

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
AMANDA DE MELO MENEZES**

**APRIMORAMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE AUXÍLIO NO  
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE**

**FORMIGA – MG  
2018**

**AMANDA DE MELO MENEZES**

**APRIMORAMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE AUXÍLIO NO  
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

**Orientador:** Prof. Dr. Renan Souza Moura.

**FORMIGA – MG  
2018**

**AMANDA DE MELO MENEZES**

**APRIMORAMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE AUXÍLIO NO  
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Elétrica do Instituto  
Federal de Minas Gerais como requisito para  
obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Elétrica.

Avaliado em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Nota: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Renan Souza Moura

---

Prof.<sup>a</sup> Msc. Mariana Guimarães dos Santos

---

Prof. Dr. Ulysses Rondina Duarte

## RESUMO

Como o Brasil possui uma posição privilegiada em termos de radiação solar, a geração fotovoltaica se mostra muito promissora no país. A maior parte do território brasileiro localiza-se próximo a linha do Equador, em destaque para a região nordeste do país, que apresenta as melhores radiações solares do planeta. A geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos no entorno das construções tem muito potencial para contribuir com a redução dos problemas referentes às formas convencionais de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Com a redução dos custos a níveis competitivos em relação à geração convencional, esta fonte de geração deverá atingir mais o mercado urbano. No Brasil, o incentivo por parte da Aneel, por meio da resolução normativa nº 482/2012, e, posteriormente, pela NR 687/2015, possibilitou o surgimento de inúmeras empresas nesse ramo, gerando empregos e energia de forma sustentável. O presente trabalho tem o intuito de apresentar um aprimoramento de uma ferramenta computacional que auxilia no dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Os aprimoramentos propostos a esta ferramenta contemplam o dimensionamento da proteção CC e CA de um sistema fotovoltaico, a adição dos parâmetros de tensão e número de fases e um estudo mais detalhado da viabilidade econômica do sistema. Com isso, o *software* desenvolvido auxiliará o projetista minimizando o tempo utilizado na concepção de um projeto fotovoltaico.

**Palavras chave:** Energias renováveis, energia solar, *softwares* de engenharia, sistema fotovoltaico.

## ABSTRACT

As Brazil has a privileged position in terms of solar radiation, photovoltaic generation is very promising in the country. Most of the Brazilian territory is located near the line of the Equator, in prominence for the northeast region of the country, that presents the best solar radiations of the planet. The generation of electric energy from photovoltaic modules in the surroundings of the constructions has much potential to contribute to the reduction of problems related to the conventional forms of generation, transmission and distribution of electric energy. When costs fall to competitive levels compared to conventional generation, this generation source should penetrate more into the urban market. In Brazil, Aneel's incentive, through normative resolution 482/2012, and later by NR 687/2015, allowed the emergence of numerous companies in this branch, generating jobs and energy in a sustainable way. The present work intends to present an improvement to a computational tool that assists in the design of a photovoltaic system connected to the grid. The improvements proposed to this tool include the design of the DC and AC protection of a photovoltaic system, the addition of voltage and phase parameters and a more detailed study of the economic feasibility of the system. With this, the developed software will assist the designer minimizing the time used in the design of a photovoltaic project.

**Keywords:** Alternative Energy, Solar Energy, Engineering Software, Photovoltaic System.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CLP – Controlador Lógico Programável

DPS – Dispositivo de Proteção contra Surto

FDI – Fator de Dimensionamento de Inversor

FV – Fotovoltaico

HSP – Horas de Sol Pleno

NBR – Norma Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

QEE – Qualidade de Energia Elétrica

SWERA – *Solar and Wind Energy Resource Assessment* – Avaliação de Recursos de Energia Solar e Eólica

SFI – Sistema Fotovoltaico Isolado

SFV – Sistema Fotovoltaico

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SPPM – Seguidor de Ponto de Potência Máxima

TD – Taxa de Desempenho

TIR – Taxa Interna de Retorno

VPL – Valor Presente Líquido

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Matriz de produção de energia elétrica no Brasil. ....	16
Figura 2.2 – Diagrama de blocos dos SFVs.....	17
Figura 2.3 – Diagrama esquemático de um SFCR.....	19
Figura 2.4 – Sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica.....	20
Figura 2.5 – Diagrama de blocos de um SFCR.....	23
Figura 2.6 - Representação esquemática de uma associação em série de módulos fotovoltaicos. ....	30
Figura 2.7 – Curvas relativas à associação em série de três módulos fotovoltaicos. ....	31
Figura 2.8 – Representação esquemática de uma associação em paralelo de módulos fotovoltaicos. ....	32
Figura 2.9 – Curvas relativas à associação em paralelo de três módulos fotovoltaicos. ....	33
Figura 2.10 – Representação esquemática de uma associação mista de módulos fotovoltaicos. ....	34
Figura 2.11 – Curvas relativas à associação mista de três módulos fotovoltaicos. ....	34
Figura 2.12 – Associação mista de módulos fotovoltaicos com diodos <i>bypass</i> e de fileira. ....	36
Figura 2.13 – Painel solar CANADIAN SOLAR. ....	41
Figura 2.14 – Inversor de frequência FRONIUS. ....	43
Figura 3.1 – Fluxograma de funcionamento do <i>software</i> .....	45
Figura 4.1 – Interface SonneProgram 1.0. (a) Entrada de dados. (b) Dados de saída. ....	51
Figura 4.2 – Entrada de dados do <i>software</i> .....	52
Figura 4.3 – Entrada de dados do <i>software</i> .....	53
Figura 4.4 – Entrada de dados técnicos. ....	54
Figura 4.5 – Entrada de dados financeiros.....	54
Figura 4.6 – Relatório gerado pelo <i>software</i> . ....	55
Figura 4.7 – Planilha Fluxo de Caixa. ....	56
Figura 4.8 – Dados de saída Caso 01.....	58
Figura 4.9 – Dados de saída Caso 02.....	60

<b>Figura 4.10 – Dados de saída Caso 03.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 4.11 – Dados de saída Caso 04.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 4.12 – Dados de saída Caso 05.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 4.13 – Planilha Fluxo de Caixa SonneProgram 2.0. ....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 4.14 – Planilha Fluxo de Caixa da CAYMAN ENGENHARIA. ....</b>	<b>68</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1 – Variáveis de entrada.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 3.2 – Dados de saída. ....</b>	<b>49</b>
<b>Tabela 4.1 – Dados de consumo Caso 01 (Templo religioso).....</b>	<b>57</b>
<b>Tabela 4.2 – Comparativo entre os SFCR Caso 01. ....</b>	<b>59</b>
<b>Tabela 4.3 – Dados de consumo Caso 02 (residencial).....</b>	<b>59</b>
<b>Tabela 4.4 – Comparativo entre os SFCR Caso 02. ....</b>	<b>61</b>
<b>Tabela 4.5 – Dados de consumo Caso 03.....</b>	<b>61</b>
<b>Tabela 4.6 – Comparativo entre os SFCR Caso 03. ....</b>	<b>63</b>
<b>Tabela 4.7 – Dados de consumo Caso 04.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabela 4.8 – Comparativo entre os SFCR Caso 04. ....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 4.9 – Comparativo entre os SFCR Caso 05. ....</b>	<b>67</b>

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1. Justificativa .....	12
1.2. Objetivos geral e específicos .....	13
1.3. Metodologia.....	13
1.4. Organização do trabalho.....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 Aspectos mundiais e nacionais da geração de energia elétrica .....	15
2.2 Sistemas fotovoltaicos.....	16
2.3 Funcionamento técnico do SFCR .....	17
2.4 Qualidade de energia.....	20
2.5 Principais normas.....	21
2.5.1 NR 482/12 .....	21
2.5.2 NR 687/15 .....	22
2.6 Dimensionamento do SFV .....	23
2.7.1 Recurso Solar .....	24
2.7.2 Localização .....	25
2.7.3 Dimensionamento do gerador.....	25
2.7.4 Dimensionamento do inversor .....	26
2.7 Escolha dos arranjos.....	28
2.8.1 Arranjos fotovoltaicos .....	28
2.8.2 Módulos fotovoltaicos .....	29
2.8.3 Associação de módulos fotovoltaicos em série.....	30
2.8.4 Associação de módulos fotovoltaicos em paralelo .....	31
2.8.5 Associação mista de módulos fotovoltaicos.....	33
2.8 Proteção.....	35
2.9.1 Chaves seccionadoras .....	36
2.9.2 Fusíveis de proteção.....	37
2.9.3 Dispositivo de proteção contra surtos (DPS) CC .....	37
2.9.4 Dispositivo de proteção contra surtos CA.....	37
2.9 Estudo de Viabilidade Econômica .....	38
2.10.1 <i>Payback</i> .....	39
2.10.2 Valor presente líquido.....	39

2.10.3 Taxa Interna de Retorno .....	40
2.10 Escolha de marcas e componentes .....	40
2.11.1 Painel solar .....	41
2.11.2 Inversor de frequência .....	42
3 METODOLOGIA .....	44
3.1 Estrutura do <i>software</i> .....	44
3.2 Banco de dados .....	45
3.3 Dados de entrada.....	46
3.4 Dimensionamento do SFCR.....	47
3.5 Dados de saída e análise financeira .....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.1 SonneProgram 1.0 – Breve descrição .....	51
4.2 SonneProgram 2.0 - Interface.....	52
4.3 Estudos de Caso.....	56
4.3.1 Dimensionamentos de Lucas Siqueira (2015) – Casos 01 e 02.....	57
4.3.2 Estudo de Caso 03 – CREA Santa Catarina .....	61
4.3.3 Estudo de Caso 04 – Residência Araxá/MG.....	63
4.3.4 Estudo de Caso 05 – Usina Cayman001 em Piumhi/MG.....	65
5 CONCLUSÃO .....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70
ANEXO A.....	74
ANEXO B.....	75
ANEXO C.....	76
ANEXO D.....	77

## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica no Brasil é gerada predominantemente a partir de usinas hidrelétricas, uma das fontes de geração de menor custo, mas de impactos ambientais consideráveis devido à necessidade da formação de grandes reservatórios de água para movimentar as turbinas dos geradores. Em menor escala no país, outras formas de geração de energia elétrica são utilizadas, como as usinas térmicas, nucleares e eólicas (URBANETZ, 2010).

Devido a necessidade de suprir a demanda da sociedade, várias ideias para fontes de energia que pudessem ser exploradas surgiram a partir de investimentos em pesquisas de energias renováveis. Algumas foram logo descartadas e as mais promissoras começaram a receber grande atenção e fomento. Dentre as alternativas ao petróleo, os melhores resultados iniciais obtidos nos quesitos geração mais limpa, eficiência e confiabilidade foram: solar, eólica, maremotriz, geotérmica, célula combustível e biomassa (RIBEIRO, 2012).

Como o Brasil possui uma posição privilegiada em termos de radiação solar, a geração fotovoltaica se mostra muito promissora no país. A maior parte do território brasileiro localiza-se próximo a linha do Equador, evitando grandes variações na duração solar do dia, em destaque para a região nordeste do país, que apresenta radiação solar que se compara as melhores regiões do mundo nesse aspecto (CCEE, 2013).

Visando a grande demanda futura de projetos de sistemas fotovoltaicos (SFVs) este trabalho tem o intuito de aprimorar uma ferramenta computacional já existente para atender aos profissionais que trabalharão neste setor da engenharia.

### 1.1. Justificativa

O presente trabalho apresenta o aprimoramento de um *software* já desenvolvido em outro Trabalho de Conclusão de Curso (GONÇALVES, 2017). O programa desenvolvido anteriormente foi nomeado como SonneProgram, em que *Sonne* do alemão significa Sol, e *Program* do inglês significa Programa.

O programa trabalhava com apenas três variáveis de entrada e isto limitava bastante os resultados gerados pelo programa, necessitando de uma revisão detalhada do dimensionamento. O sistema dimensionado não era dinâmico, ou seja, havia um banco de dados com sistemas pré-estabelecidos, onde o *software* buscava aquele que melhor aplicava aos dados fornecidos pelo usuário.

Por isso, este trabalho vem apresentar um *software* com maior número de variáveis de controle e um dimensionamento dinâmico de cada componente, visando um resultado mais detalhado e específico do projeto a ser desenvolvido.

## **1.2. Objetivos geral e específicos**

Este trabalho visa apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que dimensiona, de forma dinâmica, um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR). Para tal, é necessário apresentar o funcionamento técnico de um SFCR, como é realizado seu dimensionamento, cálculo dos componentes de proteção e análise financeira do mesmo.

## **1.3. Metodologia**

O *software* é desenvolvido na linguagem JAVA utilizando-se a IDE NetBeans, onde a interface gráfica é desenvolvida, o que garantiu maior facilidade e performance no desenvolvimento da ferramenta computacional. Todo o conhecimento técnico específico sobre sistemas fotovoltaicos conectados à rede foi previamente adquirido por meio de pesquisas que estão registradas na seção de Revisão Bibliográfica.

## **1.4. Organização do trabalho**

Este trabalho está disposto em cinco capítulos em que, primeiramente, apresenta-se uma introdução em relação ao tema, justificando o desenvolvimento do projeto e seus objetivos. No segundo capítulo, um estudo aprofundado sobre os componentes e equipamentos que compõem um sistema fotovoltaico é realizado, bem

como análises de dimensionamento e viabilidade do mesmo. A metodologia consta no terceiro capítulo, onde é feita uma breve comparação entre o programa original e a versão aprimorada apresentada neste trabalho, além da descrição da estratégia desenvolvida para a construção do novo *software*. A seção de resultados está presente no quarto capítulo, em que são realizados os testes do programa, analisando os resultados e o desempenho da ferramenta para casos diversos de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Após a discussão dos resultados, é feita uma conclusão geral do trabalho, no capítulo cinco.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta um estudo teórico sobre os sistemas fotovoltaicos, abordando conceitos básicos dos principais componentes de um SFV até um estudo detalhado de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Apresenta também um estudo sobre proteção elétrica destes sistemas, análise econômica e marcas e modelos que foram utilizados no banco de dados do *software*.

### 2.1 Aspectos mundiais e nacionais da geração de energia elétrica

A Europa é o continente com a maior capacidade instalada de geração fotovoltaica, representando aproximadamente 59% do limite de produção fotovoltaica mundial. Este valor é inferior a anos anteriores, como exemplo 2011, quando a Europa representava aproximadamente 75% da geração fotovoltaica no mundo. Em grande parte, isso é decorrente da rápida expansão do mercado asiático, com destaque para a China (EPIA, 2014).

Em relação à matriz elétrica brasileira, ela apresenta uma estrutura de participação de fontes renováveis *versus* não renováveis, inversa em relação à matriz mundial, já que 79,3% da matriz brasileira é de fontes renováveis, enquanto na matriz elétrica mundial somente 20,3% é com participação de energias renováveis (GEHRING et al, 2015). Apesar da grande participação de energias renováveis na matriz brasileira, a energia solar representa menos de 0,1% da geração de energia. A Figura 2.1 ilustra a matriz energética brasileira, com base em dados comercializados no ano de 2016.

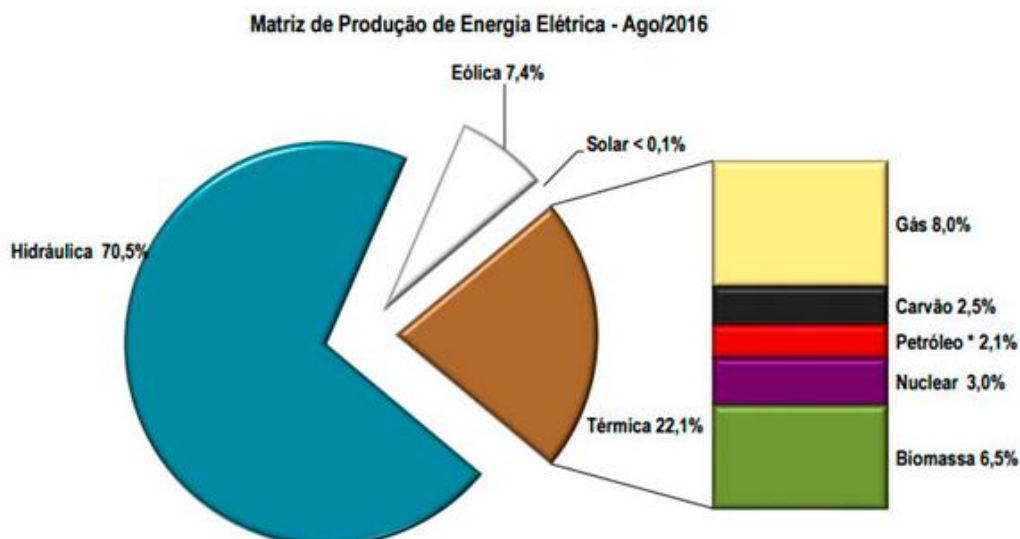


Figura 2.1 – Matriz de produção de energia elétrica no Brasil.  
Fonte: Inpe, 2016.

Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica aparece como uma fonte muito interessante para diversificação da matriz elétrica brasileira. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2014), o Brasil possui uma irradiação diária média anual entre 1.500 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Com essa irradiação, o Brasil se destaca dentre os países com maior irradiação mundial, tendo o potencial de maior geração por menor área utilizada (TESKE et al, 2010).

