UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

RAPHAEL JUSTI MEDEIROS

WELLINGTON OLIVEIRA PEREIRA

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICO E BATERIA

Tubarão

2020

RAPHAEL JUSTI MEDEIROS
WELLINGTON OLIVEIRA PEREIRA

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICO E BATERIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Me Eng.

Tubarão
2020

RAPHAEL JUSTI MEDEIROS
WELLINGTON OLIVEIRA PEREIRA

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICO E BATERIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 07 de julho de 2020.

Professor e orientador Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, Me Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Bruno William Wisintainer, Me. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Rafael Polezi Lucas, Me. Eng.
Inventor Engenharia em Automação Industrial

Dedicamos o momento de tal importância a nossos familiares, que são os pilares para o nosso desenvolvimento pessoal e profissional, por eles temos o dever de trabalhar mais forte e com dedicação, de buscarmos sermos melhores a cada dia, e assim poder trazer orgulho a quem esteve ao nosso lado sempre.

AGRADECIMENTOS

Deixamos aqui os mais sinceros agradecimentos aqueles que nos auxiliaram e apoiaram em todo este processo de elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso. De forma especial a nossas famílias e amigos.

Destacamos nossos pais, Dorilda Justi Medeiros e Djair dos Passos Medeiros pais do autor Raphael Justi Medeiros, Maria de Lourdes Oliveira mãe do autor Wellington Oliveira Pereira. Sem eles não poderíamos chegar a este momento, então, um especial agradecimento.

A nossos colegas do curso de engenharia elétrica, que por várias vezes trocamos conhecimentos, e que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Também aos professores, desde a formação inicial até este momento, agradecer aos professores Adriana Zanini, Me, Francisco Duarte de Oliveira, Me. Eng, porém, gostaríamos de destacar o nome do professor/orientador Jorge Alberto Lewis Esswein Junior, que nos deu todo suporte necessário para o desenvolvimento deste projeto, sanando todas as dúvidas e incentivando na melhoria continua como um todo.

“Paciência e perseverança tem o efeito mágico de fazer as dificuldades desaparecerem e os obstáculos sumirem.” (John Quincy Adams)

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de viabilidade técnica e econômica, para implantação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica - fotovoltaico e bateria - conectado à rede, com o intuito de atender a demanda energética da estufa de cura de revestimentos cimentícios. Com a necessidade de redução dos custos operacionais da estufa decidiu-se analisar uma forma complementar de fornecimento de energia elétrica, a qual tem o objetivo de fornecer energia elétrica a um custo global inferior ao disponibilizado pela distribuidora. Dessa forma, realizou-se pesquisas de tipos de inversores solares híbridos existentes no mercado, assim como modelos de baterias que atendam a aplicação do estudo. A topografia dos inversores e o modo como os elementos devem ser instalados para garantir o funcionamento e monitoramento de todo sistema a ser implantado foram estudados. A partir da análise do consumo da estufa, demanda da empresa e tarifas de energia elétrica, como também espaço físico para instalação adequada, pode-se trazer opções para implantação e o retorno financeiro que a mesma pode gerar. Normas, questões legais, trabalhos acadêmicos e literaturas técnicas que abrangem a geração solar hibrida foram estudadas, na busca por dar prioridade pela utilização da fonte renovável como principal fornecedora de energia elétrica para o equipamento, mesmo estando conectado à rede elétrica da concessionaria. Outro ponto observado fica em relação à utilização ou não de geradores de energia a óleo diesel para o auxílio da geração.

Palavras-chave: Armazenamento de Energia. Bateria. Geração Fotovoltaica. Inversor Híbrido.

ABSTRACT

This work presents the study of technical and economic feasibility, for the implementation of a hybrid system of electric power generation - photovoltaic and battery - connected to the grid, in order to meet the energy demand of the cementitious curing greenhouse. With the need to implement a means to keep the greenhouse in constant operation, based on the savings that the generation in the photovoltaic system provides, this work proposal was produced. Thus, research was carried out on types of hybrid solar inverters on the market, as well as models of batteries that meet the application of the study. The topography of the inverters and the way in which the elements must be installed to guarantee the functioning and monitoring of the entire system to be implemented. From the analysis of greenhouse consumption, company demand and electricity rates, as well as physical space for proper installation, we can bring options for implementation and the financial return that it can generate. Norms, legal issues, academic papers and technical literature covering hybrid solar generation have been studied, in the quest to give priority to the use of renewable sources as the main supplier of electrical energy for the equipment, even when connected to the concessionaire's electrical network. Another point observed is in relation to the energy concessionaire with the consuming company, the use or not of diesel oil power generators to aid generation.

Keywords: Battery. Energy Storage. Hybrid Inverters. Photovoltaic Energy.

LISTA DE ABREVIATURAS

A- Ampère, unidade de corrente equivalente a Coulomb por segundo.

AC- Alternating Current, ou Corrente Alternada (CA). Corrente elétrica cujo sentido varia no tempo.

CC- Direct Current, Corrente Contínua, (DC). Fluxo constante e ordenado de elétrons, em uma direção.

FV - Fotovoltaico (a).

g - Grama, medida de peso equivalente a 10 Kg.

G - Giga, prefixo do Sistema Internacional, que denota um fator de dez elevado a nona potência.

H - Hora, unidade de tempo equivalente a 3600 segundos.

Hz - Hertz, unidade derivada do Sistema Internacional para frequência; expressa em termos de oscilações, vibrações ou rotações por segundo.

i - Representa a corrente elétrica alternada.

I - Representa a corrente elétrica contínua.

R - Resistência.

RPM - rotação por minuto

U - Tensão elétrica.

V- Volt, unidade de tensão elétrica do Sistema Internacional de Unidades.

Voc Tensão de Circuito Aberto.

Vmp - Tensão de Potência Máxima.

Vol - Volume.

