquedista, linha de vida, extintor de incêndio, etc)                              | R\$ 900,00          |
| Mão-de-obra                                                                                                                                                                            | R\$ 1000,00         |
| <b>VALOR TOTAL</b>                                                                                                                                                                     | <b>R\$ 42968,16</b> |

Considerando todas as despesas, o projeto proposto apresenta um custo total aproximado de R\$ 42968,16. Este valor pode ser considerado significativamente elevado para os atuais padrões brasileiros. De posse do custo total necessário para a implementação do sistema proposto também é possível efetuar a análise da sua viabilidade do ponto de vista econômico.

#### 4.3.DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES ECONÔMICOS E ANÁLISE DE VIABILIDADE

Os indicadores econômicos estudados neste projeto foram avaliados considerando o prazo de 25 anos e o investimento inicial de R\$42968,16, além dos encargos como ICMS, PIS e COFINS inseridos nas tarifas de energia elétrica previstos pela Elektro para a residência urbana, que são de 25%, 0,85% e 3,93% respectivamente e para a propriedade rural de 0%, 0,97% e 4,49% respectivamente.

Além destes custos, as tarifas de energia consideradas foram de R\$0,637741/kWh para a área urbana e R\$0,347053/kWh para a área rural, sendo que todos os dados dos custos de tarifa e dos impostos foram considerados para o mês de outubro/2016. Foi também considerado um aumento de 9,75% anual do valor da tarifa de energia elétrica, apenas para fins de estudo.

Para fins de comparação, foram analisados a implementação dos sistemas nas duas áreas localidades de forma isoladas, sendo uma para a área urbana e a outra para a rural.

Nos cálculos de viabilidade econômica foram considerados os valores médios ponderados das tarifas por kWh cobradas para as áreas urbanas e rural de acordo com o consumo energético para cada local. Com isso, o valor médio obtido foi de R\$0,427579/kWh.

O mesmo procedimento foi utilizado para os custos dos impostos de ICMS, PIS e COFINS. Do ponto de vista técnico, outro ponto importante a citar, é que para o sistema total, foi considerada a soma do consumo de ambas as localidades.

Para o estudo da viabilidade econômica foi definida como taxa de desconto, ou taxa mínima de atratividade, o valor de 10%. E para a realização da análise de sensibilidade econômica, considerou-se a taxa de desconto de 6%, 9% e 12%. Por fim, o período total de 25 anos foi estabelecido em função do período máximo de garantia dos módulos fotovoltaicos fornecidos pela empresa escolhida para o projeto.

#### 4.3.1. Análise da Viabilidade Econômica

Para o estudo da análise da viabilidade econômica, os dados calculados estão discriminados na Tabela 10, destacando o fluxo de caixa nominal (FCN) e descontado (FCD), o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

**Tabela 10: Valores calculados para Fluxo de Caixa Nominal (FCN), Fluxo de Caixa Descontado (FCD) e Valor Presente Líquido (VPL).**

| Período (anos) | FCN (R\$) | FCD (R\$) | VPL (R\$) | Período (anos)                    | FCN (R\$) | FCD (R\$) | VPL (R\$) |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 0              | -42968    | -42968    | -42968    | 15                                | 103158    | 20825     | 3963      |
| 1              | -37965    | -38420    | 4548      | 16                                | 121181    | 24747     | 3922      |
| 2              | -32514    | -33915    | 4505      | 17                                | 140802    | 28629     | 3882      |
| 3              | -26574    | -29452    | 4463      | 18                                | 162161    | 32471     | 3842      |
| 4              | -20103    | -25032    | 4420      | 19                                | 185411    | 36272     | 3802      |
| 5              | -13053    | -20655    | 4377      | 20                                | 210717    | 40034     | 3762      |
| 6              | -5373     | -16320    | 4335      | 21                                | 238260    | 43756     | 3722      |
| 7              | 2993      | -12027    | 4293      | 22                                | 268235    | 47438     | 3682      |
| 8              | 12106     | -7775     | 4251      | 23                                | 300854    | 51081     | 3643      |
| 9              | 22032     | -3566     | 4210      | 24                                | 336348    | 54685     | 3604      |
| 10             | 32843     | 602       | 4168      | 25                                | 374968    | 58249     | 3564      |
| 11             | 44617     | 4729      | 4127      | <b>VPL total com investimento</b> |           |           | 58.249    |
| 12             | 57439     | 8814      | 4085      | <b>VPL total sem investimento</b> |           |           | 101.217   |
| 13             | 71401     | 12859     | 4044      | <b>TIR (ano)</b>                  |           |           | 19,4%     |
| 14             | 86604     | 16862     | 4003      |                                   |           |           |           |

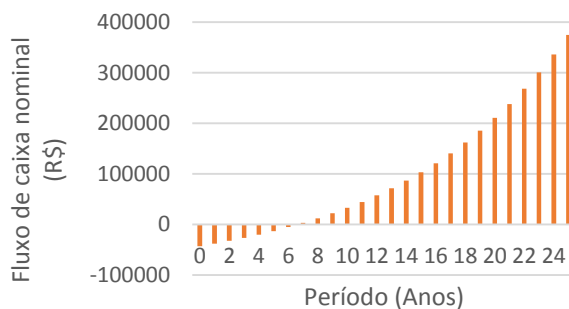
Usando o fluxo de caixa nominal e o fluxo de caixa descontado, foi possível obter o tempo de retorno financeiro para ambos os casos, apresentados na Tabela 11, a seguir.