## 2.2 Sistemas fotovoltaicos

As primeiras células solares fotovoltaicas possuíam elevado custo e eram utilizadas na geração de energia elétrica para os satélites que orbitam nosso planeta. Desde seu surgimento, as tecnologias de produção evoluíram a tal ponto que se tornou economicamente viável em muitos casos a sua utilização em aplicações terrestres, no fornecimento de energia elétrica a locais até onde a rede elétrica pública não foi estendida (RUTHER, 2004).

Os sistemas fotovoltaicos são classificados de duas maneiras, de acordo como acontece sua geração e entrega de energia. Como pode ser observado na Figura 2.2 a seguir, são divididos em sistemas isolados/autônomos e sistemas conectados à rede.



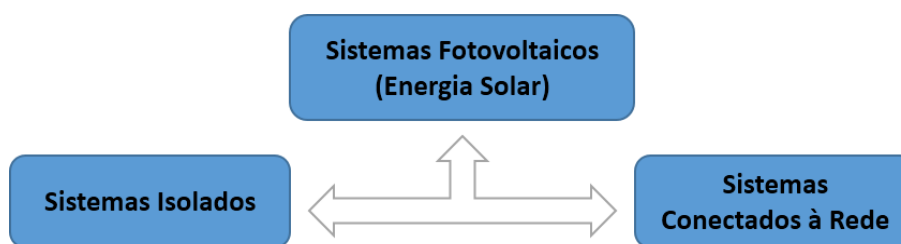


Figura 2.2 – Diagrama de blocos dos SFVs.  
Fonte: Do próprio autor, 2018.

Os sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) se caracterizam por não se conectar à rede elétrica. Os aparelhos que necessitam de energia são abastecidos diretamente pelo sistema e são geralmente construídos com um propósito local e específico. Geralmente é o modo mais econômico e prático para se obter energia, por isso, esta solução é bastante utilizada em locais remotos. Bombeamento de água, eletrificação de cercas, geladeiras para armazenar vacinas, postes de luz, estações replicadoras de sinal, são exemplos do uso desses sistemas, em que baterias armazenam a energia produzida e garantem o abastecimento em períodos sem sol. Os sistemas isolados de geração são compostos basicamente de quatro componentes: painéis solares ou placas solares; controladores de carga; inversores; e banco de baterias (NEOSOLAR).

Já os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCRs), também conhecidos como *on grid*, são constituídos basicamente por painel fotovoltaico e inversor. Este tipo de sistema não utiliza elementos para armazenar a energia elétrica. Basicamente, a rede elétrica da concessionária é vista como o elemento armazenador, pois toda a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede (URBANETZ, 2010).

O foco deste trabalho são os SFCRs, logo, serão analisados de maneira mais detalhada ao decorrer deste trabalho.

### 2.3 Funcionamento técnico do SFCR

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica têm apresentado grande crescimento entre as fontes de geração de energias renováveis no cenário mundial, principalmente em países como Alemanha (32,4 GWp), Itália (16,3 GWp), China (8,3 GWp), Estados Unidos (7,8 GWp), Japão (6,9 GWp) e Espanha (5,2 GWp) (EPIA,

2014). Comparado a estes países, o Brasil é um iniciante nesse ramo, porém, é notável o grande potencial de crescimento para os próximos anos. Muitos empreendimentos estão sendo realizados neste setor no Brasil, partindo de cerca de apenas 200 kWp de capacidade instalada em 2010, para mais de 4 MWp em 2013. A tendência de crescimento provém principalmente da regulamentação por parte da ANEEL, que desde abril de 2012, trata das relações entre as concessionárias de energia e pessoas físicas ou jurídicas que realizem investimento em energia solar fotovoltaica, estabelecendo no Brasil um sistema de compensação, onde ao final do mês o excedente de energia do SFCR injetado na rede elétrica da concessionária é transformado em créditos de energia que podem ser consumidos em outro momento, sem haver a remuneração pela energia, apenas o acúmulo de créditos, que devem ser utilizados em um prazo de até 60 meses (ANEEL, 2015).

O sistema é composto de um painel com módulos fotovoltaicos, que convertem a energia solar em energia elétrica em corrente contínua (CC) e também possui o inversor, que tem a função de converter essa corrente contínua em corrente alternada (CA), com frequência e tensão compatíveis com os valores da rede elétrica (GEHRING et al., 2015).

O SFCR permite que o proprietário do sistema utilize o sistema fotovoltaico ou a rede, garantindo assim a alimentação das cargas mesmo em períodos de baixa incidência de luz. Isto somente é possível devido ao uso de componentes de eletrônica de potência na saída do módulo (RIBEIRO, 2012).

A Figura 2.3 a seguir exemplifica um diagrama básico dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

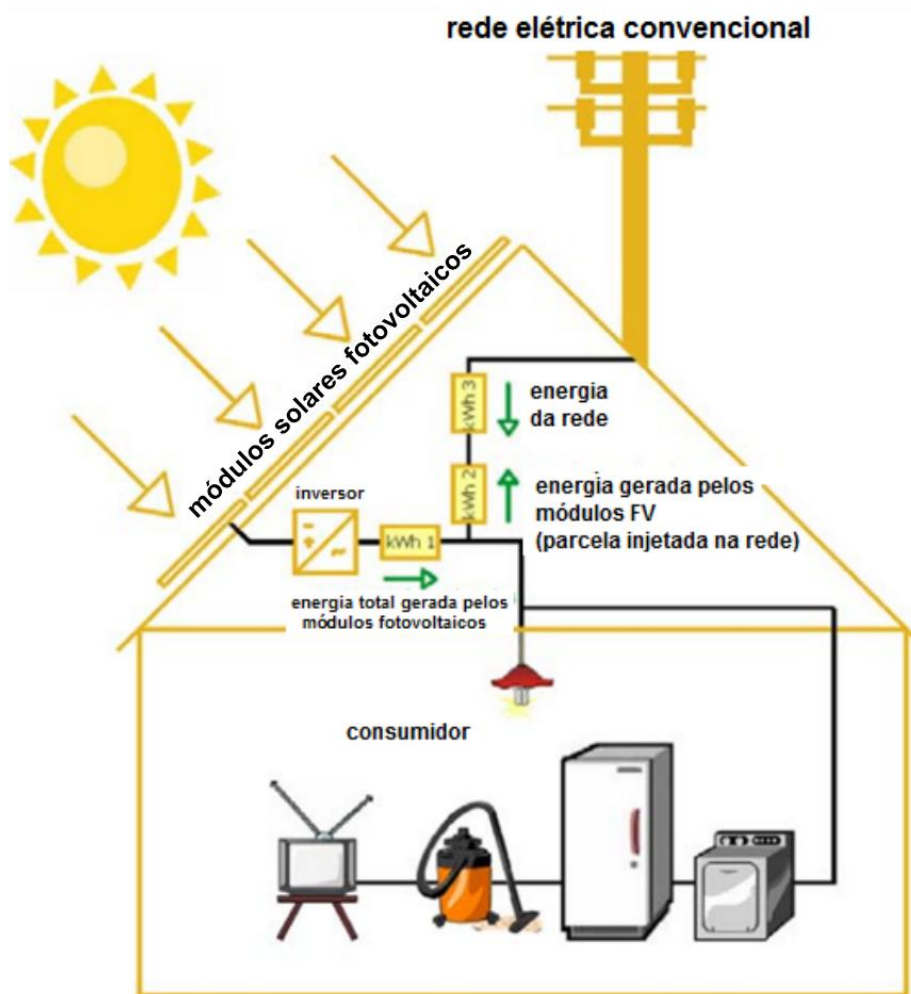


Figura 2.3 – Diagrama esquemático de um SFCR.  
Fonte: Adaptado de Ruther, 2004.

Basicamente, os SFCRs podem se dividir em dois tipos, segundo Ruther (2004): de forma centralizada, como se fosse uma usina convencional e longe dos consumidores; e de forma integrada a edificação, próxima ao consumidor e descentralizada.

Os sistemas distribuídos apresentam algumas vantagens em relação aos sistemas centralizados, pois as perdas provenientes da distribuição e transmissão diminuem consideravelmente pelo fato de estarem próximos ao ponto de consumo (GEHRING et al., 2015).

A Figura 2.4 abaixo mostra um exemplo de SFV descentralizado conectado à rede.



Figura 2.4 – Sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica.  
Fonte: Casa da Sustentabilidade, 2015.

## 2.4 Qualidade de energia

Um tema recorrente é a preocupação com os impactos que a implantação de vários sistemas fotovoltaicos pode trazer para a qualidade da energia elétrica (QEE) das instalações de baixa tensão e redes de distribuição, como as regulações de tensão e as distorções harmônicas de corrente e tensão.

Os impactos causados pela tecnologia do SFCR causam uma grande preocupação em relação a QEE, principalmente relacionado aos sistemas de baixa tensão. Tais impactos variam desde critérios de confiabilidade, qualidade, até segurança pessoal. Esses sistemas podem provocar alterações nos níveis de distorções harmônicas de tensão e corrente, além de elevar os valores dos níveis de tensão eficaz (MOLIN, 2014).

As cargas atuais possuem características muito diferentes, elas são capazes de gerar maiores distorções e são muito mais sensíveis a distúrbios. Assim, a garantia de controle desses distúrbios elétricos se torna muito relevante, pois em alguns casos eles podem alterar o funcionamento de outros equipamentos, diminuir a vida útil e gerar perdas elétricas significativas (LOURENÇO, 2012).

A não linearidade dos equipamentos elétricos e componentes da própria instalação elétrica e da rede elétrica, podem provocar alterações de tensão e corrente em um sistema elétrico de corrente alternada, tornando o que era pra ser um perfil puramente senoidal em outros sinais elétricos associados a esse perfil (LOURENÇO,

2012).

As distorções harmônicas podem ocasionar problemas na operação de dispositivos de proteção como relés, disjuntores e fusíveis, aquecimento de condutores causados por perdas elétricas, ressonância, diminuição da vida útil de equipamentos, erros de medição e instrumentação, disparos indevidos de dispositivos de eletrônica de potência, interferência eletromagnética em equipamentos de telecomunicações, flutuação da intensidade luminosa (efeito *flicker*) e alteração do funcionamento de equipamentos, tais como computadores e CLPs (computadores lógico programáveis) que podem estar operando máquinas na indústria, por exemplo (SOUZA, 2010).

Outro fenômeno que deve ser levado em consideração é o ilhamento, que acontece quando uma parte do sistema elétrico que está abastecendo uma instalação com cargas e outras entradas de geração é desconectado – de maneira acidental ou proposital – mas as cargas continuam a ser alimentadas por outros sistemas de geração distribuídos conectados à elas, caracterizando um sistema isolado. Em um SFCR pode ocorrer esse fenômeno, fazendo com que a instalação continue energizada mesmo quando a alimentação pela rede estiver desconectada (MOLIN, 2014).

Por isso é de extrema importância que os inversores dos sistemas de geração fotovoltaicos possuam um sistema anti-ilhamento, que consiste basicamente no desligamento do inversor em caso de falha na rede elétrica de alimentação, interrompendo, então, o fornecimento de tensão ou variações de tensão de curta duração. Essa proteção é enfatizada nas normas (IEEE-519, 1992; IEEE-929, 2000). No Brasil, os inversores devem satisfazer a norma ABNT NBR IEC 62116:2012, publicada no início do ano de 2012 (MOLIN, 2014).

## **2.5 Principais normas**

### **2.5.1 NR 482/12**

Para reger as conexões na rede elétrica, a ANEEL, na sua função de normatizar o sistema de geração, distribuição e utilização de eletricidade, em âmbito nacional, baixou em 2012 uma norma para a conexão dos mini e micro geradores à rede elétrica. A norma regulamenta as conexões dos geradores descentralizados do

usuário à rede de distribuição elétrica. Segundo esta norma, não há a compra da energia, e sim um empréstimo da energia gerada pelo usuário. O usuário, basicamente, fará um empréstimo da energia excedente à concessionária, que devolverá esta energia assim que o usuário necessitar. Para isso, a concessionária e o usuário deverão adequar-se aos padrões, pois existe um procedimento burocrático para que ocorra esta conexão (ANEEL, 2012).

A norma cita que as distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais (ANEEL, 2012).

### **2.5.2 NR 687/15**

A Resolução Normativa 687/2015 da ANEEL veio com o intuito de aprimorar o que foi estabelecido na resolução 482/2012 e criou o sistema de compensação de energia elétrica, que permite a instalação de pequenas usinas de geração de energia pelos consumidores. As novas regras determinaram também, que a instalação de geradores com potência de até 75 kW, será considerado microgeração. A minigeração será considerada para valores acima dessa potência, até o valor de 5 MW (MINAS ENERGY, 2016).

Quando a energia consumida é menor do que a quantidade de energia gerada, créditos serão gerados e poderão ser compensados no prazo de até cinco anos. Então, se o consumidor possuir outras instalações em seu CPF, poderá utilizar os créditos excedentes para compensar os gastos dessas outras unidades de consumo. Esse tipo de compensação é denominado *net metering*, ou “autoconsumo remoto” (MINAS ENERGY, 2016).

Outra mudança dessa nova resolução é a possibilidade de geração distribuída em condomínios. Os próprios consumidores definem a porcentagem em que os créditos gerados podem ser compensados nas múltiplas unidades do condomínio. Além disso, a ANEEL criou também a geração distribuída, permitindo que diferentes consumidores se unam em consórcio ou cooperativa, instalem um micro ou minigerador e utilizem a

energia gerada para reduzir as suas contas de energia elétrica. Houve mudança também no prazo que as concessionárias têm para conectar as usinas com potência de até 75kW, que agora é de 34 dias (MINAS ENERGY, 2016). Outro ponto positivo, é que desde janeiro de 2017, todo o acompanhamento do processo pode ser feito através da internet.

## 2.6 Dimensionamento do SFV

Diversos fatores estão envolvidos no projeto de sistemas fotovoltaicos, entre eles: orientação dos módulos, demanda a ser atendida, disponibilidade de área e recurso solar. O projeto visa adequar o gerador fotovoltaico às necessidades que a demanda define. Para o dimensionamento de um SFV, é necessário ajustar a demanda de energia elétrica e a energia radiante recebida do sol pelos módulos fotovoltaicos (CEPEL, 2014).

Como pode ser observado a seguir (Figura 2.5), os blocos de um sistema fotovoltaico conectado à rede consistem em geração e equipamentos para controle e condicionamento de potência.

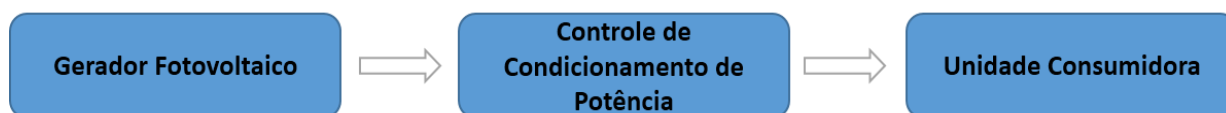


Figura 2.5 – Diagrama de blocos de um SFCR.  
Fonte: Do próprio autor, 2018.

Para o desenvolvimento de um SFCR, as principais etapas do projeto são:

- Levantamento do recurso solar local;
- Definição da localização e configuração do sistema;
- Dimensionamento do gerador FV;
- Dimensionamento do inversor;
- Definição do arranjo fotovoltaico;
- Dimensionamento da proteção.

Os procedimentos de distribuição – PRODIST – devem ser seguidos e respeitados cuidadosamente pelos elaboradores dos projetos de SFCRs. Uma de suas

seções refere-se ao acesso à rede por micro e minigeração distribuída, a instalação de um sistema conectado à rede deve seguir a concessionária local de distribuição de energia e sua norma específica, que deve estar acessível na página da empresa na internet (CEPEL, 2014).

### 2.7.1 Recurso Solar

Na fase inicial do projeto, o primeiro passo é quantificar a radiação solar que irá incidir sobre o painel fotovoltaico que será instalado. A irradiância solar é muito significativa, pois as características elétricas do gerador dependem basicamente dela. Seu valor pode variar significativamente em pequenos intervalos de tempo, devido principalmente às nuvens em dias nublados (CEPEL, 2014).

Nas estimativas de produção de energia elétrica, ignoram-se as variações de irradiância a cada instante e considera-se a totalidade da energia convertida em intervalos horários. O conceito de linearidade entre produção de energia e irradiância horária traz a expressão: Horas de Sol Pleno (HSP), que são basicamente a energia solar acumulada durante um dia (CEPEL, 2014).

Hoje em dia existem *softwares* que fazem a análise de irradiância do local desejado. A exemplo, têm-se o projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), cujo foco é promover o levantamento de uma base de dados confiável e de qualidade, que visa auxiliar no planejamento e desenvolvimento de políticas públicas de incentivo a projetos nacionais de energia solar e eólica. Pode ser empregado em estudos de viabilidade econômica durante o andamento de projetos, pois sua base de dados é compatível com sistemas de informação geográfica (RUTHER et al, 2006).

