

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

MIKE DE ALBUQUERQUE ROCHA

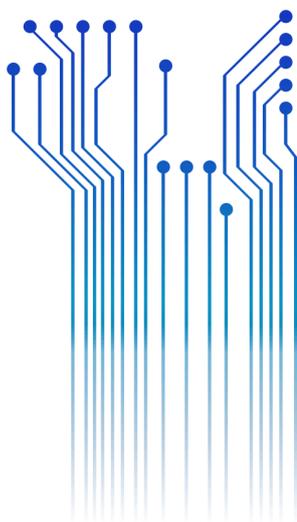


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
CONECTADO À REDE NA CIDADE DE CAJAZEIRAS-PB.



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2019



MIKE DE ALBUQUERQUE ROCHA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
ON-GRID NA CIDADE DE CAJAZEIRAS-PB

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira.

Campina Grande  
2019

MIKE DE ALBUQUERQUE ROCHA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO  
ON-GRID NA CIDADE DE CAJAZEIRAS-PB.

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Aprovado em        /        /

**Roberto Silva de Siqueira**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador, UFCG

**Professor Leimar de Oliveira, D.Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família, minha mãe Micelânia e minha namorada Tanammy, que sempre me apoiaram e me deram força para seguir em frente e realizar esse sonho.

# AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, toda honra e toda glória a ele que nunca me abandonou, me tornado cada dia mais forte, e ajudou nos momentos mais difíceis.

Agradeço também à minha mãe, Micelânia, por sempre ter me apoiado, cuidado e me amado, se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, mesmo com todas as dificuldades que passamos, obrigado por tudo que fez e tem feito por mim sem nunca medir esforços.

Agradeço também a minha namorada Tanammy, que ao longo de todos esses anos que estamos juntos foi a pessoa que mais me apoiou e me incentivou a nunca desistir, sempre ao meu lado, com todo carinho e sabedoria que me fez amadurecer muito nesses anos.

Agradeço aos meus tios padrinhos Marcos e Marilane por me acolherem por todos esses anos, sempre me aconselhando para meu melhor. Não deixando de esquecer das minhas tias Joana, Fiy e Fátima que sempre estiveram presentes de alguma forma.

Agradeço a todos os amigos em especial Carlos, Inaiê, Pedro, Andson, por todos os momentos que passamos, momentos alegres, tristes, bons e difíceis, e que sem vocês essa jornada poderia ter sido mais árdua. Também aos meus amigos Heroíso e Miguel que mesmo a pouco tempo já compartilhamos ótimos momentos.

A minha família EJC, Guardiões da Luz que entrou na minha vida a 2 anos e me mudou de uma forma muito bonita, me tornando uma pessoa melhor e mais próxima de Deus.

Enfim, agradeço a todos os colegas que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje, professores um agradecimento especial ao professor Leimar que me orientou nesse trabalho com toda paciência e dedicação, e aos funcionários do departamento de Engenharia Elétrica.

*“Que a Cruz Sagrada Seja a Minha Luz...”*

(Oração de São Bento).

# RESUMO

Com o desenvolvimento da tecnologia, a preocupação com as questões ambientais e a necessidade na busca de novas alternativas para a geração de energia em um nível sustentável, novas fontes de energia estão sendo desenvolvidas. Dentre as fontes renováveis de energia elétrica, o Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano. Com tudo isso, uma das tecnologias mais recentes de geração de energia complementar é a solar fotovoltaica. Esse trabalho mostra toda as etapas de um projeto fotovoltaico, mostrando do dimensionamento a execução do sistema. O sistema em questão é uma usina solar de microgeração ligada a rede com potência instalada de 74,1 kWp, tendo 228 painéis de 325W, e 3 inversores de 27 kW. Esse sistema produz em média aproximadamente 11100 kW/mês. Por fim foi realizado uma análise econômica do sistema em estudo. Sendo o sistema viável economicamente após as análises realizadas.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Sistema Fotovoltaico, SFCR.

## ABSTRACT

With the development of technology, concern with environmental issues and the need to seek new alternatives for generating energy at a sustainable level, new sources of energy are being developed. Among the renewable sources of electric energy, Brazil, being a country located mostly in the intertropical region, has great potential for the use of solar energy throughout the year. With all this, one of the most recent alternative energy generation technologies is solar photovoltaic. This work shows all the steps of a photovoltaic project, showing the sizing of the execution of the system. The system in question is a 74.1 kWp solar grid-connected microgeneration solar power plant with 228 panels of 325W and 3 inverters of 27 kW. This system produces on average approximately 11,100 kW / month. Finally, an economic analysis of the system under study was carried out. The system is economically feasible after the analyzes carried out.

**Keywords:** Solar Energy, Photovoltaic System, SFCR.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Produção mundial de células fotovoltaicas .....                         | 18 |
| Figura 2 – Evolução de potência instalada em SFV no mundo.....                     | 19 |
| Figura 3 – Evolução de potência instalada (MW) por tipo de fonte.....              | 21 |
| Figura 4 – Potência instalada (MW) de geração distribuída FV no Brasil.....        | 21 |
| Figura 5 – Investimento anual para GD fotovoltaica no Brasil .....                 | 22 |
| Figura 6 – Potência instalada por UF .....   | 23 |
| Figura 7 – Previsão de SFCR para os próximos anos .....                            | 23 |
| Figura 8 – Previsão de MW instalados para os próximos anos .....                   | 24 |
| Figura 9 – Distribuição eletrônica do silício .....                                | 25 |
| Figura 10 – Cristal de silício não-dopado.....                                     | 26 |
| Figura 11 – Cristal de silício dopado: tipos n e p .....                           | 27 |
| Figura 12 – Corrente em função da ddp aplicada em uma célula de silício .....      | 30 |
| Figura 13 – Curva I-V para diferentes temperaturas .....                           | 32 |
| Figura 14 – Efeito da temperatura na curva P-V .....                               | 32 |
| Figura 15 – Curvas I-V para diferentes valores de irradiação solar. ....           | 33 |
| Figura 16 – Conexão em série entre três módulos .....                              | 34 |
| Figura 17 – Conexão em paralelo entre três módulos.....                            | 35 |
| Figura 18 – Conexão série-paralelo entre três módulos.....                         | 36 |
| Figura 19 – Sistema fotovoltaico conectado a rede .....                            | 37 |
| Figura 20 - Usina fotovoltaica de 74,1kWp na cidade de Cajazeiras-PB .....         | 40 |
| Figura 21 – Fatura de energia no hotel antes de ter geração distribuída .....      | 41 |
| Figura 22 – Fatura de energia na residência antes de ter geração distribuída ..... | 41 |
| Figura 23 – Painel solar 325W Canadian Solar – CS6U-325P .....                     | 45 |
| Figura 24 – Inversores Fronius da UFV .....  | 47 |
| Figura 25 – Inversor Fronius Eco 27.0-3-S .....                                    | 47 |
| Figura 26 – Diagrama multifilar lado DC para um dos inversores. ....               | 50 |
| Figura 27 – Diagrama multifilar lado AC .....                                      | 51 |
| Figura 28 – Vista isométrica da estrutura metálica dos painéis .....               | 52 |
| Figura 29 – Arranjo físico para evitar sombreamento .....                          | 52 |
| Figura 30 – Vista lateral das estruturas da UFV.....                               | 53 |
| Figura 31 – Disposição dos painéis com distâncias de segurança.....                | 54 |
| Figura 32 – Gráfico de geração em um dia nublado.....                              | 55 |
| Figura 33 – Gráfico de geração em um dia limpo .....                               | 55 |
| Figura 34 – Gráfico de geração em um dia de chuva. ....                            | 56 |
| Figura 35 – Gráfico de geração mensal da UFV .....                                 | 56 |
| Figura 36 – Geração estimada em kWh/mês do Sistema .....                           | 57 |
| Figura 37 – Modelo de documento para definição de rateio .....                     | 58 |
| Figura 38 – Conta do hotel antes e depois do sistema.....                          | 59 |
| Figura 39 – Conta da residência antes e depois do sistema.....                     | 60 |
| Figura 40 – Gráfico da economia acumulada ao longo de 25 anos.....                 | 65 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Distribuição da produção mundial de células fotovoltaicas .....       | 20 |
| Tabela 2– Comparação entre tipos de células fotovoltaicas.....                   | 29 |
| Tabela 3 – Dados de consumo mensal e valor em R\$ da unidade consumidora .....   | 43 |
| Tabela 4 – Dados de consumo mensal e valor em R\$ da unidade consumidora.....    | 44 |
| Tabela 5 – Calculo no plano inclinado .....                                      | 44 |
| Tabela 6 – Calculo no plano inclinado.....                                       | 46 |
| Tabela 7 – Características construtivas do módulo .....                          | 47 |
| Tabela 8 – Características elétricas do módulo.....                              | 49 |
| Tabela 9 – Características construtivas do inversor .....                        | 49 |
| Tabela 10 – Características elétricas do inversor.....                           | 62 |
| Tabela 11 – Principais materias utilizados na UFV .....                          | 63 |
| Tabela 12 – Dados da UFV.....  | 63 |
| Tabela 13 – Taxas e reajustes .....  | 64 |
| Tabela 14 – Geração e economia mensal considerando o valor do kW a R\$ 0,73..... | 64 |
| Tabela 15 – Custos e economia anual .....  | 65 |
| Tabela 16 – Fluxo de caixa do projeto .....                                      | 65 |
| Tabela 17– Fluxo de caixa e VPL .....  | 66 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |  |
|---------|--|
| ANEEL   | Agência Nacional de Energia Elétrica                 |
| a-Si    | Silício amorfo                                       |
| BT      | Baixa Tensão   |
| CA      | Corrente Alternada                                   |
| CC      | Corrente Contínua                                    |
| CdS     | Sulfato de Cádmio                                    |
| CRESESB | Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica |
|         | Sérgio de S. Brito                                   |
| c-Si    | Silício cristalino                                   |
| d       | Distância  |
| DPS     | Dispositivo de Proteção Contra Surtos                |
| h       | Altura   |
| HSP     | Horas de Sol Plena                                   |
| MPPT    | Ponto Máximo de Potência                             |
| m-Si    | Silício monocristalino                               |
| MT      | Média Tensão   |
| NBR     | Normas Brasileiras                                   |
| NDU     | Norma de Distribuição Unificada                      |
| p-Si    | Silício policristalino                               |
| SFCR    | Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede                |
| TMA     | Taxa Mínima de Atratividade                          |
| UFV     | Usina Fotovoltaica                                   |
| VPL     | Valor Presente Líquido                               |
| kV      | quilovolts   |
| Wp      | Wattspico  |

# SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Introdução.....   | 14 |
| 1.1   | Objetivos.....  | 15 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral.....   | 15 |
| 1.1.2 | Objetivo Específico.....                                    | 16 |
| 1.2   | Estrutura do Trabalho.....                                  | 16 |
| 2     | Fundamentação Teórica.....                                  | 17 |
| 2.1   | Energia Solar.....  | 17 |
| 2.2   | Sistemas Fotovoltaicos no Mundo.....                        | 18 |
| 2.3   | Sistema Fotovoltaicos no Brasil.....                        | 20 |
| 3     | A Física.....   | 25 |
| 3.1   | O Efeito Fotovoltaico.....                                  | 25 |
| 3.1.1 | Semicondutores Não-Dopados.....                             | 26 |
| 3.1.2 | Semicondutores Dopados.....                                 | 26 |
| 3.2   | Células Fotovoltaicas.....                                  | 27 |
| 3.3   | Módulos Fotovoltaicos.....                                  | 28 |
| 3.3.1 | Características Elétricas do Módulo Solar Fotovoltaico..... | 29 |
| 3.3.2 | Curva Característica de Tensão Versus Corrente.....         | 30 |
| 3.3.3 | Temperatura de Operação.....                                | 31 |
| 3.3.4 | Intensidade da Radiação Solar.....                          | 33 |
| 3.3.5 | Arranjo Entre Módulos Fotovoltaicos.....                    | 34 |
| 3.4   | Inversor.....   | 36 |
| 3.5   | Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR).....        | 37 |
| 3.6   | Análise Financeira.....                                     | 38 |
| 3.6.1 | Valor Presente Líquido (VPL).....                           | 38 |
| 3.6.2 | Payback Descontado (PBD).....                               | 39 |
| 4     | Estudo de Caso da Usina.....                                | 40 |
| 4.1   | Etapas do Projeto.....                                      | 40 |
| 4.2   | Histórico Anual.....  | 41 |
| 4.3   | Radiação Solar Incidente em Cajazeiras-PB.....              | 43 |
| 4.4   | Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos.....              | 44 |
| 4.5   | Dimensionamento dos Inversores.....                         | 47 |
| 4.6   | Dimensionamento dos Condutores.....                         | 49 |
| 4.7   | Dimensionamento dos Dispositivos de Proteção.....           | 50 |
| 4.8   | Projeto da Estrutura de Solo.....                           | 53 |
| 4.9   | Comparativos de geração entres os dias.....                 | 55 |
| 4.10  | Resultados da Geração do Sistema.....                       | 57 |
| 4.11  | Sistema de Rateio.....                                      | 58 |

|  |   |    |
|--|---|----|
| 4.12                                   | Primeiros Resultados com o Sistema Ligado ..... | 59 |
| 4.13                                   | Análise Econômica do Sistema Fotovoltaico.....  | 61 |
| 4.13.1                                 | Custo do Projeto.....                           | 62 |
| 4.13.2                                 | Análise Financeira.....                         | 63 |
| 5                                      | Conclusões.....                                 | 68 |
| 6                                      | Referência Bibliográficas .....                 | 69 |
| ANEXO A – FICHA TÉCNICA PLACAS .....   |   | 70 |
| ANEXO B – FICHA TÉCNICA INVERSOR ..... |   | 72 |

# 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo de energia elétrica no Brasil vem crescendo cada vez mais. Este crescimento vem ocorrendo devido ao aumento da atividade econômica. Até 2020 estima-se um aumento de 55,6% na demanda total, com um crescimento de 8,5% acima dos 47% registrados na última década. Devido a este fato, investimentos no setor de energia elétrica são necessários para atender à crescente demanda.

Atualmente, a matriz energética mundial é composta em sua grande maioria por combustíveis fósseis. Carvão, petróleo e gás natural são os responsáveis por 80% da geração mundial de energia. A energia hidráulica é a principal fonte de energia para geração de eletricidade no Brasil. Apesar de ser considerada uma fonte renovável e limpa, as usinas hidroelétricas produzem um impacto ambiental ainda não adequadamente avaliado, devido ao alagamento de grandes áreas cultiváveis. Com isso, investimentos em novas grandes unidades geradoras, alinhadas à construção de extensas linhas de transmissão e de distribuição, como uma alternativa para atender o aumento de demanda, resulta em alguns problemas como impactos ambientais, custos elevados e aumento das perdas nestas redes devido às longas distâncias entre os centros de geração e consumo.

Com o desenvolvimento da tecnologia, e a preocupação com as questões ambientais e a necessidade na busca de novas alternativas para a geração de energia a um nível sustentável, novas fontes de energia estão sendo desenvolvidas. Dentre as fontes renováveis de energia elétrica, a energia eólica é a que vem recebendo maior volume de investimentos. Por outro lado, o Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano. Com tudo isso, uma das tecnologias mais recentes de geração de energia alternativa é a solar fotovoltaica.

Os altos custos das células solares sempre foram o principal problema desta tecnologia e um grande desafio para a indústria. Até a década de 70 sua utilização era restrita a aplicações bem específicas, como as espaciais, onde altos orçamentos eram empregados. A crise energética de 1973 renovou e ampliou os interesses em aplicações terrestres. Nos Estados Unidos, as empresas de petróleo resolveram diversificar seus investimentos, englobando a produção de energia a partir da radiação solar. Com isso, a

energia fotovoltaica começou a receber importantes investimentos, tanto do setor público, por meio de programas de incentivos governamentais, como de empresas privadas.

Como consequência das políticas de investimentos e desenvolvimento dos painéis fotovoltaicos, a sua produção mundial e a demanda cresceram consideravelmente, assim como as pesquisas e melhorias no processo de fabricação. Diante deste fato e do desenvolvimento da eficiência das células solares de silício, os custos da tecnologia fotovoltaica de energia elétrica diminuíram significativamente. Sendo assim, a energia fotovoltaica está se tornando cada vez mais competitiva, tanto porque seus custos estão decrescendo, quanto porque a avaliação de outras formas de energia está se tornando mais real, levando em conta fatores que eram anteriormente ignorados, como a questão dos impactos ambientais.

No Brasil, programas do Governo Federal têm priorizado a utilização e instalação de sistemas solares fotovoltaicos isolados em comunidades carentes e eletricamente isoladas, com a finalidade de cumprir o objetivo de expandir a energia e acabar com a exclusão elétrica no país.

Sendo assim, a utilização de sistemas solares fotovoltaicos isolados representa uma boa solução, como uma alternativa economicamente mais interessante, referente ao atendimento de comunidades distantes sem acesso à energia elétrica, assim como na utilização residencial para suprimento de alguns equipamentos elétricos e iluminação.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso é dimensionar e projetar um sistema solar fotovoltaico isolado. Oferecer as ferramentas e os conhecimentos necessários para aplicação em unidades de baixa potência, apresentando a tecnologia solar fotovoltaico, abordando as características e funcionalidades dos principais componentes de um sistema conectado à rede.

### 1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Utilizando o histórico de consumo mensal de um Hotel na cidade de Cajazeiras-PB, tem-se como objetivo específico dimensionar e quantificar os equipamentos necessários para produzir a energia necessária para seu consumo, por meio de um projeto elétrico, da instalação, bem como o posicionamento e arranjo das células fotovoltaicas. Fazendo um levantamento do gasto antes e depois do sistema ser instalado. Também um comparativo levando em consideração o teórico calculado, comparando com a geração real. E por fim fazendo uma análise econômica por meio do Pay-Back simples, ver com quanto tempo se terá o retorno do investimento. Com o auxílio do Excel, serão realizadas as seguintes etapas: Análise do consumo mensal; cálculo e dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede; determinação do inversor e das células fotovoltaica; determinação da corrente para os equipamentos de proteção; dimensionamento do arranjo e inclinação das células fotovoltaicas; especificação dos condutores e demais componentes básicos.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 é introdutório e contextualiza o trabalho, define os objetivos gerais e específicos e apresenta a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 é a fundamentação teórica, onde serão abordadas as definições do sistema fotovoltaico, as características, os aspectos gerais e como se dá o funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado a rede. E como está a energia solar no mundo e também no Brasil para os dias de hoje.