W- Watt, unidade de potência do Sistema Internacional, equivalente a um joule por segundo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Inversor *on-grid* 28
Figura 2 - Inversor *off-grid* 29
Figura 3 - Representação de um Sistema Híbrido 30
Figura 4 – Diagrama do Circuito do Inversor Hibrido WEG – SIW300H 32
Figura 5 - Inversor Hibrido Linha ES Goodwe 33
Figura 6 - Inversor Híbrido Serrana Torrontes 34
Figura 7 - Inversor Híbrido SIW300 36
Figura 8 - Desenho Esquemático de um Bateria de Litio-Ferro-Fosfato. 42
Figura 9 - Bateria de Chumbo-Ácido 43
Figura 10 - Bateria de Chumbo-Ácido 44
Figura 11 - Bateria de Chumbo-Ácido 44
Figura 12 - Parede com Revestimento Cimentício 48
Figura 13 - Central de Concreto 50
Figura 14 - Tear Multifios 51
Figura 15 - Máquina de Serra Mármore 52
Figura 16 – Exemplo de fatura de energia elétrica 54
Figura 17 - Dados fatura energia elétrica Donata Estilos em Cimentícios 55
Figura 18 - Diagrama Unifilar Banco de Baterias 57
Figura 19 - Modulo Fotovoltaico 63
Figura 20 - Diagrama Unifilar Geral do Sistema Fotovoltaico 63
Figura 21 - Preço x Tarifa 67
Figura 22 - Valor kWh 67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Geração de eletricidade por fonte, Mundo 1990-2017 23
Gráfico 2 - Alemanha registra recorde de energia renovável 24
Gráfico 3 - Número de micro e minigeradores até 23/05/2017 27
Gráfico 4 - Módulos conectados em série 38
Gráfico 5 - Módulos conectados em paralelo 39
Gráfico 6 - Módulos conectados em série-paralelo 40
Gráfico 7 - Irradiação Global, Inclinada e Direta 60
Gráfico 8 - Marcas de Módulos Fotovoltaicos 62
Gráfico 9 - Geração x Consumo 65
Gráfico 10 - Quantidade de kWh pagos Sem Geração x Com Geração 66
Gráfico 11 - Pesquisa de Mercado Fotovoltaico Brasileiro 74
Gráfico 12 - Reajustes Anual das Tarifas Residenciais 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações Técnicas 45
Tabela 2 - Modelo P-15 49
Tabela 3 - Tabela de Baterias Freedom By Heliar 56
Tabela 4 - Irradiação Global Horizontal 59
Tabela 5 - Irradiação Solar Anual - Localidade de Capivari de Baixo 59
Tabela 6 - Histórico de consumo de energia elétrica – Donata Estilos em Cimentícos 60
Tabela 7 - Características do Sistema Fotovoltaico 61
Tabela 8 - Créditos gerados na geração de energia elétrica 64
Tabela 9 - Cálculo de Faturas 72
Tabela 10 - Materiais para Gerador 75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 15
1.1 JUSTIFICATIVA 17
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA 17
1.3 OBJETIVOS 19
1.3.1 Objetivo Geral 19
1.3.2 Objetivos Específicos..... 19
1.4 DELIMITAÇÕES 19
1.5 METODOLOGIA 19
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 22
2.1 ENERGIA ELÉTRICA..... 22
2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS 23
2.3 ENERGIA SOLAR..... 24
2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA 25
2.4.1 Geração de energia fotovoltaica no Brasil 26
2.4.2 Sistemas de geração fotovoltaica *on-grid* e *off-grid* 27
2.4.2.1 Sistema *on-grid*..... 27
2.4.2.2 Sistema *off-grid* 29
2.4.3 Sistemas de geração fotovoltaica híbrido 29
2.4.3.1 Inversor Híbrido..... 31
2.4.3.2 Inversor Goodwe Linha ES 33
2.4.3.3 Inversor Serrana Torrontes..... 34
2.4.3.4 Inversor SIW300 Weg..... 36
2.5 TOPOLOGIA DE INVERSORES..... 37
2.6 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO 41
2.6.1 Tipo de Baterias Utilizadas 41
2.6.1.1 Bateria de Lítio-Ferro-Fosfato 42
2.6.1.2 Bateria Selada VRLA..... 43
2.6.1.3 Bateria Estacionária Com Tecnologia SPV 43

2.7 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS 45
2.8 ESTUFA DE CURA DE REVESTIMENTOS CIMENTÍCIOS 47
3 DESENVOLVIMENTO 49
3.1 DETALHAMENTO DA ESTUFA DE CURA 49
3.2 DETALHAMENTO DAS MAIORES MAQUINAS DA FABRICA 50
3.2.1.1 Central de Concreto 50
3.2.1.2 Tear Multi-fios 51
3.2.1.3 Máquina de Serra Mármore 51
3.3 ARMAZENAMENTO 52
3.4 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA 58
4 VIABILIDADE ECONÔMICA 74
5 CONCLUSÃO 78
REFERÊNCIAS 79

1 INTRODUÇÃO

Fontes de energias não renováveis são esgotáveis, logo uma ótima alternativa para a utilização racional, de forma que seja possível não zerar todo o "estoque", são as fontes de energia renováveis, exemplos como: eólica, solar e a hidrelétrica.

Como mostra a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), hidrelétricas são a principal fonte geradora da matriz energética brasileira, e mesmo essa vem demonstrando não ser suficiente, principalmente em tempos de escassez de chuvas, que gera perda no potencial hídrico, a necessidade de complementação da geração através de termelétrica, o que resulta em tarifas de energia elétrica maiores para as empresas e pessoas físicas. Desta forma as empresas buscam por economia no investimento em tecnologias de geração de energia, como solar e eólica.

Para as empresas que se enquadram no Grupo A[1], principalmente as com processos contínuos[2], a opção de utilizar fontes renováveis, como a geração solar fotovoltaica, é uma forma de "fugir" das tarifas cobradas pelas concessionárias de energia elétrica, no horário de ponta[3]. Um exemplo destas empresas são as do segmento cimentício, que possuem fornos e maquinários trabalhando em regime constante.

No mercado de energia fotovoltaica existem modelos de geração em sistemas *on-grid*, *off-grid* e híbrido, onde o primeiro é o mais utilizado, eles podem ser empregados para o uso doméstico ou de empresas. O sistema de geração híbrido fotovoltaico e bateria, é um pouco mais recente e começa a ser utilizado, tem como destaque em relação aos outros dois, uma menor dependência a rede elétrica da concessionária, apesar de trabalhar conectado à rede.

Em diversos países da Europa a solução híbrida já está sendo utilizada, considerada a grande inovação para geração solar. No Brasil ainda não se tem muito conhecimento sobre esta tecnologia, alguns meios legais precisam ser revistos, porém alguns modelos de inversores

---

[1] Unidades consumidoras do Grupo A, são atendidas em tensão superior a 2.300 volts, como indústrias. (ELETROBRAS, 2011)

[2] Que não se pode nem se consegue interromper, parar: trabalho contínuo; que se estende no tempo sem pausas nem intervalos; continuado, seguido: uso contínuo da terra para o cultivo de milho. (DICIO, 2019)

[3] Tarifas de consumo e demanda, são diferenciadas em horarias de pico, ou de baixa, ponta e fora de ponta, na ponta onde está sendo requisitada muita energia elétrica, o valor tarifário é maior. (ELETROBRAS, 2011)

encontrados no mercado nacional, podem ser conectados a baterias. Outra peça fundamental para viabilizar esta implantação, está no armazenamento de energia, quais tipos de baterias são melhores para cada aplicação, e projeto. Desta forma são necessárias análises e estudos para decidir pela utilização deste tipo de geração de energia fotovoltaica hibrida, levando em consideração ainda que o *payback*[4] seja em tempo viável e satisfatório, assim como a implantação física do sistema, para a empresa que busca investir nesta nova tecnologia.

[4] Payback ou retorno de investimento é uma ferramenta utilizada para estimar o tempo em que o investimento inicial, irá começar a dar lucro efetivo.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o passar dos anos, o crescimento dos avanços tecnológicos na sociedade vem aumentando de forma significativa, o consumo de energia elétrica sobe na mesma proporção, logo a demanda de geração de energia elétrica aumenta assim como o seu valor.

No Brasil a maior parte da geração de energia elétrica é proveniente das hidrelétricas, que apesar de ser um recurso renovável, ainda assim acarreta impactos ambientais. As termoelétricas também estão presentes de forma importante na matriz energética brasileira, estas não fazem uso de recursos renováveis e consequentemente poluem mais o meio ambiente, além do fato dos custos para geração da energia elétrica, que são maiores em comparação as renováveis.

Por tudo isso, verifica-se a importância da utilização de meios renováveis para a geração de energia elétrica, dentre estes, destaca-se a geração solar, que utiliza a energia dos raios solares para seu funcionamento, e em consequência reduz significativamente os impactos ambientais e utiliza um recurso que está em abundância na natureza.

Outro fator, está na obtenção da independência de alguns periféricos industriais em relação à concessionária de distribuição, que nunca pode garantir o máximo fornecimento de energia, podem ocorrer interrupções e tarifas mais caras em alguns períodos. A utilização de recursos, como por exemplo um banco de baterias, que, dimensionados de maneira correta, tornam-se de fundamental importância para o processo como um todo.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A constante automação de processos industriais, contribui para o aumento do consumo de energia, a motorização de alguns destes processos reflete no aumento dos custos com energia elétrica, elevando os valores da fatura de energia elétrica.

Visando obter uma produtividade mais eficiente, destacando alguns gargalos no chão de fábrica, a utilização de um maior número de maquinário elétrico torna-se

imprescindível. Restringir a mão de obra em alguns pontos de produção, também é uma opção para reduzir as chances de erros e retrabalhos, assim busca-se diminuir de forma significativa o desperdício de energia e matéria-prima.