No Brasil, os produtos destinados à energia solar foram desenvolvidos em parceria com INPE e o LABSOLAR/UFSC (Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina), utilizando como referência dados ambientais e socioeconômicos disponibilizados por parceiros e o modelo de transferência radiativa BRASIL-SR. O Projeto SWERA teve como consequência o desenvolvimento de produtos importantes na área, como mapas impressos e digitais de irradiação solar de alta resolução, geração de séries temporais horárias, construção de diferentes cenários de aproveitamento da energia solar desenvolvidos com o uso de ferramentas de um sistema de informações geográficas (RUTHER et al, 2006).



### 2.7.2 Localização

Ainda que a região da instalação tenha um recurso solar considerado uniforme, a escolha do local adequado para a instalação do painel fotovoltaico é crucial para o seu desempenho. A máxima eficiência deve ser garantida com a correta integração dos elementos arquitetônicos e de sombreamento ou superfícies reflexivas que possam interferir na qualidade do SFV. Regiões isoladas são mais propensas à superfícies livres, enquanto que, nas cidades, o posicionamento dos painéis é uma tarefa mais complicada. Então, a fim de facilitar esse processo de análise, foram criados alguns programas de dimensionamento que permitem incorporar o modelamento 3D de prédios e objetos próximos, para se fazer a simulação de desempenho do sistema. Aspectos como a inclinação, orientação azimutal do painel, resistência do telhado e efeito dos ventos também são bastante relevantes durante o momento da escolha da posição efetiva dos módulos (CEPEL, 2014).

### 2.7.3 Dimensionamento do gerador

Não é recomendado que o SFV gere mais energia, ao longo do ano, do que a consumida pela unidade consumidora-geradora, em virtude do sistema de compensação de energia definido pelo órgão regulador. Logo, recomenda-se o cálculo do custo de geração incluindo os impostos da energia gerada excedente.

Uma forma otimizada de dimensionamento para o gerador fotovoltaico é levantar o consumo médio diário anual da edificação (Wh/dia) descontando o valor da disponibilidade mínima de energia, aplicável ao faturamento mensal de consumidores do grupo B. Este valor é calculado analisando-se os históricos de faturas mensais do consumo energético emitidos na distribuidora local (CEPEL, 2014).

A Equação 2.1 define a potência do gerador, por meio da escolha de uma fração da demanda de energia elétrica consumida que se pretende suprir.

$$P_{FV} (Wp) = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{MA}} \quad (Eq. 2.1)$$

Em que:

$P_{FV}$  – Potência de pico do painel;

$E$  – Consumo diário médio anual ou fração deste;

$HSP_{MA}$  – Média diária anual de horas de sol pleno incidente no painel;

$TD$  – Taxa de desempenho.

A taxa de desempenho é medida pela relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. Leva em conta a potência real do sistema em condições de operação e as perdas envolvidas (por quedas de tensão, sujeira no painel, sombreamento, entre outras), portanto, é um parâmetro importante na avaliação da geração de energia do SFV. Em SFCRs residenciais, no Brasil, é comum obter-se uma TD entre 70 e 80%. No entanto, o desempenho de um sistema fotovoltaico pode ser bastante influenciado pela temperatura ambiente, então, a fim de uma maior certeza na estimativa de TD, programas de dimensionamento são utilizados (CEPEL, 2014).

Depois de dimensionado o gerador, é importante a análise de qual tecnologia melhor atenderá ao projeto, pois o custo da energia gerada e as vantagens elétricas e arquitetônicas de cada tecnologia deve ser levada em conta. Outro fato relevante, é que a cobertura onde o gerador é fixado recebe uma carga mecânica em função do peso de todos os componentes do gerador que serão instalados, como os módulos, estruturas, cabos etc. Sendo assim, é de extrema importância que a verificação da estrutura seja realizada por um profissional qualificado (CEPEL, 2014).

#### **2.7.4 Dimensionamento do inversor**

Para o correto dimensionamento do inversor, é necessário conhecer a potência do gerador, a tecnologia do módulo que compõe o mesmo, as características ambientais locais e a topologia de instalação escolhida.

Ao longo dos anos, os inversores apresentaram uma redução de custos, ainda que não tenha acompanhado o nível de queda dos módulos fotovoltaicos. Com isso, a tendência é otimizar ao máximo possível o inversor utilizado. O dimensionamento deve garantir que o inversor não trabalhe abaixo da potência nominal e nem seja sobrecarregado por muito tempo. Eles podem ser submetidos a elevadas temperaturas

devido ao local de instalação, nestes casos, recomenda-se que a potência do inversor seja igual ou superior à do gerador (CEPEL, 2014).

A relação entre a potência nominal CA do inversor e a potência de pico do gerador é representada pelo Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI). A potência do inversor e gerador devem ser dimensionadas a fim de que o FDI tenha um bom custo/benefício e isto exige simulação numérica, que deve utilizar dados horários de radiação e temperatura ambiente (CEPEL, 2014). A Eq. 2.2 demonstra o cálculo do FDI.

$$FDI = \frac{P_{Nca}(W)}{P_{FV}(Wp)} \quad (Eq. 2.2)$$

Em que:

$P_{Nca}$  – Potência nominal CA do inversor;

$P_{FV}$  – Potência pico do painel FV.

Outro fator importante para o dimensionamento é a tensão de entrada do inversor, que é igual a soma das tensões dos módulos associados em série. É importante levar em consideração as condições de temperatura, pois a máxima tensão do sistema acontece quando o painel encontra-se em baixas temperaturas. Inverno e verão rigorosos possuem forte influência na tensão, logo, o cálculo da máxima tensão de entrada deve ser realizado com cautela, pois ela nunca deve ser ultrapassada, visto que isso traz um grande risco de defeito para o equipamento. O número limite de módulos em série é calculado pela razão da máxima tensão de entrada do inversor e da tensão de circuito aberto para baixas temperaturas e também deve respeitar a tensão máxima suportada pelo módulo (CEPEL, 2014).

No período do verão no Brasil a temperatura dos SFVs pode alcançar valores superiores a 70°C, o que reduz a tensão CC do sistema, em função do coeficiente negativo de temperatura. Então, o número de módulos em série deve garantir tensões que atendam a faixa de tensão SPPM (seguidor de ponto de potência máxima) do inversor, caso contrário, a eficiência ficará comprometida (CEPEL, 2014). A Eq. 2.3 indica a definição do número de módulos.

$$\frac{V_{iSPPMmín}}{V_{mpTmáx}} < N^{\circ} \text{ módulos série} < \frac{V_{iSPPMmáx}}{V_{mpTmín}} \quad (Eq. 2.3)$$

Em que:

$V_{i_{SPPMmin}}$  – Tensão CC mínima de operação do SPPM do inversor;

$V_{i_{SPPMmax}}$  – Tensão CC máxima de operação do SPPM do inversor;

$V_{mpTmin}$  – Tensão máxima de potência na menor temperatura de operação;

$V_{mpTmax}$  – Tensão máxima de potência na maior temperatura de operação.

Por fim, a corrente do inversor não pode ultrapassar a corrente CC máxima de entrada, então, deve-se calcular o número máximo de fileiras das séries fotovoltaicas, conectadas em paralelo, a partir da Eq. 2.4.

$$N^{\circ} \text{ séries FV paralelo} = \frac{I_{i_{max}}}{I_{sc}} \quad (2.4)$$

Em que:

$I_{i_{max}}$  – Corrente CC máxima permitida na entrada inversor;

$I_{sc}$  – Corrente de curto do módulo FV nas STC.

Nestes casos, é importante ainda observar se o fabricante indica o número máximo de séries FV em paralelo que pode ser utilizada. Em alguns casos, o inversor disponibiliza mais de uma entrada independente com ponto de SPPM, então, o fabricante deve indicar os limites para cada seguidor, que podem ser iguais ou não (CEPEL, 2014).

## 2.7 Escolha dos arranjos

Esta seção apresenta as definições do que é arranjo fotovoltaico, seus aspectos elétricos e as possibilidades de *layout*.

### 2.8.1 Arranjos fotovoltaicos

O arranjo FV é uma associação de módulos, conexões, diodos de proteção e estruturas de suporte. O módulo é um dispositivo gerador que consiste em um conjunto

de células fotovoltaicas interligadas e conectadas. A estrutura de sustentação dos módulos é composta de materiais como madeira, aço galvanizado ou alumínio. Os arranjos podem conter, também, dispositivos de orientação do painel segundo o movimento do sol. Esse rastreamento do sol pode ser parcial, com movimento em torno dos eixos leste ou oeste durante o dia, ou um rastreamento total, acompanhando o movimento do sol de norte a sul durante as estações do ano. A energia produzida durante o ano pode aumentar em torno de 40% com o uso do rastreador, no entanto, esse equipamento eleva o custo do sistema e representa um componente móvel sujeito à manutenção, gerando, assim, mais gastos (FADIGAS, 2014).

### **2.8.2 Módulos fotovoltaicos**

Normalmente, os módulos solares fotovoltaicos encontrados no mercado apresentam tensões nominais de saída relativamente baixas, variando de 12 V até 100 V. A tensão de entrada do inversor não necessita estar nesta faixa, sendo que inversores que utilizam um transformador operam com tensões de entrada, em geral, abaixo de 100 V e inversores sem transformador operam em tensões de entrada mais elevadas. Logo, o arranjo fotovoltaico muitas vezes apresenta uma combinação série/paralelo para atingir a tensão de entrada desejada para o inversor, do que decorrem algumas implicações importantes (RUTHER, 2004).

Células fotovoltaicas podem ser associadas em série, paralelo ou de maneira mista. Em todos os tipos de associações, problemas ocasionados pela não identidade das células e do seu funcionamento em situações não desejadas, podem aparecer e ocasionar sérios danos aos componentes da associação. Para minimizar ou evitar estes danos, em associações que envolvam um grande número de células, faz-se necessário o uso de dispositivos de proteção tais como diodos de desvio (*bypass*) e de bloqueio, conectados em pontos estratégicos (HECKTHEUER, 2001).

A seguir, são apresentadas as principais características das diferentes associações de células fotovoltaicas. O método utilizado para a associação de células pode ser estendido para associações de módulos fotovoltaicos.

### 2.8.3 Associação de módulos fotovoltaicos em série

A grande maioria dos módulos fotovoltaicos são montados para operar com tensão nominal de 12 V. Dependendo do tipo de células que os constituem, apresentam mais ou menos células associadas em série. Entre os tipos de células mais utilizados estão a de silício monocristalino (módulos com 30 a 36 células), silício policristalino (geralmente módulos com 36 células) e silício amorfo (módulos de 27 ou 28 células). Em sistemas fotovoltaicos é frequente utilizar-se componentes elétricos de consumo que apresentam tensões nominais de 12, 24 ou 48 V. As tensões de 24 e 48 V são obtidas associando-se em série um maior número de células fotovoltaicas, como pode ser visto na Figura 2.6 (HECKTHEUER, 2001).

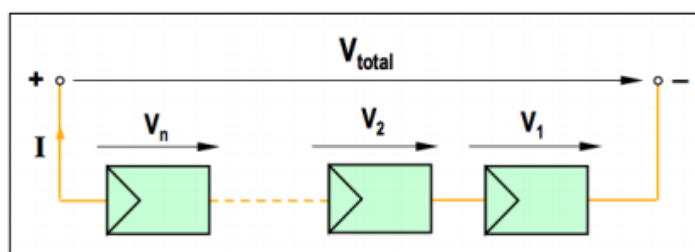


Figura 2.6 - Representação esquemática de uma associação em série de módulos fotovoltaicos.

Fonte: Carneiro, 2010.

Os inversores que não possuem transformador e têm maiores tensões de entrada, requerem um diâmetro menor para a fiação, já que vários módulos serão associados em série (para atingir a tensão de entrada do inversor) e a corrente gerada será baixa. Em casos como este, o sombreamento deve ser considerado com atenção, pois o módulo sob a menor iluminação é que determina a corrente de operação de todos os outros componentes do arranjo que estão conectados em série, o que pode levar ao comprometimento de todo o arranjo caso um dos módulos esteja sombreado (RUTHER, 2004).

O conjunto de módulos conectados em série é chamado de *string*. Os sistemas que possuem potência nominal superior a 1 kWp combinados a inversores sem transformador, em geral, utilizam associações série/paralelo, onde as *strings* são conectadas em paralelo ao sistema inversor (RUTHER, 2004).

A Figura 2.7 representa as curvas Corrente *versus* Tensão provenientes da

associação em série de módulos.

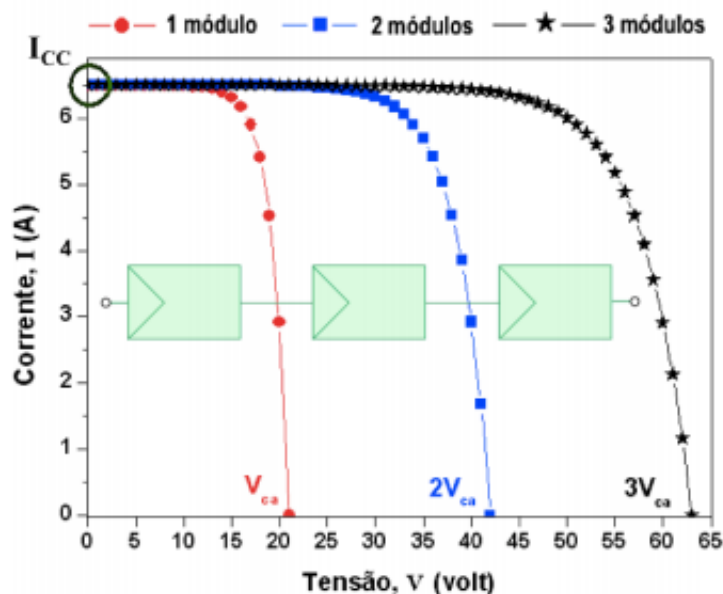


Figura 2.7 – Curvas relativas à associação em série de três módulos fotovoltaicos.  
Fonte: Carneiro, 2010.

#### 2.8.4 Associação de módulos fotovoltaicos em paralelo

Sistemas fotovoltaicos são projetados para atender às necessidades de tensão e corrente elétricas de uma determinada carga. O sistema deve entregar uma corrente de maior intensidade a medida que o valor dessa carga for aumentando, então, para suprir esta necessidade de corrente, muitas vezes torna-se necessário associar módulos fotovoltaicos em paralelo, como pode ser observado na Figura 2.8, visto que a corrente que cada módulo individualmente pode fornecer ao sistema é da ordem de poucos Ampères. Uma das principais características de uma associação paralelo é que a corrente da associação é igual à soma das correntes que circulam por cada uma das células associadas e a tensão é a mesma sobre todas as células (HECKTHEUER, 2001).

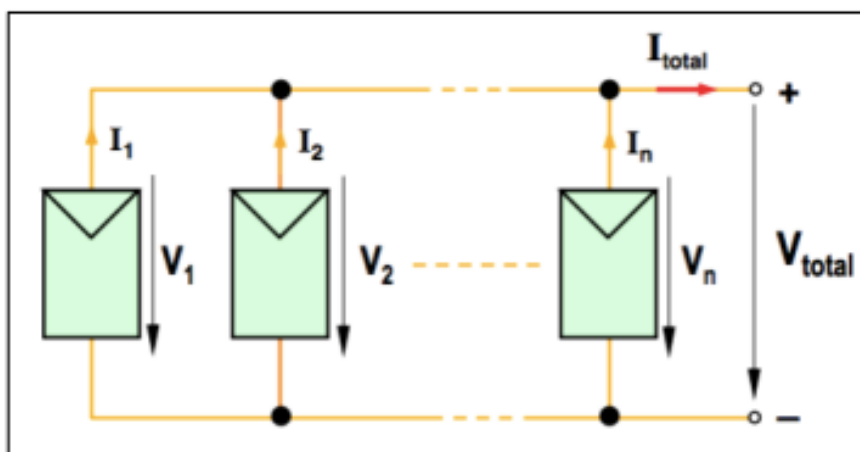


Figura 2.8 – Representação esquemática de uma associação em paralelo de módulos fotovoltaicos.

Fonte: Carneiro, 2010.

Ao se utilizar um inversor com transformador e tensão de entrada baixa, que seja compatível com a tensão de saída dos módulos solares individuais, todos os módulos podem ser conectados em paralelo com o inversor, com a vantagem de que a tensão do lado CC será baixa, oferecendo maior segurança na instalação, operação e manutenção do sistema. A conexão em paralelo traz vantagens na questão do sombreamento, pois a sombra incidente na superfície de um módulo irá afetar somente aquele módulo neste tipo de configuração. Este tipo de conexão traz uma desvantagem, pois baixas tensões implicam grandes correntes e então, cabos de maior diâmetro ou maiores perdas elétricas (RUTHER, 2004).

A Figura 2.9 representa as curvas Corrente *versus* Tensão provenientes da associação em paralelo de módulos.