**Tabela 11: Período de retorno nominal e descontado calculado para o sistema proposto.**

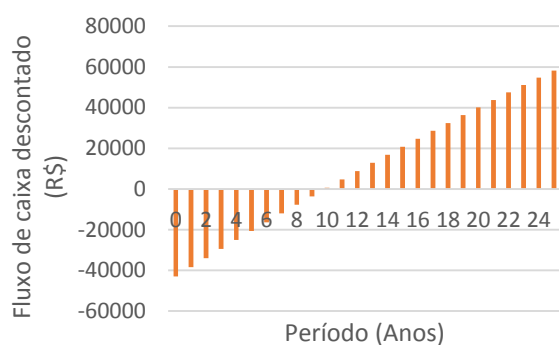
| Período de retorno | Anos |
|--------------------|------|
| Nominal            | 6,64 |
| Descontado         | 9,86 |

Através dos resultados obtidos, é possível inferir que os indicadores econômicos apresentam valores que sugestionam a viabilidade econômica do sistema. Os valores de VPL apresentaram resultados positivos, o que implica dizer que o projeto é viável quando se considera este indicador. Além do VPL, o outro indicador capaz de reafirmar a factibilidade do sistema é o TIR, que também apresentou resultado positivo, pois o valor obtido está bem acima da taxa mínima de atratividade estabelecida no projeto.

Os períodos de retorno, tanto nominal quanto descontado, também possuem valores satisfatórios, menor que 10 anos, mesmo considerando que o investimento feito foi elevado para os padrões brasileiros como mostrado nas Tabelas 10 e 11, respectivamente e demonstrado graficamente nas Figuras 15 e 16.



**Figura 15: Demonstração gráfica do Fluxo de caixa referente ao período de retorno nominal.**  
**Fonte: Autoria Própria.**



**Figura 16: Demonstração gráfica do Fluxo de caixa referente ao período de retorno descontado.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

#### 4.3.1.1. Comparação entre implantação dos sistemas de microgeração de energia elétrica em área urbana e rural

Apenas para fins de comparação, foi realizada a análise da viabilidade econômica considerando as mesmas taxas, tarifas e consumo total para os casos onde o sistema é proposto para residência localizada em área urbana e outro em área rural.

No caso do sistema localizado em área urbana e em área rural os resultados obtidos estão descritos na Tabela 12.



**Tabela 12: Comparação dos indicadores econômicos do Fluxo de Caixa Nominal (FCN), Fluxo de Caixa Descontado (FCD), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), para os casos onde a micro usina de geração estão localizadas em área Urbana e Rural.**

| Período<br>(anos)                 | Área Urbana  |              |              | Área Rural   |              |              |
|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                   | FCN<br>(R\$) | FCD<br>(R\$) | VPL<br>(R\$) | FCN<br>(R\$) | FCD<br>(R\$) | VPL<br>(R\$) |
| 0                                 | -42968       | -42968       | -42968       | -42968       | -42968       | -42968       |
| 1                                 | -35249       | -35951       | 7017         | -38797       | -39176       | 3792         |
| 2                                 | -26838       | -29000       | 6951         | -34253       | -35421       | 3755         |
| 3                                 | -17674       | -22115       | 6885         | -29302       | -31701       | 3720         |
| 4                                 | -7690        | -15295       | 6819         | -23908       | -28017       | 3684         |
| 5                                 | 3187         | -8542        | 6754         | -18031       | -24368       | 3649         |
| 6                                 | 15036        | -1853        | 6688         | -11629       | -20754       | 3614         |
| 7                                 | 27944        | 4771         | 6624         | -4655        | -17175       | 3579         |
| 8                                 | 42004        | 11330        | 6559         | 2942         | -13631       | 3544         |
| 9                                 | 57318        | 17824        | 6495         | 11216        | -10122       | 3509         |
| 10                                | 73998        | 24255        | 6431         | 20228        | -6648        | 3475         |
| 11                                | 92163        | 30622        | 6367         | 30043        | -3208        | 3440         |
| 12                                | 111945       | 36925        | 6303         | 40731        | 198          | 3406         |
| 13                                | 133487       | 43165        | 6240         | 52370        | 3569         | 3371         |
| 14                                | 157033       | 49365        | 6200         | 65044        | 6907         | 3337         |
| 15                                | 182572       | 55479        | 6114         | 78843        | 10210        | 3303         |
| 16                                | 210378       | 61531        | 6051         | 93867        | 13480        | 3270         |
| 17                                | 240649       | 67520        | 5989         | 110223       | 16716        | 3236         |
| 18                                | 273602       | 73447        | 5927         | 128028       | 19918        | 3202         |
| 19                                | 309472       | 79312        | 5865         | 147409       | 23087        | 3169         |
| 20                                | 348515       | 85115        | 5803         | 168504       | 26223        | 3136         |
| 21                                | 391009       | 90857        | 5742         | 191464       | 29325        | 3103         |
| 22                                | 437255       | 96538        | 5681         | 216451       | 32395        | 3070         |
| 23                                | 487581       | 102159       | 5620         | 243642       | 35431        | 3037         |
| 24                                | 542343       | 107718       | 5560         | 273230       | 38435        | 3004         |
| 25                                | 601927       | 113218       | 5499         | 305424       | 41407        | 2971         |
| <b>VPL total com investimento</b> |              |              | 113.218      |              |              | 41.407       |
| <b>VPL total sem investimento</b> |              |              | 156.186      |              |              | 84.375       |
| <b>TIR (ano)</b>                  |              |              | 26,5%        |              |              | 17,0%        |

Os dados contendo o tempo de retorno financeiro obtido para ambas as localizações são mostrados na Tabela 13.