Para efetivação destas demandas, é essencial o uso de diversos periféricos eletroeletrônicos, que são capazes de utilizar sistemas de controles para automações. Deve ser colocado em pauta tecnologias sustentáveis que possam vir a contribuir para a diminuição dos custos de energia elétrica, provenientes do investimento da indústria em equipamentos elétricos, que buscam a melhoria do processo produtivo.

Indústrias do segmento de revestimentos cimentícios necessitam da utilização de estufas para cura[5] do produto. Estufas de cura precisam de um longo tempo em regime de funcionamento para chegar ao resultado esperado. O revestimento deve estar em um ambiente com umidade e temperatura controlados, e o processo pode durar até 72 horas ininterruptas.

Assim, buscou-se na geração híbrida fotovoltaica e baterias, uma maneira de reduzir os custos de energia elétrica para a empresa, garantir o funcionamento menos dependente da rede elétrica e ininterrupto destas estufas.

[5] Cura é o termo utilizado para os processos empregados em busca da melhor proteção as estruturas do produto cimentício, podendo ser contra temperaturas, impactos ou outros tipos de avaria que a peça possa sofrer. (HELENE & LEVY)

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de caso, que possa demostrar que a implantação do sistema fotovoltaico híbrido na empresa Donata Estilos em Cimentícios, com suas características fabris, tem viabilidade tecno-econômica e justifica sua instalação.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Apresentar tipos de inversores compatíveis com a aplicação da geração hibrida;
- Apresentar sistemas de armazenamento de energia elétrica, modelos de baterias que atendam a demanda;
- Projetar as topologias e tipos de instalações que possam viabilizar o estudo;
- Demonstrar os resultados obtidos, por uma análise investimento x retorno.

1.4 DELIMITAÇÕES

Este projeto de pesquisa delimitou-se a apenas constatar a viabilidade técnica e econômica de implantação do sistema de geração de energia híbrido fotovoltaico e baterias, ao setor de cura de revestimentos na empresa Donata Estilos em Cimentícios, contendo, suas peculiaridades e características industriais e processuais.

1.5 METODOLOGIA

As etapas desta pesquisa tendem a explorar a viabilidade técnico e econômica de implantação de um sistema de geração no formato híbrido de fotovoltaico e baterias. Apresentar os tipos de inversores que melhor se encaixem nesta aplicação, assim como o sistema de armazenamento com maior compatibilidade, por meio do estudo aprofundado sobre o tema em questão.

Em uma primeira etapa, foi necessário o levantamento de alguns dados importantes para o projeto junto a empresa, como por exemplo, identificação de máquinas e equipamentos, consumo e custos relacionados à energia elétrica, horário de funcionamento da fábrica e conhecimento da infraestrutura da planta.

A partir destas informações, foi possível a realização do projeto em questão, a busca pelos equipamentos necessários (como exemplo: inversores fotovoltaicos híbridos, baterias, placas solares.) e suas especificações técnicas, mediante a necessidade para essa aplicação, analisar melhores técnicas de montagem e *layout*[6], que sejam congruentes com a necessidade da planta industrial.

Sendo assim, por meio dos resultados projetados e obtidos, foi possível verificar o *feedback*[7] que a implantação pode trazer.

[6] Configuração de instalação: posicionamento de maquinário, materiais, móveis, etc, em uma obra, fábrica, escritório, etc. (ex: layout do canteiro de obras, layout do ambiente). (ECIVILNET, 2019)

[7] Palavra originária da língua inglesa, significa opinião, retorno, avaliação ou comentário. (NEILPATEL, 2019)

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Seção com o objetivo de demonstrar a estrutura do trabalho de conclusão de curso, abaixo estão os passos para o seu desenvolvimento.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica, apresentação de ferramentas e fundamentação para compressão do projeto de pesquisa.

Capítulo 3 – Apresentação do projeto de implantação do sistema de geração fotovoltaico híbrido.

Capítulo 4 – Avaliação dos resultados do projeto e as dificuldades que encontramos.

Capítulo 5 – Apresentação das conclusões e desenvolvimentos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica está envolvida na forma como a sociedade moderna se molda, responsável por avanços tecnológicos, os quais hoje são utilizados no dia a dia de maneira natural, exemplos como: computadores, televisão, smartphones, entre outros equipamentos eletroeletrônicos.

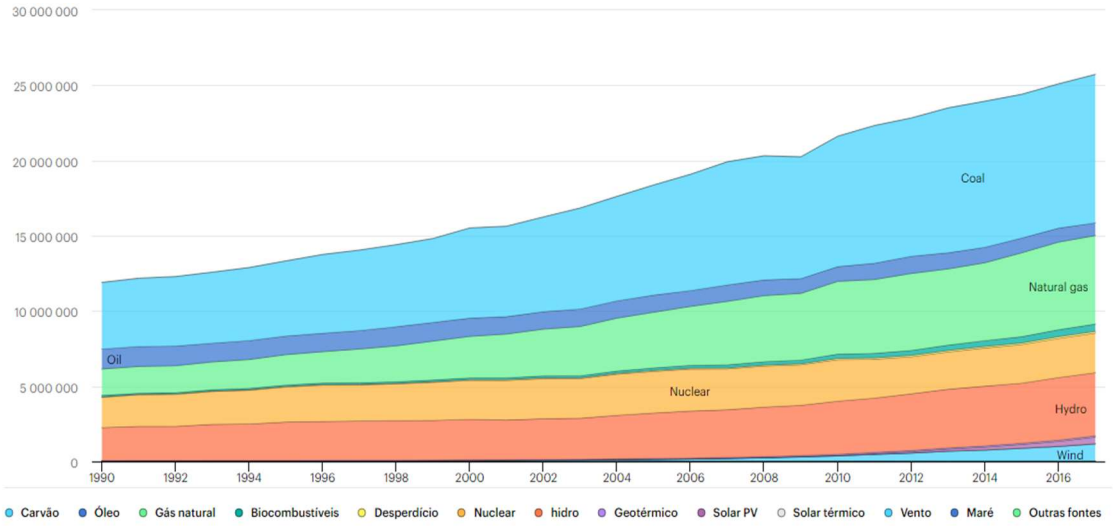
O desenvolvimento dos países nas últimas décadas traz um maior consumo e necessidade de outras tecnologias de geração de energia, uma vez que o setor responsável não acompanha esse processo e segue com a maior parte das suas gerações compostas pelos combustíveis fosseis[8], carvão, petróleo, gás natural, urânio, fontes esgotáveis, que tendem chegar ao fim, e assim uma saída está na energia de fontes renováveis.

[8] Combustíveis fosseis são originados da decomposição de plantas e animais em um processo longo, que pode durar vários milhões de anos, o carvão mineral que é a segunda fonte de energia, mais utilizada no mundo, também teve origem a milhões de anos atrás, ainda não existiam bactérias e fungos para decompor as arvores, que se acumulava, dando início ao carvão mineral. (BORSATO, 2009)

2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Energia renovável é classificada como a energia que provém de recursos naturais que não deve ser esgotável, assim como eólica[9], hídrica[10], solar, entre outras. Recursos naturais que podem ser esgotáveis, não são classificadas como renováveis. Outro ponto importante está nas questões com preocupações ambientais.

Gráfico 1- Geração de eletricidade por fonte, Mundo 1990-2017



Fonte: (IEA,2017)

Mesmo com esse foco que vem recebendo, pode-se ver no gráfico 1 de dados e estatísticas da *International Energy Agency* (IEA, 2017), que essa energia ainda é pouco utilizada no mundo, como fonte exclusiva de geração, comparada às fontes tradicionais teve recentemente sua inserção na matriz mundial e pela intermitência na geração de energia.