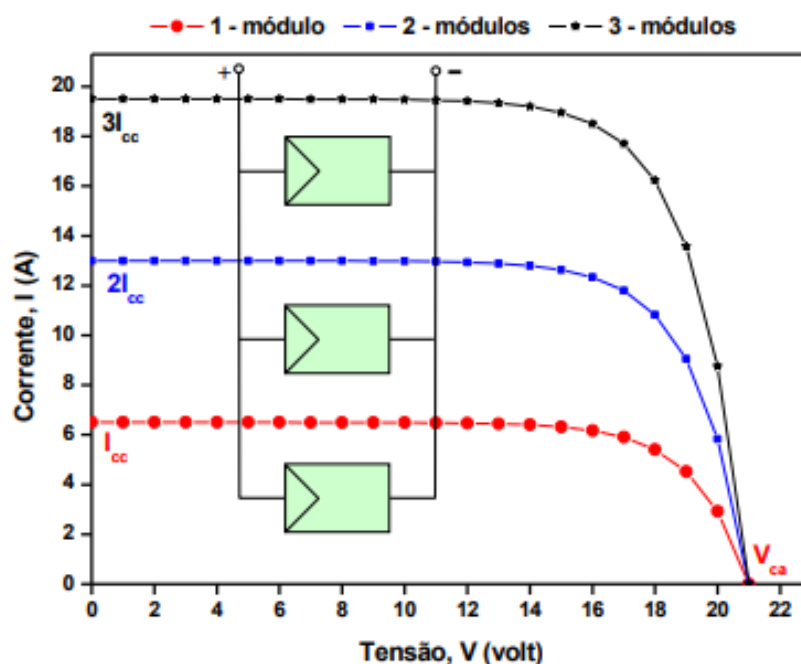


Figura 2.9 – Curvas relativas à associação em paralelo de três módulos fotovoltaicos.  
Fonte: Carneiro, 2010.

### 2.8.5 Associação mista de módulos fotovoltaicos

Uma associação muito comum presente nos SFCRs, é a ligação de várias fileiras de módulos em paralelo. Com a associação mista de módulos fotovoltaicos (Figura 2.10), obtêm-se as características das associações em série e em paralelo. No entanto, a partir dela, é possível alcançar valores mais elevados de corrente e de tensão. Considerando-se que o sistema é formado por módulos de um mesmo tipo, a corrente que atravessa cada fileira é igual (CARNEIRO, 2010).

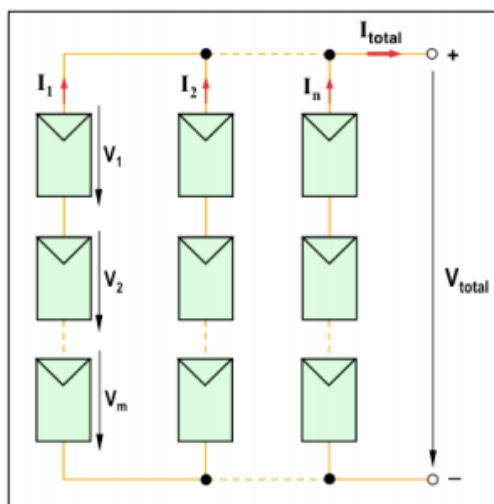


Figura 2.10 – Representação esquemática de uma associação mista de módulos fotovoltaicos.  
Fonte: Carneiro, 2010.

A Figura 2.11 a seguir representa as curvas Corrente *versus* Tensão provenientes da associação mista de módulos.

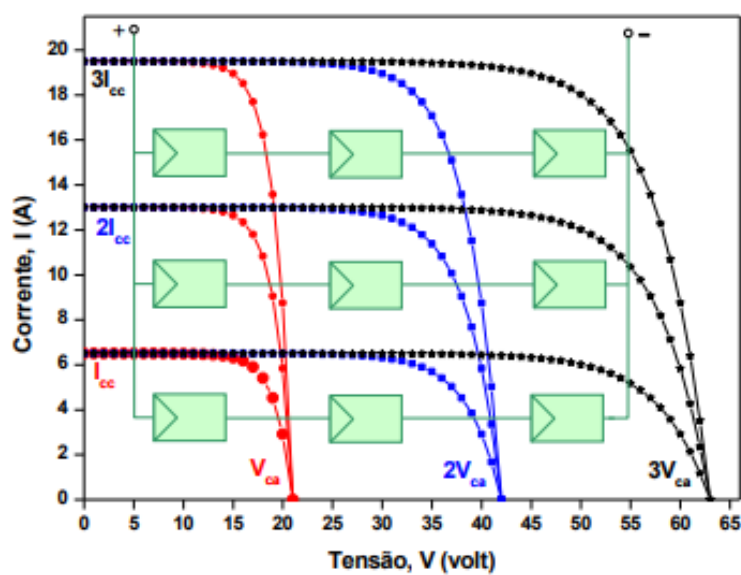


Figura 2.11 – Curvas relativas à associação mista de três módulos fotovoltaicos.  
Fonte: Carneiro, 2010.

## 2.8 Proteção

Alguns elementos de um SFV estarão sujeitos a intempéries por longos períodos, por isso, presando uma maior segurança, os mesmos necessitam de aterramento individual. Para se evitar tensões elevadas em caso de falha no aterramento, a estrutura de montagem dos painéis e todos seus elementos metálicos devem ser aterrados, assim como o círculo do arranjo fotovoltaico (RUTHER, 2004).

Outros aspectos de extrema importância em relação à segurança dos sistemas integrados a edificações e SFCR são: prevenção contra incêndios, dimensionamento correto de fios e cabos, aterramento e segurança relativos a agentes climáticos locais (principalmente vento). Diversos países incluem em seus sistemas circuitos de proteção para detecção de falhas no aterramento do arranjo fotovoltaico, que então, desconectam o sistema (WILES, 1991).

As associações de módulos fotovoltaicos devem conter diodos *bypass* em pontos estratégicos. Tais diodos de desvio são normalmente utilizados para evitar eventuais distúrbios que possam ocorrer em módulos fotovoltaicos associados em série. Assim, os diodos de *bypass* são ligados em paralelo com cada módulo que integra uma determinada fileira para efetuarem o desvio da corrente produzida pelos outros módulos. Desta maneira, apenas o módulo que apresentar defeito é colocado fora de serviço. No entanto, muitas vezes são utilizados diodos de fileira nas associações em paralelo. Caso apareçam avarias ou tensões diferentes nas fileiras, estes diodos têm a função de evitar curto-circuitos e correntes inversas entre fileiras (CARNEIRO, 2010). Na Figura 2.12 é possível analisar um esquema de utilização desses diodos.

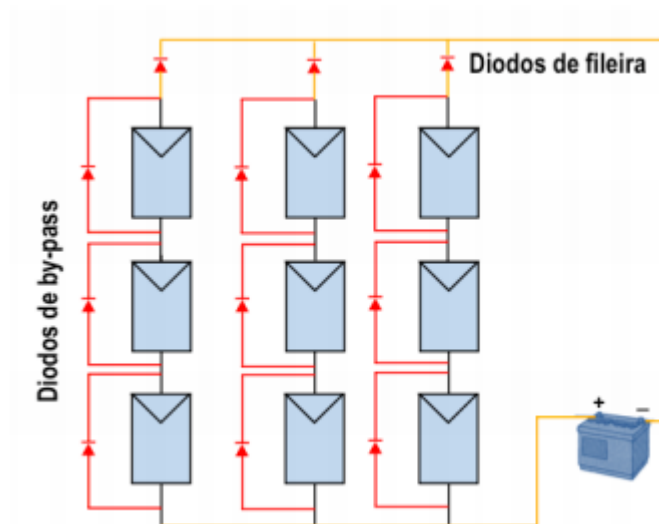


Figura 2.12 – Associação mista de módulos fotovoltaicos com diodos *bypass* e de fileira.  
Fonte: Carneiro, 2010.

### 2.9.1 Chaves seccionadoras

De acordo com a NBR 6935, chaves são dispositivos mecânicos de manobra que na posição aberta proporciona uma distância de isolamento, e na posição fechada mantém a continuidade do circuito elétrico. Essa norma define o seccionador como sendo um dispositivo mecânico de manobra capaz de abrir e fechar um circuito, quando uma corrente de intensidade desprezível é interrompida, ou restabelecida, caso não ocorra uma variação de tensão considerável através dos seus terminais (MAMEDE FILHO, 2005).

O interruptor é definido como um dispositivo mecânico de manobra capaz de fechar e abrir, em carga, circuitos de uma instalação sem defeito, com capacidade adequada de resistir aos esforços decorrentes. Eles são utilizados em subestações para desempenhar manobras de circuitos elétricos, sem carga, isolando disjuntores, transformadores e barramentos. São utilizados também, em redes aéreas de distribuição urbanas e rurais com a finalidade de seccionar os alimentadores durante manutenção ou realizar manobras previstas pela operação. Podem ainda manobrar circuitos, permitindo a transferência de carga entre barramentos de uma subestação; isolar equipamentos em uma subestação; garantir o *by-pass* de equipamentos (MAMEDE FILHO, 2005).

### 2.9.2 Fusíveis de proteção

Os fusíveis fotovoltaicos são componentes de proteção que possuem a função de proteger as *strings* do fluxo de corrente reversa de um conjunto de tensão maior, para um de menor tensão. Ele deve ser dimensionado para uma corrente menor que a corrente reversa que o módulo suporta. Os fusíveis são alojados na saída das séries, nos pólos positivos e negativos e devem ser para CC, preferencialmente, do tipo gFV, pois possuem maior durabilidade. Visto que os diodos de bloqueio apresentam falhas que prejudicam o desempenho do SFV, os fusíveis fotovoltaicos são uma alternativa para sua substituição (CEPEL, 2014).

### 2.9.3 Dispositivo de proteção contra surtos (DPS) CC

Em um sistema fotovoltaico, o lado CC é afetado pelos surtos de tensão causados devido a raios que caem próximos a ele. É necessário prever que na corrente contínua só é possível instalar centelhadores (dispositivos que possuem dois eletrodos separados pelo ar) em série com os varistores, pois, como a corrente contínua nunca cruza o zero, quando o arco no centelhador se inicia, ele se desfaz apenas com o auxílio de varistores, que voltam aos valores de resistência elevados quando se acaba o surto, limitando a corrente e desativando o arco no centelhador (FINDER, 2012).

Para garantir a proteção do lado CC, é necessário instalar um DPS Classe II na extremidade da linha, próximo do inversor e dos módulos fotovoltaicos. A proteção ideal vem da utilização cabos blindados, aterrado nas duas extremidades e aterrando os DPSs apropriados. Porém, o uso de cabos blindados é raro, devido seu alto custo, então, recorre-se apenas aos DPSs (FINDER, 2012).

### 2.9.4 Dispositivo de proteção contra surtos CA

Os surtos de tensão que surgem por acoplamento resistivo podem gerar descargas perigosas porque contém energia suficiente para iniciar um incêndio ou

destruir os equipamentos ligados à rede elétrica CA. Um raio que atinge a rede elétrica e se propaga por ela, é um exemplo desse acoplamento e com ele, podem surgir tensões perigosas de toque e de passo, que têm um percurso decrescente e são perigosas para seres vivos. As instalações fotovoltaicas estão conectadas à rede elétrica, logo, estão sujeitas a esses tipos de surtos de tensão. Então, o inversor deve ser protegido dos surtos de tensão induzidos e dos transportados pela rede elétrica devido a impactos diretos e indiretos de raios. O inversor pode ser equipado com um transformador de isolamento, que representa um ótimo filtro contra surtos de tensão, neste caso, o DPS protege o transformador. Em caso de ausência de um transformador, deve-se instalar um ou mais DPSs no ponto de entrada da energia elétrica (FINDER, 2012).

## 2.9 Estudo de Viabilidade Econômica

A crise energética não é uma questão recente, mas segue como um tema muito debatido mundialmente, pois se tornou um dos grandes desafios da atualidade. Então, ao longo dos anos, essa preocupação transformou-se em uma busca por fontes alternativas de energia, com intuito de reduzir os impactos ambientais e garantir energia em locais isolados. Nesse sentido o sol, como fonte de energia solar, se tornou uma excelente alternativa para atender à crescente demanda energética (CABRAL, 2012).

Ainda que os sistemas fotovoltaicos possuam um custo relativamente alto de implantação, os grandes aumentos no preço da energia elétrica e alguns incentivos governamentais transformaram essa fonte de energia em uma alternativa de grande valia, assim, a viabilidade em tal investimento se mostra promissora.

Primeiramente, para se investir em SFVs é necessário levar em consideração o tempo de retorno do investimento, o momento em que é possível obter lucros (também conhecido como *payback*). Como a demanda de cada projeto é diferente, não é possível estabelecer uma regra geral que determine a viabilidade econômica da instalação de um SFCR.

Outro ponto de extrema importância é considerar a vida útil de cada equipamento durante o dimensionamento do projeto. Por exemplo, os inversores apresentam vida útil média de 10 a 15 anos, já os painéis fotovoltaicos, tem seu perfeito

funcionamento garantido por aproximadamente 25 anos. Os gastos com manutenção dos equipamentos também são relevantes, a empresa Bluesol considera um valor médio de 0,5% do custo total da implantação do sistema fotovoltaico como o valor anual gasto com manutenção. Outros fatores que devem ser considerados são as classes de consumidores e os aumentos das tarifas, que acontecem aproximadamente a cada ano, e as taxas de juros do mercado. Logo, todos esses custos à longo prazo deve entrar nos cálculos de viabilidade para o investimento.

Para estudos de viabilidade de SFV em geral, é necessário recorrer à legislação local e dependendo das características do projeto, podem ser utilizados diferentes indicadores econômico/financeiros. Destes, os principais são: *payback*, VPL (valor presente líquido), e TIR (taxa interna de retorno), os quais serão definidos a seguir.

### **2.10.1 *Payback***

O *payback* simples é um método de análise que evidencia o tempo no qual o investimento inicial pode ser recuperado. Este método considera o fluxo de caixa dos períodos em análise e define como tempo de *payback* o número necessário de períodos para se pagar o investimento inicial (LEMES JÚNIOR et. al, 2002).

### **2.10.2 Valor presente líquido**

O valor presente líquido é a diferença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa associadas ao projeto e o investimento inicial necessário. É considerada uma técnica de orçamento sofisticada, seu valor é determinado subtraindo-se do valor inicial do projeto, o valor das entradas líquidas em caixa, descontadas a uma taxa igual ao custo capital da empresa. O critério do valor presente líquido fornece indicação a respeito do potencial de criação de valor de um investimento, assim, o VPL pode ser considerado uma medida de quanto valor é criado ou adicionado hoje, realizando determinado investimento. No entanto, é necessário trazer a valor presente todos os fluxos de caixa esperados, utilizando uma taxa de desconto e após reduzir estes valores do desembolso inicial do projeto. O VPL é considerado por muitos

profissionais da área finanças, o método de análise de investimento em projetos mais utilizado, pois permite uma fácil interpretação dos resultados. Sua utilização para a tomada de decisões facilita o alcance do principal objetivo financeiro, que é maximizar a riqueza do proprietário (DASSI et al, 2015).

A Eq. 2.5 demonstra o cálculo do VPL.

$$VPL = \sum_{i=0}^n \frac{FC_i}{(1 + TMA)^i} \quad (Eq. 2.5)$$

Em que:

$FC_i$  – Fluxo de caixa do período;

$TMA$  – Taxa mínima de atratividade.

### 2.10.3 Taxa Interna de Retorno

A taxa interna de retorno é a taxa de juros que torna o valor presente do fluxo de caixa igual à zero, ou seja, é a rentabilidade projetada do investimento estimando quanto se deseja executar um projeto de acordo com o fluxo de caixa definido. Ela é uma medida muito utilizada no orçamento de capital, pois representa a taxa de juros para a qual o valor presente das entradas de caixa resultantes do projeto iguala o valor presente dos desembolsos do mesmo. Caracteriza, assim, a taxa de remuneração do capital investido (DASSI et al, 2015).

O TIR corresponde ao valor de TMA que zera o resultado da Eq. 2.5

### 2.10 Escolha de marcas e componentes

Esta seção apresenta uma descrição sobre a escolha das marcas que foram utilizadas para compor o banco de dados do *software*.



### 2.11.1 Painel solar

A CANADIAN SOLAR é uma das maiores fabricantes mundiais de painéis solares fotovoltaicos (Figura 2.13). São reconhecidos em todo mundo por fabricarem placas solares confiáveis, muito eficientes e de alta qualidade. Seu grande diferencial é o rigor durante o processo de fabricação e controle de qualidade do painel solar, resultando em equipamentos com maiores durabilidade e confiabilidade. Alguns painéis possuem maior tecnologia na interligação das células que a compõe, aumentando assim sua potência (pois reduz a resistência elétrica entre as células) e confiabilidade no sistema. Possuem ainda certificado Inmetro Classe A, excelente desempenho mesmo com baixa irradiação solar, estrutura reforçada e uma garantia de 10 anos contra defeito de fabricação e 25 anos para perda de eficiência maior que 20% (NEOSOLAR).



Figura 2.13 – Painel solar CANADIAN SOLAR.  
Fonte: NEOSOLAR.

Outra marca que se destaca no mercado de painéis, é a SUNTECH, da China, que entrou em operação no ano de 2001. Possuem painéis compostos por 60 células solares monocristalinas com tecnologia *HyPro* BSF e passivação superfície traseira. Esta combinação de tecnologias garante um painel de grande resistência à degradação e excelente desempenho para operar com baixa incidência de luz solar. Possuem caixa de junção protegida em caso de imersão em água, resistência a vento (3800 Pa) e neve (5400 Pa), garantia do produto de 10 anos e garantia de rendimento de 25 anos (MPPTSOLAR).