O capítulo 3 aborda em geral a física, onde se dá a explicação do efeito fotovoltaico, suas características, aborda também as células fotovoltaicas, os módulos e seu comportamento de acordo com alguns aspectos físicos, o inversor e por fim sobre alguns métodos financeiros como o VPL e o Payback.

No capítulo 4 se tem o estudo de caso em si, onde serão abordadas todas as etapas de um projeto fotovoltaico, dimensionamento dos painéis e inversores, condutores e proteção. Além de um comparativo após a usina está em funcionamento, e por fim uma análise financeira a fim de verificar se o estudo em questão é viável economicamente.

O capítulo 5 é conclusivo e destaca as principais conclusões do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o avanço tecnológico e a forte demanda de consumo de energia, a redução de oferta nas fontes de energias mais convencionais, o meio ambiente tem sofrido fortes impactos devido a esse fator o que gerou a necessidade de se preocupar com a preservação do meio ambiente e a descoberta de novas fontes energéticas menos poluentes, renováveis e que não causem fortes impactos ambientais.

Este capítulo tem como objetivo trazer uma fundamentação teórica sobre Energia Solar Fotovoltaica, seus aspectos gerais, e como esta é utilizada na geração de energia elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.

### 2.1 ENERGIA SOLAR

O efeito fotovoltaico, primeiramente descoberto por Edmond Becquerel, em 1839, consiste no surgimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz, sendo a célula fotovoltaica a menor unidade desse processo de conversão. Em 1876 foi concebido o primeiro aparato fotovoltaico, mas foi somente em 1956 que se iniciou a sua produção industrial. A "corrida espacial" foi o primeiro fator que impulsionou a sua produção, pois a célula solar possui alta capacidade de fornecer energia no espaço por longos períodos de tempo, em consequência de seu peso e custos.

Com a crise do petróleo em 1973 o interesse em aplicações terrestres para a energia solar fotovoltaica foi renovado, no entanto, a produção teria que passar por um processo de barateamento dos seus custos em cerca de 100 vezes, em relação à aplicação espacial. Em 1978 o setor já produzia 1 MW por ano, e o objetivo dos Estados Unidos era de que no ano de 2000, cerca de 1 a 5,5% de toda energia consumida pelo país fosse de origem fotovoltaica. Em 1998 já eram produzidos cerca de 150 MW por ano, sendo o Silício, pela sua abundância, o destaque no ramo dos materiais (FRANÇA, 2013).

O desenvolvimento do mercado fotovoltaico foi imprescindível para o rápido aumento da produção chinesa, observado desde 2006. Em 2003, a Ásia não estava entre as dez maiores fabricantes do mundo, entretanto, em 2008, três desses eram da China e

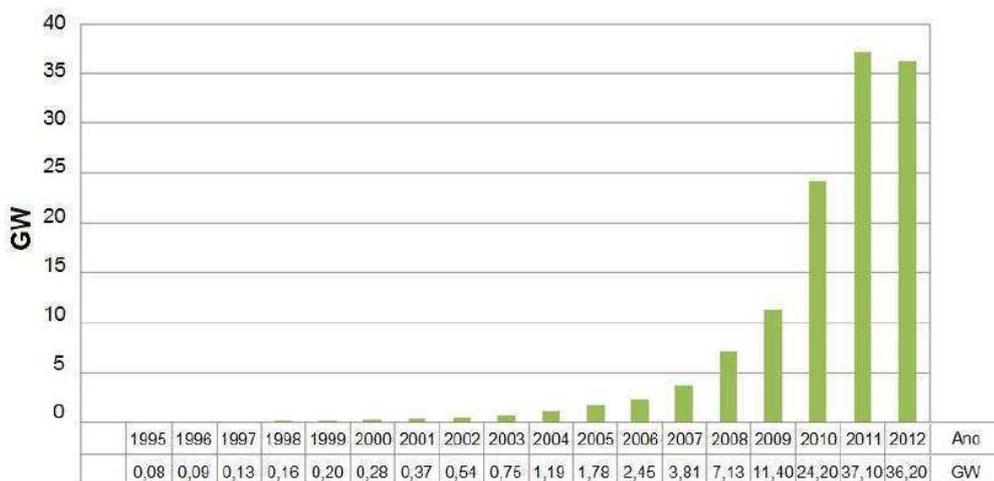
um de Taiwan e, em 2009, a China já ocupava a liderança na fabricação de módulos (CRESESB, 2014).

Até a atualidade, o principal empecilho do setor é o custo das células solares, mas pesquisa com outros tipos de células e fortes incentivos concedidos para a instalação de sistemas fotovoltaicos vem mudando este cenário.

## 2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO MUNDO

Devido a incentivos concedidos para a instalação de sistemas fotovoltaicos, a produção de energia elétrica a partir da energia solar vem crescendo nos países desenvolvidos. A Figura 1 apresenta a evolução mundial de células fotovoltaicas, tendo sido produzidos, em 2012, cerca de 36,2 GWp, equivalendo a mais de duas vezes e meia a potência da usina hidroelétrica de Itaipu, a maior central de produção de energia elétrica do Brasil (CRESESB, 2014).

Figura 1 – Produção mundial de células fotovoltaicas

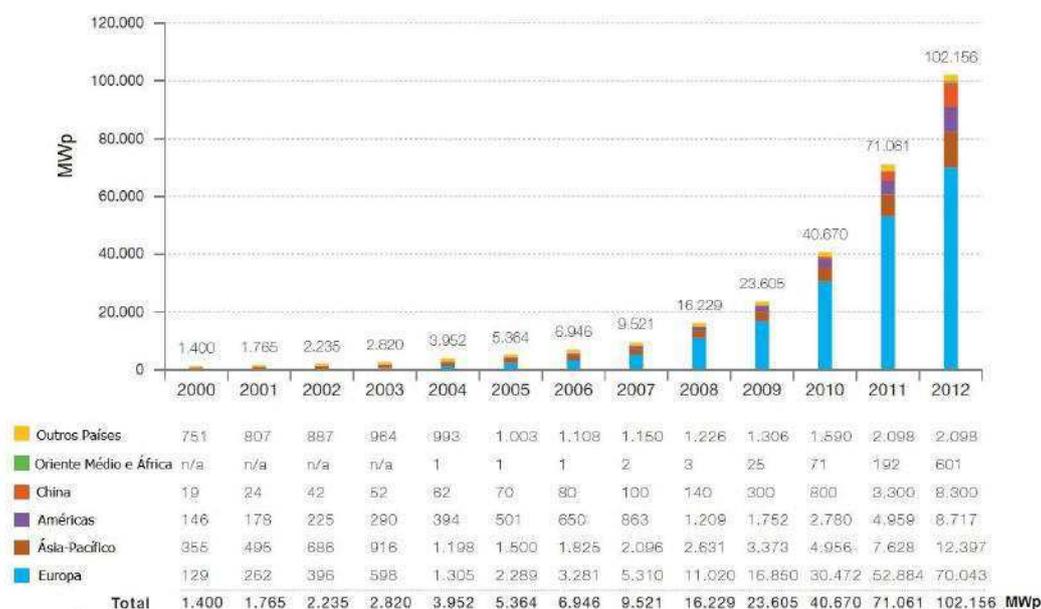


Fonte: (CRESESB, 2014)

Para melhor visualização e entendimento da distribuição dos sistemas fotovoltaicos no mundo, pode ser visto na Figura 2 a potência instalada em SFV no mundo no período de 2000 a 2012. Observa-se que o maior mercado de módulos fotovoltaicos

tem sido na Alemanha, seguida da Itália, sendo que, apenas na Europa, encontram-se instalados aproximadamente 74% da produção mundial. Com a utilização desta nova tecnologia, é possível observar os resultados, em 2011, a energia elétrica produzida pelos sistemas fotovoltaicos correspondeu a 2% do consumo europeu, com destaque para a Itália, onde este número foi da ordem de 5%. Depois da Europa, os maiores mercados para SFV estão no Japão e nos Estados Unidos. É importante ressaltar que, até 2012, a potência instalada acumulada global superou os 100GWp, sendo 32,3 GWp na Alemanha e 16GWp na Itália (CRESESB, 2014).

Figura 2 – Evolução da potência instalada em sistemas fotovoltaicos no mundo



Fonte: (CRESESB, 2014)

Pode-se observar pela Figura 2 que a China e a Índia apresentam expressivo crescimento, resultado de políticas favoráveis, preços baixos de módulos fotovoltaicos e programas de eletrificação rural em larga escala. A China se destaca, ainda, pela produção e exportação em larga escala de células e módulos fotovoltaicos. Nota-se, também, o crescimento exponencial da tecnologia dos SFV, partindo de 1.400 MWp em 2000 a 102.156 MWp em 2012, sendo os países da Europa os principais contribuintes, saltando de 129 MWp para 70.046 MWp durante o mesmo intervalo, seguido dos países da Ásia e Américas (BESERRA, 2016). A Tabela 1 mostra os principais fabricantes de módulos fotovoltaicos do mundo em 2012.

Tabela 1 – Distribuição da produção mundial de células fotovoltaicas em 2012

|    | País                  | Potência (MWp) | % em relação ao total |
|----|-----------------------|----------------|-----------------------|
| 1º | China                 | 23.005         | 64%                   |
| 2º | Outros Países da Ásia | 5.858          | 16%                   |
| 3º | Europa                | 3.743          | 11%                   |
| 4º | Japão                 | 1.941          | 5%                    |
| 5º | EUA                   | 953            | 3%                    |
| 6º | Outros Países         | 445            | 1%                    |

Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2014) apud (GTM RESEARCH, 2013)

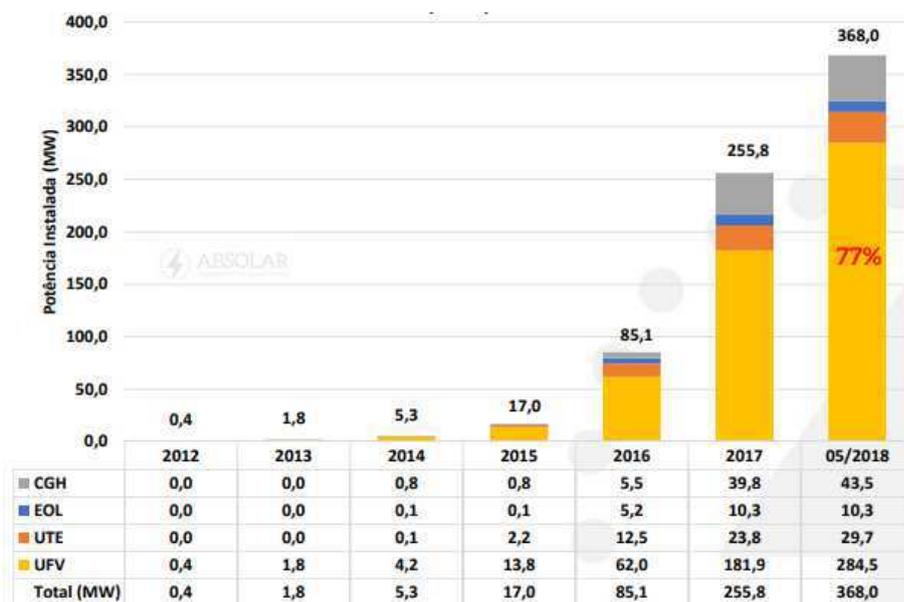
Um dos maiores desafios para a indústria e o principal empecilho para a difusão da tecnologia dos sistemas fotovoltaicos é o custo das células fotovoltaicas. No entanto, pode-se observar o aumento da sua utilização, em razão, tanto dos seus custos decrescentes, quanto dos custos crescentes das demais formas de produção de energia, inclusive em função do crescente impacto ambiental derivado da utilização de outras fontes de produção de energia (CRESESB, 2014).

## 2.3 SISTEMA FOTOVOLTAICOS NO BRASIL

O Brasil possui um enorme potencial energético solar, porém pouco aproveitado. Os índices de menor intensidade de radiação do solar do Brasil são os índices de maior intensidade na Alemanha, referência mundial em geração de energia solar fotovoltaica. No entanto, a dificuldade de aproveitamento deste recurso é justificada pela falta de incentivos públicos, fator preeminente no alto custo do sistema, onde isso já está mudando nos últimos anos, tendo alguns bancos abrindo linhas de créditos com financiamento para SFCR.

A Figura 3, mostra o crescimento da geração distribuída nos últimos anos, podemos ver a potência instalada (em MW) por tipo de fontes, e que a UFV é a que mais cresceu.

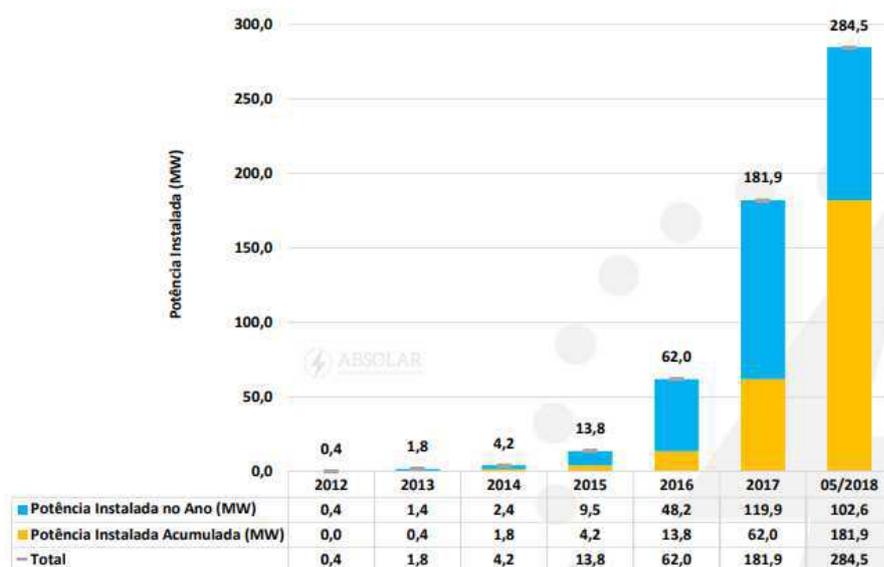
Figura 3 – Evolução da potência instalada (MW) em microgeração e minigeração distribuída por tipo de fonte.



Fonte: (ANEEL/ABSOLAR, 2018)

Até meados de 2018, o Brasil tinha cerca de 284,5 MW em Geração Distribuída solar fotovoltaica 102,6 MW instaladas, e tendo 181,9 MW acumuladas a serem instaladas como pode ser visto o crescimento nos últimos anos na Figura 4.

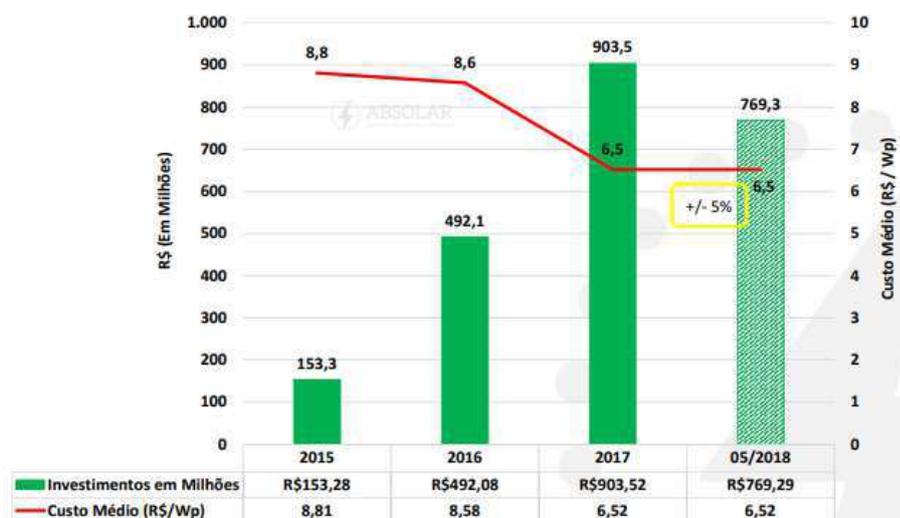
Figura 4 – Potência instalada (MW) de geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil



Fonte: (ANEEL/ABSOLAR, 2018)

O investimento anual para Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil vem crescendo nos últimos anos, mesmo tendo uma pequena queda no ano de 2018, pode-se notar que o custo médio por Watt-pico (R\$/Wp) vem diminuindo e permaneceu constante em 2018, mesmo com a queda de investimento, o que é bom para a população que pretende obter energia fotovoltaica na sua residência ou comércio.

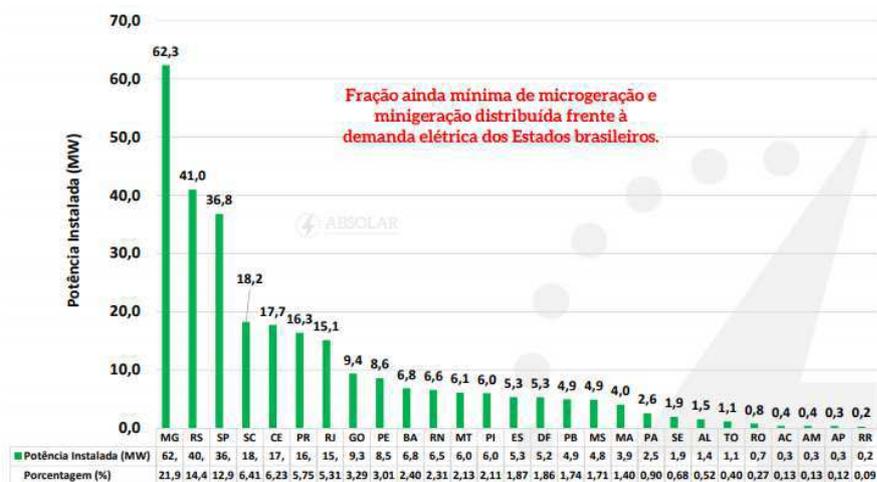
Figura 5 – Investimento Anual para geração distribuída solar fotovoltaica no Brasil e custo médio do Wp.