**Tabela 13: Período de retorno para os casos onde a usina de microgeração de energia estão localizadas em área Urbana e Rural.**

|                         | Área Urbana | Área Rural |
|-------------------------|-------------|------------|
| <b>Tempo de retorno</b> | <b>Anos</b> |            |
| Nominal                 | 4,71        | 7,61       |
| Descontado              | 6,28        | 11,94      |

Analisando os resultados pode-se inferir que a usina de microgeração de energia localizada em área urbana apresenta o retorno financeiro em quase metade do tempo previsto, quando comparado com a usina localizada em área rural. Isto se explica quando ao observar que os valores das tarifas cobradas para o fornecimento em residências localizadas em propriedades rurais são mais baratos do que as cobradas para as localizadas em área urbana.

Portanto, ambas as residências nas diferentes localizações apresentam viabilidade econômica favorável, porém, quando o sistema proposto estiver implantado em área urbana, o resultado da viabilidade econômica passa ser ainda mais vantajoso.

No presente estudo ficou definida a união de ambos os consumos e das tarifas cobradas nas residências localizadas nas áreas urbana e rural, pela distribuidora de energia. Destacando que o consumo na área rural é maior do que na área urbana e o custo das tarifas sofrem inversão de valores, ou seja, o valor cobrado na área urbana passa a ser maior do que na área rural, o sistema proposto passa a não ser tão viável quanto aquele considerado apenas para área urbana.

#### 4.3.2. Análise de Sensibilidade Econômica

Considerando os valores elevados do capital inicial, bem como as instabilidades da economia brasileira, a análise de sensibilidade econômica é utilizada para verificar a viabilidade do sistema quando ocorre variação das taxas mínimas de atratividade, ou seja, são realizadas estimativas mais otimistas ou pessimistas quando comparada com a TMA proposta no projeto. Desta forma, pode-se constatar que a taxa de atratividade apresenta relação positiva com o tempo de retorno descontado para o mesmo capital investido. Ou seja, o tempo da taxa de retorno descontado aumenta com o aumento da taxa mínima de atratividade, ou da taxa de desconto nas Tabelas 14 e 15.

Obteve-se os seguintes resultados, de acordo com os valores da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) propostas de 6, 9 e 12%, conforme apresentados na Tabela 14.

**Tabela 14: Análise de sensibilidade econômica do sistema proposto: Fluxo de Caixa Nominal (FCN), Fluxo de Caixa Descontado (FCD), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), para Taxa de atratividade ou de Desconto de 6%, 9% e 12%.**

| Período<br>(anos)                 | Taxa de desconto |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-----------------------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                   | 6%               |              |              | 9%           |              |              | 12%          |              |              |
|                                   | FCN<br>(R\$)     | FCD<br>(R\$) | VPL<br>(R\$) | FCN<br>(R\$) | FCD<br>(R\$) | VPL<br>(R\$) | FCN<br>(R\$) | FCD<br>(R\$) | VPL<br>(R\$) |
| 0                                 | -42968           | -42968       | -42968       | -42968       | -42968       | -42968       | -42968       | -42968       | -42968       |
| 1                                 | -37965           | -38248       | 4720         | -37965       | -38378       | 4590         | -37965       | -38501       | 4467         |
| 2                                 | -32514           | -33397       | 4851         | -32514       | -33790       | 4588         | -32514       | -34156       | 4346         |
| 3                                 | -26574           | -28410       | 4987         | -26574       | -29204       | 4587         | -26574       | -29928       | 4228         |
| 4                                 | -20103           | -23284       | 5126         | -20103       | -24619       | 4584         | -20103       | -25815       | 4112         |
| 5                                 | -13053           | -18016       | 5268         | -13053       | -20037       | 4582         | -13053       | -21815       | 4000         |
| 6                                 | -5373            | -12602       | 5414         | -5373        | -15458       | 4579         | -5373        | -17924       | 3891         |
| 7                                 | 2993             | -7038        | 5564         | 2993         | -10881       | 4576         | 2993         | -14140       | 3784         |
| 8                                 | 12106            | -1320        | 5718         | 12106        | -6308        | 4574         | 12106        | -10459       | 3681         |
| 9                                 | 22032            | 4555         | 5875         | 22032        | -1738        | 4570         | 22032        | -6880        | 3579         |
| 10                                | 32843            | 10592        | 6037         | 32843        | 2829         | 4567         | 32843        | -3399        | 3481         |
| 11                                | 44617            | 16794        | 6202         | 44617        | 7392         | 4563         | 44617        | -14          | 3385         |
| 12                                | 57439            | 23166        | 6372         | 57439        | 11950        | 4559         | 57439        | 3277         | 3291         |
| 13                                | 71401            | 29712        | 6546         | 71401        | 16505        | 4554         | 71401        | 6477         | 3200         |
| 14                                | 86604            | 36436        | 6724         | 86604        | 21054        | 4549         | 86604        | 9588         | 3111         |
| 15                                | 103158           | 43344        | 6907         | 103158       | 25599        | 4545         | 103158       | 12612        | 3024         |
| 16                                | 121181           | 50439        | 7095         | 121181       | 30138        | 4539         | 121181       | 15552        | 2940         |
| 17                                | 140802           | 57725        | 7287         | 140802       | 34672        | 4534         | 140802       | 18410        | 2858         |
| 18                                | 162161           | 65208        | 7483         | 162161       | 39200        | 4528         | 162161       | 21187        | 2778         |
| 19                                | 185411           | 72893        | 7684         | 185411       | 43722        | 4522         | 185411       | 23887        | 2699         |
| 20                                | 210717           | 80783        | 7891         | 210717       | 48237        | 4515         | 210717       | 26510        | 2623         |
| 21                                | 238260           | 88885        | 8102         | 238260       | 52746        | 4509         | 238260       | 29059        | 2549         |
| 22                                | 268235           | 97203        | 8318         | 268235       | 57248        | 4502         | 268235       | 31537        | 2477         |
| 23                                | 300854           | 105743       | 8540         | 300854       | 61742        | 4494         | 300854       | 33943        | 2407         |
| 24                                | 336348           | 114509       | 8766         | 336348       | 66229        | 4487         | 336348       | 36282        | 2338         |
| 25                                | 374968           | 123507       | 8998         | 374968       | 70707        | 4479         | 374968       | 38554        | 2272         |
| <b>VPL total com investimento</b> |                  |              | 123.507      |              |              | 70.707       |              |              | 38.554       |
| <b>VPL total sem investimento</b> |                  |              | 166.476      |              |              | 113.675      |              |              | 81.522       |
| <b>TIR (ano)</b>                  |                  |              | 19,4%        |              |              | 19,4%        |              |              | 19,4%        |

