



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Projeto LabZero – UnB:
Sistemas fotovoltaicos On-grid e Off-grid**

Ian Assis Ribeiro de Freitas

Brasília, Dezembro de 2020

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Projeto LabZero – UnB:
Sistemas fotovoltaicos On-grid e Off-grid**

Ian Assis Ribeiro de Freitas

*Relatório submetido ao Departamento de Engenharia
Elétrica como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista*

Banca Examinadora

Prof. Marco A. F. do Egito Coelho, ENE/UnB _____

Orientador

Prof. Pablo Eduardo Cuervo, ENE/UnB _____

Examinador interno

Prof. Joara Cronemberger, FAU/UnB _____

Examinador interno

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à Deus, por ter me concedido a oportunidade de estudar em uma universidade plenamente reconhecida por sua qualidade, além de me sustentar física, mentalmente e espiritualmente por todos os anos em que lá estive.

Agradeço também à minha mãe Denise, por muitas vezes se abdicar de tudo para que hoje eu estivesse buscando a minha graduação. Não há nada que eu possa fazer para demonstrar toda minha gratidão por tudo o que ela me entregou. Todo apoio, força e cobrança que tive dessa grande mulher foram fatores primordiais que me trouxeram até este momento.

Agradeço à minha irmã Iohanna Karoline, por ser inspiração de estudos e determinação. Todo o empenho que ela teve para adentrar também nesta universidade serviu de combustível para que eu repetisse seu feito.

Agradeço à minha noiva Maryana Moreira, por todo amor, carinho, atenção e cuidado dedicado a mim ao longo de todo o período. Com seu incentivo eu sou capaz de superar todas as adversidades e encarar meus medos e inseguranças. Agradeço por ser minha maior motivação para seguir na busca dos meus e dos nossos sonhos.

Agradeço aos colegas que fizeram parte de todo este processo, em especial ao Nicolás, que não mediu esforços em nenhum momento para que eu chegasse até esse ponto da graduação. Sem sua ajuda, companhia e amizade não sei dizer se esse momento seria possível. Torço para que o que foi construído nesse período de 6 anos perdure ao longo da vida.

Agradeço ao professor Marco A. F. do Egito Coelho, pela oportunidade e confiança na realização desse projeto, bem como pelos ensinamentos que me prepararam para a conclusão do mesmo.

Agradeço à todos que tiveram sua parcela nesse grande momento, Ana Lídia, Uilson, Ronilda, Gilmar e Fysol Energia Solar, por cada participação fundamental para a conclusão de todo esse processo.

Ian Assis Ribeiro de Freitas

RESUMO

A ascensão das fontes renováveis de energia, principalmente da energia solar, chama atenção para o fato de que cada vez mais essas tecnologias serão utilizadas para diminuir o forte impacto ambiental causado por fontes não-renováveis, como por exemplo, os combustíveis fósseis. Como forma de fazer parte desse desenvolvimento ambiental e tecnológico, é proposto à Universidade de Brasília a elaboração de um projeto sustentável para a construção do prédio LabZero. Parte desse projeto de sustentabilidade será alcançada por possuir a sua própria geração energética, reduzindo assim, os impactos ambientais que poderiam ser causados ao se construir um novo prédio. Esse projeto para uma geração de energia elétrica através da energia solar foi desenvolvido em duas partes, sendo uma delas a geração de energia elétrica fotovoltaica conectada à rede elétrica e outra, a geração desconectada à rede elétrica. O projeto foi todo dimensionado e construído levando em consideração as diretrizes arquitetônicas determinadas, tendo sido também sugeridas mudanças para que o objetivo final fosse alcançado de maneira mais eficiente. Como resultado deste projeto obtivemos um sistema completamente capaz de suprir a demanda energética do LabZero, sendo o projeto conectado à rede elétrica suficiente para reduzir custos energéticos de outras edificações vinculadas à universidade.

Palavras-Chaves: Lab-Zero; Sistemas Fotovoltaicos; On-grid; Off-grid; Energia Solar.

ABSTRACT

The rise of renewable energy sources, especially solar energy, draws attention to the fact that more and more these technologies will be used to reduce the strong environmental impact caused by non-renewable sources, such as fossil fuels. As a way of being part of this environmental and technological development, the University of Brasília is proposed to develop a sustainable project for the construction of the LabZero building. Part of this sustainability project will be achieved by having its own energy generation, thus reducing the environmental impacts that could be caused when building a new building. This project for the generation of electric energy through solar energy was developed in two parts: the generation of photovoltaic energy on-grid and the generation off-grid. The entire project was dimensioned and constructed considering the architectural guidelines determined and changes were also suggested so that the final objective could be achieved more efficiently. As a result of this project, we obtained a system completely capable of supplying LabZero's energy demand, being the project on-grid enough to reduce energy costs of other buildings linked to the university.

Keywords: Lab-Zero; Photovoltaic Systems; On-grid; Off-grid; Solar Energy.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	BREVE HISTÓRICO	1
1.2	OBJETIVOS	3
2	ENERGIA SOLAR	4
2.1	INTRODUÇÃO	4
2.2	O EFEITO FOTOVOLTAICO	5
2.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	7
2.3.1	SISTEMAS ON-GRID	7
2.3.2	SISTEMAS OFF-GRID	9
2.4	CONCLUSÃO	10
3	COMPONENTES FOTOVOLTAICAS	12
3.1	INTRODUÇÃO	12
3.2	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	12
3.2.1	EFEITO DE SOMBREAMENTO	13
3.2.2	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	14
3.3	INVERSORES	20
3.4	CONTROLADORES DE CARGA	21
3.4.1	CONTROLADOR PWM	21
3.4.2	CONTROLADOR MPPT	22
3.5	BATERIAS	23
3.6	CONCLUSÃO	23
4	PROJETO LABZERO	25
4.1	INTRODUÇÃO	25
4.2	LOCALIZAÇÃO	25
4.2.1	HSP - HORAS DE SOL PLENO	27
4.3	PROJETO ARQUITETÔNICO	27
4.4	LEVANTAMENTO DE CARGA	28
4.5	DIMENSIONAMENTO ON-GRID	29
4.5.1	DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	29
4.5.2	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR	29

4.6	DIMENSIONAMENTO OFF-GRID.....	31
4.6.1	DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	31
4.6.2	DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS.....	32
4.6.3	DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGAS	33
4.6.4	DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR.....	34
4.7	CONCLUSÃO.....	34
5	SIMULAÇÃO DE GERAÇÃO	36
5.1	INTRODUÇÃO	36
5.2	SIMULAÇÃO ON-GRID	36
5.3	SIMULAÇÃO OFF-GRID.....	40
5.4	CONCLUSÃO.....	44
6	CONCLUSÕES	46
	BIBLIOGRAFIA	47
	ANEXOS.....	50

LISTA DE FIGURAS

1.1	Alexandre Edmond Becquerel (Autor: Charles Jeremie Fuhr).....	1
1.2	Charles Fritts (Fonte: sítio eagles meets tiger).....	2
1.3	Sugestões de Fuller (Fonte: [Kazmerski 2005]).....	2
2.1	Estrutura de Silício Metalúrgico (Fonte: Autoria Própria).....	6
2.2	Dopagem do Silício com o fósforo (Fonte: Autoria Própria).....	6
2.3	Dopagem do Silício com o boro (Fonte: Autoria Própria).....	6
2.4	Conector externo ligado à uma célula de silício (Fonte: Autoria Própria).....	7
2.5	Usina solar em São Gonçalo do Gurguéia-PI (Fonte: Governo do Estado do Piauí) ...	8
2.6	Sistema On-Grid (Fonte: [Bortoloto et al. 2017]).....	8
2.7	Sistema Off-Grid com alimentação em corrente contínua e em corrente alternada (Fonte: [Bortoloto et al. 2017]).....	10
3.1	Associação em série de n módulos (Fonte:[Carneiro 2010]).....	13
3.2	Associação em paralelo de n módulos (Fonte:[Carneiro 2010]).....	13
3.3	Efeito de sombreamento sobre uma célula (Fonte:[Coutinho et al. 2014]).....	14
3.4	Ação do diodo <i>bypass</i> sobre célula sombreada (Fonte:[Coutinho et al. 2014]).....	14
3.5	Silício Policristalino antes de ser preparado para utilização em células (Autor: Warut Roonguthai).....	15
3.6	Exemplos de Células Policristalinas (Fonte: [Ghensev 2006]).....	15
3.7	Lingote de silício monocristalino (Autor: Heinrich Pniok).....	16
3.8	Célula Monocristalina (Fonte: Canadian Solar).....	17
3.9	Célula de Silício Amorfo (Fonte: Portal Solar).....	18
3.10	Geração, difusão, dissociação do éxciton e coleta de carga. (Fonte: [Choy 2013] Adaptado).....	19
3.11	Exemplar de Célula OPV (Fonte: Sunew).....	19
3.12	Inversor Monofásico (Fonte: Canadian Solar).....	20
3.13	Inversor Trifásico(Fonte: Canadian Solar).....	21
3.14	Controlador de Carga PWM(Fonte: Epever).....	22
3.15	Controlador de Carga MPPT(Fonte: Epever).....	22
3.16	Bateria utilizada em sistemas fotovoltaicos(Fonte: Dyness).....	23
4.1	Imagem Aérea com indicação de local do LabZero (Fonte: Google Maps).....	26
4.2	Imagem Aérea aproximada com indicação de local do LabZero (Fonte: Google Maps)	26

4.3	Imagem Terrestre de local do LabZero (Fonte: Google Maps Adaptada)	27
4.4	Horas de Sol Pleno para região de Brasília (Fonte: CRESESB)	27
4.5	Corte da figura 3 (Fonte: Autoria Própria)	35
5.1	Criação de simulação para projeto on-grid (Fonte: SAM)	37
5.2	Indicação de local do sistema on-grid (Fonte: SAM)	38
5.3	Definição dos módulos utilizados (Fonte: SAM)	38
5.4	Definição do inversor utilizado (Fonte: SAM)	39
5.5	Definição do layout do sistema (Fonte: SAM)	40
5.6	Resultado de geração para o sistema on-grid(Fonte: SAM)	40
5.7	Criação de simulação para projeto off-grid (Fonte: SAM)	41
5.8	Indicação de local do sistema off-grid (Fonte: SAM)	42
5.9	Definição dos módulos utilizados (Fonte: SAM)	42
5.10	Definição do inversor utilizado (Fonte: SAM)	43
5.11	Definição do layout do sistema (Fonte: SAM)	43
5.12	Definição do sistema de armazenamento(Fonte: SAM)	44
5.13	Resultado de geração para o sistema off-grid(Fonte: SAM)	44
1	Planta baixa e planta humanizada do LabZero	51
2	Planta de Cobertura e Corte CC	52
3	Corte BB, Detalhamento do Brise e Corte CC	53
4	Fachadas	54
5	Planta Baixa	55
6	Planta de Implantação, Situação e Localização	56
7	Datasheet dos módulos utilizados no sistema on-grid	57
8	Datasheet do inversor utilizado no sistema on-grid	58
9	Datasheet dos módulos utilizados no sistema off-grid	59
10	Datasheet do inversor/controlador de carga utilizado no sistema off-grid	60
11	Datasheet das baterias utilizadas no sistema off-grid	61

LISTA DE TABELAS

4.1	28
4.2	28

GLOSSÁRIO E SÍMBOLOS

Ah	<i>Ampere-hora</i>
ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>
CO ₂	<i>Dióxido de Carbono</i>
C ₆₀	<i>Fulereno</i>
c-Si	<i>Silício Cristalino</i>
FINATEC	<i>Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos</i>
GW	<i>Gigawatt</i>
HSiCl ₃	<i>Triclorosilano</i>
HOMO	<i>Highest Occupied Molecular Orbital</i>
HSP	<i>Horas de Sol Pleno</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
kWp	<i>Quilowatt-pico</i>
LUMO	<i>Lowest Unoccupied Molecular Orbital</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
MW	<i>Megawatt</i>
MWp	<i>Megawatt-pico</i>
m-Si	<i>Silício Monocristalino</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
OPV	<i>Organic Photovoltaic</i>
pc-Si	<i>Silício Policristalino</i>
ppm	<i>Partes Por Milhão</i>
PWM	<i>Modulação por Largura de Pulso</i>
P3HT	<i>poli(3-hexiltiofeno)</i>
REN	<i>Resolução Normativa</i>
SAM	<i>System Advisor Model</i>
SiH ₄	<i>Silano</i>
SiO ₂	<i>Dióxido de Silício</i>
SiCl ₄	<i>Tetracloroeto de Silício</i>
TW	<i>Terawatt</i>
UnB	<i>Universidade de Brasília</i>
Wh	<i>Watt-hora</i>
Wp	<i>Watt-pico</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 Breve histórico

A utilidade do sol como gerador de energia, conforme conhecemos hoje, teve seu início no ano de 1839, quando o físico francês Alexandre Edmond Becquerel (Figura 1.1) observou por acaso o efeito fotoelétrico ao verificar a exposição de eletrodos de platina (ou prata) à luz [Câmara 2011].

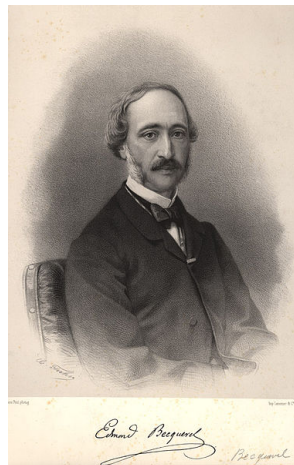


Figura 1.1: Alexandre Edmond Becquerel (Autor: Charles Jeremie Fuhr)

Anos mais tarde, mais precisamente em 1877, foi desenvolvido o primeiro dispositivo sólido capaz de gerar eletricidade: um filme de selênio depositado num substrato de ferro em que um filme de ouro muito fino servia de contato frontal [Câmara 2011]. Este dispositivo foi criado pelos cientistas Richard Evans Day e William Grylls Adams e obteve uma eficiência de conversão de aproximadamente 0,5% [IST-Liboa].

Ainda trabalhando com o selênio, em 1883 Charles Fritts (Figura 1.2) desenvolveu a primeira célula solar, com uma eficiência de 1% produzida por selênio revestido de ouro [IST-Liboa].



Figura 1.2: Charles Fritts (Fonte: sítio eagles meets tiger)

Mas somente em 1954, quando Calvin Fuller desenvolveu o processo de dopagem do silício foi possível chegar a células solares com eficiência consideravelmente maior do que as células produzidas com selênio [Braga 2008]. A primeira aplicação destas células ocorreu no ano seguinte e teve como função alimentar uma rede telefônica local. O módulo foi montado em outubro de 1955 e desmontado em março de 1956 [Câmara 2011].

A figura 1.3 se refere a anotações enviadas por Fuller à Daryl Chapin sugerindo um modelo para montagem de uma célula solar [Câmara 2011].

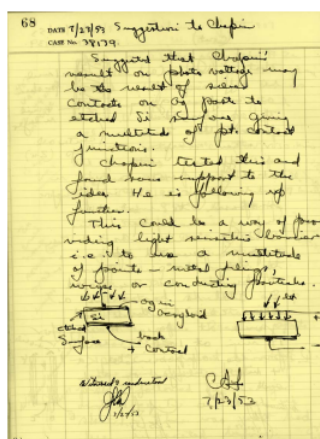


Figura 1.3: Sugestões de Fuller (Fonte: [Kazmerski 2005])

Com relação à eficiência das células solares, a primeira a ultrapassar a barreira dos 20% foi desenvolvida pela Universidade de New South Wales, na Austrália [Câmara 2011].

A década de 90 foi marcada por um período de grande investimento na geração de energia através do sol e, em 1999, a marca de 1GW de painéis instalados foi atingida, sendo essa marca dobrada apenas 3 anos depois [Câmara 2011].

Esse tipo de geração continua a crescer nos dias de hoje e, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), em 2040 a geração de energia solar atingirá a marca de 126 mil MW, se tornando a maior matriz energética do Brasil, superando a hidrelétrica [ABSOLAR 2018].

1.2 Objetivos

Com a expansão do mercado de energia solar, a utilização deste meio para a redução dos custos com energia e para a implementação de ideias sustentáveis se tornaram fundamentais para a incorporação de um sistema de geração de energia solar no projeto do LabZero, que consistirá em uma edificação para estudos *coworking* da Universidade de Brasília.

O projeto de pesquisa desenvolvido tem como objetivo a realização de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados e desconectados à rede para o futuro prédio do LabZero. A realização deste dimensionamento leva em conta as características já determinadas por equipe formada pela Faculdade de Arquitetura da UnB, como as pranchas do prédio e as ideias propostas. Entre essas ideias destaca-se a utilização de células incorporadas em brises para sobreamento do espaço.

O prédio que deverá ser autossustentável, ou seja, capaz de suprir suas próprias necessidades, contará com sistemas capazes de atender toda a demanda energética do local.

Nos capítulos seguintes, todo o funcionamento da estrutura, bem como o funcionamento dos dispositivos necessários para elaboração dos sistemas serão comentados, além da elucidação do efeito fotovoltaico, responsável pela conversão da energia solar em energia elétrica.

Capítulo 2

Energia Solar

2.1 Introdução

A superfície da Terra é atingida por um suprimento enorme de energia proveniente do Sol, são cerca de $3 \cdot 10^{24}$ joules por ano, ou seja, $9,5 \cdot 10^4$ TW (Terawatts) de energia, o que representa 10.000 vezes mais do que o consumo de toda a população do planeta [Grätzel 2001]. Com a suposição de um cenário otimista, porém com considerações razoáveis de crescimento populacional e aumento da demanda por energia, a projeção é de 28 TW em 2050 para um consumo global de energia elétrica [Hagfeldt 2010].