Fonte: (Greener/Instituto Ideal, 2018)

É visto na Figura 6, a potência instalada de geração distribuída solar fotovoltaica por cada estado do Brasil, e a porcentagem equivalente a potência em MW. Sendo essa fração muito menor que a demanda elétrica de cada estado.

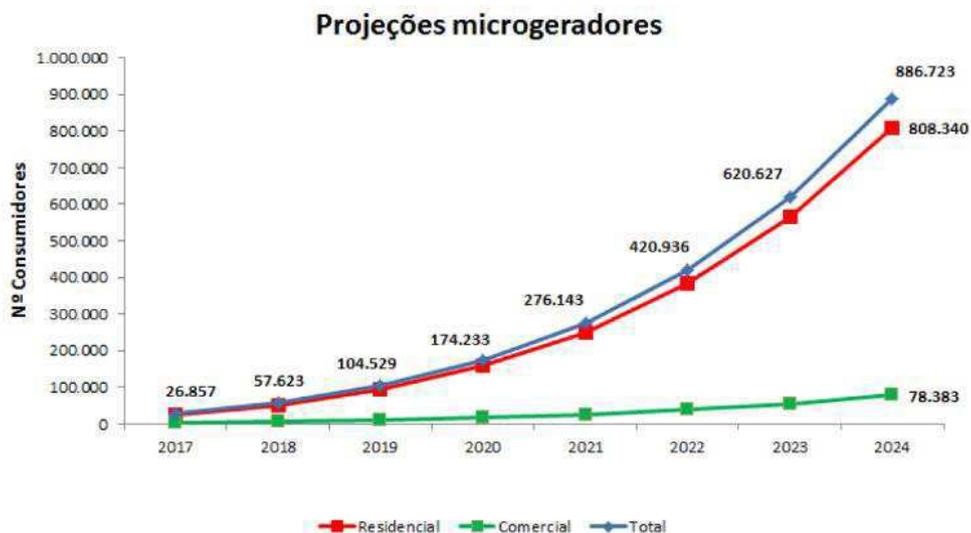
Figura 6 – Potência instalada (MW) de geração distribuída solar fotovoltaica por UF.



Fonte: (ANEEL/ABSOLAR, 2018)

As projeções para os próximos anos no Brasil são positivas, onde deverá ter um salto elevado como cerca de 174 mil sistemas conectados à rede instalado. E mais de 800 mil em 2024 (ANEEL, 2018).

Figura 7 – Previsão de SFCR para os próximos anos.

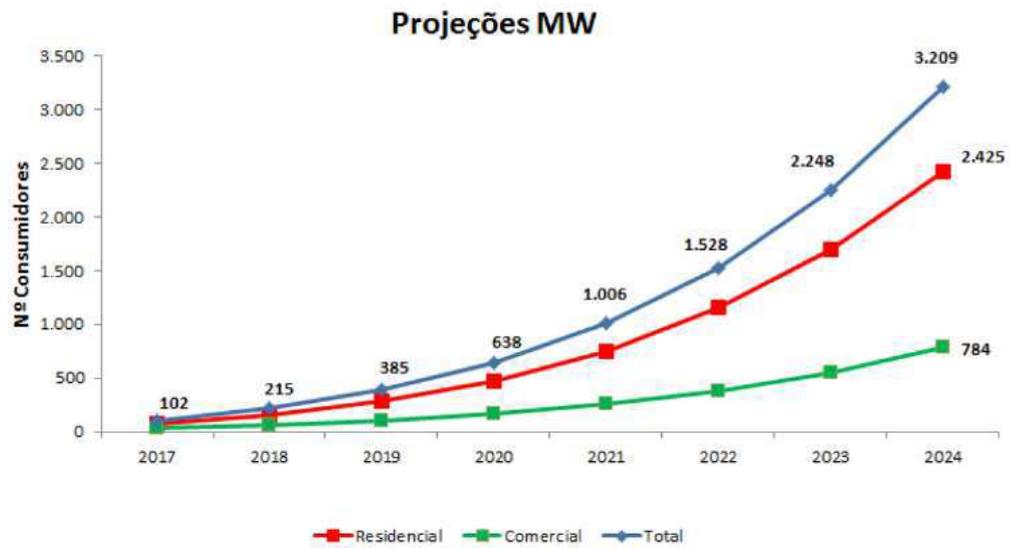


Fonte: ANEEL/2018

Nota-se que assim como em 2018, a maioria dos sistemas serão instalados em unidades residenciais, cerca de 91% do total nacional contra somente 9% de sistemas comerciais.

Da mesma forma, agora considerando em MW é visto na Figura 8, que teremos um elevado aumento, e mesmo essa tecnologia tendo partido de dezenas de sistemas para milhares, o setor de energia solar no Brasil, tem mantido um passo de crescimento muito bom a cada ano. Isso abre enormes possibilidades de geração de emprego e criação de novas empresas nos próximos anos.

Figura 8 - Previsão em MW instalados para os próximos anos.



Fonte: ANEEL/2018

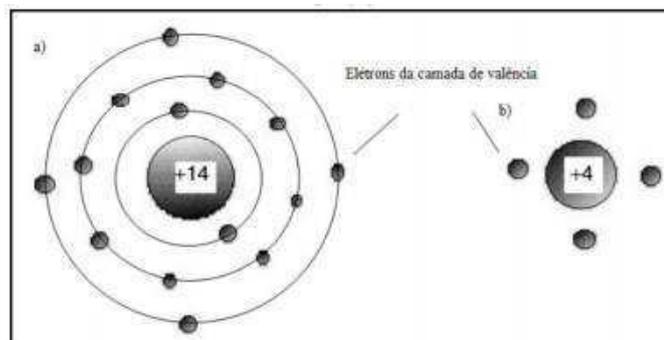
Os sistemas comerciais nesse caso ficam com cerca de 24% do total da potência instalada, e serão responsáveis por cerca de 784 MW de um total de 3,2 GW.

## 3 A FÍSICA

### 3.1 O EFEITO FOTOVOLTAICO

A captação da energia contida na radiação solar é o que caracteriza o efeito fotovoltaico, que por definição, é a conversão da energia solar em energia elétrica, que ocorre em células fotovoltaicas, definidas como componentes optoeletrônicas que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade, e são constituídas basicamente de material semicondutor, sendo o silício o material mais utilizado. Esses materiais semicondutores se caracterizam por possuírem uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons e uma banda de condução totalmente "vazia" a temperaturas baixas (MEDEIROS, 2014) apud (REIS, 2011). O Silício (Si) é o material mais utilizado na energia solar fotovoltaica, além de sua abundância no planeta, é eficiência e de fácil utilização. A característica mais relevante é a facilidade de se ligar eletricamente com outros materiais que também possuam elétrons livres em suas últimas camadas. Esta característica está diretamente ligada à sua distribuição elétrica, que se constitui em três camadas, partindo do centro têm-se a primeira camada com 2 elétrons, a segunda camada com 8 elétrons e a terceira e última camada, denominada de camada de valência, com 4 elétrons, como pode ser visto na Figura 9 (FRANÇA, 2013).

Figura 9 – a) Distribuição eletrônica do Silício. b) Modelo Simplificado da distribuição eletrônica do silício



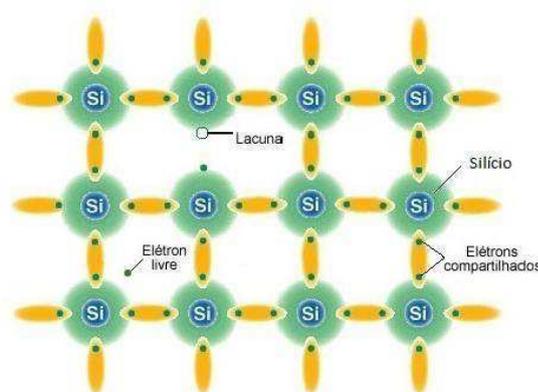
Fonte: (FRANÇA/2013)

Para se entender melhor o efeito fotovoltaico é necessário conhecer os materiais semicondutores, que são divididos entre dopados e não-dopados.

### 3.1.1 SEMICONDUTORES NÃO-DOPADOS

Os semicondutores não-dopados são aqueles cujos cristais são formados apenas por um elemento químico, podendo ser exemplificados pelo cristal de silício. Esse tipo de material se comporta como um excelente isolante elétrico a baixas temperaturas próximas do zero absoluto onde os orbitais eletrônicos dos átomos estão sempre completos. Em temperaturas mais elevadas, os elétrons da banda de valência do átomo possuem mais energia para transitarem com à banda de condução. Assim, podendo alguns elétrons ficarem livres gerando, lacunas no cristal. Essas lacunas passam a possuir a característica de atrair cargas negativas, ou seja, se comportam como íons positivos (MATTOS, 2016).

Figura 10 – Cristal de silício não-dopado



Fonte: [www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica](http://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica) (adaptado).

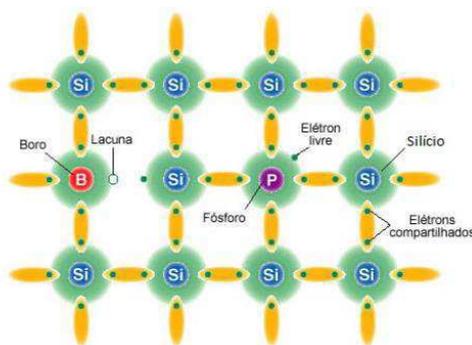
### 3.1.2 SEMICONDUTORES DOPADOS

Os semicondutores dopados são aqueles que recebem em sua estrutura outros elementos químicos para que o cristal, se comporte de maneira diferente quando comparado aqueles não-dopados. Ainda podemos dividir um semicondutor dopado em dois tipos, n e p. Quando o elemento químico dopante for da família do Boro (coluna 3A

da tabela periódica), temos semicondutores dopante do tipo p e quando for da família do Nitrogênio (coluna 5A), temos semicondutores dopante tipo n.

Como os semicondutores dopantes do tipo n da coluna 5A tem excessos de elétrons se comparados aos números de lacunas, eles tem a característica de serem doadores de elétrons. Já os semicondutores dopantes tipo p da coluna 3A tem lacunas em excessos e elétrons a menos, tendo assim características de receptor. Podemos perceber isso na Figura 11, pegando como exemplo o fósforo (P) é um elemento da família 5A e é o material mais usado para criar a região *n*. Um átomo de fósforo tem cinco eletros na sua banda de valência, pelo que cria quatro ligações covalentes com os átomos de silício e deixa um eletro livre, que viaja através do material. E o Boro (B) que é um elemento da família 3A. Um átomo de boro forma quatro ligações covalentes com quatro átomos vizinhos de silício, mas como só possui três eletros na banda de valência, existe uma ligação apenas com um eletro, enquanto as restantes três ligações possuem dois eletros. A ausência deste eletro é considerada uma lacuna, a qual se comporta como uma carga positiva que viaja através do material, pois de cada vez que um eletro vizinho a preenche, outra lacuna se cria.

Figura 11 – Cristal de silício dopado: tipos **n** e **p**.



Fonte: [www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica](http://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica) (adaptado).

## 3.2 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

O elemento básico que constitui o sistema fotovoltaico, são as células fotovoltaicas, que são conectadas em diferentes associações, para formar um bloco que denominamos de módulo fotovoltaico. Hoje em dia, existem diferentes tipos de células fotovoltaicas, sendo as mais comuns encontradas no mercado as de silícios mono e

policristalino (p-Si). As de silício monocristalino (m-Si) são as mais eficientes dentre as que são produzidas em maior quantidade e as que estão disponíveis no mercado. Elas alcançam valores de eficiência de 18%, porém, possuem um custo de produção mais elevado do que as dos outros tipos. Assim as mais utilizadas com menor custo são as células de silício policristalino (p-Si) pois é formado por diversos cristais e é usado na fabricação de algumas células solares, com um custo menor de produção. Os valores nominais de rendimento que esse tipo de célula pode atingir variam de 13% a 15%, o que pode ser compensado por seu baixo custo. Outras tecnologias existentes de células pode ser visto na tabela 2 fazendo um comparativo entre as mais conhecidas.

Tabela 2 – Comparação entre tipos de células fotovoltaicas

| MATERIAL                         | EFICIÊNCIA EM LABORATÓRIO | EFICIÊNCIA DA CELULA COMERCIAL | EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS COMERCIAIS |
|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Silício Monocristalino           | 24,7%                     | 18%                            | 14%                               |
| Silício Policristalino           | 19,8%                     | 15%                            | 13%                               |
| Silício Cristalino de Filme Fino | 19,2%                     | 9,5%                           | 7,9%                              |
| Silício Amorfo                   | 13%                       | 10,5%                          | 7,5%                              |
| Célula Solar Híbrida             | 20,1%                     | 17,3%                          | 15,2%                             |
| Talureto de Cádmio               | 16,4%                     | 10%                            | 9%                                |

Fonte: Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações, Gradella et. al.

### 3.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo fotovoltaico é composto pelo agrupamento de células fotovoltaicas, pois cada célula possui corrente e tensão de baixa intensidade, dessa forma torna-se indispensável o seu agrupamento em arranjos, visto que uma célula isolada fornece energia elétrica insuficiente, com tensão de aproximadamente 0,4 volts no ponto de máxima potência (BRAGA, 2008). Os fatores que afetam o desempenho dos módulos solares fotovoltaicos são a intensidade luminosa na localização dos módulos e a temperatura das células, com o aumento da temperatura ou diminuição da intensidade

luminosa, observa-se uma redução da sua eficiência (ZARIRATO et. al.2011 apud CABRAL et. al.2004).

### 3.3.1 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO

Como citado anteriormente, faz-se necessário o agrupamento de células em um painel fotovoltaico com objetivo de alcançar um determinado valor de tensão e corrente. No entanto, é importante que alguns parâmetros dos painéis fotovoltaicos sejam determinados e especificados para o dimensionamento técnico da instalação. Essas especificações são determinadas pelo fabricante considerando a condição padrão de teste, definida pela norma IEC 61215: 1000 W/m<sup>2</sup> de potência luminosa incidente total, com uma distribuição espectral conhecida como massa de ar 1.5 e temperatura das células de 25 °C. Segundo (SEQUEL, 2009), estes parâmetros são:

**Corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ):** definido pelo valor máximo da corrente de carga, sendo igual à corrente gerada por efeito fotovoltaico.

**Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ):** é o máximo valor da tensão gerada nos terminais do módulo fotovoltaico, sem carga conectada.

**Ponto de máxima potência (MPP):** Para cada ponto na curva I-V é gerada uma potência para aquela condição de operação. Em um módulo fotovoltaico, para cada condição climática, só existe um ponto na curva I-V onde a potência máxima pode ser atingida. Este ponto corresponde ao produtor da tensão de potência máxima e corrente de potência máxima.

**Tensão de máxima potência ( $V_{max}$ ):** corresponde à tensão no ponto de máxima potência.

**Corrente de máxima potência ( $I_{max}$ ):** corresponde à corrente no ponto de máxima potência.

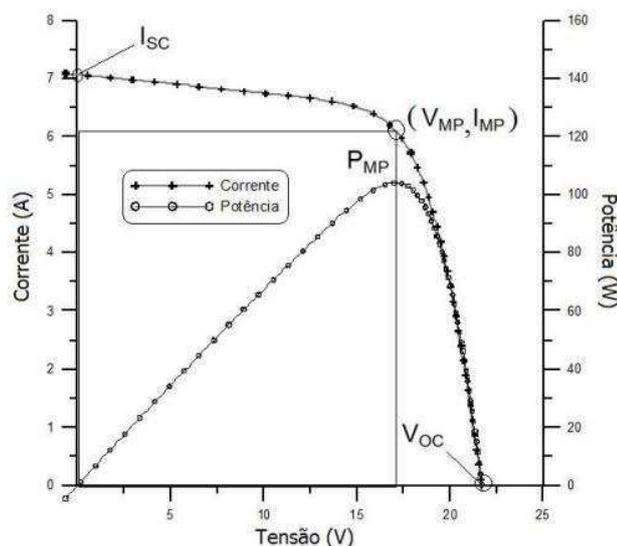
**Temperatura normal de operação (NOCT):** como o módulo trabalha exposto ao sol, o fabricante fornece a temperatura de operação normal da célula, medida com 1000 W/m<sup>2</sup> de potência luminosa incidente total, temperatura ambiente de 25 °C e intensidade de vento de 1m/s.

**Fator de forma (FF):** é definido pela relação entre a potência no MPP e o produto da corrente de curto-circuito e tensão de circuito aberto. Esta grandeza expressa quando a curva característica se aproxima de um retângulo no diagrama I-V. No tópico posterior será exposto exemplos de curvas características com a relação dos parâmetros apresentados.

### 3.3.2 CURVA CARACTERÍSTICA DE TENSÃO VERSUS CORRENTE

Na Figura 12 pode ser visto a curva I-V típica de uma célula fotovoltaica de Silício. Por se tratar de um gerador, fisicamente a curva I-V se situa no quarto quadrante, com a corrente no sentido inverso.