---

[9] Energia eólica, é a energia gerada a partir conversão da energia cinética que o vento produz nas turbinas eólicas em energia elétrica. (ANEEL, 2005)

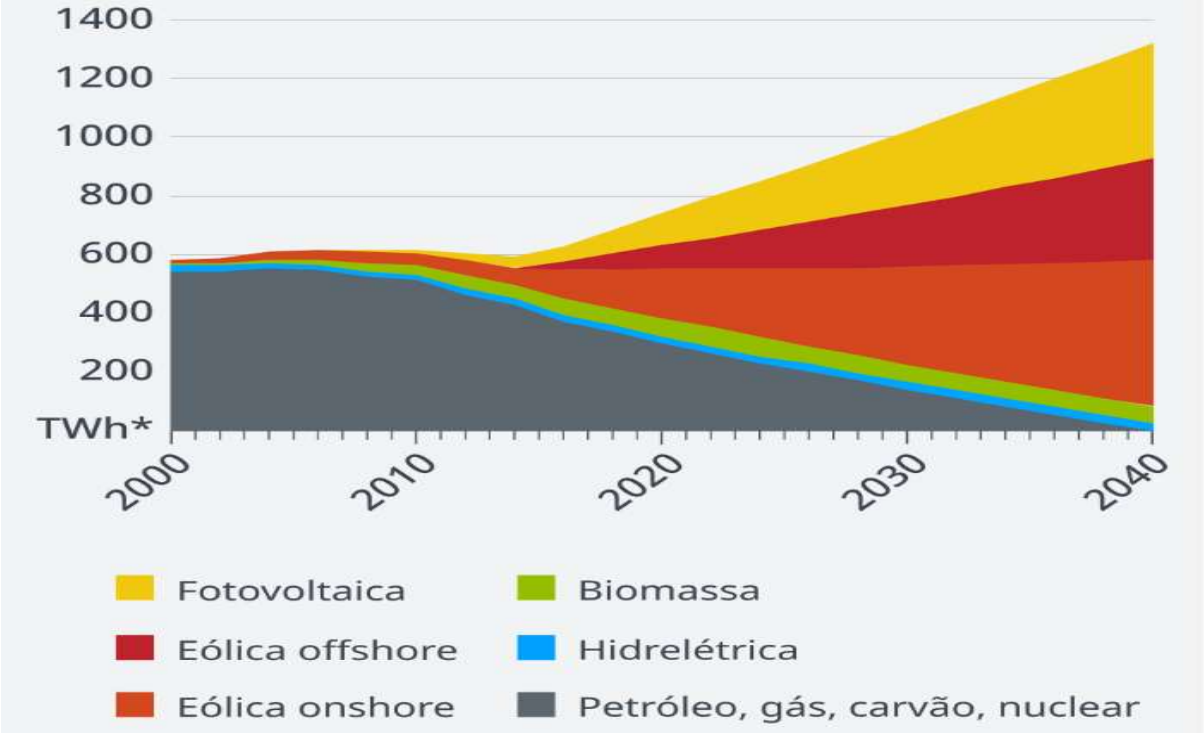
[10] Energia hídrica, é a transformação da energia cinética que movimento da água gera nas turbinas, em energia elétrica. (ANEEL, 2005)

2.3 ENERGIA SOLAR

Energia eletromagnética[11] que tem como provedor a luz e o calor do sol, é uma fonte considerada como energia limpa, e certamente uma das mais favoráveis para se obter entre as renováveis. A Alemanha, por exemplo, projeta ter a maior parte de sua geração de energia elétrica, proveniente da energia solar fotovoltaica, como está mostrado no gráfico 2 (RUETER 2019).

Energia solar pode ser aplicado como energia térmica[12] ou elétrica, com potencial, sendo considerada abundante do ponto de vista humano, quando comparadas com outras fontes de energia renovável, é considerada excepcional. (EPE, 2016)

Gráfico 2 - Alemanha registra recorde de energia renovável



Fonte: (REUTER,2019)

[11] Energia eletromagnética provem do movimento induzidos de elétrons, que resulta em tensão elétrica. (MUNDOEDUCAÇÃO,2018)

[12] Energia térmica pode ser utilizado para grandezas termodinâmicas, energia interna ou para medir o calor trocado. (BRASILESCOLA, 2019)

O Brasil tem índices elevados para obtenção desta energia, pois regiões como norte e nordeste têm indicadores baixos de chuva, quando comparadas com outras regiões do país. Até nas cidades que costumam ter dias mais nublados, como as das regiões sul, sudeste, quando analisadas têm desempenho suficientes para fonte solar.

Conforme o Solarprime (2017), para dar uma ideia melhor, se escolher como parâmetro de comparação a Alemanha, que está entre os países que mais produzem energia solar no mundo, ela fica abaixo do Brasil quando o assunto é nível de irradiação[13] solar.

A fonte mais utilizada para micro e minigeração distribuída pelos consumidores brasileiros, é a solar fotovoltaica, com 82,9 mil micros e miniusinas e cerca de 870 megawatts (MW) de potência instalada. O país já ultrapassa a marca de 1 GW de geração distribuída (ANEEL, 2019).

Para utilizar essa fonte, existem diferentes tecnologias, algumas operam com o aquecimento, como por exemplo os aquecedores de água residenciais, outras com energia heliotérmica, e a que foi explorada no projeto, é a energia fotovoltaica.

2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Atualmente o mercado de energia solar vem se tornando um dos mais promissores do mundo, pelo fato de ser uma fonte de geração eficientemente limpa. Por outro lado, aspectos relacionados a condições climáticas, causam dúvidas em torno de sua eficiência.

A chuva se torna um grande auxílio no quesito de limpeza das placas, no entanto, a nebulosidade que vem junto com ela prejudica a produção de energia neste sistema.

As placas necessitam de radiação solar para seu funcionamento, sem mecanismos móveis, sem gerar resíduos e sem necessidade de manutenção. O painel solar é o principal componente de um sistema de energia solar, é formado por um conjunto de células de silício[14] (CRESEB, 2016).

---

[13] Irradiação é um dos termos utilizados para propagação do calor, está provem de ondas eletromagnéticas, ondas de calor. (GOUVEIA, 2018)

[14] Lâminas de silício formam junções PN, capazes de gerar energia elétrica, duas são as mais utilizadas as monocristalino e policristalino, está segunda com menor eficiência em relação a primeira. (CRESESB,2016)

Outro componente importante deste conjunto, são os inversores, que superficialmente têm a função de converter a corrente contínua (CC) gerado pelos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada (CA). Talvez a conversão CC/CA seja uma das funções principais deste produto, porém ele ainda possuiu outras funções importantes, como por exemplo, controle e segurança do arranjo. A função de controle, faz armazenamento dos dados da geração que podem ser coletados diretamente no inversor, ou acompanhados por sistemas interligados a internet.