### 2.11.2 Inversor de frequência

Os inversores solares, também conhecidos como *grid-tie* são dispositivos indispensáveis para sistemas de energia fotovoltaica. Eles realizam a conversão da saída variável CC dos módulos fotovoltaicos em corrente senoidal limpa CA/60 Hz, que, assim, pode ser aplicada diretamente à rede elétrica local ou comercial. De acordo com a SOLAR ENERGY DO BRASIL, seus inversores tem as seguintes características que o tornam de alta eficiência/confiabilidade e boa relação custo-benefício:

- Tensão de entrada elevada, o que torna possível a ligação com mais painéis fotovoltaicos;
- Dois rastreadores MPP (máximo ponto de potência). Uma ampla faixa de tensão MPP se encaixa em diferentes locais ou condições meteorológicas.
- Alta precisão de rastreamento MPP. Coleta a maior parte da energia dos painéis;
- Isolação Galvânica sem transformador;
- Operação fácil no *display*;
- Chave Liga/Desliga CC;
- Componentes eletrônicos de alta qualidade;
- Tamanho pequeno, leve e fácil instalação.

Os métodos de proteção a seguir são integrados no inversor solar fotovoltaico da Solar Energy do Brasil:

- Proteção interna contra sobretensão;
- Monitoração da isolação CC;
- Varistor na entrada CC;
- Proteção de aterramento;
- Monitoração da rede de energia elétrica;
- Monitoração da corrente elétrica;
- Proteção anti-ilhamento (ABNT NBR IEC 62116).

A SOLAR ENERGY oferece garantia de 5 anos contra qualquer defeito de fabricação a partir da data de emissão de nota fiscal de venda. Não terão cobertura de

garantia de fabricação defeitos decorrentes de anormalidades climáticas ou atmosféricas, roubos, acidentes, incêndios, manipulações incorretas, manutenção por terceiros, abertura dos equipamentos, instalações incorretas, imperícia de operação, rompimento de qualquer um dos lacres de garantia, inundações, descargas elétricas, casos fortuitos ou de força maior (SOLAR ENERGY).

Outra fabricante de sucesso no ramo dos inversores de frequência é a FRONIUS BRASIL. Seus produtos impressionam pelo *design* totalmente sofisticado e pacotes de comunicação integrada, que tornam a instalação, operação e manutenção, extremamente eficientes em termos de tempo e custos. Os modelos individuais possuem aspectos técnicos que visam atender todas as exigências dos SFV atuais e futuros, garantindo máxima flexibilidade na planificação do sistema. Podem ser usados para todos os sistemas fotovoltaicos, a partir de sistemas residenciais até instalações fotovoltaicas em grande escala (FRONIUS BRASIL).

A FRONIUS possui inversores centrais ideais para qualquer SFV comercial ou industrial. São os únicos em sua categoria de potência que permitem que a instalação e manutenção sejam responsabilidade do instalador. Os serviços podem ser prestados no local por um agente de serviço da empresa, o que poupa dinheiro e tempo. Os inversores possuem dimensões compactas e *design* inteligente, reduzindo custos de transporte e instalação. Ainda que sob condições climáticas extremas, os dispositivos podem ser instalados ao ar livre e entregar o mais alto desempenho. Dependendo do tamanho do sistema necessário, inversores individuais podem ser combinados, pois sua compatibilidade com todas as tecnologias de módulos populares proporciona flexibilidade adicional. Os produtos registrados possuem garantia de até 7 anos (FRONIUS BRASIL). Um exemplo de inversor pode ser visto na Figura 2.14 a seguir.



Figura 2.14 – Inversor de frequência FRONIUS.  
Fonte: FRONIUS BRASIL.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo está descrito as estratégias abordadas para o dimensionamento de um SFCR, obedecendo às fórmulas de dimensionamento descritas na seção 2 deste trabalho e utilizando-se dos componentes descritos também na seção 2.

#### 3.1 Estrutura do *software*

Como toda ferramenta computacional que é desenvolvida, o SonneProgram 2.0 (*software* desenvolvido neste trabalho) apresenta uma gama de variáveis de entrada que permitem um cálculo e dimensionamento de maior precisão do SFV.

Como ilustrado na Figura 3.1, a partir dos dados de entrada fornecidos o *software* realiza o cálculo da potência ideal do SFV e então o programa acessa o banco de dados e verifica qual o melhor inversor para tal sistema. Posteriormente, é calculada também a quantidade necessária de módulos para se atingir a potência necessária do sistema. Com o inversor e a quantidade de módulos definidos, é determinado o modelo do arranjo fotovoltaico, ou seja, define-se a quantidade de módulos em série e o número de *strings* deste sistema. Com o arranjo definido é possível, então, dimensionar todo o sistema de proteção, no qual têm-se os componentes previamente registrados no banco de dados do *software*. Após esta etapa, define-se a potência real do sistema e então é gerado um relatório com os dados gerais do sistema, a lista de componentes e uma análise financeira do mesmo.

Nas próximas seções serão abordados todos esses procedimentos de forma detalhada.

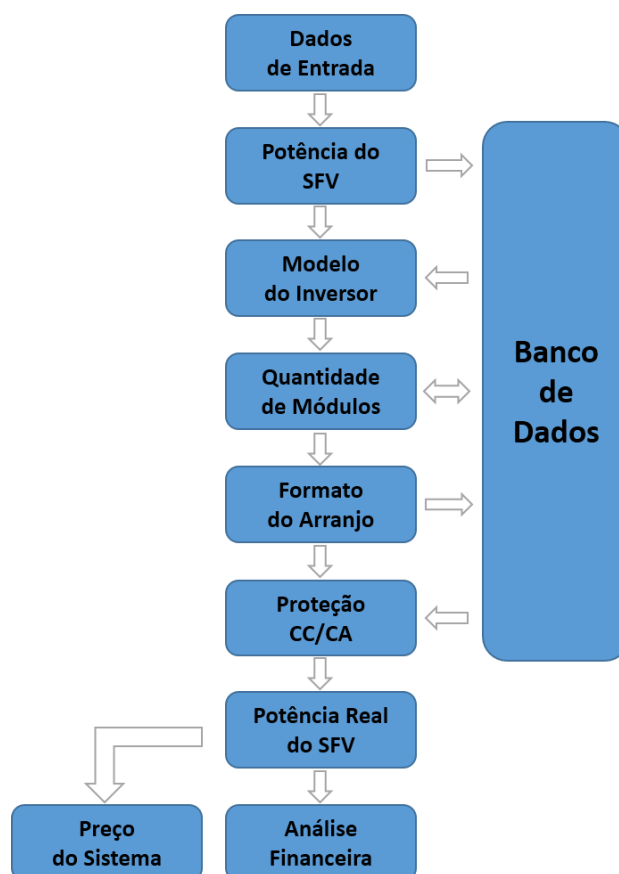


Figura 3.1 – Fluxograma de funcionamento do *software*.  
Fonte: Do próprio autor, 2018.

### 3.2 Banco de dados

Para a otimização do *software* foi incorporado um banco de dados, no qual estão presentes os componentes principais do SFCR. Foram descritos os modelos, especificações e marcas de módulos, inversores, DPSs, chaves seccionadoras, disjuntores e demais componentes de proteção.

Os módulos utilizados foram dispostos de acordo com sua potência, com valores variando de 280 W a 345 W, como pode ser observado no Anexo A. Os valores de corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ), corrente de máxima potência ( $I_{mp}$ ), tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), tensão de máxima potência ( $V_{mp}$ ), área e peso são de extrema importância para o projeto, pois auxiliam no dimensionamento dos outros equipamentos do sistema.

Foram utilizados apenas modelos da marca CANADIAN SOLAR, devido sua

alta performance e maior disponibilidade no mercado.

Os inversores *grid-tie* foram catalogados também a partir de suas potências e podem ser observados no Anexo B. Foram utilizados inversores das marcas FRONIUS e ABB, a fim de se garantir maior variedade para a escolha. Os modelos FRONIUS têm sua potência variando de 4 kW a 27 kW, e os da ABB variam de 3 kW a 120 kW.

Os inversores estão separados por modelos monofásico ou trifásico. Estão registrados a tensão no ponto de potência máxima ( $V_{smpp}$ ), sua corrente de entrada máxima ( $I_{in}$ ) e sua corrente de saída ( $I_{out}$ ), que também dependem e/ou influenciam na escolha de outros componentes do sistema.

As chaves seccionadoras da marca ABB foram escolhidas de acordo com sua corrente nominal, variando de 10 A a 32 A e podem ser analisadas no Anexo C.

Os disjuntores cotados para o projeto são da marca WEG e têm suas correntes variando entre 16 A e 1600 A e podem ser vistos no Anexo D.

### 3.3 Dados de entrada

Em relação ao trabalho de GONÇALVES (2017), a adição de mais variáveis foi uma das melhorias mais significativas do SonneProgram 2.0. Na versão inicial, o SonneProgram possuía apenas três variáveis de entrada (consumo médio, região de instalação e valor da tarifa energética), já a nova versão apresenta dez variáveis.

Esse ajuste nos dados de entrada se fez necessário para tornar o sistema dimensionado pelo *software* mais próximo a real necessidade do cliente. A Tabela 3.1 apresenta as variáveis de entrada do programa.

Tabela 3.1 – Variáveis de entrada.

<b>Variável</b>	<b>Descrição</b>
<b>Consumo médio anual</b>	Consumo médio de energia no período de um ano
<b>Fase/Tensão</b>	Sistema de alimentação da unidade consumidora e nível de tensão
<b>Região de instalação</b>	Região do país que será instalado o projeto para cálculo da irradiação solar
<b>Modelo Módulo</b>	Lista dos modelos de módulos disponíveis no banco de dados
<b>Marca Inversor</b>	Lista de marca de inversores disponíveis no banco de dados
<b>Tipo Telhado</b>	Lista com os tipos de telhados disponíveis no banco de dados
<b>Valor por Wp</b>	Preço que será cobrado por Watt-pico para definir preço final do sistema
<b>Valor da Tarifa Energética</b>	Valor atual da tarifa energética da unidade consumidora
<b>Depreciação Anual</b>	Depreciação anual da eficiência do sistema solar
<b>Inflação Projetada</b>	Inflação energética projetada

Fonte: Do próprio autor, 2018.

### 3.4 Dimensionamento do SFCR

Como descrito no item 3.1, o primeiro passo do *software* é realizar o cálculo da potência ideal do SFCR. Nesta etapa o programa realiza o cálculo descrito na Eq. 2.1, utilizando-se das variáveis de entrada “Consumo médio anual” e “Região de instalação” para definir os valores das variáveis “E” e “HSP”, respectivamente. A variável “TD” é definida com o valor de 70%, que é o menor valor sugerido para esta equação, isto permite que o sistema seja dimensionado para o pior cenário possível, contemplando inúmeras perdas de inclinação e sombreamento.

Com a potência definida o programa, então, realiza uma pesquisa no banco de dados, utilizando-se dos dados de entrada “Fase/Tensão” e “Marca do inversor” para definir qual inversor será utilizado no sistema. Com o auxílio da Eq. 2.2 o *software* faz uma varredura no banco de dados dos inversores e seleciona o melhor modelo que atenda as especificações pedidas pelo usuário.

Com a potência do SFV definida e o inversor escolhido, o *software* passa para o cálculo do número de módulos e o modelo do arranjo fotovoltaico. A quantidade de módulos é dada pela relação entre a potência total do SFCR e a potência individual de

cada módulo. Para determinar a quantidade de módulos ligados em série é utilizada a Eq. 2.3, observando os parâmetros da faixa de tensão de entrada do inversor. Para determinar a quantidade de *strings* do sistema é utilizada a Eq. 2.4, respeitando a corrente máxima de entrada do inversor.

A partir do modelo do arranjo fotovoltaico, pode-se calcular a corrente máxima e a tensão máxima de cada *string*, o que definirá quais componentes (chave seccionadora CC, DPS CC e fusível gFV) serão utilizados na proteção CC. É possível também, a partir do modelo do inversor, definir a corrente máxima de saída e sua tensão. A partir deste ponto define-se os componentes (disjuntor CA e DPS CA) que serão utilizados na proteção CA.

Com esse procedimento, o *software* é capaz de selecionar os equipamentos mínimos necessários para a montagem do SFCR a ser projetado.

### 3.5 Dados de saída e análise financeira

Nessa etapa todo o sistema fotovoltaico já está dimensionado. O *software*, então, realiza um estudo de viabilidade econômica do sistema a ser projetado. Como descrito na seção 2, as grandezas geradas pelo programa são os índices TIR, VPL e *payback*. Estes cálculos são baseados nos dados de entrada “Valor por Wp”, “Valor da tarifa”, “Depreciação anual” e “Inflação projetada”.

Com esses dados o *software* monta uma planilha com a energia gerada anual, que é descontada em função da depreciação anual fornecida pelo usuário; custo anual, que é o custo de manutenção do sistema fotovoltaico que é baseado em cerca de 0,5% do valor do sistema; retorno financeiro, que é o retorno gerado em cima da economia na conta de luz que é em função da energia gerada, do valor da tarifa energética e da inflação energética; subtotal, que é a diferença entre o custo anual e o retorno financeiro anual; e, por fim, o fluxo total, que é o caixa acumulado de todos os valores ao longo de 25 anos.

A partir dessa planilha é possível calcular os índices TIR, VPL e *payback*, conforme suas definições descritas no item 2.10.

Os dados de saída foram organizados entre “Dados gerais do SFCR”, “Dados do kit fotovoltaico”, “Dados de Geração” e “Análise Financeira”. A Tabela 3.2 apresenta



os dados de saída e sua descrição.

Tabela 3.2 - Dados de saída.

<b>Dados Gerais do SFCR</b>	
Potência do SFCR	Potência real do SFCR
Modelo Módulo	Modelo do módulo utilizado e a quantidade
Modelo Inversor	Modelo do inversor utilizado e a quantidade
Peso do Gerador	Peso total dos módulos a serem utilizados
Área do Gerador	Área total dos módulos a serem utilizados
Produção Estimada	Geração estimada para o primeiro mês, sem acréscimo de depreciação dos equipamentos
<b>Dados do kit Fotovoltaico</b>	
Módulos	Modelo, marca e quantidade de módulos
Inversor	Modelo, marca e quantidade de inversores
DPS CC	Modelo e quantidade de DPS CC
Chave CC	Modelo e quantidade de Chave CC
Fusível	Modelo e quantidade de Fusível
Disjuntor CA	Modelo e quantidade de Disjuntor CA
DPS CA	Modelo e quantidade de DPS CA
<b>Dados de geração</b>	
Geração anual	Geração estimada para o primeiro ano, sem acréscimo de depreciação dos equipamentos
Geração média mensal	Geração estimada para o primeiro mês, sem acréscimo de depreciação dos equipamentos
kWh/kWp/Ano	Relação que determina a quantidade de horas de geração anual
kWh/kWp/Mês	Relação que determina a quantidade de horas de geração mensal
<b>Análise Financeira</b>	
Valor da Proposta	Valor total do kit fotovoltaico dimensionado
Taxa Interna de Retorno (TIR)	Taxa de atratividade do investimento.
Valor Presente Líquido (VPL)	Valor total acumulado do investimento reajustado para valor presente
Caixa acumulado	Valor total acumulado ao longo dos anos
<i>Payback</i> simples	Tempo necessário para pagamento do investimento

Fonte: Do próprio autor, 2018.

A planilha com os dados de energia gerada, custo anual, retorno financeiro, subtotal e fluxo total não é exibida no final do programa. Porém, existe a possibilidade da mesma ser gerada através de um botão de comando.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *software* original foi desenvolvido em JAVA e possui o nome de SonneProgram, enquanto que o programa aprimorado foi batizado de SonneProgram 2.0, por se tratar de uma versão melhorada. Ele apresenta uma interface amigável, intuitiva e de fácil configuração, que poderá ser observada neste capítulo.

### 4.1 SonneProgram 1.0 – Breve descrição

Esta seção contém uma breve descrição do *software* desenvolvido por GONÇALVES (2017). A Figura 4.1 apresenta a interface de entrada e saída do programa. Ao analisar a interface de entrada é possível perceber a limitação imposta ao usuário do programa, pois o mesmo não havia liberdade em escolher modelo e marca dos componentes e também não poderia interferir no preço final do sistema de acordo com sua real necessidade.