Figura 12 – Corrente em função da ddp. aplicada em uma célula fotovoltaica de silício



Fonte: (CRESEB, 2014)

Pode-se ver pela análise da Figura 12, observa-se que a potência gerada por um módulo solar fotovoltaico obedece a uma curva característica, de forma que, quando a tensão gerada aumenta, a corrente gerada diminui, e vice-versa. Tais características podem ser modificadas de acordo com variações de emissão de luz e temperatura. Logo, existe apenas um ponto na curva em que os valores de corrente e tensão serão máximos, que é ponto de máxima potência, representados respectivamente por  $I_{MP}$ ,  $V_{MP}$  e  $P_{MP}$ . A máxima corrente fornecida pelo módulo fotovoltaico é a de curto-circuito ( $I_{sc}$ ).

### 3.3.3 TEMPERATURA DE OPERAÇÃO

As células fotovoltaicas que compõem um módulo, sofrem variações de temperatura em função do nível de radiação solar incidente e temperatura ambiente. Com o aumento da temperatura da célula, a corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) aumenta, enquanto a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) diminui, o que provoca conseqüentemente uma alteração na potência entregue pelo módulo.

Digamos que  $I_{sc_0}$  e  $V_{oc_0}$  são respectivamente a corrente de curto circuito e tensão de circuito aberto de uma célula na temperatura de referência  $T$ , e  $\alpha$  e  $\beta$  são os respectivos coeficientes de temperatura. Se, a temperatura de operação é aumentada de um fator  $\Delta T$ , Então, a nova corrente e tensão são dadas pelas equações 1 e 2:

$$I_{sc} = I_{sc_0}(1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (1)$$

$$V_{oc} = V_{oc_0}(1 - \beta \cdot \Delta T) \quad (2)$$

Visto que a corrente e tensão de operação variam na mesma proporção que  $I_{cc}$  e  $V_{ca}$ , a nova expressão para a potência de saída da célula é:

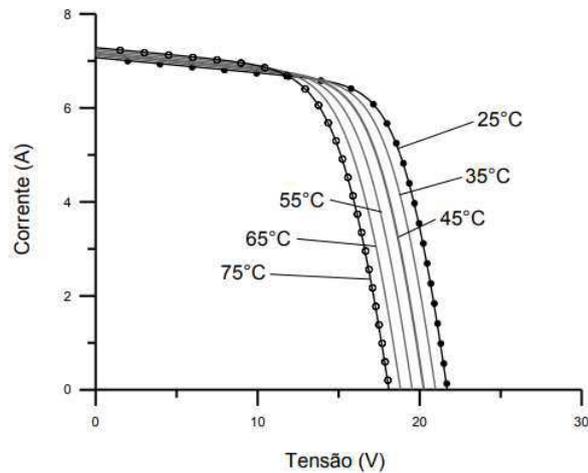
$$P = V \cdot I = I_{sc_0}(1 + \alpha \cdot \Delta T) \cdot V_{oc_0}(1 - \beta \cdot \Delta T) \quad (3)$$

Simplificando a expressão acima obtêm-se:

$$P = P_0[1 + (\alpha - \beta) \cdot \Delta T] \quad (4)$$

A Figura 13 mostra a variação de  $I_{sc}$  e  $V_{oc}$  com a temperatura, verificando-se que a tensão diminui significativamente com o aumento da temperatura enquanto que a corrente sofre uma pequena elevação.

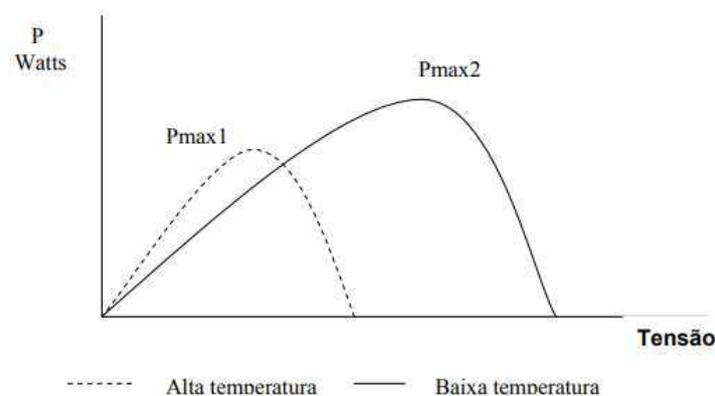
Figura 13 – Curvas I-V para diferentes temperaturas de uma célula fotovoltaica com irradiação solar constante ( $1000\text{W}/\text{m}^2$ )



Fonte: (CRESEB, 2014)

A Figura 14 mostra que a máxima potência disponível à uma baixa temperatura é maior do que à uma elevada temperatura. Entretanto, como observado na Figura, os dois pontos de máxima potência não ocorrem na mesma tensão. Para capturar o máximo valor de potência em todas as temperaturas, o sistema fotovoltaico é projetado tal que a tensão de saída do módulo V2 é aumentada para capturar  $P_{\text{max}2}$  a uma baixa temperatura e diminuída para V1 para capturar  $P_{\text{max}1}$  na temperatura mais alta.

Figura 14 – Efeito da temperatura na curva P-V.

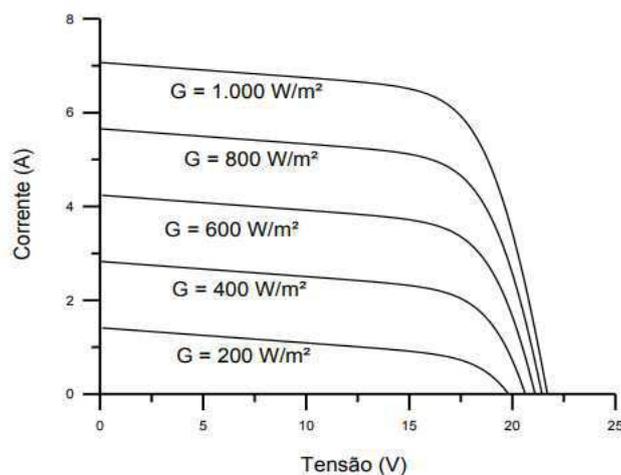


Fonte: (GEPEA-SP)

### 3.3.4 INTENSIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR

A intensidade da radiação solar muda a cada instante em função da rotação da terra e sua translação ao redor do sol. Ao nível do mar, ao meio dia com céu limpo (sem nenhuma nuvem) a intensidade da radiação solar atinge um valor próximo de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Quando se adquire um módulo fotovoltaico de, por exemplo,  $200 \text{ Wp}$ , significa que este módulo disponibilizará  $200 \text{ Watts}$  quando incidir na superfície da terra  $1000 \text{ W/m}^2$ . Portanto, a corrente gerada pelo módulo será máxima na incidência de radiação máxima. Com menores intensidades de radiação solar (dias nublados, por exemplo), a corrente produzida diminuirá na mesma proporção. A redução na tensão de circuito aberto ( $V_{ca}$ ), no entanto é pequena. A Figura 15, apresenta a curva característica  $I \times V$  de uma célula ou módulo fotovoltaico para diversas intensidades de radiação solar incidente.

Figura 15 – Curvas I-V para diferentes valores de irradiação solar, com temperatura constante a  $25^\circ\text{C}$ .



Fonte: (CRESEB, 2014)

É possível se obter dados de intensidade da radiação solar de determinado local através do site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), onde temos informações médias de cálculos da irradiação no plano inclinado referente aos meses do ano. Isso faz com que o CRESESB seja muito útil para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. No qual foi utilizado para o estudo de caso desse TCC.

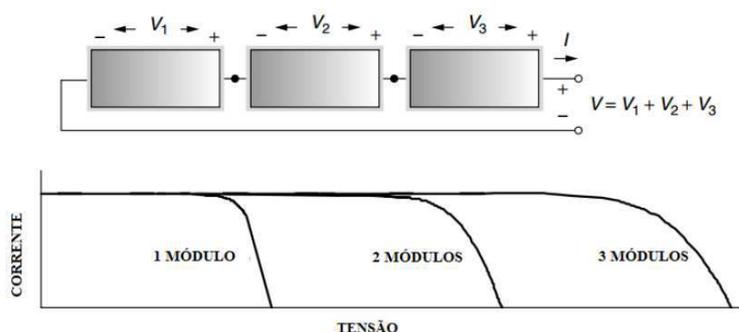
### 3.3.5 ARRANJO ENTRE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os arranjos são constituídos por um conjunto de módulos associados eletricamente em série e/ou paralelo, de forma a fornecer uma saída única de tensão e corrente. Dessa forma o módulo ligado em série tem a finalidade de aumentar a tensão, e em paralelo para aumentar a corrente.

#### Conexão em Série

Na conexão em série, as conexões dos dispositivos são feitas de um terminal positivo de um módulo a um terminal negativo do outro, sendo as curvas I-V prolongadas no eixo da tensão como pode ser visto na Figura 16. Na ligação em série a corrente não é alterada, e a tensão total será a soma da tensão dos módulos individuais (MASTERS, 2004).

Figura 16 – Conexão em série entre três módulos

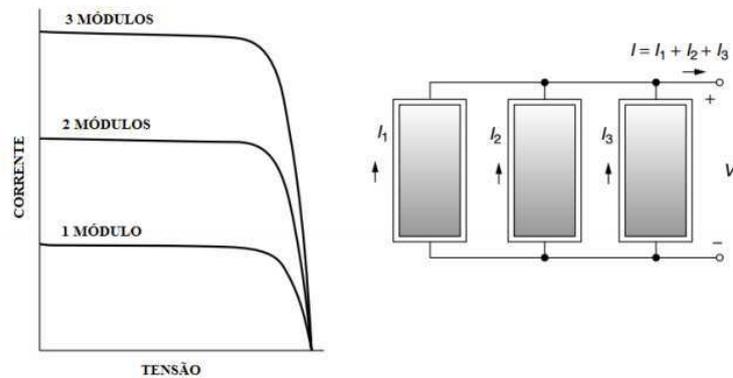


Fonte: (MASTERS, 2004)

#### Conexão em Paralelo

Na associação em paralelo, os terminais positivos dos dispositivos são interligados entre si, assim como os terminais negativos. As correntes elétricas são somadas, permanecendo inalterada a tensão (CRESESB, 2014). A conexão de três módulos em paralelo pode ser vista na Figura 17.

Figura 17 – Conexão em paralelo entre três módulos

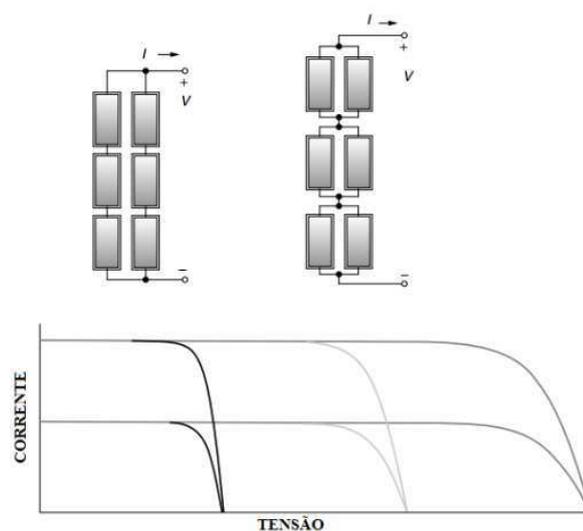


Fonte: (MASTERS, 2004)

### Conexão Série-Paralelo

Para atingir uma maior potência, o arranjo consiste é uma combinação de módulos em série e em paralelo, para que a curva total  $I \times V$  seja resultado da soma das curvas individuais de  $I \times V$  dos módulos. Na Figura 18, pode ser visto uma sequência de módulos ligados em série, e posteriormente ligada em paralelo, ou então módulo ligados em paralelo e a seguir ligados em série (MEDEIROS, 2014).

Figura 18 – Arranjo dos módulos com sequência série ligadas em paralelo e sequência paralelo ligadas em série e gráfico da soma das curvas dos módulos.



Fonte: (MASTERS, 2004)

### 3.4 INVERSOR

Os inversores, também denominados de conversores CC/CA podem ser utilizados para alimentar carga isolada, assim como interligar um gerador fotovoltaico à rede, convertendo uma corrente CC em corrente CA. Para gerar esta corrente CA existe um dispositivo no inversor chamado de comutador, que cuja função é de "quebrar" a corrente contínua em pulsos. Essas deformações, que são provocados na onda devido às comutações dos interruptores do inversor, podem produzir perturbações nas células fotovoltaicas, as distorções harmônicas. Os inversores podem ser divididos em três categorias: onda quadrada, no qual seu uso não é recomendado, onda senoidal modificada, no qual é aceitável para a maioria das aplicações e onda senoidal pura, utilizada para aplicações especiais com distorção menor que 5% (BRAGA, 2008). Para os SFCRs, os inversores possuem características específicas para atender às exigências das concessionárias de distribuição e termos de segurança e qualidade da energia injetada na rede. A sua saída depende da potência, podendo ser monofásica ou trifásica. O seu funcionamento é baseado na utilização de semicondutores, chaves eletrônicas de estado sólido e o seu desenvolvimento está ligado à evolução da eletrônica de potência (CRESESB, 2014). Segundo (BRITO, 2016), os inversores de corrente possuem diversos recursos que auxiliam na proteção do equipamento, são eles:

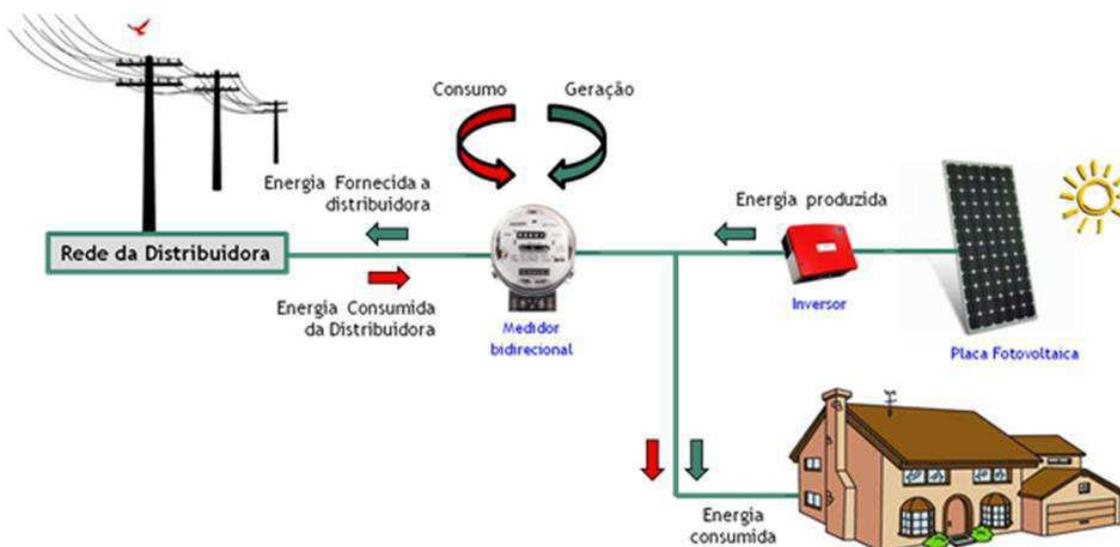
- Chave de desconexão de corrente contínua: trata-se de uma chave manual/automática que pode ser acionada para desconectar internamente os módulos fotovoltaicos do circuito inversor;
- Rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT): tem objetivo de garantir que instantaneamente os módulos operem em seu ponto de máxima potência, qualquer que seja ele, independente das condições de operação;
- Detecção de ilhamento e reconexão automática: função necessária e obrigatória nos inversores, pois garante a segurança de pessoas, equipamentos e instalações nas situações de interrupção do fornecimento de energia elétrica da concessionária. Segundo a norma da COSERN VR01.01-00.13 E VR01.001-00.12 para microgeração e minigeração, respectivamente, os inversores utilizados deverão atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 62116. A certificação do INMETRO é uma exigência para todos os inversores, porém, até que o processo de etiquetagem por parte do INMETRO

esteja consolidado, são aceitos inversores com certificados dos laboratórios internacionais autorizados pelo INMETRO.

### 3.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE (SFCR)

Os sistemas conectados à rede elétrica são aqueles em que a potência produzida pelo gerador fotovoltaico é entregue diretamente à rede elétrica, apresentando duas configurações básicas, que são sistema fotovoltaico distribuído e sistema fotovoltaico centralizado. Ambos os sistemas são caracterizados pela localização e distância do ponto de consumo, o distribuído é instalado no próprio local de consumo, ou seja, de forma integrada a uma fachada, uma edificação ou um telhado. O centralizado é uma usina geradora convencional e localiza-se distante do ponto de consumo. A Figura 19 ilustra a construção básica do SFCR, no qual o inversor converte a tensão contínua vinda do painel fotovoltaico em tensão alternada (ARAÚJO, 2014).

Figura 19 – Sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: (site: solar&vento.com.br, 2019)

Para garantir a entrega da potência produzida pelo gerador fotovoltaico à rede elétrica, é indispensável que se utilize um inversor que satisfaça às exigências de qualidade e segurança, para que não ocorra redução da qualidade do sistema elétrico ao qual se interliga o gerador fotovoltaico.

## 3.6 ANÁLISE FINANCEIRA

Para saber se um investimento é viável, para energia solar é necessário a realização do estudo de viabilidade econômica, através de métodos financeiros a fim de analisar sua rentabilidade econômica. Assim apresentaremos alguns métodos na qual será utilizado para análise do nosso estudo de caso.

### 3.6.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O método do VPL tem como finalidade calcular, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento (SAMANEZ, 2009). Em outras palavras O VPL é a diferença entre o valor de mercado de um investimento e seu custo, e é uma medida do valor que é criado ou agregado hoje por um investimento que será feito.

Segundo Samanez, o VPL é definido pela equação:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (2)$$

Onde,

- $FC_t$  representa o fluxo de caixa no  $t$  – ésimo período;
- $I$  é o investimento inicial;
- $K$  é o custo do capital ou taxa requerida;

O critério de decisão para o VPL é: se  $VPL > 0$ , tem-se um projeto economicamente viável. Caso contrário, se  $VPL < 0$ , tem-se um projeto inviável economicamente. Para  $VPL = 0$ , o projeto não criará nem destruirá valor para a empresa.