O período de retorno descontado está descrito para cada um dos casos, conforme a Tabela 15.

**Tabela 15: Período de retorno para análise de sensibilidade.**

|                    | Taxa de desconto |      |      |
|--------------------|------------------|------|------|
|                    | 6%               | 9%   | 12%  |
| Período de retorno | Anos             |      |      |
| Nominal            | 6,64             | 6,64 | 6,64 |
| Descontado         | 8,22             | 9,38 | 11   |

Assim, é possível destacar que para uma taxa de desconto calculada em 6% o sistema a ser proposto se torna muito mais viável economicamente comparado com as taxas de 9% e 12%. Nota-se assim, que mais elevada a taxa de desconto, menos viável economicamente se torna o sistema. Ou seja, quanto maior a taxa mínima de atratividade, mais se aproxima do valor obtido no cálculo do TIR, e assim o sistema deixará de ser viável quando ocorrer o caso onde o valor da taxa mínima de atratividade passa a ser maior do que o da taxa interna de retorno (TIR). Isto normalmente ocorre quando o país entra em crise econômica e as taxas de inflação passam a ser muito elevadas, aumentando as taxas de juros bem como as taxas de atratividade.

Porém, para os três casos analisados, o sistema ainda pode ser considerado viável economicamente, como demonstrado pelos seus indicadores, que podem ser considerados valores expressivos para as condições de mercado atual. Por fim, é importante citar que, quanto mais alto for o valor da tarifa de energia elétrica, mais rápido é o período de retorno do investimento inicial.

## 5. CONSIDERAÇÕES

Desde 2012, quando foi criada a resolução da ANEEL 482, que trata a respeito da geração distribuída, na qual o consumidor pode gerar sua própria energia, desde que seja proveniente de fontes renováveis, houve um grande aumento no número de residências e indústrias que aderiram à produção deste sistema de geração de energia, principalmente a partir da fotovoltaica. Com esse aumento no interesse, além da evolução nas tecnologias, os sistemas fotovoltaicos têm se tornado cada vez mais viáveis tanto do ponto de vista social, ambiental e econômico.

Diante dos dados obtidos no presente trabalho é possível constatar que o sistema proposto permite que o proprietário efetue o abatimento de quase 100% da energia consumida anualmente em ambas as localidades, rural e urbana.

Mesmo que o sistema proposto seja viável do ponto de vista técnico, econômico, social e ambiental, ainda há a necessidade de maiores incentivos governamentais, pois o valor do investimento pode ser considerado elevado para os padrões da economia brasileira. Apesar do tempo de retorno descontado ser menor do que 10 anos, ainda assim é considerado um período razoável para o retorno do capital investido.

Por fim, podemos destacar que como a energia fotovoltaica é considerada muito cara, isto faz com que haja a necessidade de maiores estudos e estímulos governamentais para que ocorra a redução nos custos dos produtos e materiais empregados nas usinas de microgeração e minigeração de energia fotovoltaica, a fim de tornar tais projetos autossustentáveis.

Apesar da necessidade de tais mudanças, é possível afirmar que há um crescente aumento no número de interessados na implantação deste tipo de sistema proposto, pois além de obterem economias, aumentam a cultura de implantação de sistema autossustentável do ponto de vista social, econômico, ambiental e técnico, isto é, a idéia da implantação de um ambiente capaz de produzir energia limpa sem causar impactos sociais e ambientais.

### 5.1.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se a análise da viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico não conectado à rede (*off-grid*), ou seja, um sistema composto de baterias para o acúmulo da energia.

## REFERÊNCIAS

ANEEL– AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cadernos Temáticos ANEEL: Micro e Minigeração distribuída, Sistema de Compensação.** Brasília. 2016.

ANEEL– AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída.** Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset\\_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 05 de ago. 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 687.** 2015. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 10 de ago. 2016.

ABRADEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas de energia.** Disponível em:< <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/tarifas-de-energia>>. Acesso em: 07 de ago. 2016.

ARIKITA, Katia Y. **Dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede para o estacionamento dos departamentos de engenharia elétrica e mecânica – UFSCAR** – Campús De São Carlos. São Carlos. 2016.