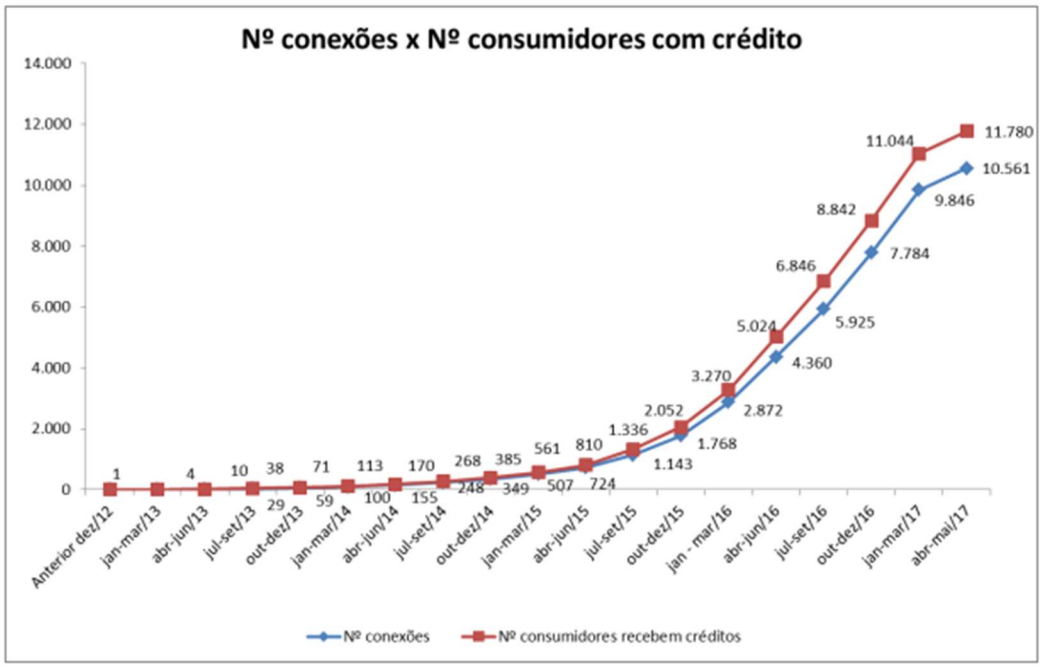
2.4.1 Geração de energia fotovoltaica no Brasil

O Brasil ocupou à 11° posição mundial dos países que mais investiram em energia fotovoltaica no ano de 2018, alcançando 2,4 GW de capacidade instalada, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2019), esse dado mostra evolução, visto que, segundo a revista Exame, em 2014 o país estava em 18º lugar neste ranking. Um atrativo que está "puxando" este índice para cima está na queda de preços para a instalação de sistemas fotovoltaicos. Por exemplo, o preço dos módulos reduziu em torno de 80% nos últimos 10 anos, e outro fator é a alta tarifária da conta de energia, que ocorre desde 2012 (FOLHAPE, 2019).

Como mostrado no gráfico 3 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019), estes incentivos estão trazendo um crescimento no número de conexões à rede de energia elétrica, por unidades micro e minigeredoras.

O consumidor hoje, consegue obter financiamentos mais atrativos, por meio do programa FNE Sol, o Banco do Nordeste (BNB) oferece linha de financiamento para pessoas físicas e pessoas jurídicas. "Baseado no projeto que o cliente apresenta, nós apoiamos a sustentabilidade desses investimentos.", explicou o superintendente estadual do Banco do Nordeste em Pernambuco, Ernesto Lima Cruz (FOLHAPE, 2019).

Gráfico 3 - Número de micro e minigeradores até 23/05/2017



Fonte: (ANEEL, 2017).

2.4.2 Sistemas de geração fotovoltaica *on-grid* e *off-grid*

Desde o surgimento da energia solar, os sistemas *on-grid* e *off-grid* predominaram suas topologias no âmbito de geração fotovoltaica, sendo utilizadas até hoje, apresentam recursos e peculiaridades que as diferem e as tornam específicas para cada aplicação.

2.4.2.1 Sistema *on-grid*

Os inversores *on-grid*, como o da figura 1, são utilizados normalmente em sistemas de microgeração e minigeração, de até algumas dezenas de quilowatts, conectados à rede. Dependendo do tamanho do sistema utiliza-se vários inversores ligados em paralelo para conseguir a potência desejada. Fornecendo corrente elétrica alternada em sua saída. O inversor opera sincronizado com a rede elétrica, onde passa a servir como referência de tensão e frequência. Quando há interrupção no fornecimento de energia elétrica na rede em que o

inversor está conectado, ele utiliza a função de anti-ilhamento e se desconecta da rede, evitando que esta receba corrente elétrica oriunda do sistema fotovoltaico (GIRATHRON, 2019).

Figura 1 - Inversor *on-grid*



Fonte: (FRONIUS, 2019).

Esse sistema em si, necessita de apresentação de projeto de integração e fiscalização junto a concessionária de energia. Tendo obrigatoriamente que seguir todas as normas impostas pela concessionária, para assim poder efetuar a troca do medidor convencional para o medidor bidirecional, que efetua a leitura da energia gerada absorvida pela rede.

Seu funcionamento consiste em injetar o excesso gerado para a rede da concessionária (geralmente durante o dia) e compensando quando o consumo apresentar um aumento (geralmente no período noturno). Outra característica seria a monitorização e ajustes dos níveis de tensão de saída para que não seja superior à tensão da rede, e também, à sincronização de frequência senoidal com a da rede (no Brasil, 60 Hz), através de osciladores eletrônicos.

2.4.2.2 Sistema *off-grid*

Os inversores chamados de *off-grid,* como um exemplo mostrado na figura 2, são utilizados em sistemas autônomos, desconectados da rede elétrica. Como em alguns sítios, *motorhome* e embarcações. Nesse tipo de sistema é necessário a utilização de um banco de baterias para armazenamento da energia gerada. Os painéis fotovoltaicos são conectados em um controlador de carga que faz o gerenciamento da corrente elétrica que alimenta a bateria e o inversor (SHARENERGY, 2017).

Figura 2 - Inversor *off-grid*



Fonte: (HAYONIK, 2019).

Tem por característica também, por ser desconectado da rede elétrica, não ter a necessidade de apresentação de projeto elétrico prévio ou pedido de ligação por parte da concessionária de energia, tendo assim, maior facilidade de implantação em regiões que sofrem com a falta de fornecimento de energia elétrica, em relação ao *on-grid*.

2.4.3 Sistemas de geração fotovoltaica híbrido

O sistema fotovoltaico híbrido, como ilustrado na Figura 3, se caracteriza pela sua capacidade de armazenamento de energia produzida em seu banco de baterias, mesmo sendo

um sistema de geração conectado à rede elétrica, assim como os sistemas *on-grid* juntamente com um sistema de armazenamento de energia.

Portanto, o sistema de geração solar híbrido apresenta uma alta confiabilidade, sendo que, com a ocorrência de quedas de energia, o sistema não desliga, ao contrário do modelo *on-grid*.

Já se pode encontrar no mercado diversos modelos de híbridos, basicamente todos acompanhados com o sistema de armazenamento de energia. Alguns contam com um gerador secundário para auxílio em seu funcionamento e as baterias mais utilizadas são de Lítio-Ferro-Fosfato e a de Chumbo-Ácido (SOLIENS, 2019).

Figura 3 - Representação de um Sistema Híbrido



Fonte: (TECKHOME, 2019).

Em resumo, o sistema de geração solar no formato híbrido, que foi o modelo usado neste projeto, nada mais é que a união dos dois formatos já encontrados no mercado, sendo os modelos *on-grid* e *off-grid*. Estes podem unir as características de cada um deles para aplicações que necessitem destas particularidades.

Esse sistema se torna interessante para ambientes em que o fornecimento de energia da concessionária sofre quedas constantes ou, situações em que o sistema de energia deve trabalhar de forma ininterrupta.

Para definir melhor uma de suas aplicações, neste projeto o sistema de geração estará interligado com a rede elétrica, gerando para seu consumo, para o sistema de armazenamento de baterias e para a rede de distribuição, sendo esses dois últimos, o percentual de prioridade determinado pelo o usuário. Desta forma, dependendo das preferencias antepostas pelo administrador, é possível configurar o momento de utilização da carga armazenada pelo banco de baterias, e utilização delas em caso de falta de fornecimento da rede.

2.4.3.1 Inversor Híbrido

Os inversores híbridos são a junção do modelo *on-grid* com o *off-grid*, em resumo, ele tem a capacidade de fornecer energia para a rede, e em paralelo, possui uma ligação com um sistema de armazenamento por baterias, mantendo os equipamentos eletrônicos funcionando mesmo que haja interrupção no fornecimento de energia. De certa forma, pode-se dizer que os inversores solares híbridos funcionam como *nobreak*[15] de um sistema FV.