### 3.6.2 PAYBACK DESCONTADO (PBD)

O payback descontado é o tempo necessário para que os fluxos de caixa descontados de um investimento sejam iguais ao seu custo inicial (ROSS, 2013). O método do payback descontado consistem basicamente em determinar o tempo T na qual recuperaríamos o investimento necessário, através da seguinte equação segundo (SAMANEZ, 2009):

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (3)$$

Como o PBD mede o tempo necessário para recuperar o investimento remunerado, no método do PBD serão comparados tempos, o tempo necessário para recuperar o capital investido e remunerado com a taxa requerida  $k$  e o tempo máximo tolerado TMT definido por quem decide (LAPPONI, 2014).

Quando o TMT (Tempo Máximo Tolerado) for definido, calcula-se o PBD com a taxa requerida, em seguida compara-se esse valor à TMT. Então

- Se  $PBD > TMT$ , o projeto deve ser aceito. (O PBD menor do que o prazo de análise do projeto indica que seu  $VPL > 0$ , logo é um projeto viável);
- Se  $PBD < TMT$ , o projeto não deve ser aceito.

## 4 ESTUDO DE CASO DA USINA

Neste capítulo está descrito todo o projeto e execução, especificando todas as características de uma Usina Fotovoltaica de Microgeração conectada à rede de média tensão da Energisa. A UFV é uma usina localizada na cidade de Cajazeiras – PB, tem potência instalada de 74,1 kWp, executada em solo, numa área rural gerando energia e injetando na rede da concessionária, fazendo um sistema de créditos e por meio do autoconsumo remoto jogando esses créditos para o Hotel Oásis e também a sua residência, ambos localizados em Cajazeiras.

Figura 20 – Usina fotovoltaica de 74,1 kWp na cidade de Cajazeiras-PB.



Fonte: (O próprio Autor)

### 4.1 ETAPAS DO PROJETO

Inicialmente, foi realizado um levantamento histórico de consumo do Hotel Oásis na cidade de Cajazeiras-PB, levando em consideração o local onde foi instalado a UFV, com a ajuda do site da CRESESB como visto anteriormente, podemos coletar o índice de radiação solar do plano inclinado para o local escolhido. Posteriormente foi realizado um levantamento teórico referente aos sistemas fotovoltaicos, particularmente os conectados

à rede e também um estudo sobre microgeração distribuída, através da Resolução normativa nº 687/2015, e como esta relaciona os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede com o sistema de compensação de energia elétrica.

Após a realização destes estudos, foram estudados os métodos e critérios de dimensionamento dos componentes utilizados e do sistema de proteção, de forma a obter os conhecimentos necessários para elaboração e implantação do projeto em questão. Veremos nos próximos tópicos os cálculos e resultados para esse estudo.

## 4.2 HISTÓRICO ANUAL

Com o auxílio do site da concessionária responsável pela distribuição elétrica na Paraíba (ENERGISA), e com as UC's (Unidades Consumidoras) tanto do Hotel quanto da sua residência também em Cajazeiras, podemos obter o histórico de consumo para estudo de caso, como podemos ver nas figuras 20 e 21.

Figura 20 – Fatura da conta de energia do Hotel em Cajazeiras antes de ter geração distribuída.

**DOCUMENTO PARA PAGAMENTO**

Documento sem valor fiscal.  
Documento não é segunda-via de conta.  
Boleto para simples pagamento da nota fiscal/conta de energia elétrica : N° 001.965.783

**ENERGISA**  
Luz. Imaginação. Realização.  
ENERGISA PARAÍBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A  
Br. 230, Km 25 - Cristo Redentor - João Pessoa / PB - CEP 58071-680  
CNPJ 09.095.183 / 0001-40 - Insc. Est. 16.015.823-0

| DADOS DO CLIENTE  |  | CDC - CÓDIGO DO CONSUMIDOR |  |  |
|---|--|----------------------------|--|--|
| C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA<br>AV COM VITAL ROLIM S/N<br>CAJAZEIRAS |  | 5/1492845-1                |  |  |

| REFERÊNCIA | APRESENTAÇÃO | CONSUMO | VENCIMENTO | TOTAL A PAGAR |
|------------|--------------|---------|------------|---------------|
| FEV/2018   | 15/02/2018   | 5983    | 22/02/2018 | R\$ 4.321,42  |

Acesse: [www.energisa.com.br](http://www.energisa.com.br)

---

**ENERGISA**  
Luz. Imaginação. Realização.

C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA  
Roteiro: 05-212-110-0980  
CONTA PAGA - Data de Pagamento: 22/02/2018

| VENCIMENTO | TOTAL A PAGAR | MATRÍCULA          |
|------------|---------------|--------------------|
| 22/02/2018 | R\$ 4.321,42  | 1492845-2018- 02-7 |

Fonte: (energisa.com.br)

Figura 21 – Fatura da conta de energia da residência em Cajazeiras antes de ter geração distribuída.

**DOCUMENTO PARA PAGAMENTO**

Documento sem valor fiscal.  
Documento não é segunda-via do conta.  
Boleto para simples pagamento da nota fiscal/conta de energia elétrica. Nº 003.339.960

**energisa**  
ENERGISA PARAIBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A  
Br 230, Km 25 - Cristo Redentor - João Pessoa / PB - CEP 58071-680  
CNPJ 09.095.183 / 0001-40 Insc.Est. 16.015.823-6

**DADOS DO CLIENTE**  
C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA  
AV COM VITAL ROLIM SIN  
CAJAZEIRAS

**CDC - CÓDIGO DO CONSUMIDOR**  
**5/1385729-7**

| REFERÊNCIA      | APRESENTAÇÃO      | CONSUMO     | VENCIMENTO        | TOTAL A PAGAR     |
|-----------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------------|
| <b>MAR/2018</b> | <b>12/03/2018</b> | <b>1141</b> | <b>19/03/2018</b> | <b>R\$ 804,84</b> |

Acesse: [www.energisa.com.br](http://www.energisa.com.br)

**energisa** DESTAQUE AQUÍ

**C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA**  
Roteiro: 05-212-110-0960  
CONTA PAGA - Data de Pagamento: 19/03/2018

| VENCIMENTO | TOTAL A PAGAR | MATRÍCULA          |
|------------|---------------|--------------------|
| 19/03/2018 | R\$ 804,84    | 1385729-2018- 03-1 |

Fonte: (energisa.com.br)

Pegando o consumo de todos os meses, obtivemos a tabela 3 e tabela 4 com as médias dos consumos anuais das duas unidades, que servirão de dados para o dimensionamento da UFV em estudo.

### Hotel Oásis (Cajazeiras-PB):

Tabela 3 – Dados de consumo mensal (kWh) e o valor em (R\$), e a média da unidade consumidora.

| UC: 5/1492845-1       |                    |                 |
|-----------------------|--------------------|-----------------|
| MÊS                   | CONSUMO (KWh)      | R\$             |
| <b>MAIO/2018</b>      | 6832               | 4.895,44        |
| <b>ABRIL/2018</b>     | 6879               | 4.882,18        |
| <b>MARÇO/2018</b>     | 6366               | 4.434,40        |
| <b>FEVEREIRO/2018</b> | 5983               | 4.321,42        |
| <b>JANEIRO/2018</b>   | 6453               | 4.710,69        |
| <b>DEZEMBRO/2017</b>  | 6732               | 4.914,36        |
| <b>NOVEMBRO/2017</b>  | 6478               | 4.793,72        |
| <b>OUTUBRO/2017</b>   | 6943               | 5.137,82        |
| <b>SETEMBRO/2017</b>  | 6855               | 5.141,25        |
| <b>AGOSTO/2017</b>    | 6391               | 4.793,25        |
| <b>JULHO/2017</b>     | 6628               | 4.971,00        |
| <b>JUNHO/2017</b>     | 6122               | 4530,28         |
| <b>MÉDIA</b>          | <b>6555,12 KWh</b> | <b>4.793,82</b> |

Fonte: (O próprio autor)

**Residência:**

Tabela 4 – Dados de consumo mensal (kWh) e o valor em (R\$), e a média da unidade consumidora.

| UC: 5/1385729-7 |                |               |
|-----------------|----------------|---------------|
| MÊS             | CONSUMO (KWh)  | R\$           |
| MAIO/2018       | 1214           | 934,78        |
| ABRIL/2018      | 1245           | 946,20        |
| MARÇO/2018      | 1141           | 804,84        |
| FEVEREIRO/2018  | 1015           | 743,28        |
| JANEIRO/2018    | 1178           | 859,94        |
| DEZEMBRO/2017   | 1310           | 969,4         |
| NOVEMBRO/2017   | 962            | 722,88        |
| OUTUBRO/2017    | 976            | 732,40        |
| SETEMBRO/2017   | 1043           | 782,25        |
| AGOSTO/2017     | 1023           | 767,25        |
| JULHO/2017      | 1045           | 773,3         |
| JUNHO/2017      | 1100           | 814,10        |
| MÉDIA           | <b>1104,33</b> | <b>820,88</b> |

Fonte: (O próprio autor)

**4.3 RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE EM CAJAZEIRAS-PB**

A partir do site da CRESESB, e indicando as coordenadas geográficas de Cajazeiras-PB, local onde foi instalado a UFV, pode-se ver na Tabela 5 a média mensal de radiação solar diária dado em [kWh/m<sup>2</sup>.dia] ao decorrer dos meses durante o ano para o plano inclinado.

As Coordenadas Geográficas do local em que estão instaladas a UFV são:

**Graus decimais:** 6.890278 S; 38.555278 W

**Graus, minutos e segundos:** 6°53'24" S; 38°33'18" W

Tabela 5 – Calculo no plano inclinado

| 6° N  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| <b>Irradiação Solar Diária Mensal [kWh/m<sup>2</sup>.dia]</b> | 5,95 | 6,01 | 6,09 | 5,97 | 5,55 | 5,34 | 5,58 | 6,27 | 6,58 | 6,52 | 6,54 | 6,15 | 6,04  |

Fonte: (cresesb.cepel.br)

Pode-se notar que a maior média de irradiação solar diária seria com 6° em relação ao plano inclinado que é o ângulo igual à latitude, com uma média de 6,04 [kWh/m<sup>2</sup>.dia], porém pela Resolução Normativa da Aneel nº 482/12 pede-se que o valor mínimo de inclinação admitido é de 10°, pois o CEPEL não recomenda a instalação de painéis fotovoltaicos com inclinação inferior a esta para evitar o acúmulo de água e sujeira, assim as estruturas montadas para instalação das placas em solo foi utilizado uma inclinação de 10° , que é o valor mínimo mais próximo a maior média mensal. Assim, obtivemos os seguintes valores no site da CRESESB que podemos ver na tabela 6.

Tabela 6 – Calculo no plano inclinado

| 10° N   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| <b>Irradiação Solar Diária Mensal [kWh/m<sup>2</sup>.dia]</b> | 5,87 | 5,92 | 6,05 | 6,02 | 5,66 | 5,45 | 5,65 | 6,34 | 6,58 | 6,42 | 6,34 | 5,97 | 6,02  |

Fonte: (cresesb.cepel.br)

Após a média anual de Irradiância Solar Média encontrada na Tabela 6, foi calculado as horas de sol pleno, a partir da Equação a seguir:

$$HSP = \frac{\text{Irradiância Solar } \left[ \frac{kWh}{m^2} \cdot dia \right]}{1 \left[ \frac{kW}{m^2} \right]}$$

Logo,

$$HSP = \frac{6,02 \left[ \frac{kWh}{m^2} \cdot dia \right]}{1 \left[ \frac{kW}{m^2} \right]} = 6,02 \text{ [h/dia]} \quad (4)$$

#### 4.4 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

O estudo proposto tem como objetivo desenvolver um sistema de compensação de energia elétrica através do SFCR. Segundo o CRESESB (2014), a potência dos painéis é determinada através da Equação 5.

$$P_{FV} = \left(\frac{C_d}{TD}\right)/HSP \quad (5)$$

Em que,

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

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

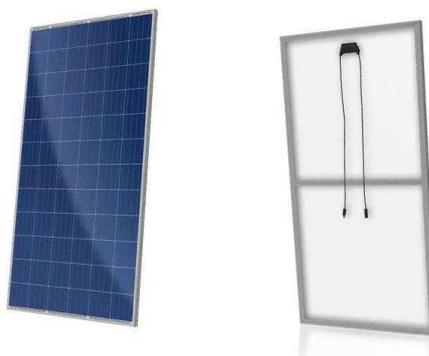
HSP (h) - Média diária anual das HSP (horas plenas de sol) incidente no plano do painel FV;

TD (adimensional) - Taxa de desempenho.

As Unidades Consumidoras (UC's) atendidas pelo sistema têm um consumo mensal somados juntos temos 7.000,00 kWh/mês, mas o proprietário pediu uma folga de geração para futuros crescimentos de 3.000,00 kWh/mês, no total de 10 MWh/mês, portanto, o consumo diário será de 333,33 kWh/dia. Para a região de Cajazeiras-PB o número de horas de sol pleno, como visto na Equação 4 é uma média de 6,02 h/dia. A taxa de desempenho (TD) que foi adotado para efeitos de cálculo, foi de 75%. Aplicando estes valores à Equação 5, a potência total do conjunto de módulos é de 73,83kWp. Utilizando-se valores exatos, de modo obter mais facilmente um SFCR de valor de potência comercial, adota-se como a potência requerida o valor de 74,1kWp.

A potência dimensionada anteriormente classifica o sistema como Microgeração Distribuída. A seleção dos painéis varia de acordo com a qualidade, ISO 9001, certificado Procel/Inmetro, custo e disponibilidade no mercado. De acordo com os requisitos que devem ser atendidos e pela pesquisa de mercado, o painel será formado pela associação de módulos do fabricante Canadian Solar, de referência CS6U-325P. A Figura 22 mostra o painel selecionado, e as tabelas 7 e 8 contém as principais informações, mais detalhes sobre o painel se encontra em ANEXOS (SILVEIRA, 2016 apud SILVA, 2013).

Figura 22 – Painel Solar 325W – Canadian Solar – CS6U-325P



Fonte: (Canadian Solar)

As características construtivas do módulo em estudo são dadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Características construtivas do módulo

|                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| <b>Tipo de Célula</b>    | <b>Silício Policristalino</b> |
| <b>Dimensões</b>         | 1960 x 992 x 40 mm            |
| <b>Moldura</b>           | Alumínio                      |
| <b>Peso</b>              | 22,4 kg                       |
| <b>Número de Células</b> | 72 (6 x 12)                   |

Fonte: (Canadian Solar)

Os parâmetros elétricos dos módulos (Sob condições padrão de teste de irradiância igual a  $1000\text{W/m}^2$  e temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$ ) são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Características elétrica do módulo

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Potência máxima (P<sub>máx</sub>)</b>          | <b>325 Wp</b> |
| <b>Tensão de circuito aberto (V<sub>oc</sub>)</b> | 45,5 V        |
| <b>Tensão de operação (V<sub>mp</sub>)</b>        | 37 V          |
| <b>Corrente de curto-circuito</b>                 | 9,34 A        |
| <b>Corrente de operação (I<sub>mp</sub>)</b>      | 8,78 A        |
| <b>Eficiência do Módulo</b>                       | 16,72%        |

Fonte: (Canadian Solar)

Para definir a quantidade de painéis fotovoltaicos utilizados na UFV, foi utilizado a equação a seguir.

$$N_{placas} = \frac{P_{FV}(Wp)}{P_{placa}(Wp)}$$

Logo,

$$N_{placas} = \frac{74.100(Wp)}{325(Wp)} = 228 \text{ painéis}$$

## 4.5 DIMENSIONAMENTO DOS INVERSORES

O dimensionamento de um inversor depende diretamente da potência do gerador fotovoltaico, assim como da tecnologia empregada, além das características elétricas dos módulos escolhidos para compor o gerador.

Para garantir o funcionamento e a confiabilidade do sistema em relação à segurança e qualidade da energia produzida, o dimensionamento deste deve ser realizado de maneira que a operação do inversor não ocorra em potências demasiadamente abaixo da nominal, assim como não deve trabalhar em sobrecarga.

Para a UFV do nosso estudo foram utilizados 3 inversores Fronius ECO 27.0-3-S no qual tem potência nominal de 27000W.

Figura 23 – Inversores fronius da UFV



Fonte: (O próprio Autor)

Para equilibrar o número de módulos por arranjos em série foram utilizadas 4 strings de 19 módulos para cada inversor, atendendo assim a potência necessária para a unidade consumidora, contabilizando os 228 módulos. Na Figura 24 tem-se o inversor selecionado, e as tabelas 9 e 10 contém as principais informações, mais detalhes encontra-se em ANEXOS.

Figura 24 – Inversor Fronius ECO 27.0-3-S



Fonte: (Fronius, 2018)

As características construtivas do inversor em estudo são dadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características construtivas do inversor

|                             |                           |
|-----------------------------|---------------------------|
| <b>Dimensões</b>            | <b>725 x 510 x 225 mm</b> |
| <b>Peso</b>                 | 35,7 kg                   |
| <b>Grau de Proteção</b>     | IP 66                     |
| <b>Temperatura Ambiente</b> | -25°C à +60°C             |
| <b>Humidade permitida</b>   | 0 à 100%                  |

Fonte: (Fronius, 2018)

Os parâmetros elétricos de entrada e saída do inversor estão na Tabela 10.

Tabela 10 - Características elétrica do inversor

|                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| <b>Potência Nominal</b>           | 27000W           |
| <b>Máxima corrente de entrada</b> | 47,7 A           |
| <b>Número de MPPT</b>             | 1                |
| <b>Tensão máx. de entrada</b>     | 1000 V           |
| <b>Faixa de tensão MPPT</b>       | 580 – 1000 V     |
| <b>Máx. corrente de saída</b>     | 40,9 A / 39, 1 A |
| <b>Eficiência</b>                 | 98,3%            |

Fonte: (Fronius, 2018)

## 4.6 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

O dimensionamento dos condutores é baseado na sua capacidade de corrente e queda de tensão para os trechos que operam em corrente contínua e corrente alternada. Os critérios para o dimensionamento são baseados na NBR 5410.