Um dos grandes problemas para que boa parte dessa energia solar seja aproveitada para o consumo populacional é o seu elevado preço. Segundo dados divulgados em estudo realizado pela Greener, o valor dos sistemas residenciais para o primeiro semestre de 2020 foi de R\$4,76/Wp (watt-pico) [Greener 2020], logo um sistema instalado de 1kWp custaria ao consumidor R\$4.760,00. No entanto, segundo estudo realizado pelo IBGE, em 2019 a renda de 50% dos brasileiros girava em torno de R\$850,00 [IBGE 2019]. Ainda que em 2020 o valor do watt-pico tenha caído com relação ao valor de 2012, quando o valor do watt-pico era estimado em R\$10,00 [Abinee 2012], o custo para um sistema de 1kWp representa 560% da renda de metade dos brasileiros.

Além disso, boa parte dos dispositivos que compõem os sistemas fotovoltaicos são importados para o Brasil, sendo assim, estes estão sujeitos à variação cambial, o que pode estes dispositivos em alguns momentos. Os módulos fotovoltaicos, responsáveis por converter a energia solar em elétrica através do efeito fotovoltaico, por exemplo, tiveram uma queda no seu volume importado do primeiro para o segundo trimestre de 2020 de 1.614MWp para 877MWp [Greener 2020], e no primeiro trimestre de 2020 o dólar teve um aumento de 29% [Forbes 2020]

Ainda que o preço seja considerado elevado para boa parte da população brasileira, a queda significativa no valor dos sistemas considerando os anos de 2012 e 2020 abre a possibilidade para que a energia solar seja melhor aproveitada. Além disso, os sistemas fotovoltaicos têm um papel bastante importante no desenvolvimento de projetos sustentáveis visto que a queima de combustíveis fósseis provoca a emissão de CO_2 . Com a redução dos custos e uma necessidade de redução na produção de CO_2 , o aproveitamento da energia solar é um bom caminho a ser seguido.

2.2 O Efeito Fotovoltaico

O silício, material mais utilizado hoje na confecção de células solares, possui características de um semicondutor. Os semicondutores apresentam uma menor concentração de transportadores com capacidade de locomoção se comparado aos condutores metálicos, e a acumulação desses transportadores no interior do semicondutor corresponde a uma distribuição de carga espacial [Silva 2006].

Para se conduzir cargas nos materiais sólidos, o processo envolve o movimento de elétrons, o que por sua vez é dependente da estrutura eletrônica do material. Para os semicondutores os transportadores móveis são os elétrons da banda de condução e os buracos da banda de valência. A banda de valência é o resultado do recobrimento entre os orbitais de valência dos átomos individuais, enquanto a banda de condução é resultado do recobrimento entre os orbitais mais elevados parcialmente preenchidos ou vazios [Silva 2006].

A capacidade de condução destes materiais pode ser variada ao se realizar um procedimento conhecido como dopagem, em que pequenas quantidades de um elemento é acrescida ao semicondutor, conferindo ao mesmo um acréscimo no número de doadores e receptores de elétrons [Bockris e Reddu 1977].

O silício apresenta-se geralmente como areia. Através de um tratamento adequado é obtido um silício mais puro, conhecido como Silício Metalúrgico, o processo para obtenção desse tipo de Silício será visto no capítulo 3. O cristal deste silício não possui elétrons livres, como mostra a figura 2.1, o tornando um mau condutor de energia, mas podemos realizar a dopagem deste material para enfim obtermos um material com melhor capacidade de condução de corrente [Nascimento 2004].

A primeira etapa para se obter um material com características condutoras é a dopagem do silício com o fósforo. Desta dopagem se obtém um material com elétrons a mais, ditos elétrons livres ou materiais com carga negativa, e pode ser chamado de silício tipo N. Na figura 2.2, podemos observar que na banda de condução há elétrons além dos que compõem as ligações de silício, esses são os elétrons incorporados pela dopagem com o fósforo [Nascimento 2004].

Posterior a isso, a banda de valência recebe uma dopagem com o boro, que contém características inversas a dopagem com o fósforo, ou seja, a camada de valência sofre uma carência de elétrons, deixando buracos - cargas positivas livres - nos lugares antes ocupados por elétrons. O silício com essas características é chamado de silício tipo P. A figura 2.3, nos mostra esses buracos na camada de valência do silício [Nascimento 2004].

Cada célula solar é composta por uma camada fina de silício tipo N e uma mais espessa de silício tipo P. Separadas, essas camadas são eletricamente neutras. Mas ao se unirem, na região P-N forma-se um campo elétrico devido aos elétrons livres da estrutura do silício tipo N ocuparem os buracos da estrutura do silício tipo P. Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons dessa luz se chocam com os elétrons fornecendo a eles energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico formado pela junção P-N, os elétrons fluem da camada P para a camada N [Nascimento 2004].

Na figura 2.4 podemos observar a implementação de um condutor externo ligando a camada negativa a positiva. Essa conexão gera um fluxo de elétrons (corrente elétrica) e esse fluxo permanecerá enquanto a luz estiver incidindo sobre o material.

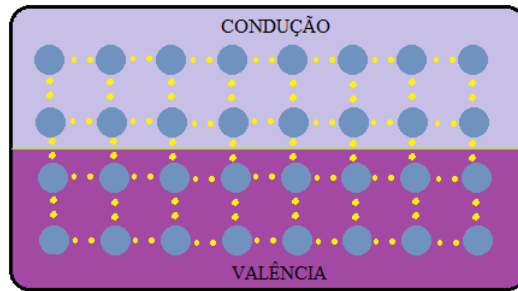


Figura 2.1: Estrutura de Silício Metalúrgico (Fonte: Autoria Própria)

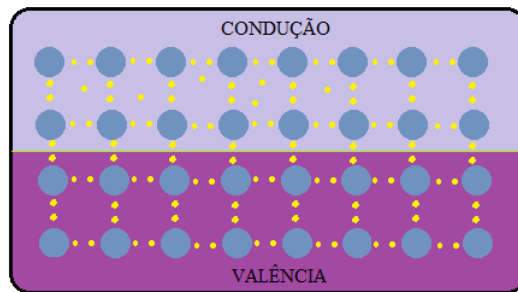


Figura 2.2: Dopagem do Silício com o fósforo (Fonte: Autoria Própria)

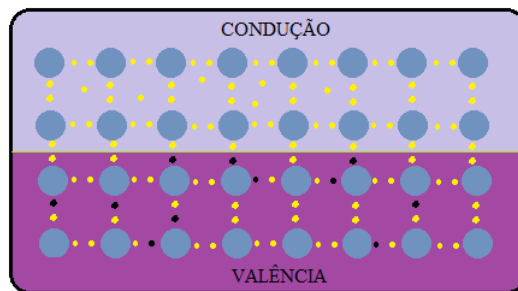


Figura 2.3: Dopagem do Silício com o boro (Fonte: Autoria Própria)

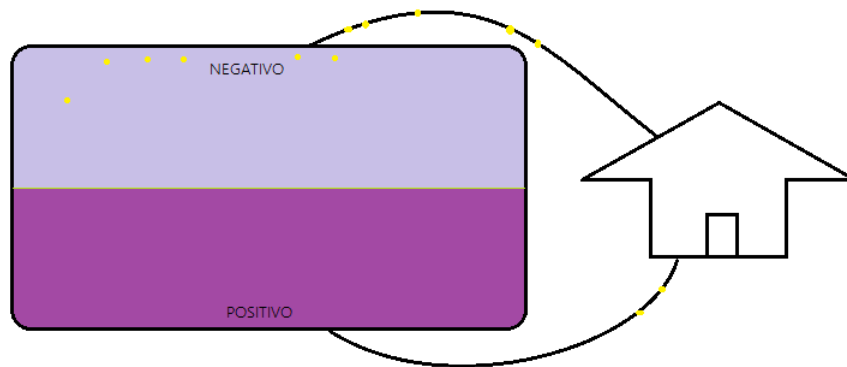


Figura 2.4: Conector externo ligado à uma célula de silício (Fonte: Autoria Própria)

2.3 Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos é todo um conjunto de dispositivos que tem como objetivo final o aproveitamento da energia solar por meio da energia elétrica. Na maior parte das vezes a energia elétrica é injetada na rede de distribuição ou utilizada para alimentar cargas em situações em que a rede elétrica é inexistente ou com acessibilidade dificultada. Essa é a principal razão para que se distingam dois tipos de sistemas fotovoltaicos: os conectados à rede elétrica, também chamados de On-Grid e os sistemas independentes da rede, também conhecidos como Off-Grid [Freitas 2008].

Além da diferença de autonomia dos dois sistemas, eles se diferem em muitos outros quesitos, como os dispositivos que compõem o sistema, os procedimentos relativos ao projeto, custo e manutenção.

2.3.1 Sistemas On-Grid

Os sistemas on-grid são aqueles em que o sistema de geração é conectado em paralelo à rede, de maneira que esta funciona semelhantemente a um banco de baterias, ora armazenando a energia excedente, ora suprindo a demanda da unidade consumidora.

Neste sistema, todo o arranjo é conectado em inversores e estes devem satisfazer os critérios de segurança e exigências de qualidade para que a rede tenha o funcionamento adequado. Tem-se como critérios: sistema anti-ilhamento distorção harmônica em consonância com as normas aplicáveis, saída CA com forma de onda senoidal pura, proteções contra sobretensões e sobrecorrente, dentre outras [Câmara 2011].

Os sistemas conectados à rede elétrica podem ser de grande porte (centrais fotovoltaicas) ou de pequeno porte (produção distribuída) [Câmara 2011].

As centrais fotovoltaicas fornecem potência à rede elétrica instantaneamente por meio de um ou mais inversores e transformadores. Grandes centrais fotovoltaicas demandam bastante espaço, sendo assim, tem-se como desvantagem um custo maior na transmissão e distribuição dessa energia [Câmara 2011]. A figura 2.5 mostra a maior usina solar do Brasil, localizada em São Gonçalo do

Gurguéia-PI com 475,7MW em operação.



Figura 2.5: Usina solar em São Gonçalo do Gurguéia-PI (Fonte: Governo do Estado do Piauí)

A produção distribuída é aquela em que os módulos são instalados diretamente nas edificações. A energia gerada pelos módulos em CC é transformada em CA pelo inversor e pronta para ser consumida pela edificação. No caso deste tipo de geração, o excedente entre o que foi gerado e o que foi consumido é injetado na rede elétrica e repassado ao consumidor em forma de créditos [Câmara 2011].

A figura 2.6 mostra o esquemático de como funciona esse tipo de geração. Nela podemos observar os módulos enviando corrente contínua ao inversor, a partir deste ponto a energia está pronta pra ser consumida ou injetada na rede. Neste tipo de sistema é instalado um relógio bidirecional, que mede a diferença entre o que foi gerado e o que foi consumido.



Figura 2.6: Sistema On-Grid (Fonte: [Bortoloto et al. 2017])

2.3.1.1 Sistema de Compensação de Créditos

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é responsável por regulamentar as gerações distribuídas no Brasil, sendo parte desta regulamentação o estabelecimento de normas e diretrizes

para o sistema de compensação de energia elétrica.

Em sua Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012, no capítulo III, art. 6º, a resolução indica os consumidores aptos para aderirem ao sistema de compensação.

"Art. 6º Podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores responsáveis por unidade consumidora: (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

I – com microgeração ou minigeração distribuída; (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

II – integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras; (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

III – caracterizada como geração compartilhada; (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

IV – caracterizada como autoconsumo remoto. (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)"

Trecho retirado de: [ANEEL 2012], [ANEEL 2015].

Neste mesmo artigo, em seu primeiro parágrafo, a resolução nos indica a quantidade de crédito por energia ativa injetada e o período de validade destes créditos:

"§1º Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses. (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)"

Trecho retirado de: [ANEEL 2012], [ANEEL 2015].

A resolução ainda nos informa que o excedente injetado que não tenha sido compensado pela própria unidade consumidora pode ser utilizado para compensação de outra unidade consumidora, desde que essa esteja em nome (CPF/CNPJ) do proprietário da unidade consumidora onde se encontra a geração distribuída.

"Art7º, Inciso VI - o excedente de energia que não tenha sido compensado na própria unidade consumidora pode ser utilizado para compensar o consumo de outras unidades consumidoras, observando o enquadramento como empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada ou autoconsumo remoto; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)"

Trecho retirado de: [ANEEL 2012], [ANEEL 2015].

Os sistemas fotovoltaicos on-grid ainda dependem da rede elétrica de energia, de maneira que, em caso de falta, o sistema é desligado para que, em caso de manutenção da rede, o sistema gerador de energia solar não a energize.

2.3.2 Sistemas Off-Grid

Os sistemas off-grid são aqueles desconectados da rede elétrica. São utilizados de maneira intencional quando se busca independência da unidade consumidora em relação à companhia de energia elétrica do local ou ainda quando há dificuldade de chegada das redes de energia, como é o caso de lugares remotos, áreas rurais e afins.

Os sistemas off-grid têm sua energia completamente suprida por fontes renováveis de energia - como geradores eólicos e solar - ou não renováveis - como é o caso dos geradores à diesel. Os sistemas híbridos, ou seja, aqueles em que duas fontes são utilizadas para suprir a demanda de energia, são os mais comuns, visto que as imprevisibilidades causadas pelos geradores renováveis são facilmente solucionadas por uma fonte auxiliar de energia [Santos 2019].

No caso de toda a demanda ser suprida por uma única fonte renovável, faz-se necessário a utilização de um banco de baterias, que armazenará a energia para ser utilizada em períodos que o gerador não é capaz de suprir a demanda da unidade consumidora.

Nos sistemas off-grid a energia solar é captada por meio dos módulos fotovoltaicos. Após os módulos, os controladores de carga são responsáveis por gerir a entrada e saída de cargas na bateria, de maneira que a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos seja armazenada com melhor eficiência. Essa energia armazenada nas baterias é mandada para o inversor, responsável por transformar a corrente contínua em corrente alternada, preparando a energia para que seja utilizada nos equipamentos da unidade.

Na figura 2.7 podemos observar que os módulos recebem a energia solar, convertem para energia elétrica e a enviam para o controlador de carga que, posteriormente, a envia para o banco de baterias. As baterias podem alimentar cargas diretamente em corrente contínua ou enviar para o inversor, que converterá essa corrente para corrente alternada a deixando pronta para os equipamentos.

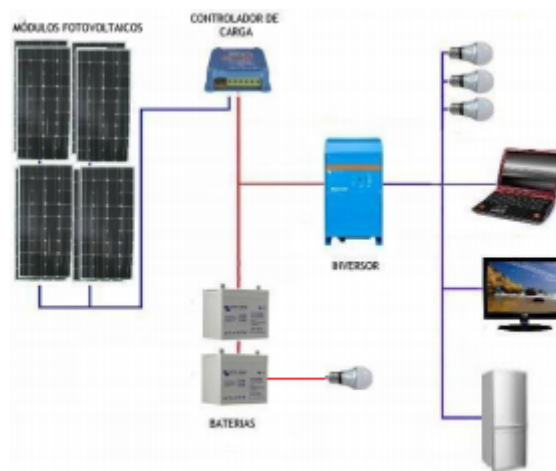


Figura 2.7: Sistema Off-Grid com alimentação em corrente contínua e em corrente alternada (Fonte: [Bortoloto et al. 2017])

2.4 Conclusão

Neste capítulo ilustramos a capacidade de energia que o sol emite para a Terra e como a conversão desta energia para a energia elétrica pode ser realizada através do efeito fotovoltaico. Além disso demonstramos o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos conectados e desconectados à rede, mostrando diferenças entre eles e principais aplicações.

No capítulo que se segue, dedicaremos nossa atenção aos dispositivos que compõem todos esses sistemas, nos preparando assim para a realização do dimensionamento do projeto proposto para o LabZero.

Capítulo 3

Componentes Fotovoltaicas

3.1 Introdução

Um sistema fotovoltaico é constituído por componentes responsáveis pela formação do bloco gerador, bloco condicionador e bloco de armazenamento. O bloco gerador é formado pelos módulos fotovoltaicos, que são compostos por células responsáveis por realizar a conversão da energia solar. Posterior a isso temos o bloco de condicionamento, podendo ser formado por inversores e controladores de carga, esses dispositivos são responsáveis por preparar a energia para o consumo direto ou para armazenamento dessa energia no seguinte bloco, o bloco de armazenamento. Este é composto por um banco de baterias, responsáveis por armazenar a carga que posteriormente será utilizada, formando assim um sistema autônomo completamente independente da rede elétrica da concessionária de energia [Carneiro 2010].

3.2 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são estruturas compostas por células fotovoltaicas responsáveis pela conversão da energia através do efeito fotovoltaico. A tensão gerada por um módulo individualmente é relativamente baixa, portanto, para atingirmos a tensão e corrente desejada para utilização, devemos realizar a conexão de mais módulos, seja ela em série ou em paralelo.

Os módulos fotovoltaicos ligados em série constituem fileiras denominadas *strings* [Carneiro 2010], em que a conexão de um terminal positivo do módulo deve ser realizada junto ao terminal negativo do outro e assim por diante [CRESESB 2014]. Para essa conexão é importante ressaltar que os módulos devem ser do mesmo tipo, reduzindo assim, as perdas do sistema. Essa associação nos permite obter tensões mais elevadas, sem alterar as correntes nos módulos, como demonstra as equações 3.1 e 3.2.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (3.1)$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (3.2)$$

A figura 3.1, demonstra o esquemático de um associação em série de n módulos.

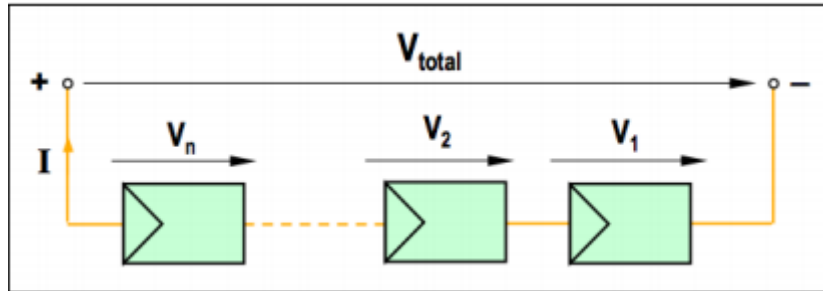


Figura 3.1: Associação em série de n módulos (Fonte:[Carneiro 2010])

Já a associação em paralelo é geralmente utilizada quando se pretende obter correntes mais elevadas sem variar o nível de tensão nos módulos [Carneiro 2010]. Para isso, deve-se conectar os terminais positivos dos módulos entre eles, e fazer o mesmo para os terminais negativos [CRESESB 2014]. Os resultados dessa conexão é demonstrado nas equações 3.3 e 3.4.