BRIGHAM, Eugene F.; GAPENSKI, Luis C.; EHRHARDT, Michael C. **Administração Financeira: teoria e prática.** 1 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

BLOG VOLTAICO. **Energia Solar Fotovoltaica II: A célula fotovoltaica.** Disponível em: < <http://blogvoltaico.com.br/?p=76>>. Acesso em: 25 de jul. 2016.

CASARO, Marcio M.; MARTINS, Denizar C. **Processamento eletrônico da energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica.** Revista Controle & Automação, 2010, 12.2.

CASTRO, Rui M. G. **Introdução à energia fotovoltaica.** Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 2002.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2016: Relatório Síntese – ano base 2015.** Rio de Janeiro. 2016.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Manual de auxílio na interpretação e aplicação da norma regulamentadora n.º 35** – trabalhos em altura. Brasília, 2014.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Manual de auxílio na interpretação e aplicação da NRº 10** – comentada. São Paulo, 2016.

NASCIMENTO, Cássio Araújo. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. PhD Thesis. Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2004.

NRIBEIRO. **Geradores fotovoltaicos agosto 2016**. NRibeiro: Soluções em automação. Curitiba, 2016.

OPEN EI – Open Energy Information. **Brazil: Annual Global Horizontal Solar Radiation**. Disponível em: < <http://en.openei.org/w/index.php?title=File:NREL-brazil-glo.pdf&page=1>>. Acesso em: 16 de ago. 2016.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PHB SOLAR. **Tabela de preços julho 2016**. PHB Solar. São Paulo, 2016.

PRIEB, César W. M. **Desenvolvimento de um sistema de ensaio de módulos fotovoltaicos**. Porto Alegre. 2002.

PORTAL SOLAR. **Passo a passo da fabricação do painel solar**. Disponível em: < <http://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 15 de ago. 2016.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC, 2004.

SANTOS, Ieda M. A. dos. **Análise de Investimentos: Projeto Supervisionado pelo professor Laércio Luis Vendite**. Unicamp. Campinas. 2009.

SEBRAE. **Análise e Planejamento financeiro** – Manual do Participante. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresa –Brasília, 2011.

SICES. **Tabela Kits Fotovoltaicos Agosto 2016**. Sices Brasil. Itupeva, 2016.

SILVA, Marcio L. da; FONTES, Alessandro A. **Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET)**. Revista Árvore, 2005, 29.6: 931-936.

SOLERGO – Software para projeto de sistemas elétricos e fotovoltaicos. Electro Graphics. 2015.

SUNDATA – Potencial Solar. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO [CRESESB], 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 30 set. 2016.

URTADO, Edson S. et al. **Aplicação do método do valor presente líquido (VPL) na análise da viabilidade econômica de projetos na indústria metal mecânica: um estudo de caso**. Anais do XIII Encontro Latino de Iniciação Científica. 2009.

VILLALVA, Marcelo. G.; GAZOLI, Jonas. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Ed. Érica, 2012.

WEBSOLAR. **Seguidor Punto de Máxima Potencia (MPPT)**. Disponível em: <<http://www.websolar.com/foro/controlador-carga-mppt-punto-maxima-potencia/>>. Acesso em: 16 de ago. 2016.

WENHAM, Stuart R. et al. **Applied photovoltaics**. 2 ed. Australia: Centre for Photovoltaic Engineering of UNSW, 2009.



# ANEXO A – DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO

## Canadian Solar CS6P



\*Black frame product can be provided upon request.

### CS6P-260 | 265 | 270P

The high quality and reliability of Canadian Solar's modules is ensured by 15 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

#### KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency of up to 16.79 %
-  Outstanding low irradiance performance: 96.5 %
-  No. 1 PTC High PTC rating of up to 92.0 %
-  IP67 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa

**25** years linear power output warranty

**10** years product warranty on materials and workmanship

#### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2008 / Quality management system  
 ISO/TS 16949:2009 / The automotive industry quality management system  
 ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system  
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

#### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / JET / SII / CEC AU / INMETRO / CQC  
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)  
 UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS  
 Take-e-way / UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1

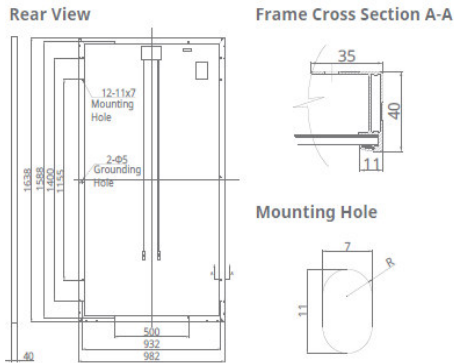
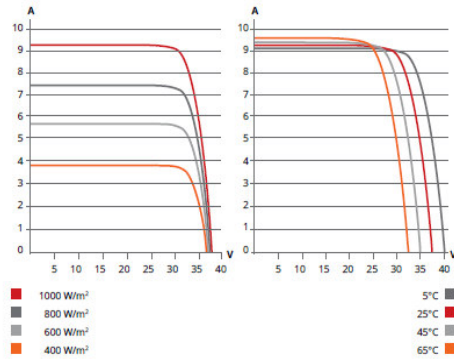


\* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

#### CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

**ENGINEERING DRAWING (mm)****CS6P-265P / I-V CURVES****ELECTRICAL DATA | STC\***

| CS6P                         | 260P                                    | 265P   | 270P   |
|------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax)    | 260 W                                   | 265 W  | 270 W  |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 30.4 V                                  | 30.6 V | 30.8 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 8.56 A                                  | 8.66 A | 8.75 A |
| Open Circuit Voltage (Voc)   | 37.5 V                                  | 37.7 V | 37.9 V |
| Short Circuit Current (Isc)  | 9.12 A                                  | 9.23 A | 9.32 A |
| Module Efficiency            | 16.16%                                  | 16.47% | 16.79% |
| Operating Temperature        | -40°C ~ +85°C                           |        |        |
| Max. System Voltage          | 1000 V (IEC) or 1000 V (UL)             |        |        |
| Module Fire Performance      | TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730) |        |        |
| Max. Series Fuse Rating      | 15 A                                    |        |        |
| Application Classification   | Class A                                 |        |        |
| Power Tolerance              | 0 ~ + 5 W                               |        |        |

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

**ELECTRICAL DATA | NOCT\***

| CS6P                         | 260P   | 265P   | 270P   |
|------------------------------|--------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax)    | 189 W  | 192 W  | 196 W  |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 27.7 V | 27.9 V | 28.1 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 6.80 A | 6.88 A | 6.97 A |
| Open Circuit Voltage (Voc)   | 34.5 V | 34.7 V | 34.8 V |
| Short Circuit Current (Isc)  | 7.39 A | 7.48 A | 7.55 A |

\* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

**PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE**

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

**MECHANICAL DATA**

| Specification          | Data                                                                                        |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cell Type              | Poly-crystalline, 6 inch                                                                    |
| Cell Arrangement       | 60 (6×10)                                                                                   |
| Dimensions             | 1638×982×40 mm (64.5×38.7×1.57 in)                                                          |
| Weight                 | 18 kg (39.7 lbs)                                                                            |
| Front Cover            | 3.2 mm tempered glass                                                                       |
| Frame Material         | Anodized aluminium alloy                                                                    |
| J-Box                  | IP67, 3 diodes                                                                              |
| Cable                  | 4 mm² (IEC) or 4 mm² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in) (650 mm (25.6 in) is optional) |
| Connectors             | T4-1000V or PV2 series                                                                      |
| Per Pallet             | 26 pieces, 515 kg (1135.4 lbs)                                                              |
| Per Container (40' HQ) | 728 pieces                                                                                  |

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

| Specification                      | Data         |
|------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax)     | -0.41 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc)      | -0.31 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc)      | 0.053 % / °C |
| Nominal Operating Cell Temperature | 45±2 °C      |

**PARTNER SECTION**

Scan this QR-code to discover solar projects built with this module



## ANEXO B – DATASHEET INVERTOR Fronius Primo 8.2-1

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



### FRONIUS PRIMO

/ The future of residential solar is here - Introducing the new Fronius Primo.



/ PC board replacement process



/ SnapINverter mounting system



/ Wi-Fi\* interface



/ SuperFlex Design



/ Smart Grid Ready



/ Arc Fault Circuit Interruption



FRONIUS PRIMO 3.8-1

/ With power categories ranging from 3.8 kW to 15.0 kW, the transformerless Fronius Primo is the ideal compact single-phase inverter for residential applications. The sleek design is equipped with the SnapINverter hinge mounting system which allows for lightweight, secure and convenient installation. The Fronius Primo has several integrated features that set it apart from competitors including dual powerpoint trackers, high system voltage, a wide input voltage range, Wi-Fi\* and SunSpec Modbus interface, and Fronius' online and mobile monitoring platform Fronius Solar.web. The Fronius Primo also works seamlessly with the Fronius Rapid Shutdown Box for a reliable NEC 2014 solution\*\* and offers a Revenue Grade Metering option completely integrated.

#### TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO

| GENERAL DATA                               | FRONIUS PRIMO 3.8 - 8.2                                                                                                                                                                                                                              | FRONIUS PRIMO 10.0-15.0                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dimensions (width x height x depth)        | 16.9 x 24.7 x 8.1 in.                                                                                                                                                                                                                                | 20.1 x 28.5 x 8.9 in.                                                                                                                                                                                                                                           |
| Weight                                     | 47.29 lb.                                                                                                                                                                                                                                            | 82.5 lbs.                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Degree of protection                       | NEMA 4X                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Night time consumption                     | < 1 W                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Inverter topology                          | Transformerless                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Cooling                                    | Variable speed fan                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Installation                               | Indoor and outdoor installation                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Ambient operating temperature range        | -40 - 131°F (-40 - 55°C)                                                                                                                                                                                                                             | -40 - 140°F (-40 - 60°C)                                                                                                                                                                                                                                        |
| Permitted humidity                         | 0 - 100 %                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| DC connection terminals                    | 4x DC+ and 4x DC- screw terminals for copper (solid / stranded / fine stranded) or aluminum (solid / stranded)                                                                                                                                       | 4x DC+1, 2x DC+2 and 6x DC- screw terminals for copper (solid / stranded / fine stranded) or aluminum (solid / stranded)                                                                                                                                        |
| AC connection terminals                    | Screw terminals 12 - 6 AWG                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Revenue Grade Metering                     | Optional (ANSI C12.1 accuracy)                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Certificates and compliance with standards | UL 1741-2010, UL1998 (for functions: AFCI and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC Article 690, C22. 2 No. 107.1-01 (September 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013 | UL 1741-2015, UL1998 (for functions: AFCI, RCMU and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2003, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC Article 690-2014, C22. 2 No. 107.1-01 (September 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013 |