A queda de tensão é dada pela NBR 5410, onde não deve ser superior a 3%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado.

Para os módulos utilizados vimos que a corrente máxima de saída é de 8,78 A, assim através da Equação 6, podemos determinar a seção dos condutores.

$$S(mm^2) = \rho \left( \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right) \times \frac{d(m) \times I(A)}{\Delta V(V)} \quad (6)$$

Onde,

$\rho$  - Resistividade do material do condutor, geralmente cobre;

d - distância total do condutor, considerando o trecho de retorno;

I - Corrente que passa pelo condutor;

$\Delta V$  - Queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado

Logo, para o trecho consideraremos aproximadamente a distância 60m, e uma queda de tensão de 2%, o cobre tem resistividade de  $0,01724 \Omega \cdot mm^2 / m$ .

Assim,

$$S(mm^2) = 0,01724 \left( \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right) \times \frac{60(m) \times 8,78(A)}{2(V)}$$

$$S(mm^2) = 4,54 mm^2$$

Portanto foi utilizado condutores de 6 mm<sup>2</sup>, no qual garantem os requisitos necessários que as normas e a regulação exigem.

Para os inversores, a corrente máxima de saída é de 40,9 A, com uma distância de 20m assim temos:

$$S(mm^2) = 0,01724 \left( \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right) \times \frac{20(m) \times 40,9(A)}{2(V)}$$

$$S(mm^2) = 7,05 mm^2$$

Portanto foi utilizado condutores de 10 mm<sup>2</sup>, no qual garantem os requisitos necessários que as normas e a regulação exigem.

#### 4.7 DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

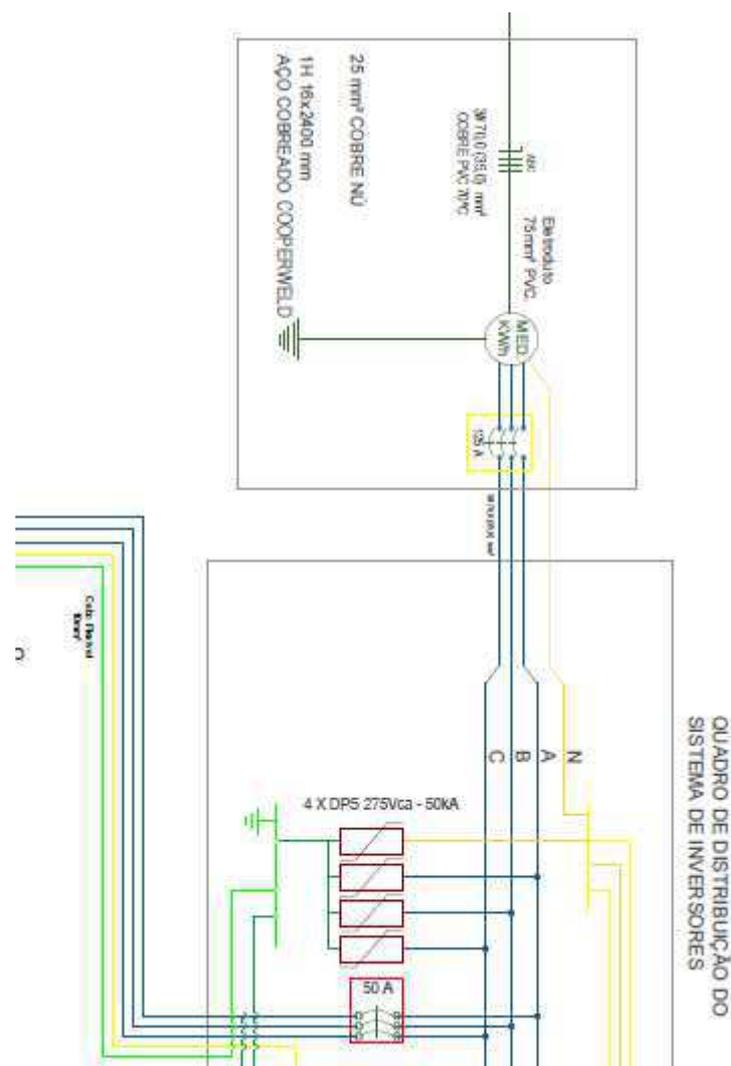
Para o sistema de proteção são divididos em duas partes, a parte contínua, onde temos os painéis e se tem a necessidades de Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS), fusíveis DC, e disjuntores. E a parte alternada, na qual temos a proteção da rede da concessionária, onde também se há a necessidade de DPS's, e o disjuntor geral, disjuntor esse que é determinado pela tabela 15 da NDU-001 da Energisa-PB.



**Para o lado AC, entrada da concessionária:**

- Disjuntor termomagnético, trifásico de 125A;
- Cabo para aterramento cobre nu 25mm<sup>2</sup>;
- DPS 275Vca – 50kA

Figura 26 – Diagrama Multifilar lado AC

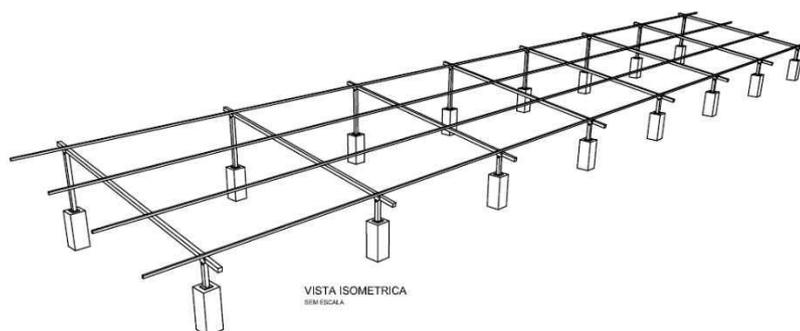


Fonte: (O próprio autor)

## 4.8 PROJETO DA ESTRUTURA DE SOLO

Para o projeto em solo, para uma UFV com 228 módulos, foi preciso um terreno de 39,50 x 24,50 m, um total de 967,75 m<sup>2</sup> de área. A estrutura adotada pode ser vista na Figura 26, onde foi possível colocar 36 painéis por fila.

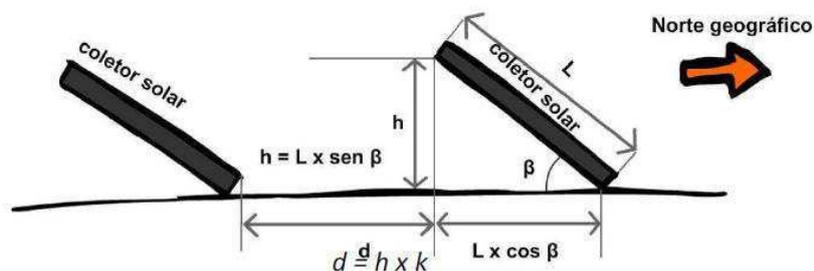
Figura 27 – Vista isométrica da estrutura metálica para instalação dos painéis



Fonte: (O próprio autor)

Para determinar a distância entre as fileiras, com intuito de evitar sombreamento, e evitar desperdício do terreno, podemos ver na Figura 28 a equação para determinar a distância mínima entre os módulos fotovoltaicos.

Figura 28 – Arranjo físico para evitar sombreamento



| Latitude (°) | 5     | 0     | - 5   | - 10  | - 15  | - 20  | - 25  | - 30  | - 35  |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| k            | 0,541 | 0,433 | 0,541 | 0,659 | 0,793 | 0,946 | 1,126 | 1,347 | 1,625 |

Fonte: (Rota Solar,2017)

Onde através das equações, pode-se calcular a distância mínima entre os painéis, como a placa tem 1,96 m de comprimento, e a inclinação utilizada foi de 10° com relação ao solo temos  $k = 0,659$  que é a constante de inclinação para o sistema fotovoltaico.

Figura 29 – Vista lateral das estruturas da UFV



Fonte: (O próprio autor)

Logo,

$$h = L \times \text{sen}\beta$$

$$h = 1960 \times \text{sen}10$$

$$h = 340,35\text{mm}$$

E,

$$d = 340,35 \times 0,659$$

$$d = 224,29 \text{ mm}$$

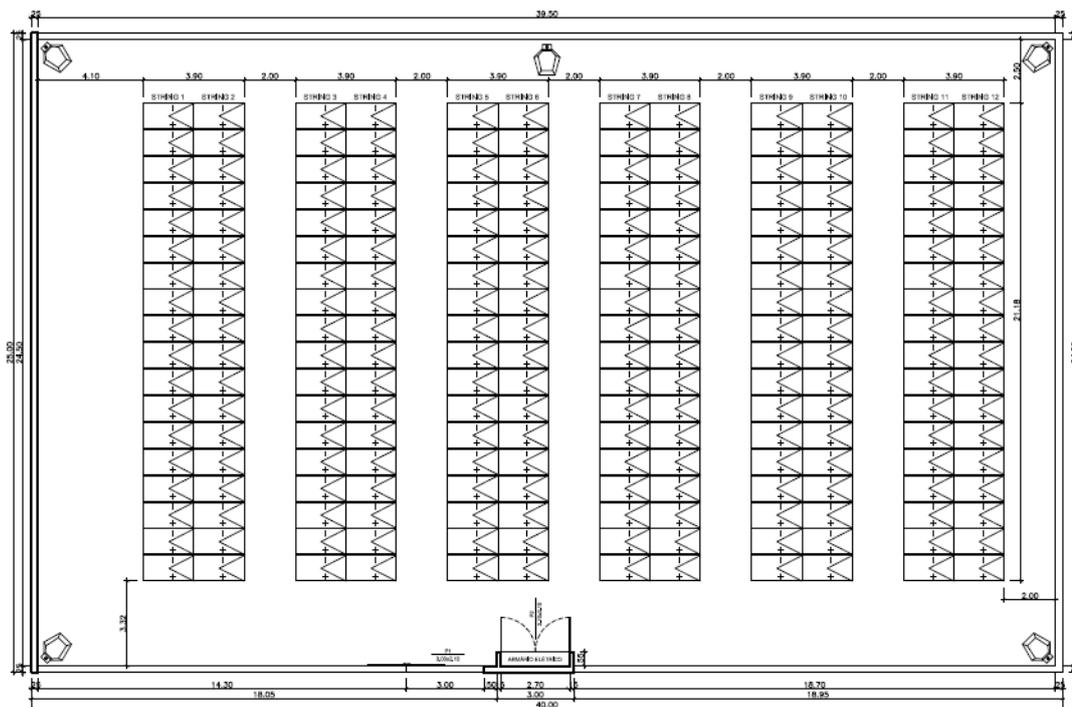
Portanto,

$$\text{Distância Segurança} = L \times \text{cos}\beta + d$$

$$\text{Distância Segurança} = 2,15\text{m}$$

Portanto a distância mínima para não ter sombreamento de um painel ao outro é de 2,15m, no projeto foi utilizado uma distância de 3,80 m de base a base. Como podemos ver na figura 30.

Figura 30 – Disposição dos painéis com distâncias de segurança para evitar sombreamento entres os arranjos.



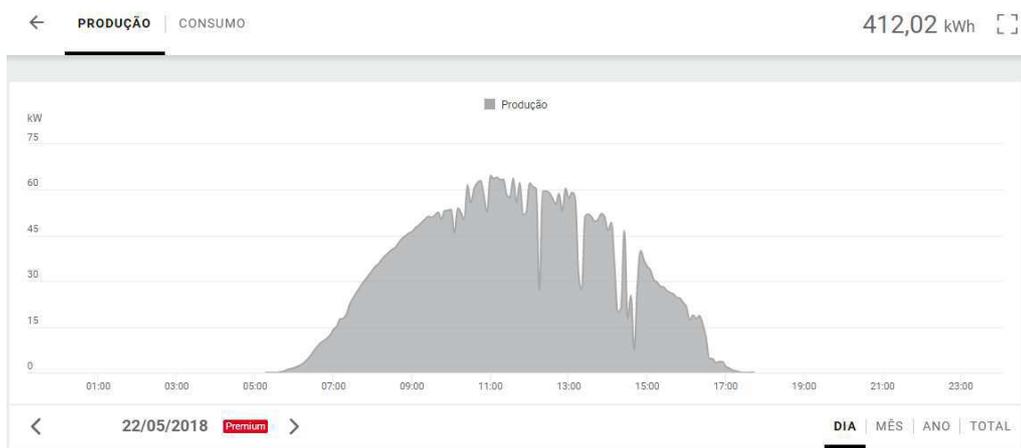
Fonte: (O próprio autor)

## 4.9 COMPARATIVOS DE GERAÇÃO ENTRES OS DIAS

Foi analisado os gráficos de geração da UFV ao decorrer dos meses, e vimos o quanto o fator nuvem e chuva afetam a geração do sistema, abaixo tem imagens da geração desses dias,

Para um dia nublado, pode-se notar que temos alguns decaimentos durante o dia na geração, fazendo com que ocorram alguns picos negativos, mas voltando rapidamente, como pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Gráfico de geração em um dia nublado



Fonte: (solarweb.com)

Para um dia limpo, percebe-se como a curva de geração é constante e lisa, sem nenhum pico negativo, formando uma parábola perfeita, nesses dias pode-se notar a geração bem maior se for comparado com outros dias, onde pode ser visto na Figura 32.

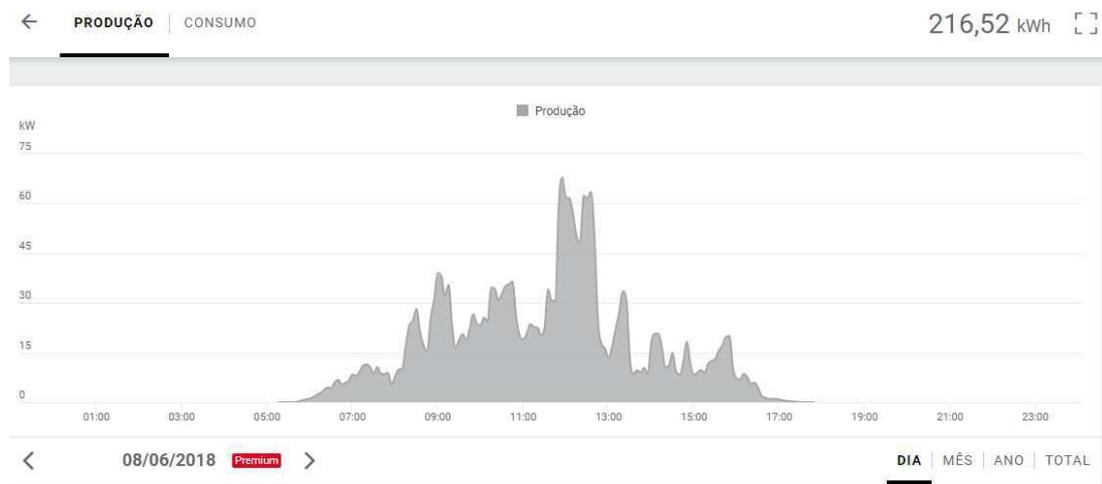
Figura 32 – Gráfico de geração em um dia limpo



Fonte: (solarweb.com)

Já em dias de chuva, percebe-se na Figura 33, o quanto perde em geração, tendo muitos picos negativos, nessa Figura temos aproximadamente 51% de geração a menos se comparado com um dia limpo.

Figura 33 – Gráfico de geração em um dia de chuva

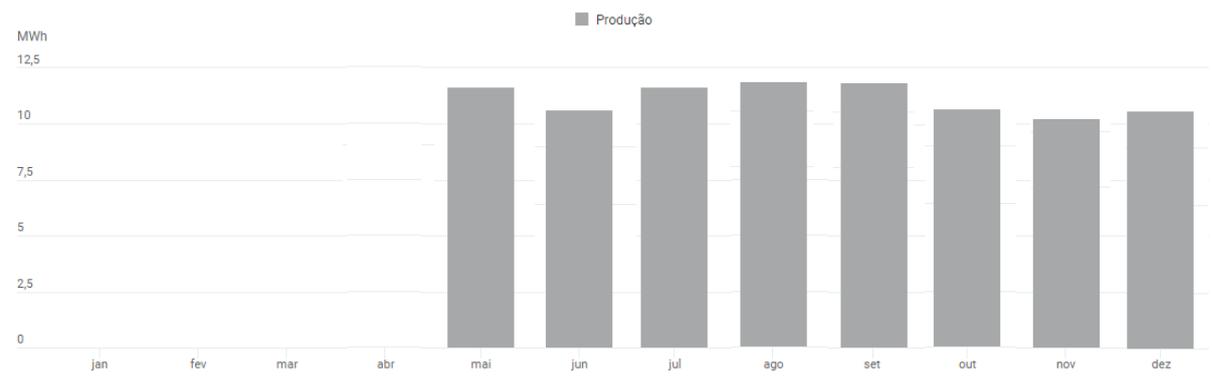


Fonte: (solarweb.com)

#### 4.10 RESULTADOS DA GERAÇÃO DO SISTEMA

Após a concessionária efetuar a ligação do sistema, obtivemos alguns resultados, e comparativos que podemos ver nas figuras 34, a seguir onde se tem a geração de alguns meses após projeto aprovado.

Figura 34 – Gráfico de geração mensal da UFV



Fonte: (solarweb.com)

Fazendo uma simulação de geração com relação a tabela 6 mensalmente tem-se uma geração aproximada segundo a Figura 35 abaixo:

Figura 35 – Geração estimada em kWh/mês do sistema dimensionado



Fonte: (O Próprio Autor)

Como visto no estudo, foi estimado uma média de 86,73 MWh gerados nos oito meses de geração efetuados até aqui, como visto na Figura 34 e comparando com a Figura 35, tivemos uma geração até maior do que foi estimado em alguns meses, e ficando um pouco abaixo em outros, mas mesmo assim no final tem-se uma geração bem próxima com 85,84 MWh gerado nos últimos oito meses.