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (3.3)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (3.4)$$

O esquemático da conexão em paralelo de módulos fotovoltaicos é demonstrado na figura 3.2.

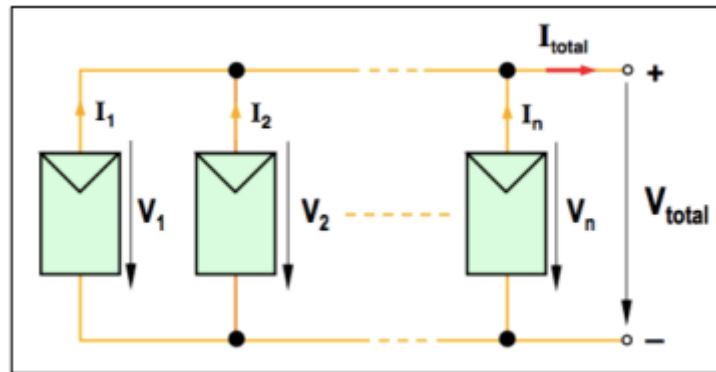


Figura 3.2: Associação em paralelo de n módulos (Fonte:[Carneiro 2010])

3.2.1 Efeito de sombreamento

O efeito de sombreamento é um dos principais problemas nos sistemas fotovoltaicos que possuem conexões em série. Quando uma ou mais células deixam de receber radiação solar, seja pela sombra de uma árvore, seja por sujeiras depositadas nos módulos, a corrente que passa por esse módulo irá

limitar a corrente de toda a *string* [CRESESB 2014]. Essa limitação de corrente traz prejuízos por perda de potência no gerador e, além disso, essa potência elétrica que não é entregue se dissipa nos módulos, ou em apenas um deles, fenômeno chamado de *hotspot*, que produz intenso calor sobre a célula, podendo danificar a mesma [CRESESB 2014].

Uma possível solução para este problema é a inserção de diodos responsáveis por desviar a corrente que passaria pela célula sombreada. Esse diodo é chamado de *bypass* e é conectado em paralelo com as células, ou em um conjunto delas.

A figura 3.3 demonstra a interrupção do fluxo de corrente sobre uma célula atingida pelo efeito de sombreamento. Já a figura 3.4 demonstra como o diodo *bypass* age prevenindo que isso ocorra [Coutinho et al. 2014].



Figura 3.3: Efeito de sombreamento sobre uma célula (Fonte:[Coutinho et al. 2014])

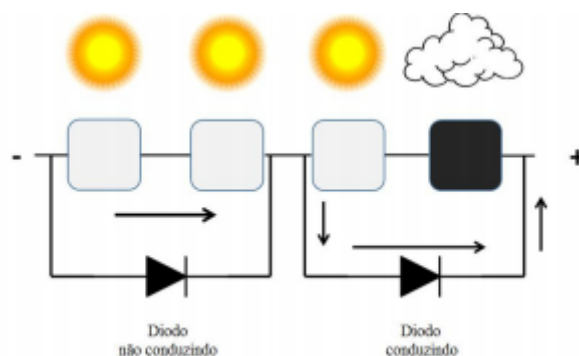


Figura 3.4: Ação do diodo *bypass* sobre célula sombreada (Fonte:[Coutinho et al. 2014])

3.2.2 Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são dispositivos formados por um material semicondutor, geralmente o silício. Ao longo dos anos diversas tecnologias buscaram formas de diminuir os custos de produção ou aumentar a eficiência do material, de forma que se obteve diversos tipos de células, sendo as principais: células de silício mono cristalino, silício amorfo, silício policristalino, filmes finos, e células orgânicas ou OPV (*Organic Photovoltaic*).

3.2.2.1 Silício Cristalino (c-Si)

O Dióxido de Silício (SiO_2) é abundantemente encontrado na areia da praia. No entanto, para se obter um material com boa condutividade, o silício deve ser submetido a um processo em que se objetiva alcançar uma pureza alta do material [Mori, Santos e Sobral 2017][Ghensev 2006].

Esse nível de pureza é obtido atualmente através de métodos químicos que atuam sobre um composto de silício em que o processo de purificação se dá de maneira facilitada. Entre os compostos

mais utilizados para a realização desse processo estão o triclorosilano (HSiCl_3), o tetracloreto de silício (SiCl_4) e o silano (SiH_4) [Mori, Santos e Sobral 2017]. Para isso moemos o silício metalúrgico - que é obtido ao submetermos o dióxido de silício a um processo de redução em temperatura em torno de 2000°C - juntamente com o coque, que consiste em um tipo de combustível derivado do carvão betuminoso [Mori, Santos e Sobral 2017][Secretaria de Educação do Paraná]. O silício metalúrgico é levado a reagir com gás clorídrico anidro, em temperatura de aproximadamente 300°C em um reator de leito fluidizado. Desta operação obtemos o triclorosilano, o tetracloreto de silício, o diclorosilano e o silano. Esses compostos passam por processos de destilação para purificação do tetracloreto de silício, do triclorosilano e diclorosilano, além da remoção de compostos metálicos e carbono [Mori, Santos e Sobral 2017].

3.2.2.2 Silício Policristalino (pc-Si)

Para obtenção do silício policristalino, o vapor do triclorosilano é submetido a uma deposição química com hidrogênio em reatores do tipo-U, em que filamentos de silício são aquecidos a uma temperatura entre 1000 e 1100°C . Assim, o silício é depositado nos filamentos aquecidos, resultando em silício policristalino. A este processo dá-se o nome de "Processo Siemens" [Mori, Santos e Sobral 2017]. O silício policristalino tem concentração de impurezas na ordem de $<1\text{ppm}$ (10^{13}cm^{-3}). O material é solidificado de forma direcional e posteriormente é cortado em finas fatias para utilização em elementos fotovoltaicos [Ghensev 2006].

A figura 3.5 nos mostra o silício policristalino antes do material ser cortado para utilização nas células. Já a figura 3.6 se refere a um exemplar de um módulo de células policristalinas.



Figura 3.5: Silício Policristalino antes de ser preparado para utilização em células (Autor: Warut Roonguthai)

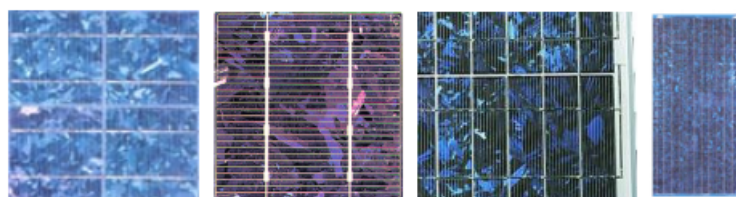


Figura 3.6: Exemplos de Células Policristalinas (Fonte: [Ghensev 2006])

3.2.2.3 Silício Monocristalino (m-Si)

A matéria prima para obtenção do monocristal é o silício policristalino e este tipo de silício é obtido através do método Czochralski.

Neste método o silício policristalino é derretido em temperatura na ordem de 1500°C. Após o derretimento, adiciona-se materiais dopantes ou impurezas de maneira a se obter um material com características semicondutoras. Esses dopantes são normalmente o fósforo e o boro. Uma amostra de silício monocristalino é mergulhada no material contendo o silício policristalino derretido e essa amostra é levantada na ordem de cm/hora. No silício derretido, seus átomos se cristalizam ao redor da amostra e formam um lingote com orientação cristalina igual a da amostra. Esse lingote é fatiado em finos discos formando os *wafers* que serão utilizados na produção das células fotovoltaicas [Ghensev 2006]. Cerca de 80% dos monocristais de silício são obtidos por este método [Mori, Santos e Sobral 2017].

Devido ao seu grau de pureza e à complexidade da obtenção do silício monocristalino, as células produzidas por este material são comumente mais caras que as células de silício policristalino [CRESESB].

A figura 3.7 nos mostra um lingote silício monocristalino. Já a figura 3.8 se refere a um exemplar de célula monocristalina.

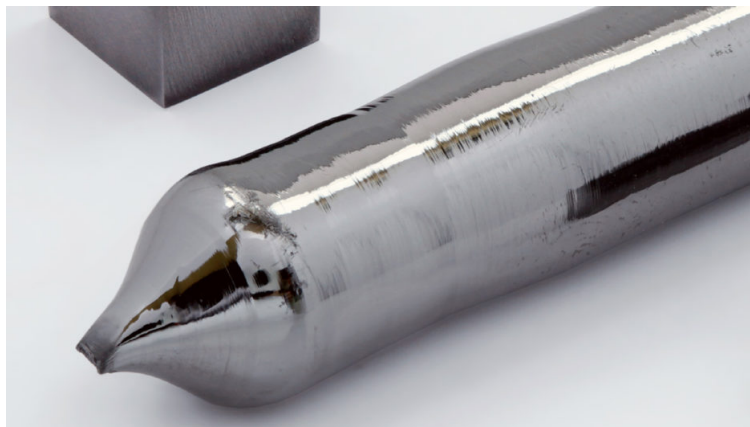


Figura 3.7: Lingote de silício monocristalino (Autor: Heinrich Pniok)



Figura 3.8: Célula Monocristalina (Fonte: Canadian Solar)

3.2.2.4 Células de Filmes Finos

As células de filmes finos são responsáveis por cerca de 12% de toda a produção de energia fotovoltaica do mundo [CRESESEB 2014]. A alta absorção ótica dos materiais utilizados permite a criação de células extremamente finas. Além disso, essas células, diferentemente das células de silício cristalino, não se limitam aos formatos quadriláteros, ampliando sua possibilidade de uso na arquitetura de edificações [Ghensev 2006].

Dentre os materiais utilizados na produção desse tipo de célula destaca-se o silício amorfo, ou seja, não possui estrutura cristalina, mas ainda preserva características de um material semicondutor.

O silício amorfo é produzido em fornos de ambiente a vácuo e, sob a ação de um campo elétrico de alta frequência, ele recebe impurezas de elementos necessários. Os átomos de sua estrutura não estão arranjados em nenhuma ordem e sua estrutura possui inúmeros defeitos, não formando ligações covalentes e, portanto, não tendo estrutura cristalina. A alteração da estrutura cristalina devido a dopagem de átomos nas regiões falhas permite a circulação de carga, o tornando aplicável para dispositivos eletroeletrônicos [Ghensev 2006].

A produção de filmes a base de silício amorfo dá-se pela deposição de plasma em diferentes tipos de substratos, desenvolvendo assim elementos com características flexíveis [Ghensev 2006].

A figura 3.9 ilustra um módulo fotovoltaico formado por células de silício amorfo.



Figura 3.9: Célula de Silício Amorfo (Fonte: Portal Solar)

3.2.2.5 Células Orgânicas (OPV - *Organic Photovoltaic*)

Os semicondutores orgânicos são materiais à base de Carbono (C) com características de semicondutores. A ligação atômica dominante é a ligação P, enquanto que a força de Van der Waals é responsável por manter as moléculas unidas [Choy 2013]. Analogamente aos semicondutores inorgânicos, os orgânicos possuem bandas de energia chamadas de HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) e LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) que resultam em diferentes níveis de energia em um semicondutor orgânico.

Para que ocorra o efeito fotovoltaico, são necessários dois tipos de materiais um aceitador de elétrons sendo o fulereno (C_{60}) o dominante para essa função, e um doador de elétrons sendo o poli(3-hexiltiofeno) (P3HT) o material mais estudado para tal [Galdino 2018]. Ao ser atingido por um fóton solar, toda a molécula se excita gerando um exciton, um par elétron-lacuna, que continua unido pela força Coulomb [Choy 2013], esse processo corresponde a etapa 1 da figura 3.10, em que as letras D e A representam respectivamente o material doador e o material aceitador (receptor) de elétrons. Logo após, na etapa 2, o exciton criado se difunde ao longo do material até encontrar a interface entre os materiais doador e aceitador de elétrons. Já na etapa 3, é necessário que esse par elétron-lacuna se dissocie, para isso a energia entre o LUMO do material doador e do material receptor deve ser menor que a energia de ligação do exciton, formando um caminho favorável para que o elétron saia do material doador e chegue ao material receptor do elétron, separando as cargas e levando aos eletrodos. A etapa 4 representa a coleta de carga pelos eletrodos.

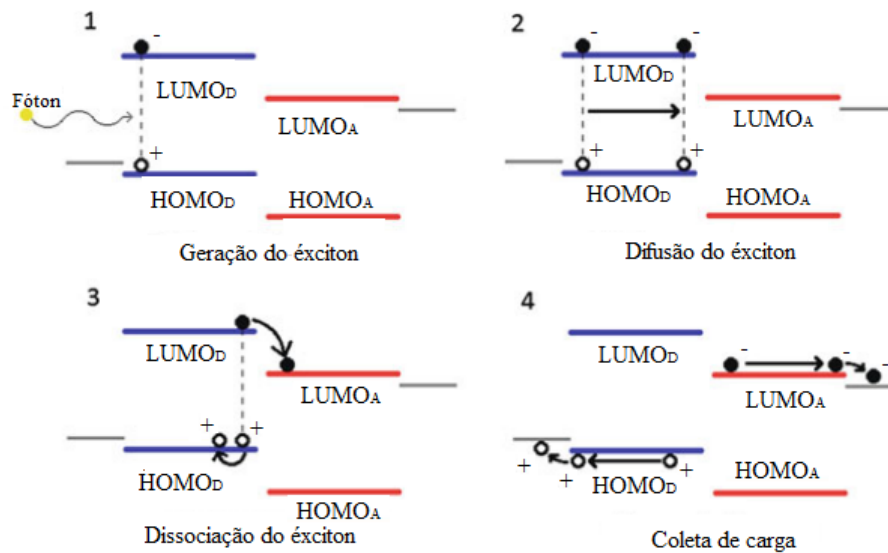


Figura 3.10: Geração, difusão, dissociação do éxciton e coleta de carga. (Fonte: [Choy 2013] Adaptado)

O material receptor e doador de elétrons representa a camada ativa da célula orgânica, também chamada de heterojunção. Essa camada é comumente revestida por um material que facilita o deslocamento das cargas para os eletrodos. Envolvendo toda superfície há um envoltório transparente cobrindo toda sua superfície para proteger contra umidade e preservar a integridade do material [Galdino 2018].

A figura 3.11 exemplifica uma célula fotovoltaica orgânica.



Figura 3.11: Exemplar de Célula OPV (Fonte: Sunew)

3.3 Inversores

Os inversores são dispositivos responsáveis pela conversão de energia elétrica em corrente contínua para corrente elétrica em corrente alternada. Estes dispositivos fazem parte dos sistemas On-Grid, vindo logo após os módulos, e é destes módulos que virá a corrente contínua que deverá ser convertida. Para este caso, a tensão de saída do inversor deve estar sincronizada à rede elétrica. Os inversores para conexão à rede com potência de até 5kW têm saída monofásica. A partir desta potência, o inversor trifásico, ou monofásico com associação trifásica, é mais comumente utilizado [CRESESB 2014].

Já nos sistemas Off-Grid os inversores devem ou não vir após o banco de baterias. Quando as cargas deste tipo de sistema funcionam em corrente contínua, o uso deste equipamento se faz desnecessário, porém para equipamentos que utilizam corrente alternada, estes dispositivos devem converter a energia em corrente contínua proveniente das baterias.

A figura 3.12 nos mostra um inversor monofásico, enquanto a figura 3.13 representa um inversor trifásico.



Figura 3.12: Inversor Monofásico (Fonte: Canadian Solar)



Figura 3.13: Inversor Trifásico(Fonte: Canadian Solar)

3.4 Controladores de Carga

Os controladores de carga são dispositivos indispensáveis para a maioria dos casos de sistemas fotovoltaicos autônomos. Eles funcionam como uma proteção para bateria, de maneira que a ausência deste dispositivo poderia ocasionar danos irreversíveis nos armazenadores de carga.

O controlador funciona monitorando a carga da bateria, permitindo a carga completa delas e impedindo que elas descarreguem completamente, diminuindo assim sua vida útil.

Os controladores devem desconectar as baterias dos módulos ao se atingir a carga plena e em períodos de baixa insolação, isolando os painéis para que a bateria não seja descarregada, já que nesses períodos a tensão nos módulos é quase nula [Reiter, Reiter e Péres 2014].

3.4.1 Controlador PWM

A Modulação por Largura de Pulso (PWM) é a maneira mais eficiente para se obter a tensão desejada da bateria. Quando operando em PWM, a corrente nos módulos diminui ou aumenta de acordo com a condição da bateria [Reiter, Reiter e Péres 2014].

Os controladores com essa tecnologia reduzem lentamente a corrente de carregamento quando a tensão da bateria atinge o ponto de regulação, evitando assim o aquecimento e a gaseificação da bateria. No entanto, o controlador continua fornecendo a quantidade máxima de energia no menor tempo possível para a bateria [Reiter, Reiter e Péres 2014].

A figura 3.14 ilustra esse dispositivo.



Figura 3.14: Controlador de Carga PWM(Fonte: Epever)

3.4.2 Controlador MPPT

Os Controladores MPPT são controladores mais sofisticados e adotam a estratégia de seguimento de potência máxima do painel fotovoltaico buscando aumentar a eficiência do carregamento das baterias. Para isso, o equipamento opera com uma tensão de entrada mais elevada que outros tipos de controladores de carga, além disso um conversor de corrente contínua para corrente contínua funciona como um estágio inicial, visando alcançar um melhor casamento entre a curva I-V dos módulos e baterias [Reiter, Reiter e Péres 2014].

Esses controladores são bastante eficientes, e esta eficiência está na faixa de 92 a 97% [CRESESB 2014].

A figura 3.15 ilustra esse dispositivo.