Um ponto importante para ser avaliado na escolha do inversor utilizado no sistema, é o número de rastreamentos de pontos de potência máxima, ou em inglês *maximum power point tracking* (MPPT), que o produto possui. A função MPPT mapeia e varia a tensão de operação do inversor com o objetivo de retirar a máxima potência dos módulos fotovoltaicos. Sendo instalados os painéis em um único local e com a mesma orientação e inclinação, optar por um equipamento que possua um único MPPT não traz problemas ao sistema. Porém, caso sejam alocados os módulos em situações de orientação, inclinação ou pontos diferentes, devem ser escolhidos preferencialmente inversores com mais de um MPPT, de acordo com a quantidade de situações diferentes do arranjo de módulos.

---

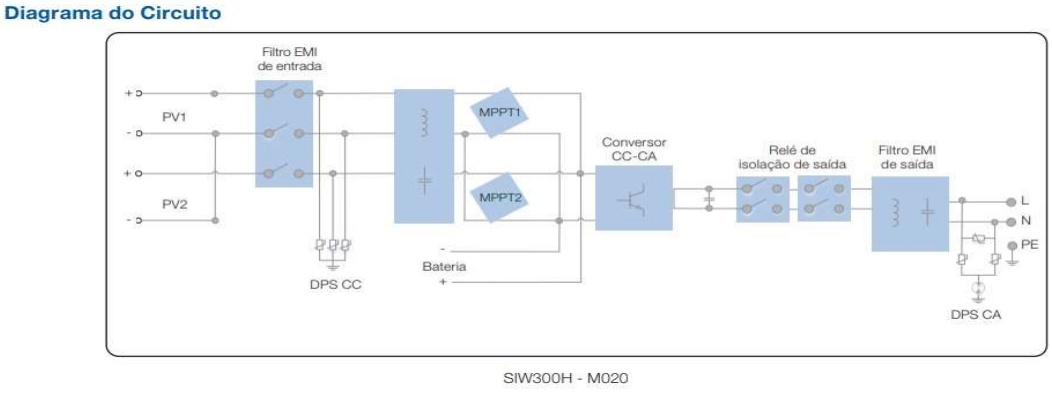
[15] Um nobreak ou UPS (Fonte de Energia Ininterrupta, na sigla em inglês) é um condicionador que regula a tensão e a qualidade da energia que chega até os eletrônicos conectados a ele. Além disso, nobreak também é responsável por alimentar os dispositivos, em caso de queda de luz, através de uma bateria. (TECHTUDO, 2019).

Ao dimensionar o sistema e a potência do inversor, deve-se observar a potência dos painéis fotovoltaicos. Esta pode ser determinada de acordo com as características (corrente e tensão) de entrada CC do inversor. Normalmente os fabricantes permitem que seja instalada uma potência maior que a nominal do inversor, e o percentual depende das instruções dos fabricantes.

Ainda existem outros itens a serem colocados em pauta, tais como eficiência em converter a corrente elétrica CC em CA, certificação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Esse último, o INMETRO criou através da Portaria Inmetro nº 357/2014, assim os inversores de energia elétrica fotovoltaica devem seguir tais critérios para que sejam comercializados no país, principalmente os conectados à rede elétrica (INMETRO, 2014).

Como exemplo, é demonstrado o diagrama de circuito na figura 4 do inversor híbrido SIW300H da WEG com potência entre 2 kW a 5 kW, eficiência 98%, tensão DC de entrada entre 500V e 1000V, tensão AC de saída 220V e preparado para banco de baterias até 10kWh. É parte integrante da solução WEG de energia fotovoltaica (ELETROMAG.NET, 2019).

Figura 4 – Diagrama do Circuito do Inversor Híbrido WEG – SIW300H



Fonte: (ELETROMAG.NET, 2019)

2.4.3.2 Inversor Goodwe Linha ES

O inversor da linha ES da Goodwe na figura 5, pode ser usado tanto em sistemas *on-grid* quanto *off-grid* durante o dia, e o arranjo fotovoltaico alimenta rede ou carrega as baterias do sistema de armazenamento, podendo liberar durante o período noturno as cargas até então armazenadas. Além disso, a rede elétrica também pode se encarregar de carregar o sistema de baterias.

Ele opera de 3,6 a 5 kW de armazenamento e 100 A, apresenta grau IP65[16] de isolação mecânica.

Figura 5 - Inversor Híbrido Linha ES Goodwe



Fonte: (GOODWE, 2020).

[16] IP ou Índice de Proteção, seguido por um número, traz referência a determinado nível de proteção para um objeto, neste caso o IP65 informa que o produto é resistente a jatos de água.

2.4.3.3 Inversor Serrana Torrontes

O inversor híbrido Serrana Torrontes (figura 6) apresenta modelos nas potencias de 1 kW e 2,4 kW, e as seguintes características:

- Potência máxima de painel solar de 3,5 kW.
- Corrente do carregador de baterias configurável manualmente via display LCD de 1 A a 65 A.
- DC Start – Permite ser ligado na ausência de rede.
- Bateria: 48 VDC (4 x 12 VDC em série) estacionária ou VRLA[17] – Mínimo para funcionamento 4 x 12 VDC / 100 Ah (série).
- Carregador inteligente em modo rede e após carregado mantém uma tensão flutuante para aumentar a vida útil das baterias.

Figura 6 - Inversor Híbrido Serrana Torrontes

[17] Bateria VRLA é a sigla para *Valve Regulated Lead Acid*, ou em português "Ácido de Chumbo Regulado por Válvula", essas baterias de chumbo-ácido não requerem manutenção, sendo revestida de chumbo, elas são utilizadas principalmente para alimentar equipamentos durante quedas de energia.



Fonte: (SERRANAENERGIA, 2020).

2.4.3.4 Inversor SIW300 Weg

O SIW300 (figura 7) é um versátil inversor para geração de energia fotovoltaica, desenvolvido com a mais alta tecnologia para atender tanto instalações comerciais, quanto industriais. (WEG.NET, 2020). Apresenta as seguintes características:

- Corrente de saída de 7 a 22 A;
- Tensão de alimentação monofásica ou bifásica de 180 a 280 V;
- Grau de proteção IP65;
- Resfriamento por convecção natural;
- Monitoramento remoto via internet;
- Conexão ethernet;
- Protocolo Modbus SunSpec;
- Topologia sem necessidade de transformador.

Figura 7 - Inversor Híbrido SIW300



Fonte: (WEG.NET, 2020).

2.5 TOPOLOGIA DE INVERSORES

Os inversores fotovoltaicos que são conectados à rede elétrica, são constituídos por um sistema de interligação dos módulos que são ligados a conversores estáticos, esses são formados por semicondutores. Os inversores conectados à rede de distribuição, são utilizados conversores CC/CA, que fazem a inversão da energia gerada em corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), o formato utilizado nos sistemas de distribuição e fornecimento de energia.

No caso dos inversores híbridos, o sinal CC é tanto utilizado pelos módulos fotovoltaicos, quanto pelo o que está armazenado no circuito de baterias. Sendo que, a aplicação do uso da energia armazenada pelas baterias fica pela opção e necessidade do usuário.

Alguns tipos de inversores, são comutados pela rede elétrica, em que esses referenciam-se pela tensão nominal da rede, e ainda os auto-comutados, que utilizam um circuito eletrônico em sua estrutura para controle e sincronização do sinal à rede.