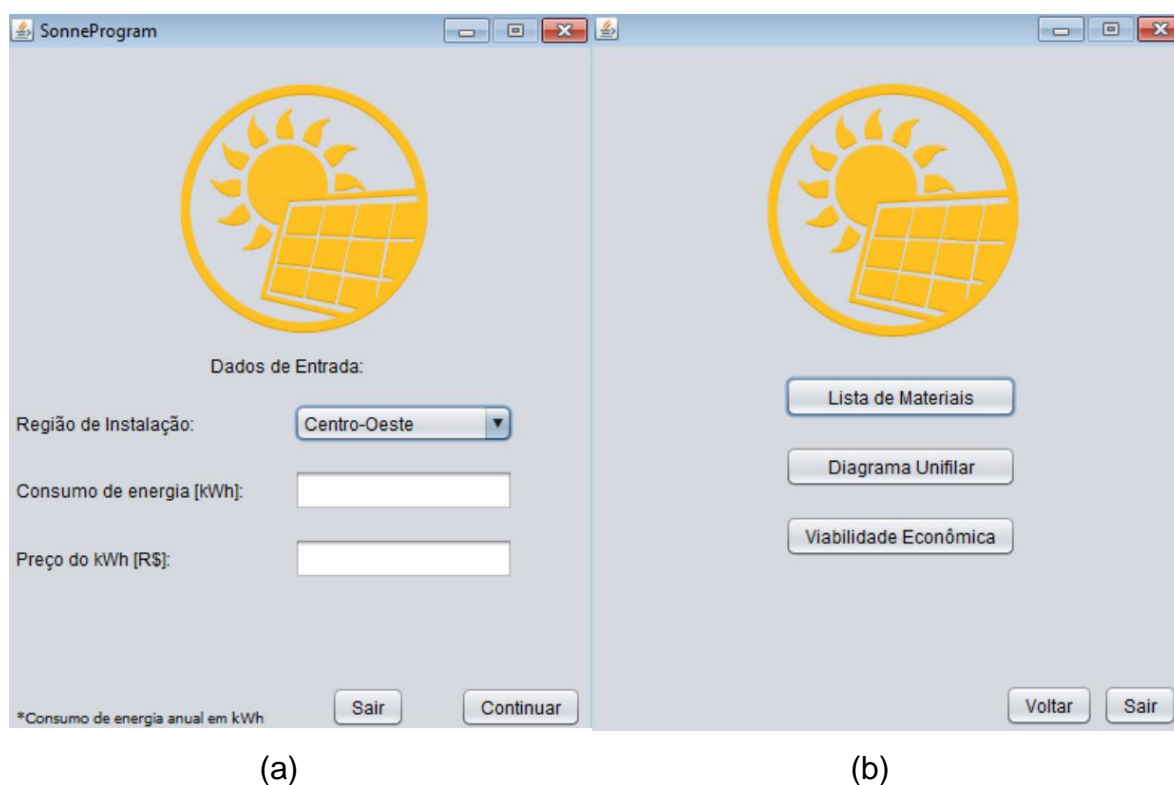


Figura 4.1 – Interface SonneProgram 1.0. (a) Entrada de dados. (b) Dados de saída. Fonte: Gonçalves, 2017.

Os dados de saída ‘Lista de Materias’, ‘Diagrama Unifilar’ e ‘Viabilidade Econômica’ eram gerados de forma “arcaica”. O *software* não desenvolvia um SFCR específico para cada caso, ele apenas fazia uma busca em um banco de dados que existia uma extensa lista de kits fotovoltaicos previamente montados.

No estudo de viabilidade econômica era apenas contemplado a inflação energética, o que não tratava com fidelidade a questão de viabilidade.

Para contornar esses problemas, o presente trabalho apresenta a interface desenvolvida para o SonneProgram 2.0.

## 4.2 SonneProgram 2.0 - Interface

O SonneProgram 2.0 foi desenvolvido para profissionais do ramo, a fim de proporcionar facilidade e rapidez durante o dimensionamento de projetos de SFCRs. Por isso, possui uma interface simples e direta para o recebimento dos dados.

A primeira janela do programa, que pode ser observada na Figura 4.2, corresponde aos dados de consumo, que serão fornecidos pelo usuário. O primeiro passo é informar o valor de consumo médio anual de kWh/mês.

A interface de entrada de dados do software SonneProgram 2.0 é organizada em três seções principais:

- Dados de consumo:** Possui um campo de texto para 'Consumo médio anual' (unidade kWh/mês), um menu suspenso para 'Fase/Tensão' (selecionado 'Bifásico (127V/220V)') e um menu suspenso para 'Região da instalação' (selecionado 'Centro-oeste').
- Dados técnicos:** Possui menus suspensos para 'Modelo módulo' (selecionado 'Dymond 280 W'), 'Marca inversor' (selecionado 'ABB Group') e 'Tipo telhado' (selecionado 'Fibrocimento').
- Dados financeiros:** Possui campos de texto para 'Valor por Wp' (unidade R\$/Wp), 'Valor tarifa energética' (unidade R\$/kWh), 'Depreciação anual' (unidade %) e 'Inflação projetada' (unidade %).

Na base da janela, há dois botões: 'Sair' e 'Calcular'.

Figura 4.2 – Entrada de dados do *software*.  
Fonte: Do próprio autor, 2018.

Em seguida, seleciona-se o tipo de fornecimento, Fase/Tensão entre Bi/Trifásico (127/220 V) e Bi/Trifásico (220/380 V) e a região onde a instalação será efetuada: centro-oeste, nordeste, sul ou sudeste. Essas opções podem ser vistas na Figura 4.3.

SonneProgram\_2.0 - Dados de Entrada - Amanda Menezes

Dados de consumo:

Consumo médio anual  kWh/mês

Fase/Tensão

Região da instalação

Dados técnicos:

Modelo módulo

Marca inversor

Tipo telhado

Dados financeiros:

Valor por Wp  R\$/Wp

Valor tarifa energética  R\$/kWh

Depreciação anual  %

Inflação projetada  %

Sair Calcular

Fase/Tensão

- Bifásico (127V/220V)
- Bifásico (127V/220V)
- Trifásico(127V/220V)
- Bifásico (220V/380V)
- Trifásico(220V/380V)

Região da instalação

- Centro-oeste
- Centro-oeste
- Nordeste
- Norte
- Sul
- Sudeste

Figura 4.3 – Entrada de dados do software.  
Fonte: Do próprio autor, 2018.

A seguir vêm os dados técnicos, em que o usuário seleciona o modelo de módulo, levando em consideração o consumo; a marca do inversor, entre FRONIUS e ABB; e o tipo de telhado onde será instalado o sistema: telhas de fibrocimento ou romanas/americanas, laje plana, chapa metálica e chapa metálica 0,6 m. Tais opções são observadas a seguir, na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Entrada de dados técnicos.  
Fonte: Do próprio autor, 2018.

Ainda na interface de entrada, o usuário deve entrar com os dados financeiros (Figura 4.5), informando o valor que será cobrado por cada Wp considerado no projeto, o valor da tarifa energética, a porcentagem de depreciação anual e a inflação percentual projetada.

Figura 4.5 – Entrada de dados financeiros.  
Fonte: Do próprio autor, 2018.

A interface de saída possui os dados descritos na Tabela 3.7 da seção anterior. Os dados são dispostos em quatro áreas “Dados gerais do SFCR”, “Dados do kit fotovoltaico”, “Dados de geração” e “Análise Financeira”. A Figura 4.6 apresenta a interface, que também possui botões de saída (‘sair’), botão para voltar na interface de entrada (‘voltar’) e um botão para gerar a planilha descrita no item 3.4 (‘Gerar Fluxo de Caixa’).

**Relatório SFCR**

Relatório Sistema Fotovoltaico Projetado

Dados gerais do SFCR:

Grandeza	Valor
Potência do SFCR	5,60 kWp
Canadian Dymond 280 W	20 unidades
ABB Group 4.2	1 unidade(s)
Peso do Gerador	550,00 kg
Área do Gerador	39,00 m <sup>2</sup>
Produção estimada	585,65 kWh/mês

Dados do kit Fotovoltaico:

Item	Descrição	Quantidade
Módulos	Canadian Dymond 280 W	20
Inversor	ABB Group 4.2 kW	1
DPS CC	20kA/1000Vdc	0
Chave CC	10 A	1
Fusível	Fusível gFv 15A/1000Vdc	0
Disjuntor CA	32 A	1
DPS CA	20kA/275Vca	2
Estrutura metálica 3,57m	Fibrocimento	6

Dados de geração:

Grandeza	Valor
Geração anual	7.125,38 kWh
Geração média mensal	0.585,65 kWh
kWh/kWp/Ano	1.272,39
kWh/kWp/Mês	104,58

Análise financeira

Grandeza	Valor
Valor da proposta	R\$ 30.800,00
Taxa Interna de Retorno (TIR)	31,61 %
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 94.954,39
Caixa acumulado	R\$ 274.733,91
Payback Simples	4.0 anos

Sair Voltar Gerar Fluxo de Caixa

Figura 4.6 – Relatório gerado pelo *software*.

Fonte: Do próprio autor, 2018.

A Figura 4.7 ilustra a planilha de fluxo de caixa gerado também pelo SonneProgram. É possível analisar o impacto da variável de depreciação na coluna de

'Energia Gerada'; na próxima coluna, 'Custos anuais' é possível ver o gasto inicial do projeto, o gasto anual de 0,5% do valor do custo total e um valor no 13º ano que é correspondente a troca do inversor *grid-tie*, que possui uma vida útil de 13 a 15 anos; em 'Retorno Financeiro', é calculado a energia gerada naquele ano e o valor da tarifa energética corrigida pela inflação energética; na coluna, 'Subtotal' é realizada a soma entre 'Custos anuais' e 'Retorno Financeiro'; em 'Fluxo Total', é realizado a soma acumulativa de cada ano da coluna 'Subtotal'.

Ano	Energia Gera...	Custo Anual	Retorno Fina...	Subtotal	Fluxo Total
1	7.837,92	R\$ 34.049,40	R\$ 6.270,34	R\$ -27.779,06	R\$ -27.779,06
2	7.783,06	R\$ 0.170,16	R\$ 6.973,62	R\$ 6.803,46	R\$ -20.975,60
3	7.728,19	R\$ 0.170,92	R\$ 7.666,37	R\$ 7.495,44	R\$ -13.480,16
4	7.673,33	R\$ 0.171,69	R\$ 8.348,58	R\$ 8.176,89	R\$ -5.303,27
5	7.618,46	R\$ 0.172,45	R\$ 9.020,26	R\$ 8.847,81	R\$ 3.544,54
6	7.563,59	R\$ 0.173,21	R\$ 9.681,40	R\$ 9.508,19	R\$ 13.052,73
7	7.508,73	R\$ 0.173,97	R\$ 10.332,01	R\$ 10.158,04	R\$ 23.210,77
8	7.453,86	R\$ 0.174,74	R\$ 10.972,09	R\$ 10.797,35	R\$ 34.008,12
9	7.399,00	R\$ 0.175,50	R\$ 11.601,63	R\$ 11.426,13	R\$ 45.434,25
10	7.344,13	R\$ 0.176,26	R\$ 12.220,64	R\$ 12.044,38	R\$ 57.478,62
11	7.289,27	R\$ 0.177,02	R\$ 12.829,11	R\$ 12.652,09	R\$ 70.130,71
12	7.234,40	R\$ 0.177,79	R\$ 13.427,05	R\$ 13.249,26	R\$ 83.379,98
13	7.179,54	R\$ 0.178,55	R\$ 14.014,46	R\$ 13.835,91	R\$ 97.215,88
14	7.124,67	R\$ 11.472,64	R\$ 14.591,33	R\$ 3.118,68	R\$ 100.334,57
15	7.069,81	R\$ 0.180,07	R\$ 15.157,66	R\$ 14.977,59	R\$ 115.312,16
16	7.014,94	R\$ 0.180,83	R\$ 15.713,47	R\$ 15.532,63	R\$ 130.844,79
17	6.960,07	R\$ 0.181,60	R\$ 16.258,74	R\$ 16.077,14	R\$ 146.921,92
18	6.905,21	R\$ 0.182,36	R\$ 16.793,47	R\$ 16.611,11	R\$ 163.533,03
19	6.850,34	R\$ 0.183,12	R\$ 17.317,67	R\$ 17.134,55	R\$ 180.667,58
20	6.795,48	R\$ 0.183,88	R\$ 17.831,33	R\$ 17.647,45	R\$ 198.315,03
21	6.740,61	R\$ 0.184,65	R\$ 18.334,47	R\$ 18.149,82	R\$ 216.464,84
22	6.685,75	R\$ 0.185,41	R\$ 18.827,06	R\$ 18.641,66	R\$ 235.106,50
23	6.630,88	R\$ 0.186,17	R\$ 19.309,13	R\$ 19.122,96	R\$ 254.229,45
24	6.576,02	R\$ 0.186,93	R\$ 19.780,66	R\$ 19.593,72	R\$ 273.823,19
25	6.521,15	R\$ 0.187,70	R\$ 20.241,65	R\$ 20.053,96	R\$ 293.877,16

Figura 4.7 – Planilha Fluxo de Caixa.

Fonte: Do próprio autor, 2018.

### 4.3 Estudos de Caso

Com o intuito de validar os resultados gerados pelo programa desenvolvido, será apresentado nesta seção alguns estudos de caso baseados em projetos reais e



registrados na literatura.

#### 4.3.1 Dimensionamentos de Lucas Siqueira (2015) – Casos 01 e 02

No trabalho desenvolvido por Lucas Siqueira (2015), foi apresentado o dimensionamento de dois SFCRs, um deles em um templo religioso e o outro residencial. A seguir, a Tabela 4.1 apresenta os dados de consumo do templo religioso.

Tabela 4.1 – Dados de consumo Caso 01 (Templo religioso).

<b>Mês</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Abril 2015	1094
Março 2015	1004
Fevereiro 2015	979
Janeiro 2015	712
Dezembro 2014	1010
Novembro 2014	1010
Outubro 2014	1996
Setembro 2014	1214
Agosto 2014	2335
Julho 2014	3008
Junho 2014	2248
Mai 2014	1830
<b>Média Total</b>	<b>1527</b>
<b>Média Diária</b>	<b>50,9</b>

Fonte: Siqueira, 2015.

A unidade consumidora é alimentada por um circuito trifásico 220 V e o telhado para a instalação do SFCR é do tipo chapa metálica, na cidade de Juiz de Fora. Para realização deste estudo serão escolhidos o módulo de 345 W; o inversor da marca FRONIUS; um valor de Watt-pico de 5,5 R\$/Wp; uma tarifa energética de 0,78 R\$/kWh/mês, que é a atual tarifa residencial da concessionária CEMIG; uma depreciação média anual de 0,7% e uma inflação energética projetada de 10,5%. A Figura 4.8 ilustra os dados de saída para este estudo de caso.

A Tabela 4.2 apresenta o comparativo entre os sistemas dimensionados. Observa-se uma diferença de cerca de 5% da potência total do sistema. Isto explica-se devido à diferença entre as potências individuais dos módulos. No algoritmo

desenvolvido, o *software* sempre dimensiona módulos pares para uma divisão igualitária de *strings*. A diferença entre os inversores está na potência, já que o programa selecionou um inversor de potência de 12 kW e Siqueira (2015) utilizou um inversor de 15 kW. Esta divergência dá-se pelos modelos de inversores dispostos no banco de dados.

SonneProgram\_2.0 - Relatório SFCR - Amanda Menezes

Relatório Sistema Fotovoltaico Projetado

Dados gerais do SFCR:

Grandeza	Valor
Potência do SFCR	14,49 kWp
Canadian MaxPower 345 W	42 unidades
Fronius International GmbH 12.0	1 unidade(s)
Peso do Gerador	924,00 kg
Área do Gerador	80,64 m <sup>2</sup>
Produção estimada	1521,45 kWh/mês

Dados do kit Fotovoltaico:

Item	Descrição	Quantidade
Módulos	Canadian MaxPower 345 W	42
Inversor	Fronius International Gmb...	1
DPS CC	20kA/1000Vdc	5
Chave CC	20 A	4
Fusível	Fusível gFv 15A/1000Vdc	5
Disjuntor CA	70 A	1
DPS CA	20kA/275Vca	3
Estrutura metálica 3,57m	Chapa Metálica	14

Dados de geração:

Grandeza	Valor
Geração anual	18.510,97 kWh
Geração média mensal	1.521,45 kWh
kWh/kWp/Ano	1.277,50
kWh/kWp/Mês	105,00

Análise financeira

Grandeza	Valor
Valor da proposta	R\$ 79.695,00
Taxa Interna de Retorno (TIR)	29,32 %
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 189.376,44
Caixa acumulado	R\$ 616.697,38
Payback Simples	4.0 anos

Sair Voltar Gerar Fluxo de Caixa

Figura 4.8 – Dados de saída Caso 01.

Fonte: Do próprio autor, 2018.

Tabela 4.2 – Comparativo entre os SFCR Caso 01.

<b>SFCR dimensionado</b>	<b>Próprio Autor</b>	<b>SIQUEIRA, 2018</b>
Potência Total	14,49 kWp	13,75 kWp
Número de Placas	42 placas x 345W	55 x 250W
Inversor	1 x Fronius 12.0-3 (12 kW)	Sonny Tripower (15 kW)

Fonte: Do próprio autor, 2018.

A Tabela 4.3 apresenta os dados de consumo do Caso 02, uma residência alimentada por um circuito bifásico 220 V, com telhado de telha romana. Para este caso será utilizado o módulo de 280 W, o inversor da marca ABB e os mesmos dados financeiros do caso anterior. A Figura 4.9 apresenta os dados de saída do Caso 02 (residencial).

Tabela 4.3 – Dados de consumo Caso 02 (residencial).

<b>Mês</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Abril 2015	107
Março 2015	136
Fevereiro 2015	94
Janeiro 2015	107
Dezembro 2014	114
Novembro 2014	109
Outubro 2014	105
Setembro 2014	114
Agosto 2014	106
Julho 2014	100
Junho 2014	103
Mai 2014	79
<b>Média Total</b>	105
<b>Média Diária</b>	3,5

Fonte: Siqueira, 2015.