Figura 3.15: Controlador de Carga MPPT(Fonte: Epever)

3.5 Baterias

Em sistemas Off-Grid, o uso de bateria é essencial para que o consumidor ainda tenha acesso a energia elétrica mesmo no período noturno ou quando há uma baixa incidência de radiação solar nos módulos fotovoltaicos, como é o caso de um dia chuvoso. Assim, parte da energia convertida pelos módulos é armazenada nas baterias para um uso posterior.

Uma bateria é um conjunto de vasos eletroquímicos capazes de armazenar energia elétrica em forma de energia química por meio de um processo de oxidação e redução eletroquímica que ocorre em seu interior. No momento em que a bateria carregada é conectada a uma carga, uma corrente contínua é produzida pela conversão de energia química em energia elétrica [CRESESB 2014].

A figura 3.16 ilustra esse dispositivo.



Figura 3.16: Bateria utilizada em sistemas fotovoltaicos(Fonte: Dyness)

3.6 Conclusão

Visto que o projeto do LabZero prevê que parte da sua energia seja suprida por um sistema On-Grid e parte seja suprida por um sistema Off-Grid, todos os dispositivos listados neste capítulo serão utilizados, sendo as baterias e o controlador de carga utilizados exclusivamente para o sistema Off-Grid, e os demais estarão presentes em ambos os sistemas.

O preço dos sistemas fotovoltaicos ainda é um desafio a ser superado, para o sistema On-Grid iremos utilizar os módulos contruídos a partir de células de silício policristalino, devido a sua boa relação custo x benefício. Para o sistema Off-Grid, a solução encontrada é a utilização das células orgânicas devido a sua facilidade de adaptação a arquitetura do projeto. Apesar de não serem facilmente encontradas, há hoje fabricantes que disponibilizam esse material para o Brasil

de maneira facilitada.

No capítulo 4, todo o sistema On-Grid e Off-Grid do LabZero será dimensionado, e os demais componentes serão escolhidos de maneira a se adequarem ao projeto proposto.

Capítulo 4

Projeto LabZero

4.1 Introdução

O LabZero consistirá em uma edificação voltada aos estudos individuais e coletivos da comunidade acadêmica da Universidade de Brasília.

O projeto visa suprir, via energia solar fotovoltaica, toda a energia demandada pela edificação, sendo parte dela suprida de maneira conectada à rede e outra parte de maneira autônoma. O sistema on-grid será estruturado junto ao telhado da edificação, já o sistema off-grid, que deverá ser dimensionado com células OPV, estará adesivado junto às janelas na parte posterior da edificação.

4.2 Localização

O LabZero será edificado onde hoje se encontra o heliponto UNB Autotrac, próximo à FINATEC no campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, localizado na Asa Norte. Tem como Latitude/Longitude: -15.772365826749809, -47.87000077067653.

A figura 4.1 indica o local na Asa Norte onde será contruído o LabZero. A figura 4.2 indica o exato local de construção, nela podemos observar a proximidade do local com a UNB Autotrac. À esquerda do UNB Autotrac está localizada a FINATEC. A figura 4.3 mostra uma visão terrestre do local de construção além de indicar o norte geográfico, informação importante que nos indica que os módulos estarão na melhor direção possível para captar energia solar.



Figura 4.1: Imagem Aérea com indicação de local do LabZero (Fonte: Google Maps)



Figura 4.2: Imagem Aérea aproximada com indicação de local do LabZero (Fonte: Google Maps)



Figura 4.3: Imagem Terrestre de local do LabZero (Fonte: Google Maps Adaptada)

4.2.1 HSP - Horas de Sol Pleno

Essa grandeza representa o número de horas em que a irradiância deve permanecer constante e igual a $1kW/m^2$, de maneira que a resultante expresse a energia disponibilizada no local pelo sol.

A figura 4.4, retirada de [CRESESB], nos mostra os valores por mês para as horas de sol pleno - intervalo de tempo em que se concentraria uma irradiância solar constante de $1000W/m^2$ - na região de Brasília. De maneira mais conservadora, para elaboração deste projeto iremos considerar $HSP = 5$ horas.

Latitude: 15,772366° S
Longitude: 47,870001° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta	
<input checked="" type="checkbox"/>	Brasilia	Brasilia	DF	BRASIL	15,801° S	47,849° O		3,9	5,42	5,74	5,05	5,06	4,83	4,70	4,95	5,77	5,70	5,59	5,08	5,44	5,28	1,08

Figura 4.4: Horas de Sol Pleno para região de Brasília (Fonte: CRESESB)

4.3 Projeto Arquitetônico

O projeto arquitetônico do LabZero foi desenvolvido pela Equipe LabZero (FAU/UnB), formada especificamente para elaboração desse projeto. O projeto consiste em uma edificação central, onde funcionará um espaço de coworking/área de estudos, um estacionamento, um bicicletário, uma central de resíduos e um jardim.

Todo o projeto foi pensado de maneira a ter o menor impacto ambiental possível, tendo assim sua própria geração de energia, com equipamentos de baixo consumo, além de grande área verde e central de resíduos, onde o lixo deverá ser separado de maneira que os recicláveis, não-recicláveis e orgânicos possam ser reaproveitados ou descartados de maneira correta.

A edificação do LabZero deve aproveitar um espaço que hoje se encontra pouco utilizado, trazendo uma movimentação maior da comunidade acadêmica para o local. Servindo também como um desafogo para os outros ambientes de estudos coletivos da universidade.

O prédio ocupará um espaço de 207m² de área construída, com altura máxima em torno de 7,40m, e comprimento de 22,80m.

Em anexo encontra-se todas as pranchas do projeto.

4.4 Levantamento de Carga

O levantamento de cargas foi realizado de acordo com as necessidades do local. Como o espaço será utilizado para estudos, foi previsto a utilização de notebooks, desktops, além de aparelhos ar-condicionado, iluminação e outros.

As potências dos equipamentos, listadas na tabelas 4.1 e 4.2, foram estimadas a partir de dados provenientes da Norma de Distribuição 5.1 de 2013 da CEMIG, visto que a potência desses aparelhos costumam ser utilizadas de maneira padrão para dimensionamentos.

A tabela 4.1 consiste no levantamento de carga que será utilizado para dimensionar o sistema On-Grid.

Já a tabela 4.2, consiste no levantamento de carga que será utilizado para o dimensionamento do sistema Off-Grid.

Tabela 4.1

Levantamento de Carga - On Grid								
Local	Equipamento	Quantidade	Potência Útil (W)	Horas/Dia Útil	Horas/Feriado	Consumo Dia Útil - kWh	Consumo Feriado - kWh	Consumo Anual
Área de Reunião	Desktop	1	300	12	4	3,60	1,20	1064
	Tela	1	200	4	1	0,80	0,20	229
Área de Trabalho	Desktop	1	300	12	4	3,60	1,20	1064
	Tela	1	200	4	1	0,80	0,20	229
	Cafeteira	1	200	2	0	0,40	0,00	104
	Microondas	1	1000	2	0	2,00	0,00	521
	Ar Condicionado	1	800	6	0	4,80	0,00	1251
	Bomba Filtro de Água	1	350	1	0	0,35	0,00	91
Técnica	Exaustor	4	20	12	0	0,96	0,00	250
	Bomba Principal	1	790	2	0	1,58	0,00	412
Total						14,49	2,80	5217
Cons. Diá. Méd.								14,29

Tabela 4.2

Levantamento de Carga - Off-Grid									
Local	Equipamento	Quantidade	Potência Útil (W)	Horas/Dia Útil	Horas/Feriado	Consumo Dia Útil - kWh	Consumo Feriado - kWh	Consumo Anual	
Área de Reunião	Iluminação	5	5	10	4	0,25	0,10	76	
	Notebook	7	30	13	5	2,73	1,05	821	
Área de Trabalho	Iluminação	22	5	14	5	1,54	0,55	459	
	Notebook	7	30	13	5	2,73	1,05	821	
	Modem	1	20	24	24	0,48	0,48	175	
Banheiro	Iluminação	1	9	5	4	0,05	0,04	15	
Vestiário	Iluminação	2	5	5	4	0,05	0,04	17	
Área Externa	Iluminação	6	5	5	4	0,15	0,12	52	
Total						7,98	3,43	2436	
Cons. Diá. Méd.								6,68	

4.5 Dimensionamento On-Grid

O dimensionamento de todo o sistema fotovoltaico On-Grid será completamente desenvolvido de acordo com o Manual de Engenharia Fotovoltaica [CRESESB 2014].

4.5.1 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos do sistema Off-Grid serão compostos por módulos MAXPOWER CS6U-330P. O *datasheet* deste módulo pode consultado nos anexos desta pesquisa.

A potência do gerador que compõe o sistema fotovoltaico conectado à rede pode ser calculada pela seguinte equação:

$$P_{FV}(Wp) = \frac{E}{\frac{TD}{HSP}} \quad (4.1)$$

Em que E representa o consumo diário médio anual, TD a taxa de desempenho que por padrão consideramos 75% e HSP é a média anual de horas de sol pleno, portanto temos que:

$$P_{FV}(Wp) = \frac{14290}{\frac{0,75}{5}} = 3810 \text{ Wp ou } 3,81\text{kWp} \quad (4.2)$$

Temos então que o número de módulos necessário é de:

$$N_{demdulos} = \frac{P_{FV}}{P_m} = \frac{3810}{330} = 12 \text{ módulos} \quad (4.3)$$

Sendo P_m a potência nominal dos módulos.

4.5.2 Dimensionamento do Inversor

Nesse sistema utilizaremos o inversor UNO-DM-3.3, fabricado pela ABB, que tem seu *datasheet* também anexado a este projeto.

Para analisarmos se o inversor está bem dimensionado devemos calcular o seu FDI, fator de dimensionamento do inversor, e este deve estar entre 0,75 e 1,05 para que não esteja superdimensionado ou subdimensionado.

Então,

$$FDI = \frac{P_{Nca}(W)}{P_{FV}(Wp)} \quad (4.4)$$

Em que P_{Nca} representa a potência nominal em corrente alternada do inversor, e P_{FV} a potência de pico do painel fotovoltaico.

Assim,

$$FDI = \frac{3300}{12 * 330} = 0,83 \quad (4.5)$$

Portanto o inversor para este sistema está bem dimensionado.

O número de módulos conectados em série deve resultar em tensões que atendam à faixa de tensão do MPPT do inversor.

Para isso, devemos realizar o seguinte cálculo:

$$\frac{V_{MPPTmin}}{V_{mpTmax}} < N^{\circ} \text{ de módulos série} < \frac{V_{MPPTmax}}{V_{mpTmin}} \quad (4.6)$$

Os valores de $V_{SPPMmin}$ e $V_{SPPMmax}$ são encontrados no *datasheet* do inversor, enquanto que V_{mpTmax} e V_{mpTmin} devem ser obtidos pela seguinte equação:

$$V_{mpTmax/min} = V_{max} * (1 + \beta * (T_{max/min} - 25)) \quad (4.7)$$

Temos através do *datasheet* dos módulos que $V_{max} = 37,2$, $\beta = -0,0031$, temperatura máxima = 85 e temperatura mínima = 0, então:

$$V_{VmpTmax} = 37,2 * (1 - 0,0031 * (85 - 25)) = 30,28 \quad (4.8)$$

$$V_{VmpTmin} = 37,2 * (1 - 0,00351 * (0 - 25)) = 40,08 \quad (4.9)$$

Com os resultados das equações 4.8 e 4.9, podemos retornar a equação 4.6:

$$\frac{170}{30,28} < N^{\circ} \text{ de módulos série} < \frac{530}{40,08} \quad (4.10)$$

$$5,61 < N^{\circ} \text{ de módulos série} < 13,22 \quad (4.11)$$

Sendo assim definiremos que teremos 6 módulos em série.

Para definição do número de *strings* temos que:

$$N^{\circ} \text{ módulos em paralelo} = \frac{I_{imax}}{I_{sc}} \quad (4.12)$$

Em que I_{imax} é a corrente contínua máxima admitida na entrada do inversor e I_{sc} é a corrente de curto circuito do módulo.

Assim,

$$N^{\circ} \text{ módulos em paralelo} = \frac{25}{9,45} = 2 \text{ strings} \quad (4.13)$$

O painel fotovoltaico, portanto, será formado por 2 *strings* compostas por 6 módulos cada uma.

4.6 Dimensionamento Off-Grid

O dimensionamento de todo o sistema fotovoltaico Off-Grid será completamente desenvolvido seguindo o método do mês crítico de acordo com o Manual de Engenharia Fotovoltaica [CRESESB 2014].

4.6.1 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos do sistema Off-Grid serão compostos por células OPV Sunew *FlexTM* 20, fabricadas pela Sunew. O *datasheet* deste módulo pode consultado nos anexos desta pesquisa.

Para calcularmos a energia ativa necessária (L) devemos levar em conta o tipo de carga. No nosso sistema isolado, todas as cargas serão alimentadas por corrente alternada sendo assim, (L) se dá conforme 4.14

$$L = \frac{L_{ca}}{\eta_{bat} * \eta_{inv}} \quad (4.14)$$

Onde L_{ca} corresponde à quantidade de energia consumida diariamente em corrente alternada, η_{bat} corresponde à eficiência global da bateria, que é sugerida pelo manual em 86%, e a η_{inv} corresponde a eficiência do inversor, que será utilizada em 90%.

O que resulta em um valor de L de:

$$L = \frac{6680}{0,86 * 0,9} = 8630,49 \quad (4.15)$$

Com base na equação 4.14, deve ser calculado também a potência necessária para o painel fotovoltaica, que deve ser obtida conforma a equação 4.16

$$P_m = \frac{L}{HSP * Red_1 * Red_2} \quad (4.16)$$

Em que HSP corresponde às horas de sol pleno na região e $Red_1 e Red_2$ são fatores de redução dos módulos.

A partir do valor indicado na subseção 4.2.1 para HSP, temos :

$$P_m = \frac{8630,49}{5 * 0,75 * 0,9} = 2557,18 \quad (4.17)$$

A partir do *datasheet* dos módulos, temos que sua potência nominal é de 37 W, assim:

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos} = \frac{2557,18}{37} = 70 \text{ módulos} \quad (4.18)$$

Considerando que será utilizado o controlador de cargas MPPT MultiPlus-II Inverter/Charger - 48/3000/35-32, fabricado pela Victron Energy, que tem seu *datasheet* também anexado a este projeto, temos que:

$$\frac{V_{SPPMmin}}{V_{mpTmax}} < \text{N}^{\circ} \text{ de módulos série} < \frac{V_{SPPMmax}}{V_{mpTmin}} \quad (4.19)$$

Os valores de $V_{SPPMmin}$ e $V_{SPPMmax}$ são encontrados no *datasheet* do controlador, enquanto que V_{mpTmax} e V_{mpTmin} devem ser obtidos pela seguinte equação:

$$V_{mpTmax/min} = V_{max} * (1 + \beta * (T_{max/min} - 25)) \quad (4.20)$$

Temos através do *datasheet* dos módulos que $V_{max} = 16,7$, $\beta = 0,0035$, temperatura máxima = 85 e temperatura mínima = 0, então:

$$V_{mpTmax} = 16,7 * (1 + 0,0035 * (85 - 25)) = 20,21 \quad (4.21)$$

$$V_{mpTmin} = 16,7 * (1 + 0,0035 * (0 - 25)) = 15,24 \quad (4.22)$$

Com os resultados das equações 4.21 e 4.22, podemos retornar a equação 4.19:

$$\frac{50}{20,21} < \text{N}^{\circ} \text{ de módulos série} < \frac{265}{15,24} \quad (4.23)$$

$$2,47 < \text{N}^{\circ} \text{ de módulos série} < 17,39 \quad (4.24)$$

Sendo assim definiremos que teremos 10 módulos em série.

Para definição do número de *strings* temos que:

$$\text{N}^{\circ} \text{ módulos em paralelo} = \frac{P_m}{\text{N}^{\circ} \text{ de módulos série} * P_{mod}} \quad (4.25)$$

Em que P_{mod} é a potência nominal do módulo.

Assim,

$$\text{N}^{\circ} \text{ módulos em paralelo} = \frac{2557,18}{10} * 37 = 7 \text{ strings} \quad (4.26)$$

O painel fotovoltaico, portanto, será formado por 7 *strings* compostas por 10 módulos cada uma.

4.6.2 Dimensionamento do banco de baterias

Para o dimensionamento das baterias foi escolhido a bateria LifePO4 de 4 módulos da Dyness. O *datasheet* pode ser encontrado nos anexos desta pesquisa.

Tomando o valor da energia corrigida proveniente da 4.14, devemos calcular CB_{C20} que é a capacidade do banco de baterias em Wh para o regime de descarga de 20 horas e CBI_{C20} que é a respectiva capacidade em Ah, para isso temos que:

$$CB_{C20}(Wh) = \frac{L_m * N}{P_D} \quad (4.27)$$

$$CBI_{C20}(Ah) = \frac{CB_{C20}}{V_{sist}} \quad (4.28)$$

N é o número de dias de autonomia necessário e pode ser estimado da seguinte forma:

$$N = -0,48 * HSP_{min} + 4,58 = 2, \text{ considerando } HSP = 5 \quad (4.29)$$

P_d a máxima profundidade de descarga da bateria (80%) e V_{sist} a tensão do sistema, nesse caso 48V. Portanto a partir das equações 4.27 e 4.28:

$$CB_{C20}(Wh) = \frac{8630,49 * 2}{0,8} = 21576,23 \quad (4.30)$$

$$CBI_{C20}(Ah) = \frac{21576,23}{48} = 449,51 \quad (4.31)$$

Para o cálculo do número de baterias em paralelo temos:

$$N^{\circ} \text{ de baterias em paralelo} = \frac{CBI}{CBI_{bat}} = 3 \quad (4.32)$$

CBI_{bat} representa a capacidade da bateria escolhida, que segundo o *datasheet* = 200 Ah.

Já o número de baterias em série:

$$N^{\circ} \text{ de baterias em série} = \frac{V_{sist}}{V_{bat}} = \frac{48}{48} = 1 \quad (4.33)$$

O banco de baterias será composto por 3 bateria conectadas em paralelo.