Um fator que sempre deve ser considerado é a eficiência, essa pode ser afetada por diversos fatores externos, como condições climáticas, falta de higienização e descasamento dos módulos, e estado irregular de conexões elétricas. É possível verificar essa aplicação, ao calcular a potência obtida na saída do inversor, por meio da Equação 1:

$$Pca = Pcc * EC \quad (1)$$

Onde tem-se:

Pca = Potência de saída do inversor (CA)

Pcc = Potência de entrada do inversor, obtida pelos módulos fotovoltaicos (CC)

EC = Eficiência de conversão

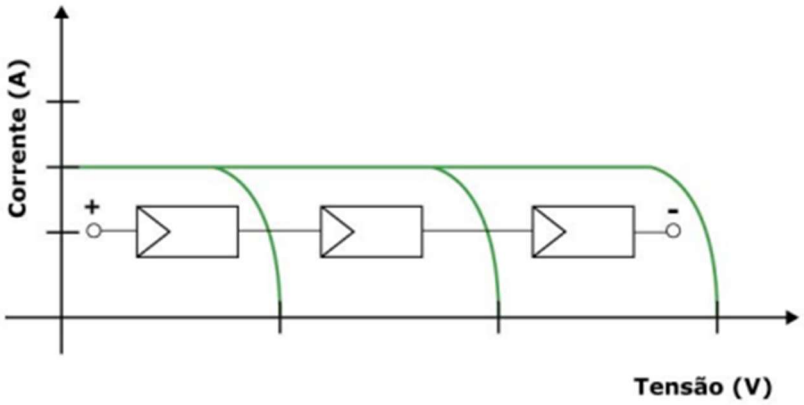
Os módulos podem ser conectados com ligação série, paralelo ou série-paralelo, conforme os valores de tensão e corrente que se deseja obter. Na conexão em série, os polos positivos são conectados aos negativos do outro módulo, logo a tensão (V_{total}) de saída é a soma das tensões (V_{modulo}) que cada modulo está gerando, já a corrente (I_{total}) é a mesma para todos,

no gráfico 4 estão 3 módulos conectados em série, em que é possível visualizar as curvas de tensão e corrente, levando em consideração as correções que devem ser aplicadas em função do máximo e mínimo de temperatura.

$$V_{total} = V_{modulo1} + V_{modulo2} + ... V_{moduloN} \quad (2)$$

$$I = I_{modulo1} = I_{modulo2} = ... I_{moduloN} \quad (3)$$

Gráfico 4 - Módulos conectados em série



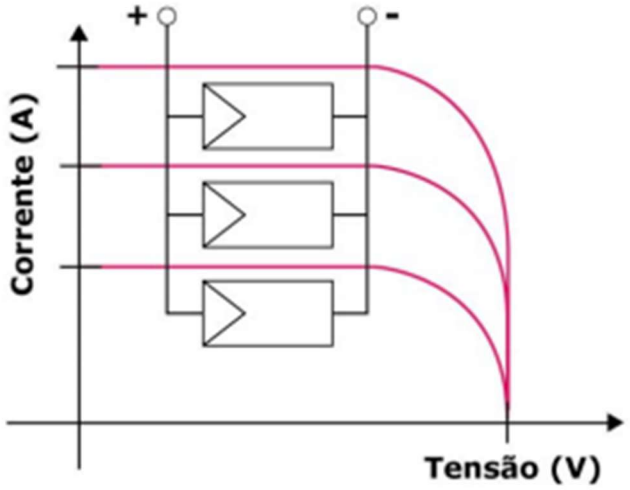
Fonte: (GREENPO, 2004).

Para ligação em paralelo, os polos positivos dos módulos são conectados aos positivos do outro modulo, o mesmo para os negativos. Nesse tipo de conexão a corrente total (I_{total}) é igual à soma de todas as correntes, a tensão (V_{total}) é a mesma tem todos os pontos. Esse tipo de ligação aparece particularmente em sistemas autônomos. No gráfico 5 tem-se a curva de tensão e corrente da conexão em paralelo.

$$V_{total} = V_{modulo1} = V_{modulo2} = ... V_{moduloN} \quad (4)$$

$$I = I_{modulo1} + I_{modulo2} + ... I_{moduloN} \quad (5)$$

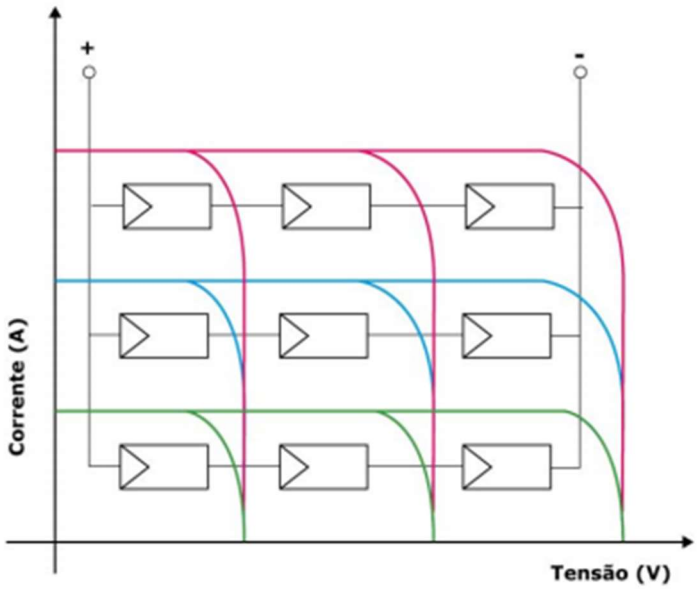
Gráfico 5 - Módulos conectados em paralelo



Fonte: (GREENPO, 2004)

Ligação série-paralelo é a normalmente utilizada nos sistemas conectados à rede, assim utiliza-se a conexão em série para aumentar a tensão e o arranjo em paralelo para elevar a corrente. Como mostra o gráfico 6.

Gráfico 6 - Módulos conectados em série-paralelo



Fonte: (GREENPO, 2004)

Quando é empregado o arranjo em série, deve-se verificar se não existem sombreamentos ao longo do arranjo, pois um módulo com mau funcionamento afeta o desempenho do conjunto todo, e o resultado final significativamente. O arranjo em paralelo, não sofre tanto com o sombreamento, e apenas o módulo que está sofrendo o efeito deixa de contribuir. Por esses motivos, o mais indicado para utilização conectado à rede é o série-paralelo.

A tensão para o circuito aberto deve ser maior que a tensão equivalente operacional e nominal, e não pode extrapolar a tensão de entrada suportada pelo inversor (VINTURINI, 2019).

2.6 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO

O uso de sistemas capazes de armazenar energia se tornam indispensáveis para a geração de energia, seja ela solar ou eólica. Atualmente, o método utilizado para esses armazenamentos é o sistema de baterias, que faz uso de reações químicas para seu funcionamento. No caso da geração solar, apenas o sistema *on-grid* não faz uso de baterias, pelo fato de fornecer o excesso de energia gerada direto para a rede de distribuição, em que por meio da concessionária de energia, recebe créditos equivalentes à quantidade absorvida pela rede.

Neste estudo, as baterias foram utilizadas tanto para condições que ocorram falta de fornecimento de energia elétrica da rede, quanto para economia em horas do dia em que a tarifa energética estiver maior.

Quanto ao dimensionamento do banco de baterias, deve-se considerar alguns fatores para o procedimento correto. No caso do sistema *off-grid* o número de baterias a serem utilizadas é maior que o do sistema híbrido, por ser um sistema desconectado da rede e depender totalmente do armazenamento de cargas para o seu pleno funcionamento. Deve-se ser considerado o consumo dos equipamentos a serem ligados neste circuito para dimensionamento da potência e tempo desejado de autonomia de funcionamento.

Outro fator a ser considerado quanto ao dimensionamento, são os níveis de tensão de trabalho do inversor escolhido, esse tem a função de converter a corrente contínua (CC) geradas pelas placas e armazenadas nos sistemas de baterias em corrente alternada (CA) para fornecimento.