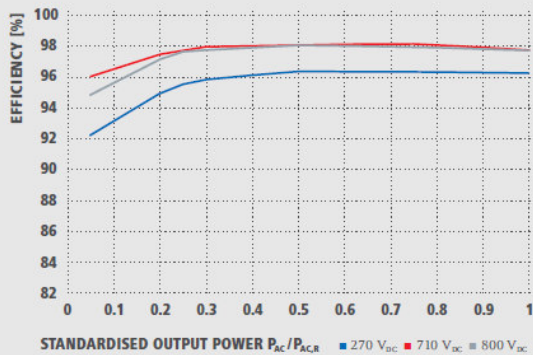
| PROTECTIVE DEVICES                                         | STANDARD WITH ALL PRIMO MODELS |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| AFCI & 2014 NEC Ready                                      | Yes                            |
| Ground Fault Protection with Isolation Monitor Interrupter | Yes                            |
| DC disconnect                                              | Yes                            |
| DC reverse polarity protection                             | Yes                            |

| INTERFACES                           | STANDARD WITH ALL PRIMO MODELS                                                                    |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wi-Fi*/Ethernet/Serial               | Wireless standard 802.11 b/g/n / Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON / SunSpec Modbus RTU |
| 6 inputs or 4 digital inputs/outputs | External relay controls                                                                           |
| USB (A socket)                       | Datalogging and/or updating via USB                                                               |
| 2x RS422 (RJ45 socket)               | Fronius Solar Net, interface protocol                                                             |
| Datalogger and Webserver             | Included                                                                                          |

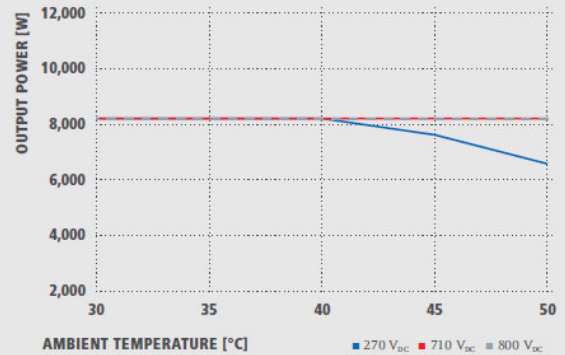
\*The term Wi-Fi® is a registered trademark of the Wi-Fi Alliance.

\*\*Fronius Primo 10.0-15.0 kW requires an external disconnect button for code compliance.

## FRONIUS PRIMO 8.2-1 EFFICIENCY CURVE



## FRONIUS PRIMO 8.2-1 TEMPERATURE DERATING



## TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO (5.0-1, 5.0-1 AUS, 6.0-1, 8.2-1)

| INPUT DATA                                               | PRIMO 5.0-1            | PRIMO 5.0-1 AUS        | PRIMO 6.0-1            | PRIMO 8.2-1             |
|----------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Max. input current ( $I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$ ) | 12.0 A / 12.0 A        |                        | 18.0 A / 18.0 A        |                         |
| Max. array short circuit current (MPP/MPP <sub>2</sub> ) | 18.0 A / 18.0 A        |                        | 27.0 A / 27.0 A        |                         |
| Min. input voltage ( $U_{dc\ min}$ )                     |                        |                        | 80 V                   |                         |
| Feed-in start voltage ( $U_{dc\ start}$ )                |                        |                        | 80 V                   |                         |
| Nominal input voltage ( $U_{dc,r}$ )                     |                        |                        | 710 V                  |                         |
| Max. input voltage ( $U_{dc\ max}$ )                     |                        |                        | 1,000 V                |                         |
| MPP voltage range ( $U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$ )      |                        | 240 - 800 V            |                        | 270 - 800 V             |
| Number of MPP trackers                                   |                        | 2                      |                        |                         |
| Number of DC connections                                 |                        | 2 + 2                  |                        |                         |
| Max. PV generator output ( $P_{do\ max}$ )               | 7.5 kW <sub>peak</sub> | 7.5 kW <sub>peak</sub> | 9.0 kW <sub>peak</sub> | 12.3 kW <sub>peak</sub> |

| OUTPUT DATA                             | PRIMO 5.0-1 | PRIMO 5.0-1 AUS                       | PRIMO 6.0-1 | PRIMO 8.2-1 |
|-----------------------------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
| AC nominal output ( $P_{ac,r}$ )        | 5,000 W     | 4,600 W                               | 6,000 W     | 8,200 W     |
| Max. output power                       | 5,000 VA    | 5,000 VA                              | 6,000 VA    | 8,200 VA    |
| AC output current ( $I_{ac\ nom}$ )     | 21.7 A      | 21.7 A                                | 26.1 A      | 35.7 A      |
| Grid connection (voltage range)         |             | 1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V) |             |             |
| Frequency (frequency range)             |             | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)            |             |             |
| Total harmonic distortion               |             | < 5 %                                 |             |             |
| Power factor ( $\cos\ \varphi_{ac,r}$ ) |             | 0.85 - 1 ind. / cap.                  |             |             |