4.6.3 Dimensionamento do controlador de cargas

Para o dimensionamento da corrente máxima do controlador (I_c), é considerada a corrente de curto circuito do painel acrescida de um fator de segurança de 25%. Assim,

$$I_c = 1,25 * N^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} * I_{sc} = 27,31 \quad (4.34)$$

Sendo I_{sc} a corrente de curto circuito do painel = 3,121A.

Para o número de controladores de carga em paralelo temos,

$$\text{N}^\circ \text{ de controladores em paralelo} = \frac{I_c}{I_{ctl}} = \frac{27,31}{70} = 0,39 = 1 \quad (4.35)$$

Por fim a máxima tensão de operação do controlador de carga V_{Cmax} deve ser maior que a tensão máxima de saída do painel.

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos em série} * V_{ocTmin} < V_{Cmax} \quad (4.36)$$

Onde V_{ocTmin} é a tensão de circuito aberto do módulo, na menor temperatura de operação e pode ser obtido por:

$$V_{ocTmin} = V_{oc} * (1 + \beta * (T_{min} - 25)) \quad (4.37)$$

Tempos para o módulo que $V_{oc} = 24,9$, $\beta = 0,0035$ e $T_{min} = 0$, então:

$$V_{ocTmin} = 24,9 * (1 + 0,0035 * (0 - 25)) = 22,72 \quad (4.38)$$

Voltando para a equação 4.36, temos:

$$10 * 22,72 < 265 \quad (4.39)$$

A equação se satisfaz, portanto o controlador de carga está bem dimensionado

4.6.4 Dimensionamento do Inversor

Os inversores off-grid devem ter sua potência determinada de forma conservadora, para isso a potência do inversor deve ser igual à potência instalada. Nesse caso temos uma potência instalada de 624W. Como o nosso Controlador de Carga é multifunção e também é capaz de realizar a conversão de energia em corrente contínua para corrente alternada e tem segundo seu *datasheet* a potência máxima capaz de suprir a demanda, optaremos por utilizar o controlador de carga/inversor selecionado anteriormente.

4.7 Conclusão

Com o dimensionamento realizado para o sistema on-grid e sistema off-grid, definimos que o sistema on-grid será formado por 2 *strings* de 6 módulos cada e o sistema off-grid formado por 7 *strings* de 10 módulos cada.

É importante ressaltar que para o sistema off-grid o tipo de célula escolhida funciona como um adesivo. Podemos ver que o projeto arquitetônico do LabZero prevê a implementação de brises na fachada norte do LabZero, que pode ser encontrada na figura 4 dos anexos. Esses brises estão detalhados na figura 3 dos anexos. Neste detalhamento há a previsão de 11 brises por faixa, no

entanto, o nosso projeto off-grid consiste em *strings* de 10 módulos, assim, a sugestão é que se altere o número de brises em cada faixa para 10 brises, e que esses brises sejam implementados em vidro de maneira que as células adesivas possam ser fixadas a eles.

Outra mudança importante é nas dimensões destes brises. Para que se adequem às células OPV, os brises devem passar a ter as seguintes dimensões mínimas: 2,57 metros de comprimento por 53 centímetros de largura, sendo possível instalar 7 faixas de brises visto que o comprimento de toda fachada norte, conforme indicado na figura 2 dos anexos, é de 22,8 metros.

A figura 4.5 indica um corte da prancha 3 para melhor visualização dos brises inicialmente propostos. Nesta imagem podemos observar a utilização de onze brises o que posteriormente seriam substituídos por dez.

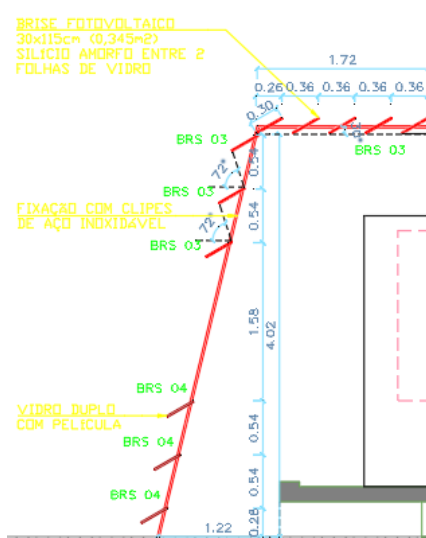


Figura 4.5: Corte da figura 3 (Fonte: Autoria Própria)

Desta maneira o projeto continuará com suas características preservadas, possuindo brises capazes de gerar energia elétrica e, ainda assim, ter a capacidade de permitir uma melhor sombreamento da edificação.

Capítulo 5

Simulação de geração

5.1 Introdução

De forma a complementar o dimensionamento realizado no capítulo 4, esse capítulo tem como objetivo simular através do *software* SAM (*System Advisor Model*), desenvolvido pela NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), as gerações resultantes dos sistemas On-Grid e Off-Grid.

Este *software* é gratuito e utilizado para facilitar a tomada de decisões no processo de dimensionamento de sistemas renováveis de energia. Nele é possível dimensionar sistemas com ou sem armazenamento de carga para diversas finalidades, como geração de energia ou aquecimento solar.

A partir das seções 4.5 e 4.6 realizaremos essas simulações e em seguida teremos as análises de resultados.

5.2 Simulação On-Grid

Para iniciarmos a simulação do sistema on-grid, ao abrir o *software*, devemos criar um novo projeto. A figura 5.1 nos indica o projeto de modelo não financeiro. Essa é uma simulação simples em que o único objetivo é demonstrar a capacidade de geração do sistema.

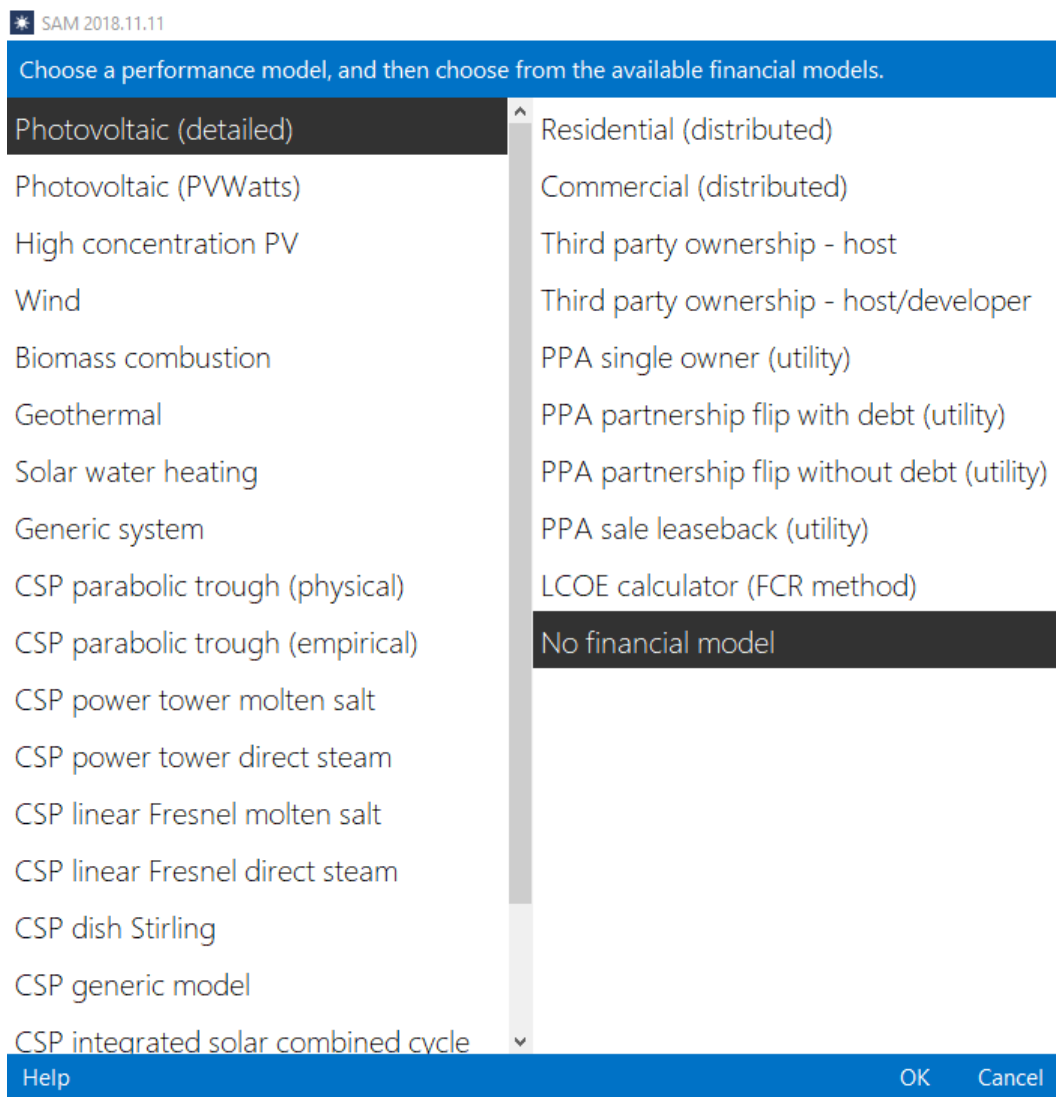


Figura 5.1: Criação de simulação para projeto on-grid (Fonte: SAM)

Após criado o projeto uma, aba para localização é criada e nela devemos indicar o local onde estará nosso projeto, a figura 5.2 indica Brasília como a escolha para esta localização. Caso o local do sistema não esteja entre as opções disponíveis, um novo local pode ser buscado a partir do mecanismo de busca em *Download Weather Files*.

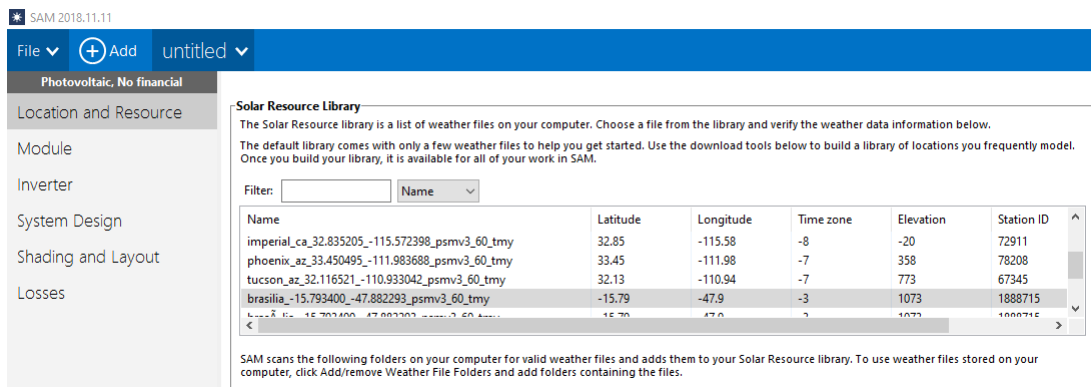


Figura 5.2: Indicação de local do sistema on-grid (Fonte: SAM)

Após a definição da localização, partimos para indicação dos módulos que serão utilizados, o *software* dispõe de inúmeros modelos e fabricantes. Para o nosso sistema utilizaremos o modelo CS6U-330P como indica a figura 5.3, fabricado pela Canadian Solar. Para os casos em que o módulo escolhido não esteja entre as opções disponíveis, os dados podem ser inseridos manualmente a partir de dados informados no *datasheet* do equipamento.

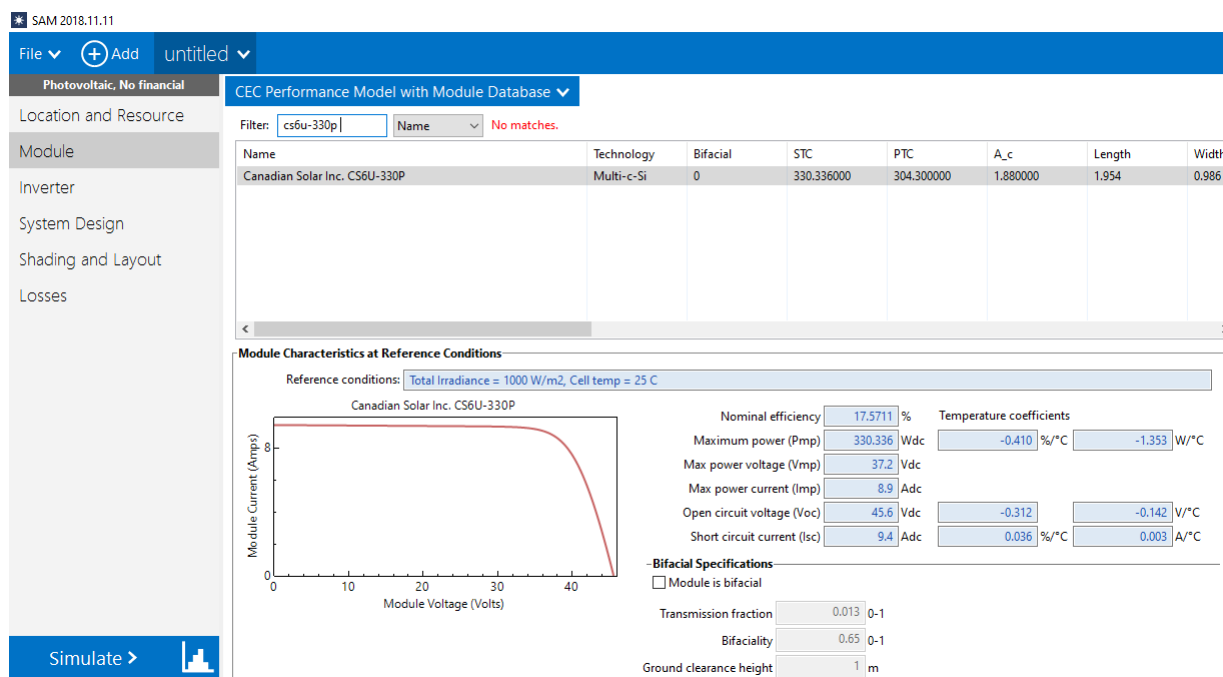


Figura 5.3: Definição dos módulos utilizados (Fonte: SAM)

Agora, partiremos para definição do inversor. Assim como nos módulos, o *software* também dispõe de inúmeros modelos e fabricantes. Em nosso sistema utilizaremos o modelo UNO-DM-3.3, fabricado pela ABB como indicado na figura 5.4. Novamente, os dados dos inversores podem ser inseridos manualmente para o caso de indisponibilidade no *software*.

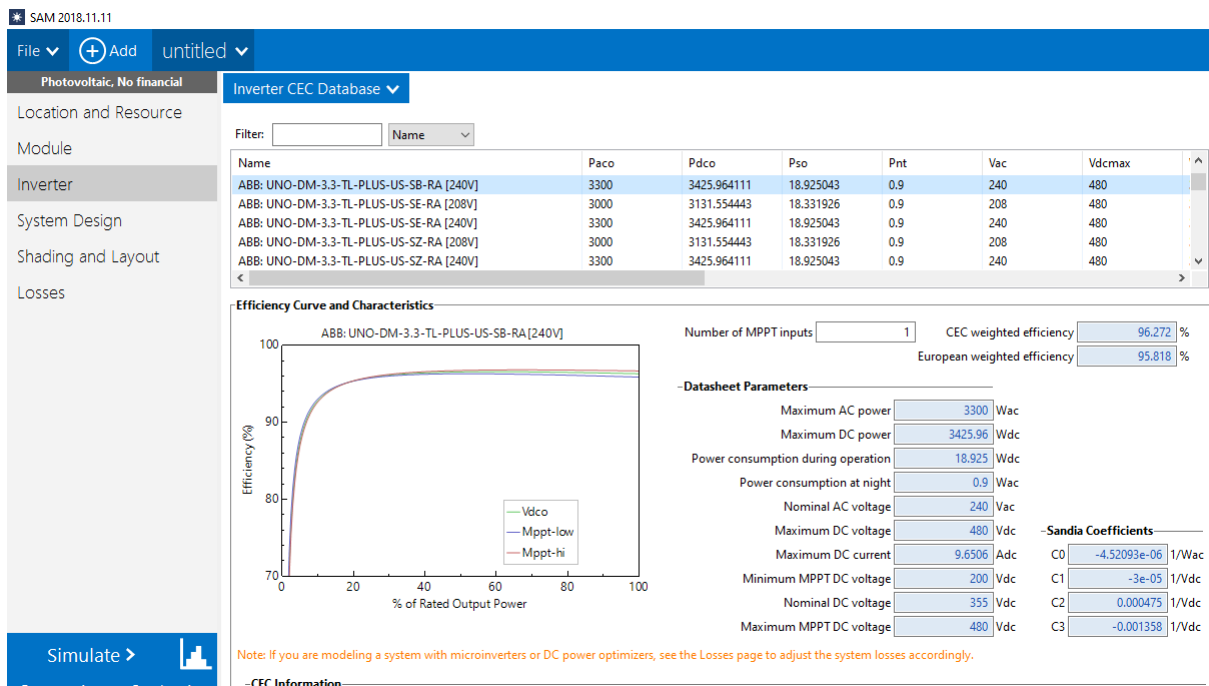


Figura 5.4: Definição do inversor utilizado (Fonte: SAM)

Neste momento, como foi definido no capítulo 4 subseção 4.5, indicaremos o layout do sistema. Para o sistema on-grid, dimensionamos um sistema com 2 *strings* de 6 módulos cada. Os módulos serão inclinados de acordo com sua latitude e voltados para o norte, visto que o telhado da edificação estará direcionado para esta orientação. Na figura 5.5 está indicada essa configuração, sendo o *Azimuth* a indicação de orientação.