#### 4.11 SISTEMA DE RATEIO

Segundo o Artigo 2, inciso VIII da resolução da ANEEL 482/2012 que regula a geração distribuída no Brasil, é permitida ao sistema de compensação para beneficiárias, na qual se dão porcentagens dos kilowatts (kW) excedente, do consumo da geradora podendo serem rateados para outras unidades consumidoras. Como a usina quase não tem consumo, pagando apenas a taxa trifásica, a maior parte da potência gerada, será mandada como um tipo de créditos para o hotel e a residência. Para isso as beneficiárias têm que estar no mesmo nome da usina geradora, para que não pareça uma forma de venda de energia para terceiros, pois no estado da Paraíba somente a Energisa tem permissão para isso. Através de um documento parecido com o seguinte abaixo dado entrada na concessionária, pode ser solicitado os rateios:

Figura 36 – Modelo de documento para definição de rateio

**LISTA DE UNIDADES CONSUMIDORAS PARTICIPANTES DO SISTEMA DE  
COMPENSAÇÃO NA MODALIDADE AUTOCONSUMO REMOTO  
(pessoa jurídica)**

Eu, ~~Crispim Secundino Coelho Neto~~, portador do CPF ~~161.515.474-59~~ representante da C.B.R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA cujo CNPJ 10.963.942/0001-29 sendo esta titular da UC 5/887206-1 onde serão instalados os equipamentos de geração informada na solicitação de acesso, venho em cumprimento do Art. 2, Inciso VIII da Resolução ANEEL 482/2012 definir o percentual de rateio da energia excedente entre as unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia conforme os critérios estabelecidos pelo Art. 7 da mesma resolução.

| Nº UC       | ENDEREÇO                 | BAIRRO    | CIDADE          | % DE RATEIO |
|-------------|--------------------------|-----------|-----------------|-------------|
| 5/1385729-7 | Av. Com Vital Rolim, S/N | Jd. Oasis | Cajazeiras-PB   | 15%         |
| 5/1492845-1 | Av. Com Vital Rolim, S/N | Jd. Oasis | Cajazeiras - PB | 85%         |
|             |                          |           |                 |             |
|             |                          |           |                 |             |
|             |                          |           |                 |             |
|             |                          |           |                 |             |
|             |                          |           |                 |             |
|             |                          |           |                 |             |
|             |                          |           |                 |             |

Fonte: (O Próprio Autor)

## 4.12 PRIMEIROS RESULTADOS COM O SISTEMA LIGADO

Com a aprovação do projeto, e o sistema está ligado na rede da Energisa, e após um mês de geração como foi visto nos tópicos anteriores, uma grande diminuição no valor pago pelo dono do hotel e da residência, tendo uma grande economia mensal, que será feita uma análise econômica no próximo Capítulo.

Figura 37 – Conta do Hotel antes e depois do sistema

**DOCUMENTO PARA PAGAMENTO**

Documento sem valor fiscal.  
Documento não é segunda-via de conta.  
Boleto para simplificar pagamento da nota fiscal/conta de energia elétrica. Nº 001.965.783

**energisa**  
ENERGISA PARAIBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A  
Br 230, Km 25 - Cristo Redentor - João Pessoa / PB - CEP 58071-480  
CNPJ 09.095.183 / 0001-40 Insc. Est. 16.016.823-0

**DADOS DO CLIENTE**  
C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA  
AV COM VITAL ROLIM S/N  
CAIAZEIRAS

**CDC - CÓDIGO DO CONSUMIDOR**  
**5/1492845-1**

| REFERÊNCIA | APRESENTAÇÃO | CONSUMO | VENCIMENTO | TOTAL A PAGAR |
|------------|--------------|---------|------------|---------------|
| FEV/2018   | 15/02/2018   | 5983    | 22/02/2018 | R\$ 4.321,42  |

Accesse: [www.energisa.com.br](http://www.energisa.com.br)

---

**energisa**  
ENERGISA PARAIBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A

C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA  
Roteiro: 05-212-110-0980  
CONTA PAGA - Data de Pagamento: 22/02/2018

| VENCIMENTO | TOTAL A PAGAR | MATRÍCULA          |
|------------|---------------|--------------------|
| 22/02/2018 | R\$ 4.321,42  | 1492845-2018- 02-7 |

**DOCUMENTO PARA PAGAMENTO**

Documento sem valor fiscal.  
Documento não é segunda-via de conta.  
Boleto para simplificar pagamento da nota fiscal/conta de energia elétrica. Nº 007.928.345

**energisa**  
ENERGISA PARAIBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A  
Br 230, Km 25 - Cristo Redentor - João Pessoa / PB - CEP 58071-480  
CNPJ 09.095.183 / 0001-40 Insc. Est. 16.016.823-0

**DADOS DO CLIENTE**  
C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA  
AV COM VITAL ROLIM S/N  
CAIAZEIRAS

**CDC - CÓDIGO DO CONSUMIDOR**  
**5/1492845-1**

| REFERÊNCIA | APRESENTAÇÃO | CONSUMO | VENCIMENTO | TOTAL A PAGAR |
|------------|--------------|---------|------------|---------------|
| JUN/2018   | 18/06/2018   | 5762    | 25/06/2018 | R\$ 183,26    |

Accesse: [www.energisa.com.br](http://www.energisa.com.br)

---

**energisa**  
ENERGISA PARAIBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A

C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA  
Roteiro: 05-212-110-0980  
CONTA PAGA - Data de Pagamento: 19/06/2018

| VENCIMENTO | TOTAL A PAGAR | MATRÍCULA          |
|------------|---------------|--------------------|
| 25/06/2018 | R\$ 183,26    | 1492845-2018- 06-8 |

Fonte: [energisa.com.br](http://energisa.com.br)

Percebemos que o dono da usina, saiu de uma conta de 4321,42, para uma conta de 183,26, resultado esse do Hotel ser trifásico, pagando a taxa por 100 kW/mês, mais um adicional de tarifa vermelha e impostos. Mesmo assim tendo uma economia de mais de 95,7 % por mês na conta.

O mesmo pode-se ver em sua residência a seguir:

Figura 38 – Conta da Residência antes e depois do sistema

**DOCUMENTO PARA PAGAMENTO**

Documento sem valor fiscal.  
Documento não é segunda-via de conta.  
Boleto para simples pagamento da nota fiscal/conta de energia elétrica - Nº 003.339.960

**energisa**  
Luz. Informação. Realização.  
ENERGISA PARAIBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A  
Br 230, Km 25 - Cristo Redentor - João Pessoa / PB - CEP 58071-680  
CNPJ 09.095.183 / 0001-40 Insc.Est. 16.015.823-0

|   |                     |                |                   |                                   |  |
|---|---------------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|--|
| <b>DADOS DO CLIENTE</b>   |                     |                |                   | <b>CDC - CÓDIGO DO CONSUMIDOR</b> |  |
| C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA<br>AV COM VITAL ROLIM SIN<br>CAJAZEIRAS |                     |                |                   | 5/1385729-7                       |  |
| <b>REFERÊNCIA</b>   | <b>APRESENTAÇÃO</b> | <b>CONSUMO</b> | <b>VENCIMENTO</b> | <b>TOTAL A PAGAR</b>              |  |
| MAR/2018  | 12/03/2018          | 1141           | 19/03/2018        | R\$ 804,84                        |  |

Acesse: [www.energisa.com.br](http://www.energisa.com.br)

---

**energisa**  
Luz. Informação. Realização.

**C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA**  
Roteiro: 05-212-110-0960  
CONTA PAGA - Data de Pagamento: 19/03/2018

| VENCIMENTO | TOTAL A PAGAR | MATRÍCULA          |
|------------|---------------|--------------------|
| 19/03/2018 | R\$ 804,84    | 1385729-2018- 03-1 |

**DOCUMENTO PARA PAGAMENTO**

Documento sem valor fiscal.  
Documento não é segunda-via de conta.  
Boleto para simples pagamento da nota fiscal/conta de energia elétrica - Nº 013.822.905

**energisa**  
Luz. Informação. Realização.  
ENERGISA PARAIBA - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S/A  
Br 230, Km 25 - Cristo Redentor - João Pessoa / PB - CEP 58071-680  
CNPJ 09.095.183 / 0001-40 Insc.Est. 16.015.823-0

|   |                     |                |                   |                                   |  |
|---|---------------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|--|
| <b>DADOS DO CLIENTE</b>   |                     |                |                   | <b>CDC - CÓDIGO DO CONSUMIDOR</b> |  |
| C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA<br>AV COM VITAL ROLIM SIN<br>CAJAZEIRAS |                     |                |                   | 5/1385729-7                       |  |
| <b>REFERÊNCIA</b>   | <b>APRESENTAÇÃO</b> | <b>CONSUMO</b> | <b>VENCIMENTO</b> | <b>TOTAL A PAGAR</b>              |  |
| OUT/2018  | 15/10/2018          | 1106           | 22/10/2018        | R\$ 101,45                        |  |

Acesse: [www.energisa.com.br](http://www.energisa.com.br)

---

**energisa**  
Luz. Informação. Realização.

**C B R EMPREENDIMENTOS HOTELEIROS LTDA**  
Roteiro: 03-212-110-0960  
CONTA PAGA - Data de Pagamento: 19/10/2018

| VENCIMENTO | TOTAL A PAGAR | MATRÍCULA          |
|------------|---------------|--------------------|
| 22/10/2018 | R\$ 101,45    | 1385729-2018- 10-6 |

Fonte: [energisa.com.br](http://energisa.com.br)

Na residência tem uma economia maior que 87% por mês, pois a residência também é trifásica.

#### 4.13 ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para realização do estudo de viabilidade econômica, será desenvolvido o orçamento final do sistema, levando em consideração os custos de todos os equipamentos utilizados projetos e uma estimativa do curso referente a mão de obra. Neste tópico serão

considerados todos os custos que influenciaram no projeto, e por fim será feita uma análise, aplicando os métodos financeiros estudados anteriormente.

#### 4.13.1 CUSTO DO PROJETO

Para o projeto do sistema fotovoltaico, foi realizado um levantamento de preço para cada componente associado ao mesmo, com base em valores encontrados no mercado, na qual a empresa responsável efetuou

Tabela 11 – Principais materiais utilizados na UFV.

| <b>Equipamento</b>             | <b>Preço<br/>Unitário</b> | <b>Quantidade</b> | <b>Preço Total</b> |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------|
| <b>Módulos Fotovoltaicos</b>   | 631,50                    | 228               | 143.982,00         |
| <b>Inversor</b>                | 19.640,00                 | 3                 | 62.220,00          |
| <b>Disjuntor 125 A</b>         | 75,00                     | 1                 | 75,00              |
| <b>Disjuntor 50 A</b>          | 42,50                     | 3                 | 127,50             |
| <b>DPS AC</b>                  | 35,00                     | 4                 | 140,00             |
| <b>DPS DC</b>                  | 98,00                     | 24                | 2.352,00           |
| <b>Quadro Metálico</b>         | 400,00                    | 1                 | 400,00             |
| <b>Caixa Trifásica</b>         | 160,00                    | 1                 | 160,00             |
| <b>Eletrodutos</b>             | 9,50                      | 16                | 152,00             |
| <b>Cabos 6 mm<sup>2</sup></b>  | 3,20                      | 400 m             | 1280,00            |
| <b>Cabos 10 mm<sup>2</sup></b> | 5,45                      | 60 m              | 327,00             |
| <b>Haste Aterramento</b>       | 26,00                     | 7                 | 182,00             |
| <b>Cabo de Cobre nu</b>        | 4,50                      | 50 m              | 225,00             |
| <b>Projeto Elétrico</b>        | 1                         | 1                 | 10.000,00          |
| <b>Execução</b>                | 1                         | 1                 | 30.000,00          |
| <b>Outros</b>                  | 1                         | 1                 | 8.377,50           |
| <b>TOTAL</b>                   |                           |                   | <b>260.000,00</b>  |

Fonte: (O Próprio Autor)

Tendo em vista que toda a parte de construção civil ficou responsável pelo proprietário da usina, não iremos considerar para nossa análise.

#### 4.13.2 ANÁLISE FINANCEIRA

Para a essa análise foram especificadas todas as variáveis que possa interferir no projeto, como impostos, reajustes da energia anual que utilizaremos 10% ao ano, o custo do sistema, taxas de aplicação, valor do kW entre outras onde estão especificadas nas tabelas abaixo.

Tabela 12 – Dados da UFV

|                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| <b>Cidade da UFV</b>         | Cajazeiras-PB         |
| <b>Potência Instalada</b>    | 74,1 kWp              |
| <b>Potência dos Painéis</b>  | 325 W                 |
| <b>Quantidade de Painéis</b> | 228 unidades          |
| <b>Área Total da Usina</b>   | 967,75 m <sup>2</sup> |
| <b>Orientação</b>            | Norte                 |
| <b>Inclinação</b>            | 10°                   |
| <b>Valor Mensal</b>          | R\$ 5.533,92          |
| <b>Média de Consumo</b>      | 7.659,50 kWh/mês      |

Fonte: (O Próprio Autor)

Tabela 13 – Taxas e reajustes

|                                       |             |
|---------------------------------------|-------------|
| <b>Valor de Eficiência por Ano</b>    | 0,965       |
| <b>Taxa de Aplicação de CDI Média</b> | 1,10        |
| <b>% de CDI anual</b>                 | 0,108       |
| <b>Reajuste da Energia média mês</b>  | 1,1         |
| <b>% de reajuste de energia anual</b> | 6%          |
| <b>Valor do kW/mês</b>                | R\$ 0,73126 |

Fonte: (O Próprio Autor)

Tabela 14 – Geração e economia mensal considerando o valor do kW à R\$ 0,73

| <b>Mês</b>           | <b>Geração (kW/mês)</b> | <b>Economia (R\$)</b> |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>Janeiro</b>       | 10.831,00               | 7.920,05              |
| <b>Fevereiro</b>     | 10.923,00               | 7.987,51              |
| <b>Março</b>         | 11.163,00               | 8.162,91              |
| <b>Abril</b>         | 11.107,00               | 8.122,43              |
| <b>Mai</b>           | 10.443,00               | 7.636,71              |
| <b>Junho</b>         | 10.056,00               | 7.353,37              |
| <b>Julho</b>         | 10.425,00               | 7.623,21              |
| <b>Agosto</b>        | 11.698,00               | 8.554,19              |
| <b>Setembro</b>      | 12.141,00               | 8.878,01              |
| <b>Outubro</b>       | 11.845,00               | 8.662,13              |
| <b>Novembro</b>      | 11.698,00               | 8.554,19              |
| <b>Dezembro</b>      | 11.015,00               | 8.054,97              |
| <b>Total Por Ano</b> | <b>133.345,00</b>       | <b>97.509,69</b>      |

Fonte: (O Próprio Autor)

Tabela 15 – Custos e economia anual

|                                      |                |
|--------------------------------------|----------------|
| <b>Valor Total do Sistema</b>        | R\$ 260.000,00 |
| <b>Conta Anual sem Energia Solar</b> | R\$ 66.407,04  |
| <b>Valor em R\$ gerado anual</b>     | R\$ 97.509,69  |
| <b>Conta Anual com Energia Solar</b> | R\$ 1.200,00   |
| <b>Economia Anual</b>                | R\$ 96.309,69  |

Fonte: (O Próprio Autor)

O fluxo de caixa calculado para o investimento realizado é mostrado na Tabela 16, para 25 anos, onde se dá pela vida útil dos módulos fotovoltaicos, elaborada com auxílio do software Excel, sendo o mesmo calculado a partir de valores anuais. Utilizaremos uma taxa mínima de atratividade igual a taxa Selic para 2018, sendo de 6,75%, e consideraremos uma troca dos inversores após 9 anos, pela garantia de 2 anos de fábrica mais 7 anos da garantia estendida.

Utilizando a análise do Payback como visto no Capítulo 3, tem-se:

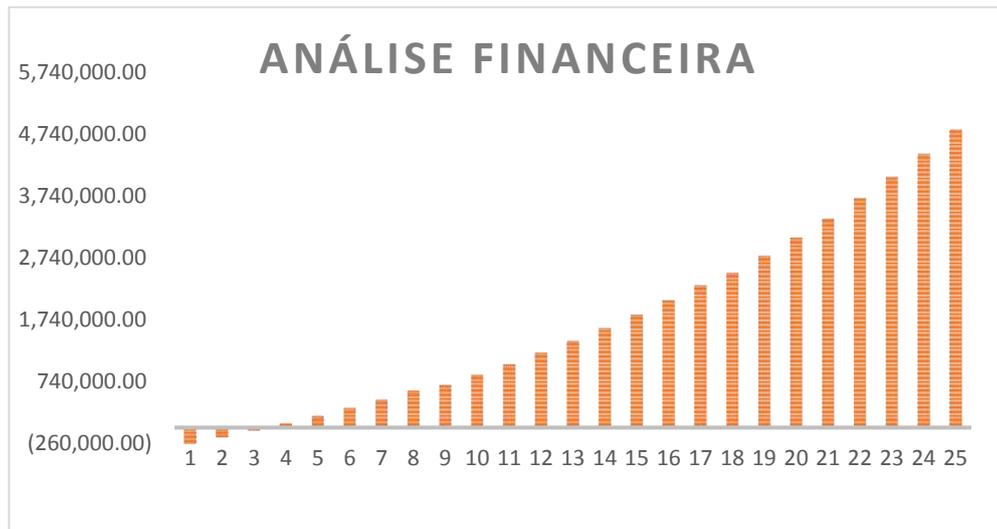
Tabela 16 – Fluxo de caixa do projeto

| Ano | Economia Anual | Economia Acumulada | Valor Acumulado |
|-----|----------------|--------------------|-----------------|
| 1   | 96.309,69      | 96.309,69          | -260.000,00     |
| 2   | 102.088,27     | 198.397,96         | -163.690,31     |
| 3   | 108.213,57     | 306.611,52         | -61.602,04      |
| 4   | 114.706,38     | 421.317,91         | 46.611,53       |
| 5   | 121.588,76     | 542.906,67         | 161.317,91      |
| 6   | 128.884,09     | 671.790,76         | 282.906,68      |
| 7   | 136.617,14     | 808.407,90         | 411.790,77      |
| 8   | 144.814,16     | 953.222,06         | 548.407,90      |
| 9   | 153.503,01     | 1.044.505,08       | 693.222,07      |
| 10  | 162.713,19     | 1.207.218,27       | 846.725,08      |
| 11  | 172.475,99     | 1.379.694,26       | 1.009.438,27    |
| 12  | 182.824,55     | 1.562.518,80       | 1.181.914,26    |
| 13  | 193.794,02     | 1.756.312,82       | 1.364.738,81    |
| 14  | 205.421,66     | 1.961.734,48       | 1.558.532,83    |
| 15  | 217.746,96     | 2.179.481,44       | 1.763.954,48    |
| 16  | 230.811,78     | 2.410.293,22       | 1.981.701,44    |
| 17  | 244.660,48     | 2.654.953,70       | 2.212.513,22    |
| 18  | 259.340,11     | 2.852.073,81       | 2.457.173,70    |
| 19  | 274.900,52     | 3.126.974,33       | 2.716.513,82    |
| 20  | 291.394,55     | 3.418.368,88       | 2.991.414,34    |
| 21  | 308.878,22     | 3.727.247,10       | 3.282.808,89    |
| 22  | 327.410,92     | 4.054.658,02       | 3.591.687,11    |
| 23  | 347.055,57     | 4.401.713,59       | 3.919.098,02    |
| 24  | 367.878,91     | 4.769.592,50       | 4.266.153,60    |
| 25  | 389.951,64     | 5.159.544,14       | 4.634.032,50    |

Fonte: (O Próprio Autor)

A partir dos valores obtidos na Tabela 16, é possível verificar que o projeto do sistema fotovoltaico em análise, apresenta um payback simples de 4 anos, e 1 mês. Pode-se ver também na Figura a baixo o gráfico da análise do estudo.