SonneProgram\_2.0 - Relatório SFCR - Amanda Menezes

### Relatório Sistema Fotovoltaico Projetado

Dados gerais do SFCR:

Grandeza	Valor
Potência do SFCR	1,12 kWp
Canadian Dymond 280 W	4 unidades
ABB Group 3.0	1 unidade(s)
Peso do Gerador	110,00 kg
Área do Gerador	7,80 m <sup>2</sup>
Produção estimada	117,60 kWh/mês

Dados do kit Fotovoltaico:

Item	Descrição	Quantidade
Módulos	Canadian Dymond 280 W	4
Inversor	ABB Group 3.0 kW	1
DPS CC	20kA/1000Vdc	1
Chave CC	10 A	1
Fusível	Fusível gFv 15A/1000Vdc	1
Disjuntor CA	16 A	1
DPS CA	20kA/275Vca	2
Estrutura metálica 3,57m	Romanas/Americanas	1

Dados de geração:

Grandeza	Valor
Geração anual	1.430,80 kWh
Geração média mensal	0.117,60 kWh
kWh/kWp/Ano	1.277,50
kWh/kWp/Mês	105,00

Análise financeira

Grandeza	Valor
Valor da proposta	R\$ 6.160,00
Taxa Interna de Retorno (TIR)	29,32 %
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 14.637,80
Caixa acumulado	R\$ 47.667,43
Payback Simples	4.0 anos

Sair Voltar Gerar Fluxo de Caixa

Figura 4.9 – Dados de saída Caso 02.  
Fonte: Do próprio autor, 2018.

A Tabela 4.4 apresenta o comparativo entre os SFCRs dimensionados pelo *software* e o autor. Observa-se uma diferença de 12% na potência do sistema, isso acontece devido ao módulo escolhido, que possui uma potência de 280 W, potência maior ao utilizado por Siqueira (2015). O inversor dimensionado possui uma potência bem maior, isso ocorre por ser este o inversor de menor potência do banco de dados.

Tabela 4.4 – Comparativo entre os SFCR Caso 02.

<b>SFCR dimensionado</b>	<b>Próprio Autor</b>	<b>SIQUEIRA, 2018</b>
Potência Total	1,12 kWp	1,00 kWp
Número de Placas	4 módulos x 280W	4 módulos x 250W
Inversor	1 x ABB 3.0-1 (3kW)	Renesola TLB (1kW)

Fonte: Do próprio autor, 2018.

#### 4.3.2 Estudo de Caso 03 – CREA Santa Catarina

Um estudo realizado por Marinoski, et. al. (2004), apresenta na Tabela 4.5 os dados de consumo do CREA em Santa Catarina.

Tabela 4.5 – Dados de consumo Caso 03.

<b>Mês</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Janeiro 2002	16567
Fevereiro 2002	21285
Março 2002	21266
Abril 2002	19532
Mai 2002	16465
Junho 2002	13004
Julho 2002	13980
Agosto 2002	12750
Setembro 2002	12683
Outubro 2002	16906
Novembro 2002	14133
Dezembro 2002	19450
<b>Média Total</b>	16501
<b>Média Diária</b>	546,3

Fonte: Marinoski, et. al., 2004.

Esta unidade é alimentada por um circuito trifásico 380 V e o telhado para a instalação do SFCR é do tipo fibrocimento. Neste caso será utilizado o módulo de 300 W e o inversor da marca ABB, os demais dados financeiros serão os mesmos utilizados anteriormente. A Figura 4.10 apresenta os dados de saída do Caso 03.

SonneProgram\_2.0 - Relatório SFCR - Amanda Menezes

**Relatório Sistema Fotovoltaico Projetado**

Dados gerais do SFCR:

Grandeza	Valor
Potência do SFCR	177,00 kWp
Canadian All-Black 300 W	590 unidades
ABB Group 120.0	1 unidade(s)
Peso do Gerador	10738,00 kg
Área do Gerador	967,60 m <sup>2</sup>
Produção estimada	16503,48 kWh/mês

Dados do kit Fotovoltaico:

Item	Descrição	Quantidade
Módulos	Canadian All-Black 300 W	590
Inversor	ABB Group 120.0 kW	1
DPS CC	20kA/1000Vdc	14
Chave CC	25 A	6
Fusível	Fusível gFv 15A/1000Vdc	14
Disjuntor CA	500 A	1
DPS CA	20kA/460Vca	3
Estrutura metálica 3,57m	Fibrocimento	196

Dados de geração:

Grandeza	Valor
Geração anual	200.792,34 kWh
Geração média mensal	16.503,48 kWh
kWh/kWp/Ano	1.134,42
kWh/kWp/Mês	93,24

Análise financeira

Grandeza	Valor
Valor da proposta	R\$ 973.500,00
Taxa Interna de Retorno (TIR)	25,56 %
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 1.369.844,86
Caixa acumulado	R\$ 6.529.701,00
Payback Simples	5.0 anos

Sair Voltar Gerar Fluxo de Caixa

Figura 4.10 – Dados de saída Caso 03.

Fonte: Do próprio autor, 2018.

Os dados comparativos estão expostos na Tabela 4.6. Observa-se que houve uma grande divergência entre as potências do sistema, cerca de 28%. Ao investigar os motivos de tamanha divergência, constatou-se que o erro se encontra na interpretação da Eq. 2.1, onde Marinoski, et. al. (2004) utiliza, erroneamente, uma eficiência de 93% (eficiência do inversor). Nesta equação, o próprio autor (CEPEL, 2014) orienta a utilizar valores entre 70% e 80%.

Tabela 4.6 – Comparativo entre os SFCR Caso 03.

<b>SFCR dimensionado</b>	<b>Próprio Autor</b>	<b>MARINOSKI, et. al., 2004</b>
Potência Total	177,00 kWp	138,1 kWp
Número de Placas	590 módulos x 300W	726 módulos x 190W
Inversor	1 x ABB 120.0-3 (120kW)	Não especificado

Fonte: Do próprio autor, 2018.

#### 4.3.3 Estudo de Caso 04 – Residência Araxá/MG

Um estudo realizado por Ribeiro (2016) em uma residência na cidade de Araxá/MG, alimentada por um circuito bifásico 220 V e com telhado de telha romana, possui um perfil de consumo segundo a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Dados de consumo Caso 04.

<b>Mês</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Agosto 2015	236
Setembro 2015	244
Outubro 2015	255
Novembro 2015	248
Dezembro 2015	238
Janeiro 2016	196
Fevereiro 2016	219
Março 2016	281
Abril 2016	229
Mai 2016	240
Junho 2016	276
Julho 2016	283
Agosto 2016	413
<b>Média Anual</b>	<b>258,3</b>

Fonte: Ribeiro, 2016.

Para este caso, definiu-se o módulo a ser utilizado de 290 W, o inversor da marca FRONIUS e todos os dados financeiros conforme os utilizados anteriormente. A Figura 4.11 ilustra o sistema gerado pelo *software*.

SonneProgram\_2.0 - Relatório SFCR - Amanda Menezes

### Relatório Sistema Fotovoltaico Projetado

Dados gerais do SFCR:

Grandeza	Valor
Potência do SFCR	2,32 kWp
Canadian Standart 290 W	8 unidades
Fronius International GmbH 4.0	1 unidade(s)
Peso do Gerador	145,60 kg
Área do Gerador	13,12 m <sup>2</sup>
Produção estimada	243,60 kWh/mês

Dados do kit Fotovoltaico:

Item	Descrição	Quantidade
Módulos	Canadian Standart 290 W	8
Inversor	Fronius International Gmb...	1
DPS CC	20kA/1000Vdc	1
Chave CC	10 A	1
Fusível	Fusível gFv 15A/1000Vdc	1
Disjuntor CA	16 A	1
DPS CA	20kA/275Vca	2
Estrutura metálica 3,57m	Fibrocimento	2

Dados de geração:

Grandeza	Valor
Geração anual	2.963,80 kWh
Geração média mensal	0.243,60 kWh
kWh/kWp/Ano	1.277,50
kWh/kWp/Mês	105,00

Análise financeira

Grandeza	Valor
Valor da proposta	R\$ 12.760,00
Taxa Interna de Retorno (TIR)	29,32 %
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 30.321,14
Caixa acumulado	R\$ 98.739,66
Payback Simples	4.0 anos

Sair Voltar Gerar Fluxo de Caixa

Figura 4.11 – Dados de saída Caso 04.

Fonte: Do próprio autor, 2018.

A Tabela 4.8 exibe o comparativo entre os sistemas dimensionados. Observa-se uma divergência de cerca de 82%. Neste caso, houve um problema também com a Eq. 2.1, onde Ribeiro (2016) utilizou uma taxa de desempenho (TD) no valor de 100%, o que nunca ocorrerá em um sistema real instalado.



Tabela 4.8 – Comparativo entre os SFCR Caso 04.

<b>SFCR dimensionado</b>	<b>Próprio Autor</b>	<b>RIBEIRO, 2016</b>
Potência Total	2,32 kWp	1,275 kWp
Número de Placas	8 módulos x 290W	4 módulos x 250W
Inversor	1 x Fronius 4.0-1 (4kW)	1 x Fronius 1.5-1 (1,5 kW)

Fonte: Do próprio autor, 2018.

#### 4.3.4 Estudo de Caso 05 – Usina Cayman001 em Piumhi/MG

Este sistema foi dimensionado pela empresa CAYMAN ENGENHARIA e está atualmente em processo de instalação na cidade de Piumhi/MG. Nesta seção será possível exibir um comparativo maior de dados, levando em conta também a análise econômica. Neste caso, a usina será implementada em uma residência nova, com telhado de chapa metálica e alimentada por um sistema trifásico 220 V, que havia apenas o registro de três meses de consumo. Realizou-se então o cálculo do consumo médio desses três meses que resultou num total de 624 kWh/mês.

Para esse caso, utilizou-se o módulo de 345 W, o inversor da marca FRONIUS e os dados financeiros utilizados anteriormente. A Figura 4.12 apresenta os dados de saída deste caso.

SonneProgram\_2.0 - Relatório SFCR - Amanda Menezes

### Relatório Sistema Fotovoltaico Projetado

Dados gerais do SFCR:

Grandeza	Valor
Potência do SFCR	6,21 kWp
Canadian MaxPower 345 W	18 unidades
Fronius International GmbH 0.0	1 unidade(s)
Peso do Gerador	396,00 kg
Área do Gerador	34,56 m <sup>2</sup>
Produção estimada	652,05 kWh/mês

Dados do kit Fotovoltaico:

Item	Descrição	Quantidade
Módulos	Canadian MaxPower 345 W	18
Inversor	Fronius International Gmb...	1
DPS CC	20kA/1000Vdc	2
Chave CC	20 A	1
Fusível	Fusível gFv 15A/1000Vdc	2
Disjuntor CA	32 A	1
DPS CA	20kA/275Vca	3
Estrutura metálica 3,57m	Chapa Metálica	6

Dados de geração:

Grandeza	Valor
Geração anual	7.933,27 kWh
Geração média mensal	0.652,05 kWh
kWh/kWp/Ano	1.277,50
kWh/kWp/Mês	105,00

Análise financeira

Grandeza	Valor
Valor da proposta	R\$ 34.155,00
Taxa Interna de Retorno (TIR)	29,32 %
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 81.161,34
Caixa acumulado	R\$ 264.298,88
Payback Simples	4.0 anos

Sair Voltar Gerar Fluxo de Caixa

Figura 4.12 – Dados de saída Caso 05.

Fonte: Do próprio autor, 2018.

A Tabela 4.9 apresenta o comparativo entre os sistemas dimensionados. Observa-se que as potências geradas estão bem próximas, com uma pequena divergência de 4,2%. Os módulos utilizados são modelos de potências próximas e o inversor dimensionado é o mesmo.

Tabela 4.9 – Comparativo entre os SFCR Caso 05.

<b>SFCR dimensionado</b>	<b>Próprio Autor</b>	<b>CAYMAN ENGENHARIA</b>
Potência Total	6,2 kWp	5,95 kWp
Número de Placas	18 módulos x 345W	17 módulos x 350W
Inversor	1 x Fronius 5.0-1 (5kW)	1 x Fronius 5.0-1 (5 kW)
Geração Anual	7933,27 kWh	7895 kWh
TIR	29,32%	29%
VPL	R\$ 81.161,34	R\$ 149.122,86
<i>Payback</i>	4 anos	4 anos e 3 meses

Fonte: Do próprio autor, 2018.

Observa-se que houve discrepância apenas na variável 'VPL', isso se deve ao fato de que foi utilizada uma taxa de atratividade diferente entre os dois cálculos, o que não interferiu no cálculo do 'TIR' e do *payback*.

As Figuras 4.13 e 4.14 mostram os fluxos de caixa gerados pelo *software* e pela empresa CAYMAN ENGENHARIA, respectivamente. As divergências encontradas nos valores individuais dão-se pelas diferentes taxas de inflação energética, inflação econômica, depreciação dos componentes, dentre outros. Porém, é possível analisar proporcionalmente, que os valores estão em concordância, garantindo a veracidade dos dados gerados pelo *software* SonneProgram 2.0.

Ano	Energia Gera...	Custo Anual	Retorno Fina...	Subtotal	Fluxo Total
1	7.933,27	R\$ 34.325,77	R\$ 6.187,95	R\$ -28.137,82	R\$ -28.137,82
2	7.877,74	R\$ 0.171,54	R\$ 6.789,83	R\$ 6.618,28	R\$ -21.519,54
3	7.822,21	R\$ 0.172,31	R\$ 7.382,60	R\$ 7.210,29	R\$ -14.309,25
4	7.766,68	R\$ 0.173,08	R\$ 7.966,28	R\$ 7.793,20	R\$ -6.516,05
5	7.711,14	R\$ 0.173,85	R\$ 8.540,86	R\$ 8.367,01	R\$ 1.850,96
6	7.655,61	R\$ 0.174,62	R\$ 9.106,35	R\$ 8.931,73	R\$ 10.782,69
7	7.600,08	R\$ 0.175,39	R\$ 9.662,74	R\$ 9.487,35	R\$ 20.270,05
8	7.544,54	R\$ 0.176,15	R\$ 10.210,03	R\$ 10.033,88	R\$ 30.303,92
9	7.489,01	R\$ 0.176,92	R\$ 10.748,23	R\$ 10.571,31	R\$ 40.875,23
10	7.433,48	R\$ 0.177,69	R\$ 11.277,33	R\$ 11.099,64	R\$ 51.974,87
11	7.377,95	R\$ 0.178,46	R\$ 11.797,33	R\$ 11.618,87	R\$ 63.593,74
12	7.322,41	R\$ 0.179,23	R\$ 12.308,24	R\$ 12.129,01	R\$ 75.722,76
13	7.266,88	R\$ 0.180,00	R\$ 12.810,06	R\$ 12.630,06	R\$ 88.352,81
14	7.211,35	R\$ 11.565,77	R\$ 13.302,77	R\$ 1.737,01	R\$ 90.089,82
15	7.155,81	R\$ 0.181,53	R\$ 13.786,39	R\$ 13.604,86	R\$ 103.694,67
16	7.100,28	R\$ 0.182,30	R\$ 14.260,91	R\$ 14.078,61	R\$ 117.773,28
17	7.044,75	R\$ 0.183,07	R\$ 14.726,34	R\$ 14.543,27	R\$ 132.316,55
18	6.989,22	R\$ 0.183,84	R\$ 15.182,67	R\$ 14.998,83	R\$ 147.315,38
19	6.933,68	R\$ 0.184,61	R\$ 15.629,91	R\$ 15.445,30	R\$ 162.760,67
20	6.878,15	R\$ 0.185,38	R\$ 16.068,04	R\$ 15.882,67	R\$ 178.643,34
21	6.822,62	R\$ 0.186,14	R\$ 16.497,09	R\$ 16.310,94	R\$ 194.954,28
22	6.767,08	R\$ 0.186,91	R\$ 16.917,03	R\$ 16.730,12	R\$ 211.684,41
23	6.711,55	R\$ 0.187,68	R\$ 17.327,88	R\$ 17.140,20	R\$ 228.824,61
24	6.656,02	R\$ 0.188,45	R\$ 17.729,63	R\$ 17.541,18	R\$ 246.365,80
25	6.600,48	R\$ 0.189,22	R\$ 18.122,29	R\$ 17.933,07	R\$ 264.298,88

Figura 4.13 – Planilha Fluxo de Caixa SonneProgram 2.0.  
Fonte: Do próprio autor, 2018.