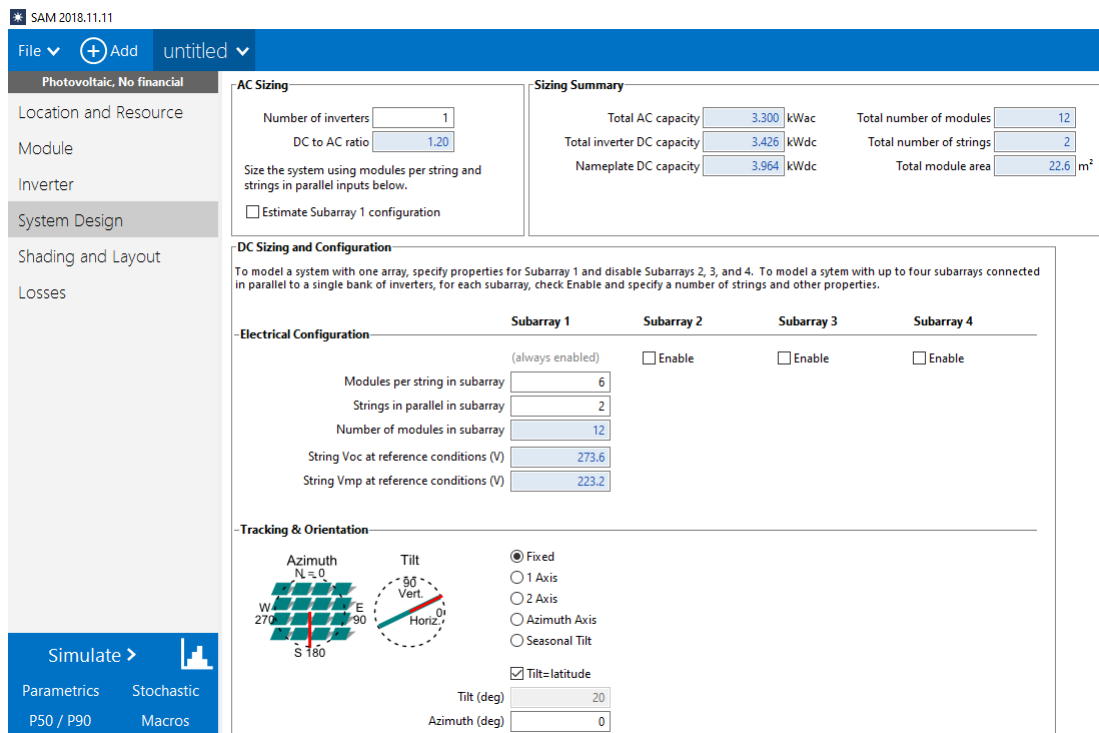


Figura 5.5: Definição do layout do sistema (Fonte: SAM)

Finalmente, após todos os ajustes necessários, temos o resultado de geração como indica a figura 5.6.

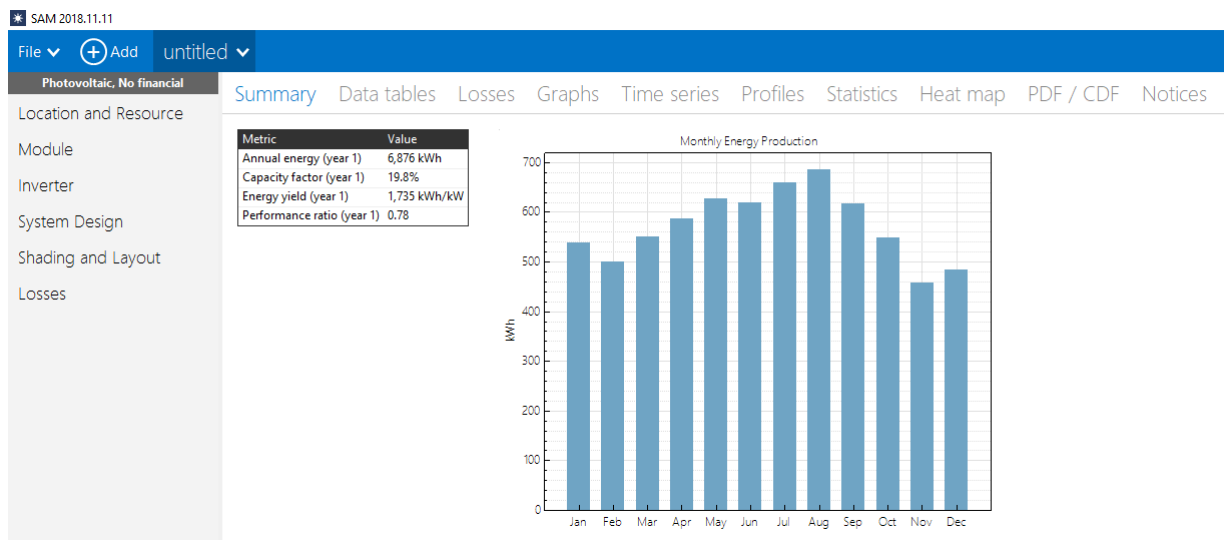


Figura 5.6: Resultado de geração para o sistema on-grid(Fonte: SAM)

5.3 Simulação Off-Grid

Para iniciarmos a simulação do sistema on-grid, ao abrir o *software*, devemos criar um novo projeto. A figura 5.7 nos indica o projeto residencial. Essa é uma simulação simples, no entanto,

nela é possível a indicação de bancos de baterias para armazenamento de energia.

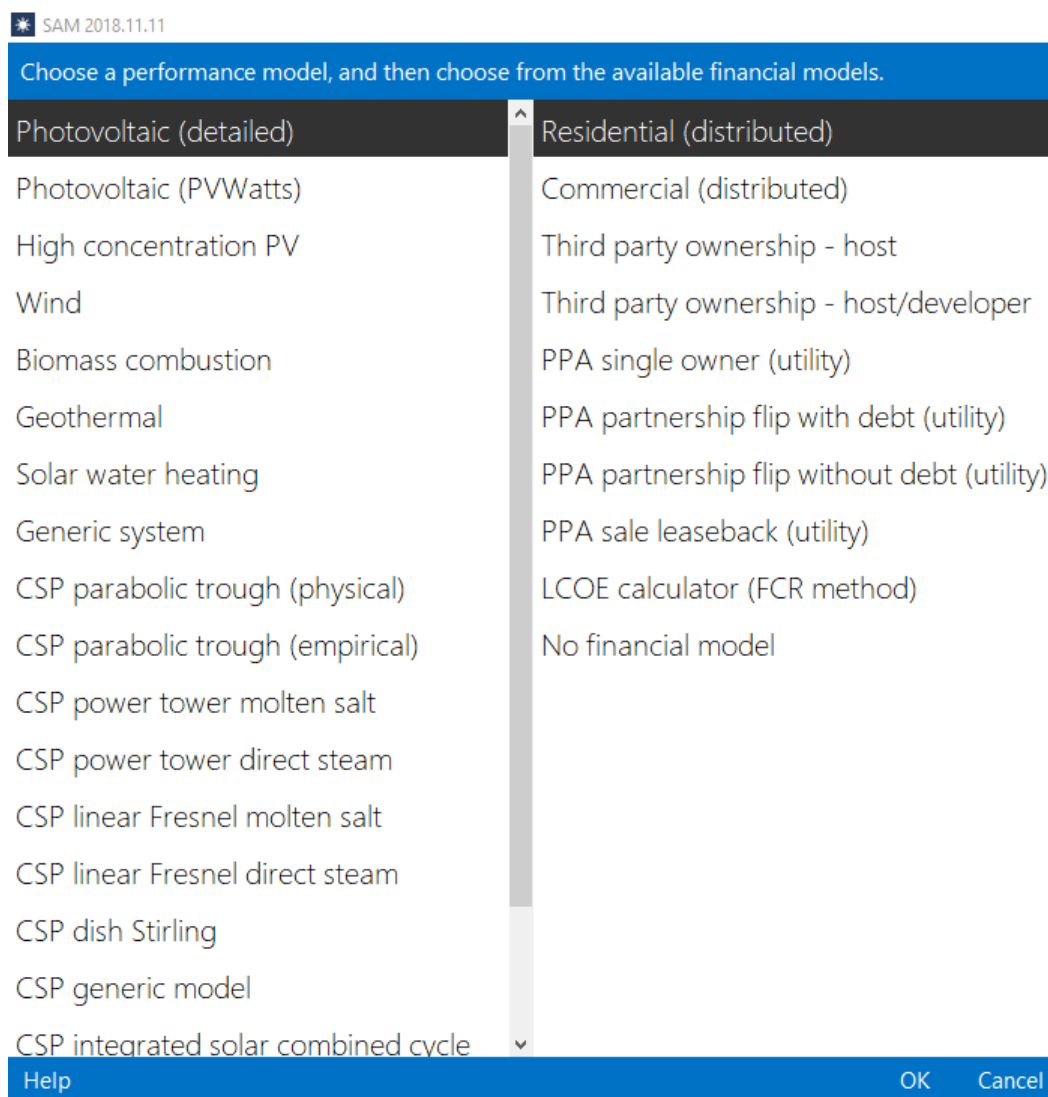


Figura 5.7: Criação de simulação para projeto off-grid (Fonte: SAM)

Assim como na subseção 5.2, após a criação do projeto, uma aba para localização é criada e nela devemos indicar novamente o local onde estará nosso projeto, a figura 5.8 indica Brasília como a escolha para esta localização. Caso o local do sistema não esteja disponível, um novo local pode ser buscado a partir do mecanismo de busca em *Download Weather Files*.

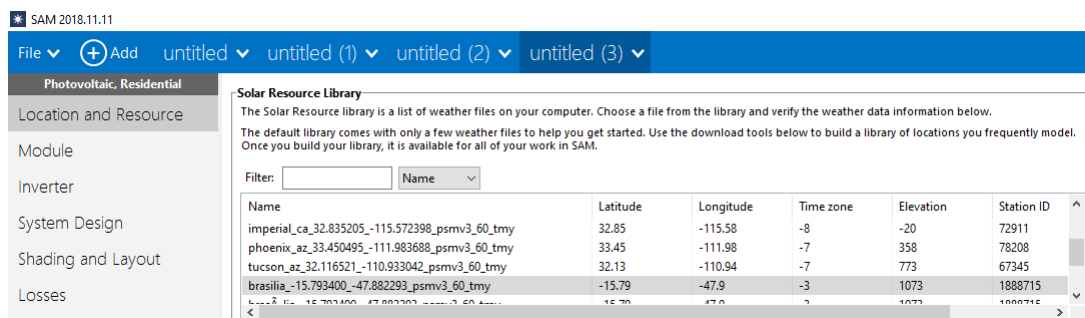


Figura 5.8: Indicação de local do sistema off-grid (Fonte: SAM)

Definida a localização, partimos para indicação dos módulos que serão utilizados. Para o nosso sistema, utilizaremos células OPV Sunew *FlexTM* 20, fabricadas pela Sunew como indica a figura 5.9. Nesse caso, os módulos selecionados não faziam parte daqueles disponibilizados pelo sistema, assim os dados foram inseridos manualmente.

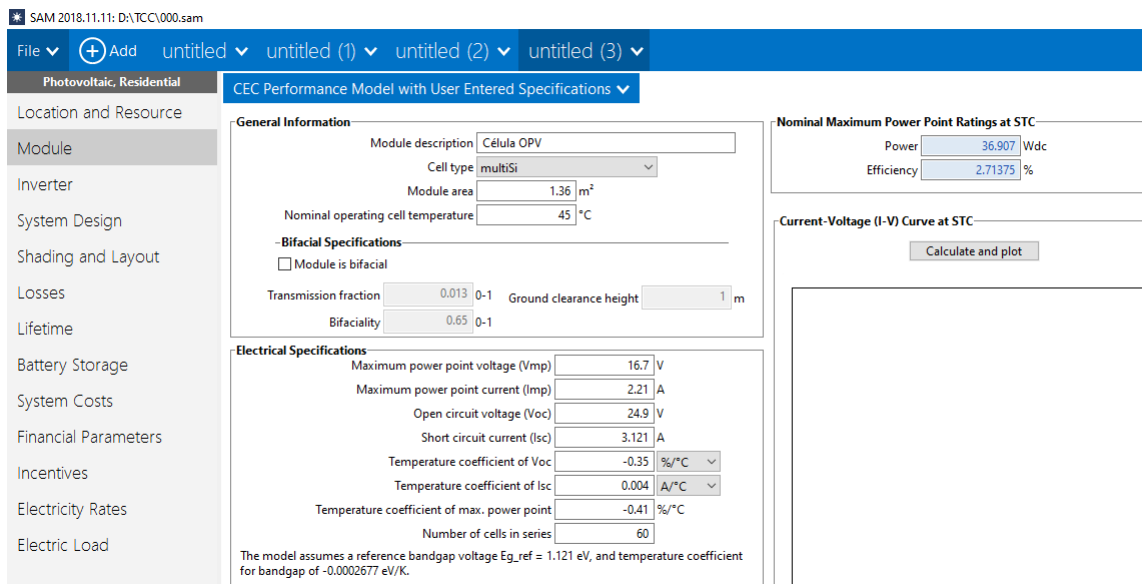


Figura 5.9: Definição dos módulos utilizados (Fonte: SAM)

Agora, partiremos para definição do inversor. Assim como nos módulos, o *software* também dispõe de inúmeros modelos e fabricantes, em nosso sistema utilizaremos o MultiPlus-II Inverter/Charger - 48/3000/35-32, fabricado pela Victron Energy como indicado na figura 5.10. Nesse caso, os dados do inversor também foram inseridos manualmente.

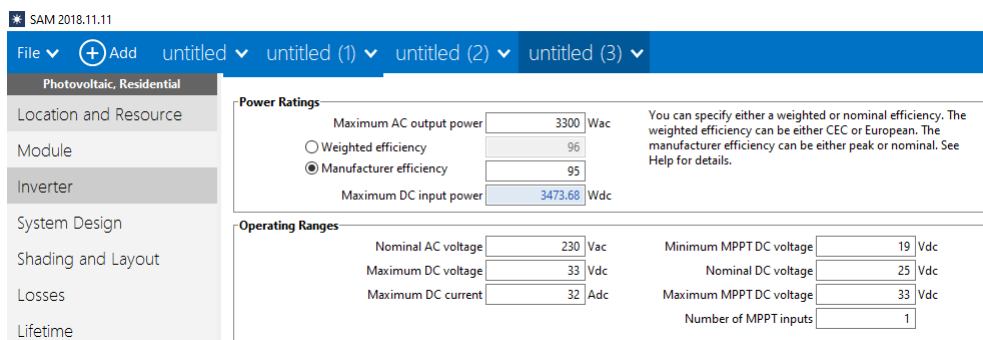


Figura 5.10: Definição do inversor utilizado (Fonte: SAM)

Também definiremos, como no capítulo 4 subseção 4.5, o layout do sistema. Para o sistema off-grid dimensionamos um sistema com 7 *strings* de 10 módulos cada. Os módulos serão inclinados de acordo com sua latitude e voltados para o norte, visto que o telhado da edificação estará direcionado para esta orientação. Na figura 5.11 está indicado essa configuração, sendo o *Azimuth* a indicação de orientação.

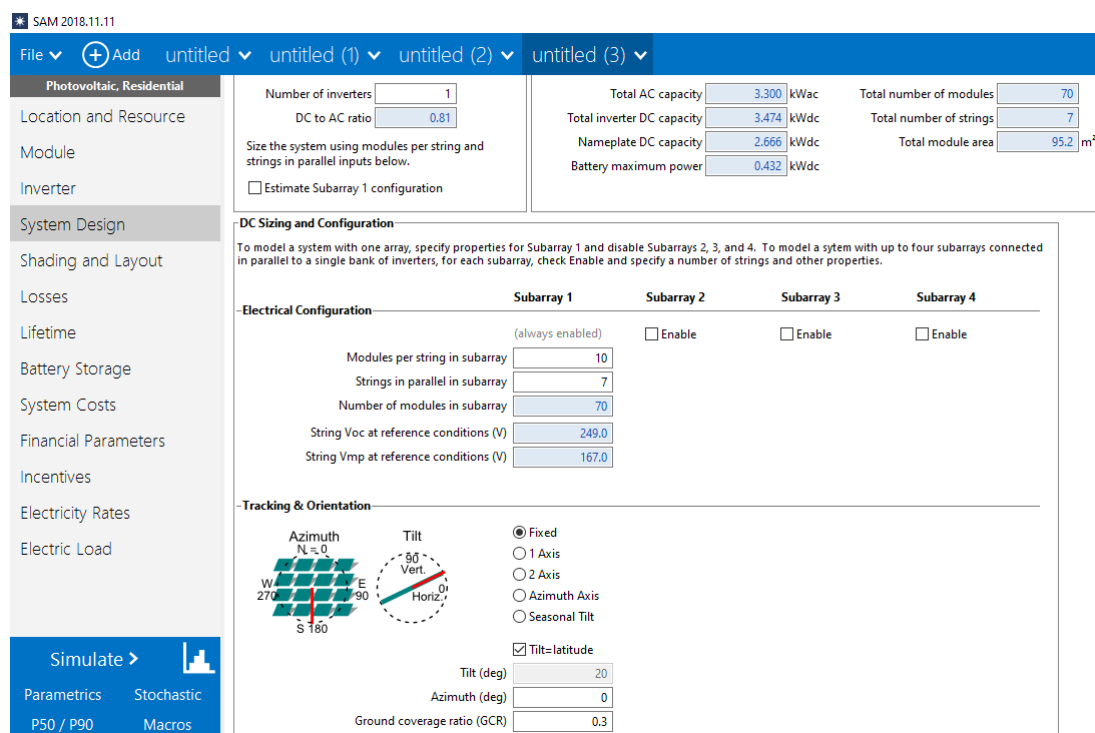


Figura 5.11: Definição do layout do sistema (Fonte: SAM)

Como nosso sistema dispõe de componentes armazenadores de carga, devemos também indicar as configurações do nosso bloco de armazenamento. A figura 5.12, contém os dados relativos a bateria LifePO4 de 4 módulos da Dyness.