Figura 39 – Gráfico da economia acumulada por meio do payback ao longo de 25 anos.



Fonte: (O Próprio Autor)

Ainda com o auxílio do software Excel, pôde-se calcular o VPL do projeto, conforme Tabela 17 a seguir:

Tabela 17 – Fluxo de caixa e VPL

| <b>Ano</b> | <b>Fluxo de Caixa</b> | <b>Valor Acumulado</b> |
|------------|-----------------------|------------------------|
| <b>0</b>   | - 260.000,00          |                        |
| <b>1</b>   | 96.309,69             | - 260.000,00           |
| <b>2</b>   | 102.088,27            | - 157.911,73           |
| <b>3</b>   | 108.213,57            | - 49.698,16            |
| <b>4</b>   | 114.706,38            | 65.008,22              |
| <b>5</b>   | 121.588,76            | 186.596,99             |
| <b>6</b>   | 128.884,09            | 315.481,08             |
| <b>7</b>   | 136.617,14            | 452.098,21             |
| <b>8</b>   | 144.814,16            | 596.912,38             |
| <b>9</b>   | 153.503,01            | 688.195,39             |
| <b>10</b>  | 162.713,19            | 850.908,58             |
| <b>11</b>  | 172.475,99            | 1.023.384,57           |
| <b>12</b>  | 182.824,55            | 1.206.209,12           |
| <b>13</b>  | 193.794,02            | 1.400.003,14           |
| <b>14</b>  | 205.421,66            | 1.605.424,79           |
| <b>15</b>  | 217.746,96            | 1.823.171,75           |
| <b>16</b>  | 230.811,78            | 2.053.983,53           |
| <b>17</b>  | 244.660,48            | 2.298.644,01           |
| <b>18</b>  | 259.340,11            | 2.495.764,13           |
| <b>19</b>  | 274.900,52            | 2.770.664,65           |
| <b>20</b>  | 291.394,55            | 3.062.059,20           |
| <b>21</b>  | 308.878,22            | 3.370.937,42           |
| <b>22</b>  | 327.410,92            | 3.698.348,33           |
| <b>23</b>  | 347.055,57            | 4.045.403,91           |
| <b>24</b>  | 367.878,91            | 4.413.282,81           |
| <b>25</b>  | 389.951,64            | 4.803.234,45           |
|            | 2.011.454,92          | <b>VPL</b>             |

Fonte: (O Próprio Autor)

Portanto, para os valores de VPL encontrado, o projeto é considerado viável economicamente, visto que para o VPL se tem um valor positivo.

## 5 CONCLUSÕES

O Brasil é um país com possui um alto índice de radiação solar, pois encontra-se em uma posição privilegiada do globo terrestre, onde a insolação média é elevada em toda sua extensão territorial. A Região Nordeste apresenta destaque relacionado aos altos índices de insolação, tendo em vista que o período de inverso é irregular e reduzido, fator preponderante quando se trata da utilização proveniente do sol.

Com esse trabalho foi possível analisar um sistema fotovoltaico ligado à rede de uma UFV de solo, todas as etapas de um projeto até uma análise do sistema em funcionamento, podendo ser feito um comparativo com o que foi estudado e o real, tendo como processo o autoconsumo remoto, jogando os créditos gerados para unidades consumidoras distintas. Também foi avaliado a viabilidade econômica desse sistema a partir de métodos de análise financeira. Conclui-se então que o sistema foi totalmente viável, mesmo tendo um custo elevado inicialmente notamos que uma usina desse porte, tem um retorno considerável, se pagando com um pouco mais de 4 anos, e como temos uma vida útil longa dos equipamentos, pode-se aproveitar bastante tempo do sistema.

Também foi analisado que apesar do alto custo para se implantar o sistema fotovoltaico, tem-se incentivos do governo com financiamentos cada vez mais acessível para a população, fazendo isso com que nos próximos anos tenham um crescimento cada vez maior para geração fotovoltaica tanto para indústrias, quanto para comércio e residências.

## 6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

**CRESESB:** Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. **MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.** Rio de Janeiro: 2014. 530f.

CASTRO, M.G.R., **Introdução à Energia Fotovoltaica.** UTL, Lisboa, 2002.

**Global Solar Atlas.** Disponível em: < [https://openei.org/wiki/Solar\\_and\\_Wind\\_Energy\\_Resource\\_Assessment\\_\(SWERA\)](https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA)) >. Acesso em Fevereiro de 2018.

**ENERGIA SOLAR – PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES.** DISPONÍVEL EM: < <HTTP://WWW.CRESESB.CEPEL.BR>>. ACESSO EM FEVEREIRO DE 2018.

**BESERRA, Amanda Santiago. APLICAÇÃO DO MÉTODO DA INSOLAÇÃO PARA ANÁLISE E ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO/Amanda Santiago Beserra.** - 2016. 58f.:il.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A., et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** CEPEL – CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

**Canadian Solar – MaxPower CS6X-P\_en Datasheet v5.51.** Disponível em: < [https://www.canadiansolar.com/fileadmin/user\\_upload/downloads/datasheets/v5.5/Canadian\\_Solar-Datasheet-MaxPower-CS6X-P-v5.51en.pdf](https://www.canadiansolar.com/fileadmin/user_upload/downloads/datasheets/v5.5/Canadian_Solar-Datasheet-MaxPower-CS6X-P-v5.51en.pdf) >. Acesso em outubro de 2018.

**Fronius Solar – Eco 27.0-3-S.** Disponível em: < <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos/todos-os-produtos/inversor/fronius-eco/fronius-eco-27-0-3-s> >. Acesso em outubro de 2018.

**Solar Web.** Disponível em: < <https://www.solarweb.com/PvSystems/Widgets> >. Acesso em Dezembro de 2018.

ANEEL, **Resolução Normativa N° 482,** 2012.

ANEEL, **Resolução Normativa N° 687,** 2015.

SAMANEZ, Carlos Patrício. Engenharia Econômica. 1ªed., São Paulo: Prentice Hall, 2009.

# ANEXO A – FICHA TÉCNICA PLACAS



CanadianSolar



## MAXPOWER (1500 V) CS6U-315 | 320 | 325 | 330P

Canadian Solar's new 1500 V module is a product for high voltage systems, which can increase the string length of solar systems by up to 50%, saving BOS costs.

### KEY FEATURES

-  Designed for high voltage systems of up to 1500 V<sub>oc</sub>, saving on BoS costs
-  Cell efficiency of up to 18.8 %
-  Excellent module efficiency of up to 16.97 %
-  Outstanding low irradiance performance: 96.0 %
-  High PTC rating of up to 91.55 %
-  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 14001:2004 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

### PRODUCT CERTIFICATES\*

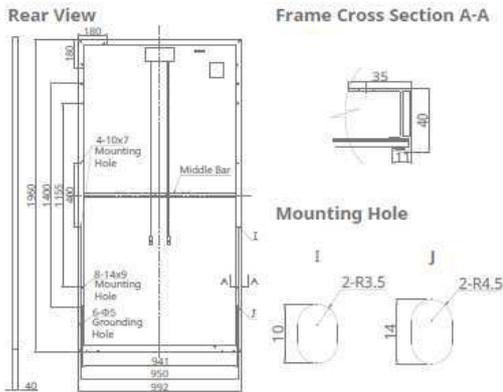
IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)  
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / Take-e-way



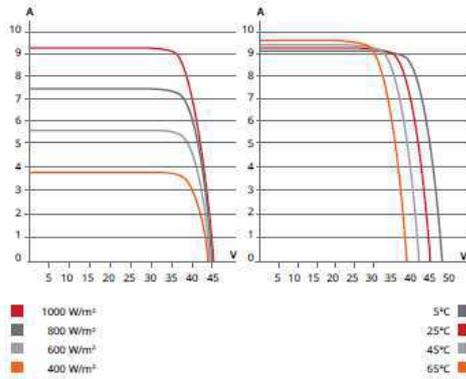
\* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

**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.

**ENGINEERING DRAWING (mm)**



**CS6U-320P / I-V CURVES**



**ELECTRICAL DATA | STC\***

| CS6U                         | 315P                                    | 320P   | 325P   | 330P   |
|------------------------------|---|--------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax)    | 315 W                                   | 320 W  | 325 W  | 330 W  |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 36.6 V                                  | 36.8 V | 37.0 V | 37.2 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 8.61 A                                  | 8.69 A | 8.78 A | 8.88 A |
| Open Circuit Voltage (Voc)   | 45.1 V                                  | 45.3 V | 45.5 V | 45.6 V |
| Short Circuit Current (Isc)  | 9.18 A                                  | 9.26 A | 9.34 A | 9.45 A |
| Module Efficiency            | 16.20%                                  | 16.46% | 16.72% | 16.97% |
| Operating Temperature        | -40°C ~ +85°C                           |        |        |        |
| Max. System Voltage          | 1500 V (IEC) or 1500 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.

**MECHANICAL DATA**

| Specification          | Data   |
|------------------------|--|
| Cell Type              | Poly-crystalline, 6 inch   |
| Cell Arrangement       | 72 (6 × 12)  |
| Dimensions             | 1960 × 992 × 40 mm<br>(77.2 × 39.1 × 1.57 in)                      |
| Weight                 | 22.4 kg (49.4 lbs)   |
| Front Cover            | 3.2 mm tempered glass  |
| Frame Material         | Anodized aluminium alloy   |
| J-Box                  | IP67, 3 diodes   |
| Cable                  | PV1500DC-F1 4 mm² (IEC) & 12 AWG<br>2000 V (UL), 1160 mm (45.7 in) |
| Connector              | T4 series or PV2 series  |
| Per Pallet             | 26 pieces, 635 kg (1400 lbs)                                       |
| Per container (40' HQ) | 624 pieces   |

**ELECTRICAL DATA | NOCT\***

| CS6U                         | 315P   | 320P   | 325P   | 330P   |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax)    | 228 W  | 232 W  | 236 W  | 239 W  |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 33.4 V | 33.6 V | 33.7 V | 33.9 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 6.84 A | 6.91 A | 6.98 A | 7.05 A |
| Open Circuit Voltage (Voc)   | 41.5 V | 41.6 V | 41.8 V | 41.9 V |
| Short Circuit Current (Isc)  | 7.44 A | 7.50 A | 7.57 A | 7.66 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.

**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      |

**PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE**

Outstanding performance at low irradiance, average relative efficiency of 96.0 % 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.

**PARTNER SECTION**



# ANEXO B – FICHA TÉCNICA INVERSOR

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



## FRONIUS ECO

/ The compact project inverter for maximum yields.





/ SnapINverter  
Technology



/ Integrated data  
communication



/ Smart Grid  
Ready



/ Dynamic Peak  
Manager



/ Zero feed-in

/ The three-phase Fronius Eco in power categories 25.0 and 27.0 kW perfectly meets all the requirements of large-scale installations. Thanks to its light weight and SnapINverter mounting system, this transformerless device can be installed quickly and easily either indoors or outdoors. This inverter range is setting new standards with its IP 66 protection class. Furthermore, thanks to its integrated double fuse holders and optional overvoltage protection, string collection boxes are no longer necessary.

### TECHNICAL DATA FRONIUS ECO

| INPUT DATA   | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S    |
|--|---|-------------------------|
| Number of MPPT trackers                                  |   | 1                       |
| Max. input current ( $I_{dc \ max}$ )                    | 44.2 A  | 47.7 A                  |
| Max. array short circuit current                         |   | 71.6 A                  |
| DC input voltage range ( $U_{dc \ min} - U_{dc \ max}$ ) |   | 580 - 1,000 V           |
| Feed-in start voltage ( $U_{dc \ start}$ )               |   | 650 V                   |
| Usable MPPT voltage range                                |   | 580 - 850 V             |
| Number of DC connections                                 |   | 6                       |
| Max. PV generator output ( $P_{dc \ max}$ )              |   | 37.5 kW <sub>peak</sub> |
| OUTPUT DATA  | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S    |
| AC nominal output ( $P_{AC,N}$ )                         | 25,000 W  | 27,000 W                |
| Max. output power  | 25,000 VA   | 27,000 VA               |
| AC output current ( $I_{AC \ max}$ )                     | 37.9 A / 36.2 A   | 40.9 A / 39.1 A         |
| Grid connection (voltage range)                          | 3-NFB 380 V / 220 V or<br>3-NPE 400 V / 230 V (+20 % / -30 %) |                         |
| Frequency (frequency range)                              | 50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)                                    |                         |
| Total harmonic distortion                                | < 2.0 %   |                         |
| Power factor ( $\cos \phi_{AC,N}$ )                      | 0 - 1 ind. / esp.   |                         |

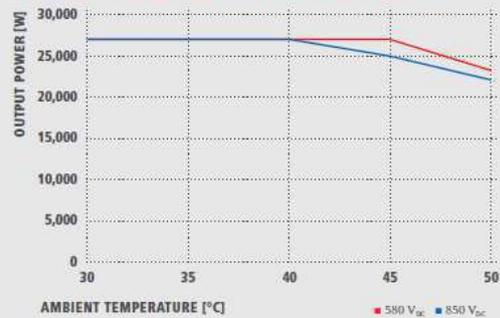
| GENERAL DATA                                 | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
|--|---|----------------------|
| Dimensions (height x width x depth)          | 725 x 510 x 225 mm  |                      |
| Weight                                       | 35.7 kg   |                      |
| Degree of protection                         | IP 66   |                      |
| Protection class                             | 1   |                      |
| Overvoltage category (DC / AC) <sup>2)</sup> | 2 / 3   |                      |
| Night-time consumption                       | < 1 W   |                      |
| Inverter concept                             | Transformerless   |                      |
| Cooling                                      | Regulated air cooling   |                      |
| Installation                                 | Indoor and outdoor installation   |                      |
| Ambient temperature range                    | -25 - +60 °C  |                      |
| Permitted humidity                           | 0 to 100 %  |                      |
| Max. altitude                                | 2,000 m   |                      |
| DC connection technology                     | 6x DC+ and 6x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>  |                      |
| AC connection technology                     | 5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>  |                      |
| Certificates and compliance with standards   | ÖVE / ÖNORM B 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G59/3, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21 |                      |

<sup>2)</sup> According to IEC 62109-1. DIN rail for optional type 1 + 2 or type 2 surge protection device available.  
Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

### FRONIUS ECO 27.0.3-S EFFICIENCY CURVE



### FRONIUS ECO 27.0.3-S TEMPERATURE DERATING



### TECHNICAL DATA FRONIUS ECO

| EFFICIENCY                                   | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
|--|---|----------------------|
| Max. efficiency                              | 98.2 %  | 98.3 %               |
| European efficiency (η <sub>EU</sub> )       | 98.0 %  | 98.0 %               |
| MPP adaptation efficiency                    | > 99.9 %  |                      |
| PROTECTION DEVICES                           | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| DC insulation measurement                    |   | Yes                  |
| Overload behavior                            | Operating point shift, power limitation                         |                      |
| DC disconnect                                |   | Yes                  |
| Integrated string fuse holders <sup>1)</sup> |   | Yes                  |
| Reverse polarity protection                  |   | Yes                  |
| INTERFACES                                   | FRONIUS ECO 25.0-3-S  | FRONIUS ECO 27.0-3-S |
| WLAN / Ethernet LAN                          | Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON) |                      |
| 6 inputs and 4 digital inputs/outputs        | Interface to ripple control receiver                            |                      |
| USB (A socket) <sup>2)</sup>                 | Datalogging, inverter update via USB flash drive                |                      |
| 2x RS422 (RJ45 socket) <sup>1)</sup>         | Fronius Solar Net   |                      |
| Signalling output <sup>3)</sup>              | Energy management (Boosting relay output)                       |                      |
| Datalogger and Webserver                     | Included  |                      |
| External input <sup>2)</sup>                 | 50 meter connection / Evaluation of overvoltage protection      |                      |
| RS485  | Modbus RTU SunSpec or meter connection                          |                      |

<sup>1)</sup> Optionally fitted with 6 fuses 1.5 A / 1,000 V on the plus side. <sup>2)</sup> Also available in the light version.  
Further information and technical data can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

### WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,700 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our record of over 800 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

v06 Apr 2016 EN