Ano	Energia Gerada (kW)	Retorno Financ. 1	Custos Anuais	SubTotal	Fluxo Final
00	8.673,39	R\$ 6.938,71	-R\$ 36.384,13	-R\$ 29.445,42	-R\$ 29.445,42
01	8.612,68	R\$ 7.579,16	-R\$ 189,63	R\$ 7.389,52	-R\$ 22.055,90
02	8.552,39	R\$ 8.278,71	-R\$ 198,17	R\$ 8.080,55	-R\$ 13.975,35
03	8.492,52	R\$ 9.042,84	-R\$ 207,08	R\$ 8.835,75	-R\$ 5.139,60
04	8.433,07	R\$ 9.877,49	-R\$ 216,40	R\$ 9.661,09	R\$ 4.521,49
05	8.374,04	R\$ 10.789,18	-R\$ 226,14	R\$ 10.563,04	R\$ 15.084,54
06	8.315,42	R\$ 11.785,03	-R\$ 236,32	R\$ 11.548,71	R\$ 26.633,24
07	8.257,22	R\$ 12.872,78	-R\$ 246,95	R\$ 12.625,83	R\$ 39.259,08
08	8.199,42	R\$ 14.060,94	-R\$ 258,06	R\$ 13.802,88	R\$ 53.061,95
09	8.142,02	R\$ 15.358,77	-R\$ 269,68	R\$ 15.089,09	R\$ 68.151,04
10	8.085,03	R\$ 16.776,38	-R\$ 281,81	R\$ 16.494,57	R\$ 84.645,61
11	8.028,43	R\$ 18.324,84	-R\$ 294,49	R\$ 18.030,35	R\$ 102.675,96
12	7.972,23	R\$ 20.016,22	-R\$ 307,75	R\$ 19.708,48	R\$ 122.384,43
13	7.916,43	R\$ 21.863,72	-R\$ 5.947,05	R\$ 15.916,68	R\$ 138.301,11
14	7.861,01	R\$ 23.881,74	-R\$ 336,07	R\$ 23.545,68	R\$ 161.846,79
15	7.805,98	R\$ 26.086,03	-R\$ 351,19	R\$ 25.734,84	R\$ 187.581,62
16	7.751,34	R\$ 28.493,77	-R\$ 366,99	R\$ 28.126,77	R\$ 215.708,40
17	7.697,08	R\$ 31.123,74	-R\$ 383,51	R\$ 30.740,23	R\$ 246.448,63
18	7.643,20	R\$ 33.996,46	-R\$ 400,77	R\$ 33.595,70	R\$ 280.044,33
19	7.589,70	R\$ 37.134,34	-R\$ 418,80	R\$ 36.715,54	R\$ 316.759,87
20	7.536,57	R\$ 40.561,84	-R\$ 437,65	R\$ 40.124,19	R\$ 356.884,06
21	7.483,82	R\$ 44.305,69	-R\$ 457,34	R\$ 43.848,35	R\$ 400.732,41
22	7.431,43	R\$ 48.395,11	-R\$ 477,92	R\$ 47.917,19	R\$ 448.649,60
23	7.379,41	R\$ 52.861,98	-R\$ 499,43	R\$ 52.362,55	R\$ 501.012,15
24	7.327,75	R\$ 57.741,14	-R\$ 521,90	R\$ 57.219,24	R\$ 558.231,39

Figura 4.14 – Planilha Fluxo de Caixa da CAYMAN ENGENHARIA.  
Fonte: CAYMAN ENGENHARIA, 2018.

## 5 CONCLUSÃO

É notável o quanto a busca por energias alternativas vem aumentando por todo o mundo, entre elas, a energia solar. Então, o presente trabalho de conclusão de curso apresenta o aprimoramento de uma ferramenta computacional de auxílio no dimensionamento de SFCRs. O SonneProgram 2.0 trouxe uma quantidade maior de variáveis de controle e um banco de dados mais robusto, atendendo ao intuito do trabalho, trazendo a otimização do trabalho do projetista e propiciando um relatório detalhado do sistema e sua viabilidade econômica.

Após um estudo aprofundado sobre os equipamentos presentes em um sistema fotovoltaico e uma análise do funcionamento e equacionamento dos mesmos, o *software* foi desenvolvido buscando a construção de um programa confiável, que se mostrasse realmente relevante durante o dimensionamento dos sistemas.

De posse dos resultados obtidos a partir dos testes realizados, verificou-se que as comparações feitas demonstraram a eficiência do *software*, comprovando, inclusive, erros durante o dimensionamento de alguns casos da literatura. Nota-se que o acréscimo de mais variáveis de entrada e a inserção do banco de dados trouxe os resultados esperados, otimizando o trabalho do projetista, pois a ferramenta proporciona uma análise detalhada do funcionamento do SFCR, desde a relação de equipamentos e marcas até a viabilidade econômica do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, 2012. ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia nas unidades consumidoras, Brasília.

ANEEL, 2012. **Resolução Normativa Nº 482**. 17 de abril de 2012.

ANEEL, 2015. **Resolução Normativa Nº 687**. 24 de novembro de 2015.

CABRAL, I. VIEIRA, R. **Viabilidade econômica X viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3., 2012. Goiânia/GO – 19 a 22/11/2012. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. 2012. P. 12.

CARNEIRO, J. **Módulos Fotovoltaicos – Características e Associações**. Universidade do Minho, Braga. 2010. Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Disponível em:  
<[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos\\_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf)>. Acesso em 25 jan. 2018.

CASA DA SUSTENTABILIDADE. **Idéias e notícias de sustentabilidade**. 2015. Disponível em: <<https://casadasustentabilidade.wordpress.com/tag/energia-solar/page/23/>>. Acesso em: 13 jan. 2018.

CAYMAN ENGENHARIA. **Sistemas Fotovoltaicos**. Piumhi, Minas Gerais.

CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Onde atuamos**. 2013. Disponível em:  
<[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/ondeatuamos/setor\\_eletrico?\\_adf.ctrl-state=18l2jpic23\\_35&\\_afLoop=220614667861098#!](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/ondeatuamos/setor_eletrico?_adf.ctrl-state=18l2jpic23_35&_afLoop=220614667861098#!)>. Acesso em: 11 jan. 2018.

CEPEL – CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. 2014.

DASSI et al. **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 12., 2015. Foz do Iguaçu/PR – 11 a 13/11/2015. UNOCHAPECÓ. 2015. P. 16.

EPIA - ASSOCIAÇÃO EUROPÉIA DA INDÚSTRIA FOTOVOLTAICA. **Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018**. Disponível em: <[http://www.epia.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/44\\_epia\\_gmo\\_report\\_ver\\_17\\_mr.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/44_epia_gmo_report_ver_17_mr.pdf)>. Acesso em: 13 jan. 2018.

FADIGAS, E. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica**. GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2014. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf)>. Acesso em: 20 fev 2018.

FINDER. **Guia para aplicação de Dispositivos de Proteção contra Surtos – DPS**. 2012.

FRONIUS BRASIL. **Inversores**. Disponível em: <[http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-3A248FEF-B5D0215A/fronius\\_brasil/hs.xsl/7552\\_10827.htm#.Wm8X1q6nHIU](http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-3A248FEF-B5D0215A/fronius_brasil/hs.xsl/7552_10827.htm#.Wm8X1q6nHIU)>. Acesso em 29 jan. 2018.

GEHRING, Adriano; LOPES, Lucas; DALMOLIN, Rodrigo. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Acompanhamento dos Índices de Mérito no Escritório Verde da UTFPR e Análise da Viabilidade Econômica de Implantação em Residências**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, p. 80. 2015. TCC (Graduação em Eng. Industrial Elétrica).

GONÇALVES, J. V. **Ferramenta Computacional de Auxílio no Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Instituto Federal de Minas Gerais. Formiga, p. 70. 2017. TCC (Graduação em Eng. Elétrica).

HECKTHEUER, L. **Análise de Associações de Módulos Fotovoltaicos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 117. 2001. (Doutorado em Engenharia).

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS.. **Atlas Brasileiro de Energia Solar Ganha nova edição após dez anos**. 2017. Disponível em: <<http://www.inpe.br/informativo/08/nota03>>. Acesso em 12 jan. 2018.

LEMES JUNIOR, Antônio Barbosa; CHEROBIM, Ana Paula; RIGO, Cláudio Miessa. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. 5 reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

LOURENÇO, T. G. M. (2012). **Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, Brasil.

MAMEDE FILHO, J. **Manual de equipamentos elétricos**. 3. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2005.

MARINOSKI et al. **Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC**. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., São Paulo/SP – 18 a 21/07/2004. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. P. 14.

MINAS ENERGY. **Principais mudanças da Resolução 687 da ANEEL**. 2016. Disponível em: <<https://www.minasenergy.com.br/single-post/2016/05/24/Principais-mudan%C3%A7as-da-Resolu%C3%A7%C3%A3o-687-da-ANEEL-1>>. Acesso em 25 jan. 2018.

MOLIN, G. D. **Análise da Qualidade de Energia Elétrica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, p. 75. 2014. TCC (Graduação em Eng. Elétrica).

MPPTSOLAR. **Melhores marcas de painéis solares**. Disponível em: <<http://www.mpptsolar.com/pt/melhores-marcas-de-paineis-solares.html>>. Acesso em 29 jan. 2018.

NEOSOLAR. **Energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/neosolar-energia/fornecedores/canadian-solar>>. Acesso em 26 jan. 2018.

RIBEIRO, R. P. **Estudo de caso: dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Araxá, p. 51. 2016. TCC (Graduação em Eng. Automação Industrial).

RIBEIRO, U. G. V. **Estudo de Viabilidade Econômica de Instalação de Fontes de Energia Renováveis Baseadas em Células Fotovoltaicas Para o Uso Residencial**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 49. 2012. TCC (Graduação em Eng. Elétrica).

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**, O Potencial da Geração Solar



Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligadas à Rede Elétrica Pública. LABSOLAR Florianópolis: Editora da UFSC, 2004a.

RUTHER, R. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. INPE – São José dos Campos, SP. 2006. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2018.

SIQUEIRA, L. M. **Estudo do Dimensionamento e da Viabilidade Econômica de Microgerador Solar Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p.52. 2015. TCC (Graduação em Eng. Elétrica).

SOLAR ENERGY DO BRASIL. **Manual do usuário – Inversor Solar**. Disponível em: <<http://solarenergy.com.br/wp-content/uploads/2014/12/manual-do-inversor.pdf>>. Acesso em 29 jan. 2018.

SOUSA, F. C. B. (2010). **Análise Operacional de uma Microrede Elétrica com Produção de Energia Fotovoltaica**. Porto, Portugal.

TESKE, Sven; ZERVOS, Arthouros; LINS, Christine; MUTH, Josche. **Revolução Energética: A caminho do desenvolvimento limpo**. Greenpeace Internacional, Conselho Europeu de Energia Renovável (Erec). 2010. Disponível em: <<https://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergetica-deslimpo.PDF>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

URBANETZ, Jair Jr. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 189. 2010. Tese (Doutorado em Eng. Civil).

WILES, J.C. [1991] **Photovoltaic safety equipment and the national electrical code**, 22nd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Las Vegas, EUA.

## ANEXO A

## Modelos de Módulos Fotovoltaicos

**Módulos – CANADIAN SOLAR**

	<b>Isc</b>	<b>Imp</b>	<b>Voc</b>	<b>Vmp</b>	<b>Área</b>	<b>Peso</b>
<b>Dymond 280 W</b>	9,43 A	8,89 A	38,5 V	31,5 V	992 * 1968 * 5.8 mm	27,5 Kg
<b>Dymond 285 W</b>	9,51 A	8,98 A	38,6 V	31,7 V	992 * 1968 * 5.8 mm	27,5 Kg
<b>Standart 285 W</b>	9,51 A	8,98 A	38,6 V	31,7 V	992 * 1650 * 40 mm	18,2 Kg
<b>Standart 290 W</b>	9,59 A	9,09 A	38,7 V	31,9 V	992 * 1650 * 40 mm	18,2 Kg
<b>All-Black 295 W</b>	9,75 A	9,14 A	39,5 V	32,3 V	992 * 1650 * 40 mm	18,2 Kg
<b>All-Black 300 W</b>	9,83 A	9,24 A	39,7 V	32,5 V	992 * 1650 * 40 mm	18,2 Kg
<b>SuperPower 300 W</b>	9,83 A	9,24 A	39,7 V	32,5 V	992 * 1650 * 40 mm	18,2 Kg
<b>SuperPower 305 W</b>	9,91 A	9,33 A	39,9 V	32,7 V	992 * 1650 * 40 mm	18,2 Kg
<b>Ku Modules 310 W</b>	9,98 A	9,43 A	39,7 V	32,9 V	982 * 1954 * 40 mm	22 Kg
<b>Ku Modules 315 W</b>	10,06 A	9,52 A	39,9 V	33,1 V	982 * 1954 * 40 mm	22 Kg
<b>MaxPower 340 W</b>	9,48 A	8,97 A	46,2 V	37,9 V	982 * 1954 * 40 mm	22 Kg
<b>MaxPower 345 W</b>	9,56 A	9,06 A	46,4 V	38,1 V	982 * 1954 * 40 mm	22 Kg

Fonte: Do próprio autor, 2018.

## ANEXO B

## Modelos de Inversores da Marca FRONIUS

<b>Inversores – FRONIUS</b>					
	<b>Potência</b>	<b>Tensão SMMP</b>	<b>lin (máx)</b>	<b>Iout</b>	<b>Mono/Bi/Tri</b>
<b>Primo 4.0-1</b>	4 kW	210 - 800 V	12 / 12 A	17,4 A	Mono
<b>Primo 5.0-1</b>	5 kW	240 - 800 V	18 / 18 A	21,7 A	Mono
<b>Primo 6.0-1</b>	6 kW	240 - 800 V	18 / 18 A	26,1 A	Mono
<b>Symo 10.0-3 240</b>	10 kW	300 - 500 V	25 / 16,5 A	24 A	Tri
<b>Symo 12.0-3 208</b>	12 kW	300 - 500 V	25 / 16,5 A	33,3 A	Tri
<b>Symo 12.5-3-M</b>	12,5 kW	200 - 800 V	27 / 16,5 A	18 A	Tri
<b>Symo 15.0-3 208</b>	15 kW	325 - 850 V	50 A	41,6 A	Tri
<b>Symo 17.5-3-M</b>	17,5 kW	200 - 800 V	33 / 27 A	25,3 A	Tri
<b>Symo 20.0-3-M</b>	20 kW	420 - 800 V	33 / 27 A	28,9 A	Tri
<b>Eco 25.0-3-S</b>	25 kW	580 - 850 V	44,2 A	37,9 / 36,2 A	Tri
<b>Eco 27.0-3-S</b>	27 kW	580 - 850 V	47,7 A	40,9 / 39,1 A	Tri

Fonte: Do próprio autor, 2018.

## Modelos de Inversores da Marca ABB

<b>Inversores – ABB</b>					
	<b>Potência</b>	<b>Tensão SMMP</b>	<b>lin (máx)</b>	<b>Iout</b>	<b>Mono/Bi/Tri</b>
<b>PVI-3.0-TL</b>	3 kW	160 - 530 V	10 A	12,5 A	Mono
<b>PVI-3.6-TL</b>	3,6 kW	120 - 530 V	16 A	14,5 A	Mono
<b>PVI-4.2-TL</b>	4,2 kW	140 - 530 V	16 A	14,5 A	Mono
<b>PVI-5000-TL</b>	5 kW	150 - 530 V	18 A	25 A	Mono
<b>PVI-6000-TL</b>	6 kW	175 - 530 V	18 A	25 A	Mono
<b>PVI-10.0-TL</b>	10 kW	300 - 750 V	17 A	16,6 A	Tri
<b>PVI-12.5-TL</b>	12,5 kW	360 - 750 V	18 A	16,6 A	Tri
<b>TRIO-20.0-TL</b>	20 kW	440 - 800 V	25 A	33 A	Tri
<b>PRO-33.0-TL</b>	33 kW	580 - 850 V	58 A	50,3 A	Tri
<b>TRIO-TM-50.0-400</b>	50 kW	480 - 800 V	36 A	77 A	Tri
<b>PVS-100/120-TL</b>	120 kW	480 - 850 V	50 A	145 A	Tri

Fonte: Do próprio autor, 2018.

**ANEXO C**

Modelos de Chaves Seccionadoras da Marca ABB

<b>Chaves Seccionadoras – ABB</b>	
<b>Modelo</b>	<b>Corrente Nominal</b>
<b>OTDC16U2</b>	10 A
<b>OTDC16U2</b>	16 A
<b>OTDC25U2</b>	20 A
<b>OTDC25U2</b>	25 A
<b>OTDC32F2</b>	32 A

Fonte: Do próprio autor, 2018.

## ANEXO D

## Modelos de Disjuntores da Marca WEG

<b>Disjuntores – WEG</b>	
<b>Modelo</b>	<b>Corrente Nominal</b>
<b>DWM160</b>	16 A
<b>DWM160</b>	20 A
<b>DWM160</b>	25 A
<b>DWM160</b>	32 A
<b>DWM160</b>	40 A
<b>DWM160</b>	50 A
<b>DWM160</b>	63 A
<b>DWM160</b>	70 A
<b>DWM160</b>	80 A
<b>DWM160</b>	90 A
<b>DWM160</b>	100 A
<b>DWM160</b>	110 A
<b>DWM160</b>	125 A
<b>DWM160</b>	150 A
<b>DWM160</b>	160 A
<b>DWB250</b>	200 A
<b>DWB250</b>	250 A
<b>DWB400</b>	320 A
<b>DWB400</b>	400 A
<b>DWB800</b>	500 A
<b>DWB800</b>	630 A
<b>DWB800</b>	800 A
<b>DWB1000</b>	1000 A
<b>DWA1600</b>	1250 A
<b>DWA1600</b>	1600 A

Fonte: Do próprio autor, 2018.