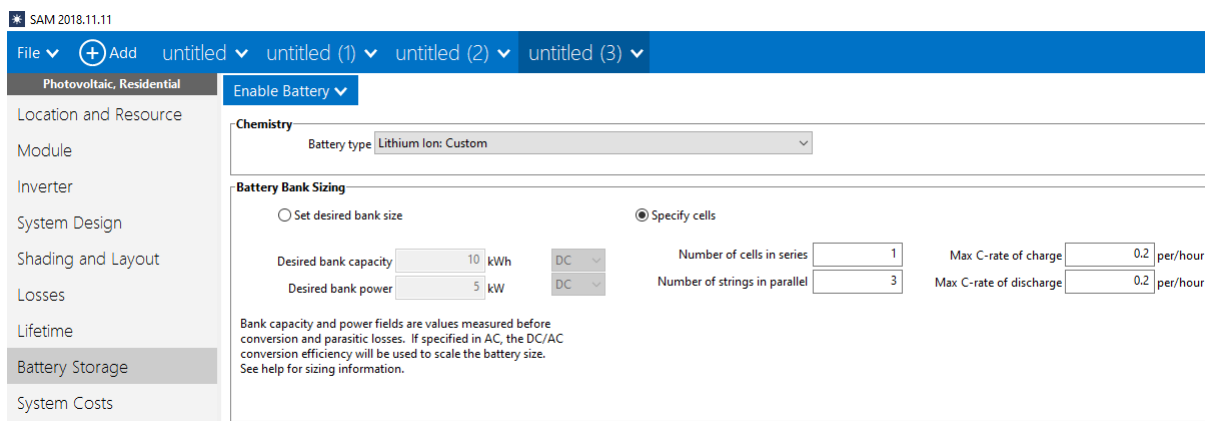


Figura 5.12: Definição do sistema de armazenamento(Fonte: SAM)

Enfim, configurado todos os dispositivos que compõem o sistema, temos o resultado indicado na figura 5.13.

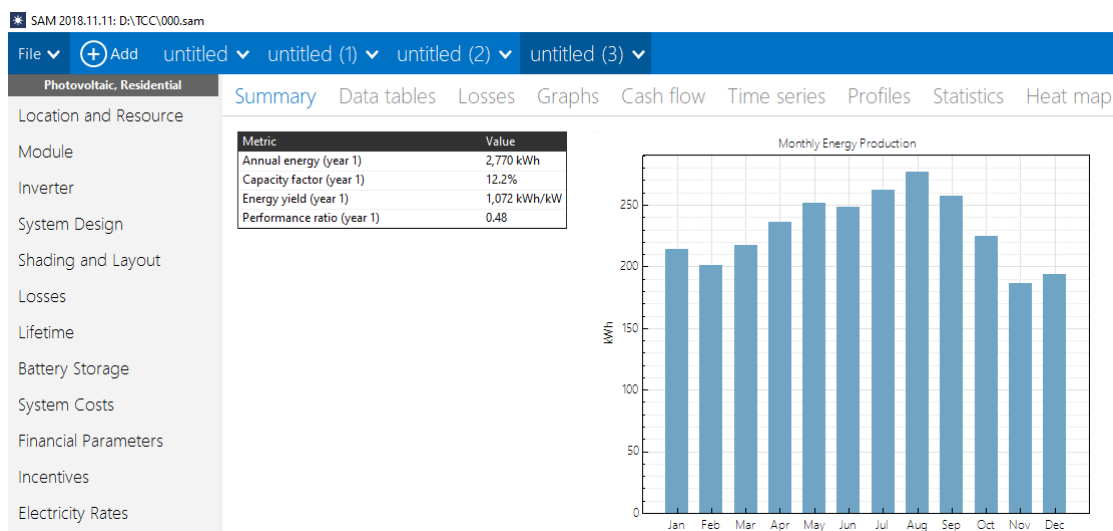


Figura 5.13: Resultado de geração para o sistema off-grid(Fonte: SAM)

5.4 Conclusão

Conforme o exposto pelo capítulo 4 subseção 4.4, temos que para o sistema on-grid o consumo anual é de 5217 kWh. A figura 5.6 retrata que ao final de um ano o nosso sistema terá gerado 6876 kWh, cerca de 32% acima da demanda da edificação, o que nos indica que o projeto dimensionado será capaz de suprir a demanda estimada, com folga para um possível aumento de carga instalada. A energia excedente do sistema pode, inclusive, gerar créditos para instituição abater nas faturas de energia, reduzindo assim o custo de energia de outra edificação registrada pela Universidade de Brasília.

De acordo também com o capítulo 4 subseção 4.4, temos que para o sistema off-grid o consumo anual é de 2436 kWh, a figura 5.13 retrata que ao final de um ano o nosso sistema terá gerado

2770 kWh. O que indica um sistema capaz de suprir a demanda sem superdimensionamento, visto que para um sistema off-grid, um superdimensionamento pode resultar em gastos elevados, além disso toda geração excedente não pode ser reaproveitada em outra edificação da Universidade de Brasília.

Capítulo 6

Conclusões

Este projeto de pesquisa apresentou conceitos sobre o uso da energia solar, o dimensionamento de sistemas conectados e desconectados à rede elétrica, bem como apresentou soluções que atendessem às características previamente projetadas para edificação do LabZero.

Podemos concluir, a partir dos dimensionamentos, que os sistemas apresentados são plenamente capazes de suprir toda a demanda energética do prédio, sendo o sistema on-grid, capaz de gerar energia suficiente, conforme foi simulado, para inclusive abater custos de outras edificações da universidade através do sistema de compensação de créditos previsto pela ANEEL.

Esses sistemas serão necessários para que o prédio tenha características autossustentáveis, sendo a utilização de energia limpa, fator importante para alcance desse objetivo.

BIBLIOGRAFIA

- [Abinee 2012]ABINEE. Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileiras. Abinee, 2012. Acessado em 20/11/2020. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>.
- [ABSOLAR 2018]ABSOLAR. Absolar projeta fonte solar liderando matriz em 2040. 2018. Acessado em 22/11/2020. Disponível em: <<http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/absolar-projeta-fonte-solar-liderando-matriz-em-2040.html>>.
- [ANEEL 2012]ANEEL. Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. 2012. Acessado em 19/11/2020. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>.
- [ANEEL 2015]ANEEL. Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. 2015. Acessado em 19/11/2020. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>.
- [Bockris e Reddu 1977]BOCKRIS, J. O.; REDDU, A. K. N. *Modern Eletrochemistry*. [S.l.]: Kluwer Academy/Plenum, 1977.
- [Bortoloto et al. 2017]BORTOLOTO, V. A. et al. Geração de energia solar on grid e off grid. 2017. Acessado em 19/11/2020. Disponível em: <<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/viewFile/1069/1234>>.
- [Braga 2008]BRAGA, R. P. Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações. 2008. Acessado em 22/11/2020. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7372/1/monopoli10001103.pdf>>.
- [Carneiro 2010]CARNEIRO, J. Módulos fotovoltaicos características e associações. 2010. Acessado em 21/11/2020. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt>>.
- [Choy 2013]CHOY, W. C. H. *Introduction to Organic Solar Cells*. [S.l.]: Springer-Verlag London, 2013.
- [Coutinho et al. 2014]COUTINHO, C. R. et al. Efeito do sombreamento em módulos fotovoltaicos. 2014. Acessado em 21/11/2020. Disponível em: <<http://www.abens.org.br/CBENS2016/anais/anais/trabalhos/2594Pfinal.pdf>>.
- [CRESESB]CRESESB. *Energia Solar Fotovoltaica*. Acessado em 20/11/2020. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_contentlang=ptcid=321>.

- [CRESESB]CRESESB. *SunData V3.0*. Acessado em 22/11/2020. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.phpdata>>.
- [CRESESB 2014]CRESESB. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. 2014. Acessado em 21/10/2020. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/ManualdeEngenhariaFV2014.pdf>>.
- [Câmara 2011]CÂMARA, C. F. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 2011. Acessado em 21/11/2020. Disponível em: <https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/07_monografia_carlos_fernando_camara.pdf>.
- [Forbes 2020]FORBES. Forbes Daily, 2020.
- [Freitas 2008]FREITAS, S. S. A. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. 2008. Acessado em 21/11/2020. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/2098/1/SusanaFreitasMEI2008.pdf>>.
- [Galdino 2018]GALDINO, J. J. B. Estudo da geração de energia em células orgânicas a partir da iluminação simultânea de ambas as faces. 2018. Acessado em 19/11/2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/32430>>.
- [Ghensev 2006]GHENSEV, A. Materiais e processos de fabricação de células fotovoltaicas. 2006. Acessado em 21/11/2020. Disponível em: <<https://www.solenerg.com.br/files/monografiaalmir.pdf>>.
- [Greener 2020]GREENER. Mercado fotovoltaico de geração distribuída-1º semestre de 2020. 2020. Acessado em 20/11/2020. Disponível em: <<https://greener.greener.com.br/estudo-gd-1-sem-2020>>.
- [Grätzel 2001]GRÄTZEL. Photoelectrochemical cells. *Macmillan Magazines Ltd*, 2001. Acessado em 20/11/2020. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/35104607>>.
- [Hagfeldt 2010]HAGFELDT. Dye-sensitized solar cells. American Chemical Society, v. 110, 2010.
- [IBGE 2019]IBGE. Pesquisa nacional por amostra de domicílios contínua - pnad contínua. 2019. Acessado em 20/11/2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/condicoes-de-vida-desigualdade-e-pobreza/17270-pnad-continua.html?edicao=27257t=resultados>>.
- [IST-Liboa]IST-Liboa. *Breve história da energia solar*. Acessado em 18/11/2020. Disponível em: <<http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html>>.
- [Kazmerski 2005]KAZMERSKI, L. L. Solar photovoltaics rd at the tipping point: A 2005 technology overview. 2005. Acessado em 20/11/2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036820480500461>>.

- [Mori, Santos e Sobral 2017]MORI, V.; SANTOS, R. L. C. dos; SOBRAL, L. G. S. Metalurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais. 2017. Acessado em 21/11/2020. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt>>.
- [Nascimento 2004]NASCIMENTO, C. A. do. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. 2004. Acessado em 19/11/2020. Disponível em: <https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>.
- [Reiter, Reiter e Péres 2014]REITER, R. A.; REITER, R. D. de O.; PÉRES, A. Controlador de carga de acordo com a portaria 396 do inmetro. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280134322_Controlador_de_carga_de_acordo>.
- [Santos 2019]SANTOS, J. A. M. dos. Introdução de painéis fotovoltaicos em sistemas off-grid. 2019. Acessado em 20/11/2020. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/119032/2/315243.pdf>>.
- [Secretaria de Educação do Paraná]Secretaria de Educação do Paraná. *Coque - Química Sintética*. Acessado em 20/11/2020. Disponível em: <<http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1727evento=5>>.
- [Silva 2006]SILVA, D. L. M. da. Eletroquímica do estado sólido: fundamentos sobre materiais semicondutores. 2006. Acessado em 22/11/2020. Disponível em: <<http://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno5.pdf>>.

ANEXOS

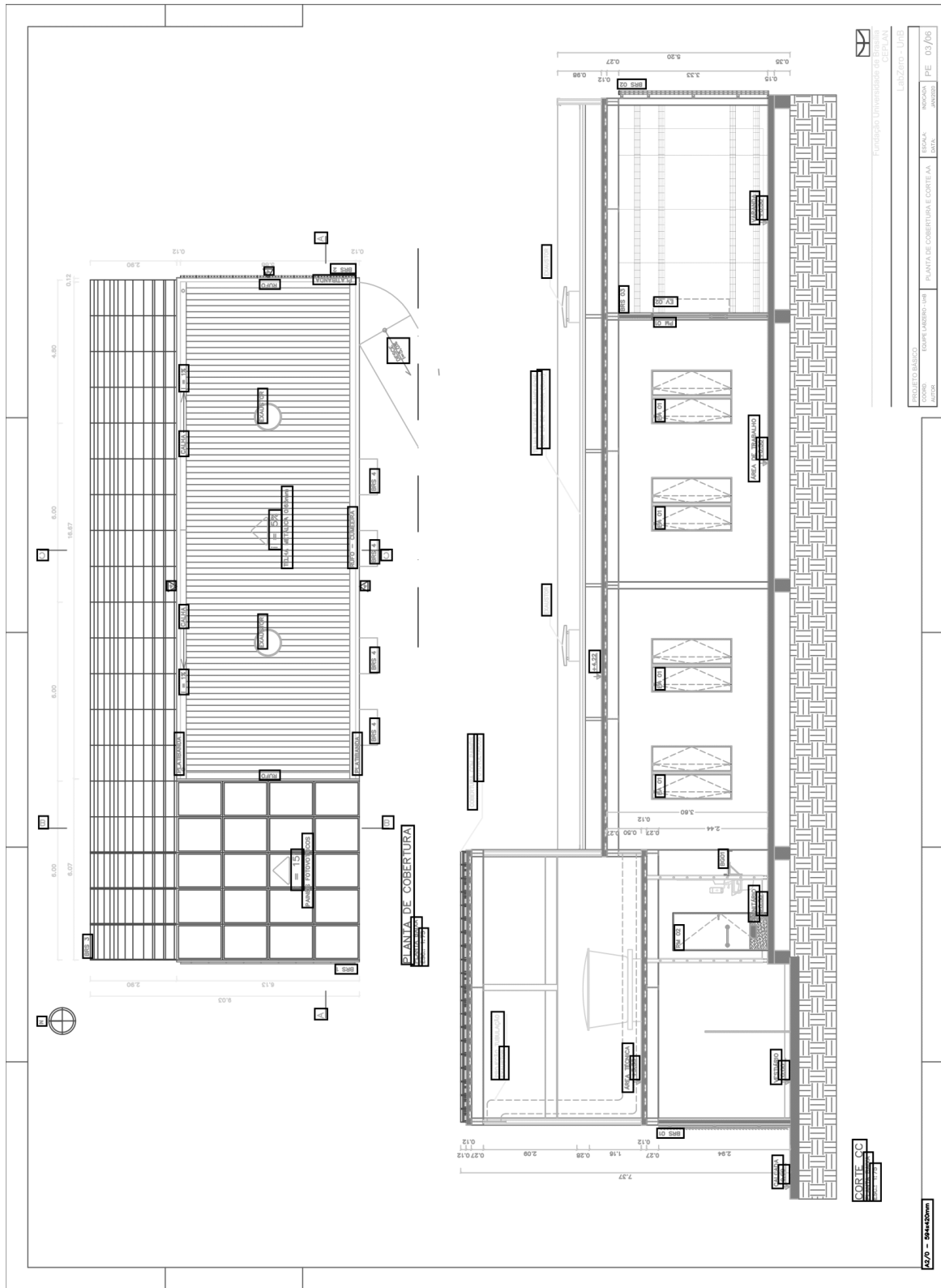


Figura 2: Planta de Cobertura e Corte CC



Figura 4: Fachadas

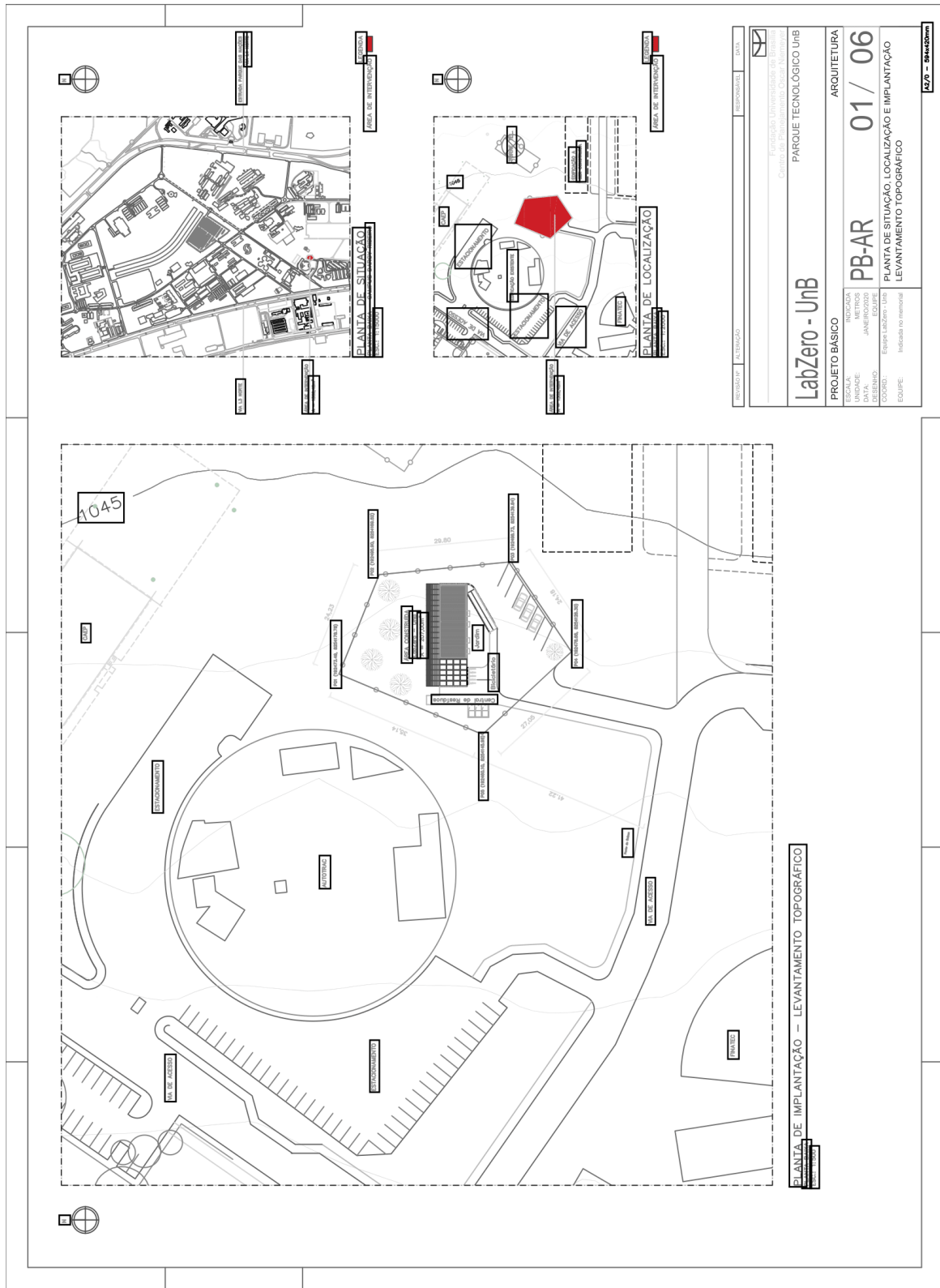
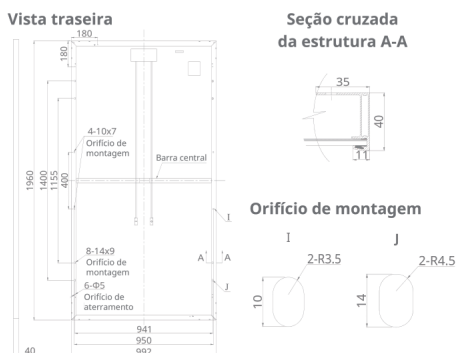


Figura 6: Planta de Implantação, Situação e Localização

DESENHOS DE ENGENHARIA (mm)



DADOS ELÉTRICOS/STC*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P _{máx})	315 W	320 W	325 W	330 W
Tensão operacional ideal (V _{mp})	36,6 V	36,8 V	37,0 V	37,2 V
Corrente operacional ideal (I _{mp})	8,61 A	8,69 A	8,78 A	8,88 A
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	45,1 V	45,3 V	45,5 V	45,6 V
Corrente de curto-circuito (I _{sc})	9,18 A	9,26 A	9,34 A	9,45 A
Eficiência do módulo	16,20%	16,46%	16,72%	16,97%
Temperatura operacional	-40 °C ~ +85 °C			
Tensão máxima do sistema	1.000 V (IEC) ou 1.000 V (UL)			
Desempenho do módulo contra incêndio	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Classificação máx. de fusíveis da série	15 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W			

* Sob condições de teste padrão (STC) de irradiação de 1.000 W/m², espectro AM de 1,5 e temperatura de célula de 25 °C.