| GENERAL DATA                                 | PRIMO 5.0-1 | PRIMO 5.0-1 AUS                                                                                                                        | PRIMO 6.0-1 | PRIMO 8.2-1 |
|----------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
| Dimensions (height x width x depth)          |             | 645 x 431 x 204 mm                                                                                                                     |             |             |
| Weight                                       |             | 21.5 kg                                                                                                                                |             |             |
| Degree of protection                         |             | IP 65                                                                                                                                  |             |             |
| Protection class                             |             | 1                                                                                                                                      |             |             |
| Overvoltage category (DC / AC) <sup>1)</sup> |             | 2 / 3                                                                                                                                  |             |             |
| Night time consumption                       |             | < 1 W                                                                                                                                  |             |             |
| Inverter design                              |             | Transformerless                                                                                                                        |             |             |
| Cooling                                      |             | Regulated air cooling                                                                                                                  |             |             |
| Installation                                 |             | Indoor and outdoor installation                                                                                                        |             |             |
| Ambient temperature range                    |             | -40 - +55 °C                                                                                                                           |             |             |
| Permitted humidity                           |             | 0 - 100 %                                                                                                                              |             |             |
| Max. altitude                                |             | 4,000 m                                                                                                                                |             |             |
| DC connection technology                     |             | 4x DC+ and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>                                                                             |             |             |
| AC connection technology                     |             | 3-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>                                                                                     |             |             |
| Certificates and compliance with standards   |             | DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105 <sup>2)</sup> |             |             |

<sup>1)</sup> According to IEC 62109-1.

<sup>2)</sup> Fronius Primo 5.0-1, Fronius Primo 6.0-1 and Fronius Primo 8.2-1 are not fully compliant with VDE AR N 4105. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

| EFFICIENCY                          | PRIMO 5.0-1          | PRIMO 5.0-1 AUS      | PRIMO 6.0-1          | PRIMO 8.2-1          |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Max. efficiency                     | 98.0 %               | 98.0 %               | 98.0 %               | 98.1 %               |
| European efficiency ( $\eta_{EU}$ ) | 97.1 %               | 97.1 %               | 97.3 %               | 97.5 %               |
| $\eta$ at 5 % $P_{acc,r}^{1)}$      | 80.8 / 82.5 / 82.5 % | 80.8 / 82.5 / 82.5 % | 84.6 / 86.5 / 86.0 % | 85.5 / 89.6 / 88.5 % |
| $\eta$ at 10 % $P_{acc,r}^{1)}$     | 89.6 / 94.8 / 93.1 % | 89.6 / 94.8 / 93.1 % | 90.5 / 95.5 / 94.6 % | 92.2 / 96.0 / 94.8 % |
| $\eta$ at 20 % $P_{acc,r}^{1)}$     | 93.4 / 97.2 / 96.2 % | 93.4 / 97.2 / 96.2 % | 94.0 / 97.2 / 96.8 % | 94.9 / 97.4 / 97.2 % |
| $\eta$ at 25 % $P_{acc,r}^{1)}$     | 94.1 / 97.3 / 96.8 % | 94.1 / 97.3 / 96.8 % | 94.7 / 97.4 / 97.0 % | 95.5 / 97.7 / 97.6 % |
| $\eta$ at 30 % $P_{acc,r}^{1)}$     | 94.7 / 97.4 / 97.0 % | 94.7 / 97.4 / 97.0 % | 95.1 / 97.6 / 97.3 % | 95.8 / 97.9 / 97.7 % |
| $\eta$ at 50 % $P_{acc,r}^{1)}$     | 95.8 / 97.9 / 97.7 % | 95.8 / 97.9 / 97.7 % | 96.0 / 97.9 / 97.8 % | 96.3 / 98.0 / 98.0 % |
| $\eta$ at 75 % $P_{acc,r}^{1)}$     | 96.1 / 98.0 / 97.9 % | 96.1 / 98.0 / 97.9 % | 96.2 / 98.0 / 98.0 % | 96.3 / 98.1 / 97.9 % |
| $\eta$ at 100 % $P_{acc,r}^{1)}$    | 96.2 / 97.9 / 97.9 % | 96.2 / 97.9 / 97.9 % | 96.2 / 98.0 / 97.9 % | 96.2 / 97.7 / 97.7 % |
| MPP adaptation efficiency           | > 99.9 %             |                      |                      |                      |

| PROTECTIVE DEVICES          | PRIMO 5.0-1                             | PRIMO 5.0-1 AUS | PRIMO 6.0-1 | PRIMO 8.2-1 |
|-----------------------------|-----------------------------------------|-----------------|-------------|-------------|
| DC insulation measurement   | Yes                                     |                 |             |             |
| Overload behaviour          | Operating point shift, power limitation |                 |             |             |
| DC disconnecter             | Yes                                     |                 |             |             |
| Reverse polarity protection | Yes                                     |                 |             |             |

| INTERFACES                           | PRIMO 5.0-1                                                     | PRIMO 5.0-1 AUS | PRIMO 6.0-1 | PRIMO 8.2-1 |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|-------------|
| WLAN / Ethernet LAN                  | Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON) |                 |             |             |
| 6 inputs and 4 digital in/out        | Interface to ripple control receiver                            |                 |             |             |
| USB (A socket) <sup>2)</sup>         | Datalogging, inverter update via USB flash drive                |                 |             |             |
| 2x RS422 (RJ45 socket) <sup>2)</sup> | Fronius Solar Net                                               |                 |             |             |
| Signalling output <sup>2)</sup>      | Energy management (potential-free relay output)                 |                 |             |             |
| Datalogger and Webserver             | Included                                                        |                 |             |             |
| External input <sup>2)</sup>         | SO-Meter Interface / Input for overvoltage protection           |                 |             |             |
| RS485                                | Modbus RTU SunSpec or meter connection                          |                 |             |             |

<sup>1)</sup> And at  $U_{mpp\ min} / U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$

<sup>2)</sup> Also available in the light version.