DADOS ELÉTRICOS/NOCT*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Potência nominal máx. (P _{máx})	228 W	232 W	236 W	239 W
Tensão operacional ideal (V _{mp})	33,4 V	33,6 V	33,7 V	33,9 V
Corrente operacional ideal (I _{mp})	6,84 A	6,91 A	6,98 A	7,05 A
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	41,5 V	41,6 V	41,8 V	41,9 V
Corrente de curto-circuito (I _{sc})	7,44 A	7,50 A	7,57 A	7,66 A

* Sob temperatura operacional normal da célula (NOCT), irradiação de 800 W/m², espectro AM de 1,5, temperatura ambiente de 20 °C, velocidade do vento de 1 m/s.

DESEMPENHO A BAIXA IRRADIAÇÃO

Desempenho excepcional em ambientes de baixa irradiação, eficiência média relativa de 96% a partir de uma irradiação de 1.000 W/m² a 200 W/m² (AM 1,5, 25 °C).

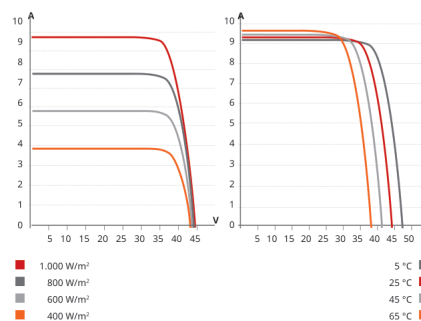
A especificação e os principais recursos descritos nesta ficha técnica podem ser um pouco diferentes e não estão garantidos. Devido à contínua inovação, pesquisa e melhoria de produtos, a Canadian Solar Inc. reserva-se o direito de fazer modificações nas informações descritas neste documento a qualquer momento e sem aviso prévio. Sempre adquira a versão mais recente da ficha técnica, que deve ser devidamente incorporada ao contrato legal firmado pelas partes regulamentando todas as transações relativas à compra e à venda dos produtos aqui descritos.

Atenção: Apenas para uso profissional. A instalação e o manuseio de módulos fotovoltaicos requerem habilidades profissionais. Apenas profissionais qualificados devem realizá-los. Leia as instruções de segurança e instalação antes de usar os módulos.

CANADIAN SOLAR INC.

Julho de 2016. Todos os direitos reservados. Ficha técnica do produto do módulo fotovoltaico V5.51P1_NA

CS6U-320P | CURVAS I-V



DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo de célula	Policristalino, 6 polegadas
Organização das células	72 (6 x 12)
Dimensões	1.960 x 992 x 40 mm (77,2 x 39,1 x 1,57 pol.)
Peso	22,4 kg (49,4 lb)
Tampa dianteira	Vidro temperado de 3,2 mm
Material da estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de derivação	IP67, 3 diodos
Cabo	4 mm ² (IEC) ou 4 mm ² e 12 AWG 1.000 V (UL), 1.160 mm (45,7 pol.)
Conectores	T4 (IEC/UL)
Por palete	26 peças
Por contêiner (40' HQ)	572 peças

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificação	Dados
Coefficiente de temperatura (P _{máx})	-0,41%/°C
Coefficiente de temperatura (V _{oc})	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura (I _{sc})	0,053%/°C
Temperatura operacional nominal da célula	45±2 °C

SEÇÃO DO PARCEIRO



Figura 7: Datasheet dos módulos utilizados no sistema on-grid

Inversores de linha ABB

UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS

3,3 a 5,0 kW

Dados técnicos e tipos

Código do tipo de equipamento	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	UNO-DM-4.0-TL-PLUS	UNO-DM-4.6-TL-PLUS	UNO-DM-5.0-TL-PLUS
Entrada lateral				
Tensão absoluta máxima de entrada CC (V _{max, abs})	600 V			
Tensão de entrada CC (V _{start})	200 V (adj. 120...350 V)			
Intervalo de tensão de entrada CC operacional (V _{ccmin...Vccmax})	0,7 x V _{start} ...580 V (min 90 V)			
Tensão nominal de entrada CC (V _{ccr})	360 V			
Potência nominal de entrada CC (P _{ccr})	3500 W	4250 W	4750 W	5150 W
Número de MPPTs independentes	2			
Potência máxima de entrada CC para cada MPPT (P _{MPPTmax})	2000 W	3000 W	3000 W	3500 W
Faixa de tensão de entrada CC com configuração paralela de MPPT em P _{ccr}	170...530 V	130...530 V	150...530 V	145...530 V
Limitação de energia CC com configuração paralela do MPPT	Desclassificação linear de máx a nula [530V≤V _{MPPTs} 580V]			
Limite de potência CC para cada MPPT com configuração independente de MPPT em P _{ccr} , exemplo de desequilíbrio máximo	2000 W [200 V≤V _{MPPTs} ≤530 V] o outro canal: P _{ccr} -2000 W [112 V≤V _{MPPTs} ≤530 V]	3000 W [190 V≤V _{MPPTs} ≤530 V] o outro canal: P _{ccr} -3000 W [90 V≤V _{MPPTs} ≤530 V]	3000 W [190 V≤V _{MPPTs} ≤530 V] o outro canal: P _{ccr} -3000 W [90 V≤V _{MPPTs} ≤530 V]	3500 W [200 V≤V _{MPPTs} ≤530 V] o outro canal: P _{ccr} -3500 W [90 V≤V _{MPPTs} ≤530 V]
Corrente máxima de entrada CC (I _{ccmax})/para cada MPPT (I _{MPPTmax})	20,0/10,0	32,0/16,0 A	32,0/16,0 A	38,0/19,0 A
Corrente máxima de curto-circuito na entrada para cada MPPT	12,5/25,0 A	20,0/40,0 A	20,0/40,0 A	22,0/44,0 A
Número de pares de entrada CC para cada MPPT	1			
Tipo de conexão CC 1)	Conector FV de Ajuste Rápido			
Proteção de entrada				
Proteção contra polaridade reversa	Sim, da fonte atual limitada			
Proteção contra sobretensão de entrada para cada MPPT - varistor	Sim			
Controle de isolamento de matriz fotovoltaica	De acordo com o padrão local			
Classificação do comutador CC para cada MPPT (versão com comutador CC)	25 A/600 V			
Saída lateral				
Tipo de conexão de rede CC	Fase única			
Potência CA nominal (P _{car} @ cosφ = 1)	3300 W	4000 W	4600 W	5000 W
Potência máxima de saída CA (P _{camax} @ cosφ = 1)	3300 W	4000 W 2)	4600 W	5000 W
Potência aparente máxima (S _{max})	3300 VA	4000 VA 2)	4600 VA	5000 VA
Tensão da rede CA nominal (V _{ca, r})	230 V			
Faixa de tensão CA	180...264 V			
Corrente máxima de saída CA (I _{ca, max})	14,5 A	17,2 A	20,0 A	22,0 A
Corrente de falha contributiva	16,0 A	19,0 A	22,0 A	24,0 A
Frequência nominal de saída (f _r) 3)	50/60 Hz			
Faixa de frequência de saída (f _{min} ...f _{max}) 3)	47...53/57...63 Hz			
Fator de potência nominal e faixa ajustável	> 0,995, adj. ± 0,1 - 1 (sobre/subexcitado)			
Distorção harmônica de corrente total	< 3,5			
Tipo de conexão CA	Conector fêmea do painel			
Proteção de saída				
Proteção anti-ilhamento	De acordo com o padrão local			
Proteção máxima de sobrecorrente externa CA	20,0 A	25,0 A	25,0 A	32,0 A
Proteção contra sobretensão de saída - varistor	2 (L - N/L - PE)			

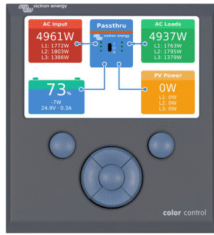
Figura 8: Datasheet do inversor utilizado no sistema on-grid

➤ Especificações Técnicas

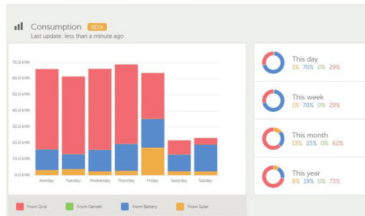
		SUNEW FLEX™					
		SUNEW FLEX™ 4	SUNEW FLEX™ 10	SUNEW FLEX™ 12	SUNEW FLEX™ 14	SUNEW FLEX™ 20	
Dimensões	Comprimento (C)	[m]	0,54	1,30	1,55	1,81	2,57
	Espessura	[mm]	0,4				
	Largura (L)	[m]	0,53				
Propriedades Elétricas	Potência nominal (Pmax)	[W]	7,4	18,5	22,2	25,9	37
	Corrente de máxima potência (Imax)	[mA]	442,2	1105,6	1326,7	1547,8	2211,2
	Eficiência	[%]	3,5				
	Tensão de máxima potência (Vmax)	[V]	16,7				
	Tensão de circuito aberto (Voc)	[V]	24,9				
	Corrente de curto circuito (Icc)	[mA]	624,2	1560,5	1872,6	2184,7	3121
Propriedades Mecânicas	Peso (sem adesivo)	[kg]	0,115	0,225	0,330	0,385	0,550
	Peso (com adesivo)	[kg]	0,200	0,390	0,580	0,670	0,950
	Energia da superfície		45-48 dinas				
	Célula Solar		Organic Solar Cell (OPV)				
	Adesivo		14,8 N/cm (Adhesion 72 hr dwell @ RT Modified ASTM D-3330 180°C peel 2 mil)				
	Proteção a hot spot		Cada painel possui um diodo de bypass embutido no junction box.				
	Junction Box - Instalado na parte superior		Índice de proteção IP67; classe de inflamabilidade 5VA IED1000V/UL600V; conector MC4.				
	Transparência	[%]	≤ 30				
	Cor		Verde				
	Condições de Trabalho ¹	Temperatura de operação	[°C]	-40 até +85			
Tensão máxima do sistema			600VDC IEC, 600VDC UL				
Raio mínimo de curvatura		[mm]	120				
Resistência à bobinagem (no diâmetro mínimo)		[ciclos]	40.000				
Temperatura de armazenamento		[°C]	-10 até +40				
Coeficiente de temperatura		[%/°C]	0.35				
Umidade ambiente para armazenagem		[%]	50 ± 5				
Vida Útil (LT80)		[anos]	10				

¹De acordo com o filme de barreira

Figura 9: Datasheet dos módulos utilizados no sistema off-grid



Color Control Panel (CCGX)
Provides intuitive system control and monitoring
Besides system monitoring and control the CCGX enables access to our free remote monitoring website: the VRM Online Portal



VRM Portal
Our free remote monitoring website (VRM) will display all your system data in a comprehensive graphical format. System settings can be changed remotely via the portal. Alarms can be received by e-mail.



VRM app
Monitor and manage your Victron Energy system from your smart phone and tablet. Available for both iOS and Android.



VE.Bus Smart Dongle
Measures battery voltage and temperature and allows monitoring and control with a smart phone or other Bluetooth enabled device.



Connection Area

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | The Netherlands
General phone: +31 (0)36 535 97 00 | E-mail: sales@victronenergy.com
www.victronenergy.com



Current sensor 100A:50mA
To implement PowerControl and PowerAssist and to optimize self-consumption with external current sensing.
Maximum current: 50A resp. 100A.
Length of connection cable: 1 m.

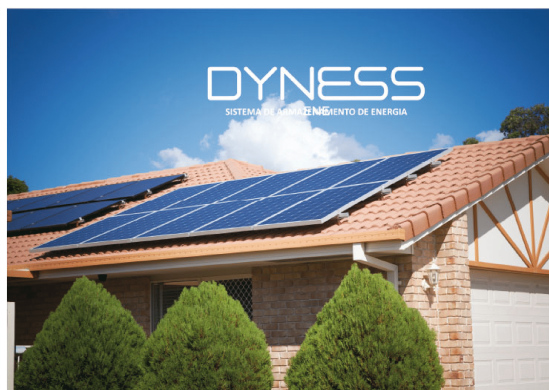


Digital Multi Control Panel
A convenient and low-cost solution for remote monitoring, with a rotary knob to set PowerControl and PowerAssist levels.

	48/3000/35-32	48/5000/70-50
MultiPlus-II		
PowerControl & PowerAssist	Yes	
Transfer switch	32 A	50 A
Maximum AC input current	32 A	50 A
INVERTER		
DC Input voltage range	38 – 66 V	
Output	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0,1% (1)	
Cont. output power at 25°C (3)	3000 VA	5000VA
Cont. output power at 25°C	2400 W	4000W
Cont. output power at 40°C	2200 W	3700W
Cont. output power at 65°C	1700 W	3000W
Maximum apparent feed-in power	2500VA	4000VA
Peak power	5500 W	9000W
Maximum efficiency	95 %	96%
Zero load power	11 W	18W
Zero load power in AES mode	7 W	12W
Zero load power in Search mode	2 W	2W
CHARGER		
AC Input	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz	
Charge voltage 'absorption'	57,6 V	
Charge voltage 'float'	55,2 V	
Storage mode	52,8 V	
Maximum battery charge current (4)	35 A	70A
Battery temperature sensor	Yes	
GENERAL		
Auxiliary output	Yes (32 A)	
External AC current sensor (optional)	50 A	100 A
Programmable relay (5)	Yes	
Protection (2)	a - g	
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration	
General purpose com. port	Yes, 2x	
Remote on-off	Yes	
Operating temperature range	-40 to +65°C (fan assisted cooling)	
Humidity (non-condensing)	max 95%	
ENCLOSURE		
Material & Colour	steel, blue RAL 5012	
Protection category	IP22	
Battery-connection	M8 bolts	
230 V AC-connection	Screw terminals 13 mm ² (6 AWG)	
Weight	18 kg	29 kg
Dimensions (h x w x d)	506 x 275 x 147 mm	565 x 323 x 148 mm
STANDARDS		
Safety	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2	
Emission, Immunity	EN 55014-1, EN 55014-2 EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3 IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3	
Uninterruptible power supply	IEC 62040-1, AS 620401.1	
Anti-islanding	VDE-AR-N 4105, TOR-D4, AS/NZS 4777.2, NRS 097-2-1, UTE C15-712-1, C10/11, RD 1699-RD 413, G59/3-2, G83/2	
1) Can be adjusted to 60 Hz 2) Protection key: a) output short circuit b) overload c) battery voltage too high d) battery voltage too low e) temperature too high f) 230 VAC on inverter output g) input voltage ripple too high 3) Non-linear load, crest factor 3:1 4) At 25°C ambient 5) Programmable relay which can be set for general alarm, DC under voltage or genset start/stop function. AC rating: 230V / 4A, DC rating: 4A up to 35VDC and 1A up to 60VDC		



Figura 10: Datasheet do inversor/controlador de carga utilizado no sistema off-grid



ESPECIFICAÇÃO

Modelo	Powerbox		
Tipo de Bateria	LiFePO4		
Módulo de bateria	2 Módulo	3 Módulo	4 Módulo
Capacidade da bateria [Ah]	100	150	200
Energia nominal da bateria [kWh]	4.8	7.2	9.6
Potência máxima de saída [kW]	4.8	4.8	4.8
Peso Líquido [Kg]	69	91	113
Dimensão [H * W * D, mm]	928*555*210		
Tensão de trabalho [V]	40.5~54		
Faixa de Temp. [°C]	-20~-50		
Vida útil do calendário [Ciclos] [1]	6000		
Tensão nominal [V]	48		
Nível de proteção	IP65		
Comunicação	CAN / RS485 / CONTATO SECO		
Padrão de Certificação e Segurança	TUV/CE/EN62619/IEC62040/UN38.3/CEC Acreditado		
Escalabilidade [kWh]	Até 3 unidades para paralelo		
Inversores Compatíveis	Goodwe Victron Imeon Solis Luxpower Growatt GMDE Sofar Voltronic Deye Mais marcas serão anunciadas		
garantia	10 anos		
Documento de garantia fornecido	sim		
Cor	Branco		
Alarmes	Sobrecarga Sobredescarga Sobrecorrente Sobreaquecimento Curto-circuito		
Prós	Pode ser usado em configurações off-grid e híbridas, design compacto, expansão modular		
Monitoramento & proteção	Cada módulo possui BMS, disjuntor incorporado no sistema		

[1] Condições de teste: carga / descarga 0.2C, @ 25°C, 80% Dod



 www.dyness.net

Figura 11: Datasheet das baterias utilizadas no sistema off-grid