2.6.1 Tipo de Baterias Utilizadas

Geralmente o modelo de bateria utilizada para sistemas fotovoltaicos, tanto híbrido quanto *off-grid,* é a estacionária solar, que contém as especificações de funcionamento adequada. Alguns tipos mais utilizados são citados nos tópicos seguir.

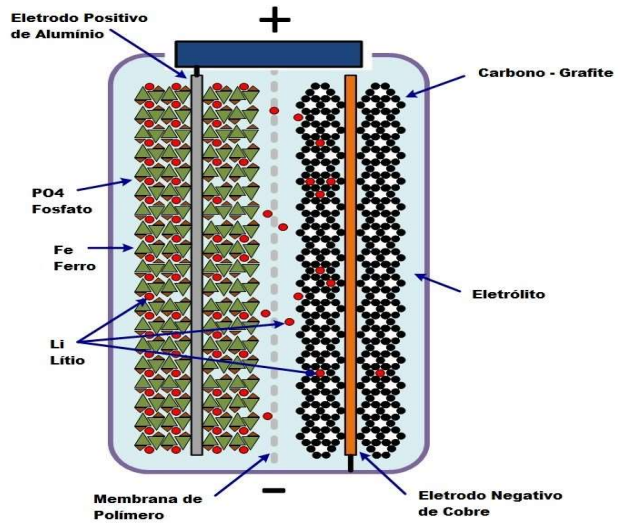
2.6.1.1 Bateria de Lítio-Ferro-Fosfato

Sendo o tipo de bateria solar que melhor se adapta para aplicação, essa se destaca por não emanar gases em seu funcionamento. Tem por característica suporte de até 60° Celsius e pode ser totalmente descarregada sem prejudicar sua vida útil.

Seu custo é mais elevado que as demais encontradas no mercado, mas compensa por sua durabilidade e performance, ao apresentar durabilidade até 20 vezes maior em relação a outras.

Embora as baterias de lítio ferro fosfato (LiFePO4) não sejam exatamente novas, elas estão apenas começando a ganhar tradição nos mercados comerciais globais. As baterias de íons de lítio são chamadas de um tipo de bateria de “cadeira de balanço”: elas movem íons, neste caso íons de lítio, do negativo para o positivo ao descarregar, e de volta ao carregar. A figura 8 mostra o que acontece dentro de cada célula. As bolinhas vermelhas são os íons de lítio, que se movem para frente e para trás entre os eletrodos negativo e positivo. (STA-ELETRONICA, 2019).

Figura 8 - Desenho Esquemático de uma Bateria de Lítio-Ferro-Fosfato.



Fonte: (STA-ELETRONICA, 2004).

2.6.1.2 Bateria Selada VRLA

Também conhecidas como de chumbo-ácido são as mais baratas e comuns encontradas no mercado. Foram as primeiras para uso comercial, sendo muito utilizadas em automóveis, empilhadeiras e sistemas de *nobreaks*.

As baterias VRLA, como exemplo na figura 9, são de regime estacionário, e apresentam menor vida útil que as de Lítio-Ferro-Fosfato, densidade baixa de energia, simples fabricação e não emanam gases em seu período de funcionamento.

Figura 9 - Bateria de Chumbo-Ácido



Fonte: (STA-ELETRONICA, 2004).

2.6.1.3 Bateria Estacionária Com Tecnologia SPV

Com uma tecnologia diferente da segunda, traz uma solução para as baterias do tipo VRLA, que são baterias reguladas a válvula e necessitam de um ambiente controlado para funcionamento correto, e maior vida útil. No caso das baterias estacionárias, como exemplo na figura 10, a Bateria Solar Estacionária Moura Clean 12MF220 (220 Ah) produzida pelo fabricante Moura S.A., essas trazem um sistema de controle térmico através de ligas e grades

que resistem a temperaturas maiores e maior desempenho em relação a VRLA em regiões de clima tropical.

Figura 10 - Bateria de Chumbo-Ácido



Fonte: (MOURA, 2018)

A tecnologia SPV consiste em um conjunto de válvulas especiais que separam a temperatura do ambiente externo e interno da bateria, figura 11. Tais válvulas possuem membranas microporosas capazes de reter o eletrólito e suas gotículas ácidas, reduzindo ainda a liberação de gases nocivos.

Figura 11 - Bateria de Chumbo-Ácido



Fonte: (MOURA, 2018)

A Tabela 1 mostra algumas especificações técnicas dos modelos de 36A (12MF36) a 220 A (12MF220).

Tabela 1 - Especificações Técnicas

Modelo		12MF36	12MF45	12MF55	12MF63	12MF80	12MF105	12MF150	12MF220
Tensão Nominal (V)		12	12	12	12	12	12	12	12
Capacidade a 25ºC (Ah)	10h-1,75V/Elem	32	41	50	57	72	94	135	195
	20h-1,75V/Elem	36	45	55	63	80	105	150	220
	100h-1,75V/Ele	40	50	60	69	87	115	165	244
Dimensões (mm)	Comprimento	212	212	242	282	330	330	509	517
	Largura	175	175	175	175	172	172	211	272
	Altura	175	175	175	175	244	244	246	246
Peso (Kg)		10,5	11,5	13,5	16,4	22,0	25,5	44,0	56,2
Posição dos Terminais									
Acessórios		Parafusos, arruelas e porcas sextavadas em aço inox							
Tensão de Flutuação (V)		13,20 - 13,38 a 25ºC (2,20 - 2,23 p/ elemento)							
Tensão de Equalização (V)		14,16 -14,40 a 25ºC (2,36 - 2,40 p/ elemento)							
Compensação de Temperatura		-0,33 V para cada 10ºC acima de 25ºC							
		+0,33 V para cada 10ºC abaixo de 25ºC							

Fonte: (MOURA, 2018)

2.7 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O Brasil, ao longo dos anos busca introduzir políticas de incentivo para o uso da energia solar fotovoltaica. Porém, por outro lado, segundo apurado pelo programa das Nações Unidas para o meio ambiente (PNUMA, 2016), países como China, Japão e Alemanha, têm maior incidência na utilização desta energia. No ano de 2008, o governo federal criou dentro do Ministério de Minas e Energia, o GT-GDSF[18] pela portaria nº 36, de 26 de novembro de 2008, tendo como objetivo criar estudos, critérios e propostas de política para as unidades consumidoras que pretendem utilizar a energia solar conectada à rede. (JANNUZZI, 2009)

[18] Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos. (MME, 2009)

Um estudo do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos traçou a criação de um conjunto de políticas, que ampliasse a participação da indústria brasileira no processo do silício para aplicação em energia fotovoltaica entre 2010 e 2025. (JANNUZZI, 2009)

Conforme o Primeiro capítulo da Resolução Normativa nº 482 (ANEEL,2012), que trata sobre a microgeração e minigeração distribuída, sistemas de compensação de energia elétrica, condições gerais. Segue da seguinte forma:

> [...] Art. 2º Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:
> I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
> II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
> III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa.
> III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)
> I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)
> II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)
> II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 786, de 17.10.2017)

Fica assim estabelecido que a compensação da energia gerada é constituída em forma de crédito, que pode ser utilizado pela unidade consumidora ou por outra unidade do mesmo grupo, cadastrada e atendida pela mesma distribuidora num prazo de até 60 meses.

Desta maneira, a energia elétrica gerada e não consumida, sendo injetada na rede, fica como crédito futuro. A unidade consumidora é cobrada pela concessionária em um valor mínimo estabelecido para distribuição aos consumidores do grupo B e demanda contratada aos do grupo A. Ainda deve ser observado as definições do capítulo terceiro como abaixo:

> [...] II - o consumo a ser faturado, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto horário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.
> III - caso a energia ativa injetada em um determinado posto horário seja superior à energia ativa consumida, a diferença deverá ser utilizada, preferencialmente, para compensação em outros postos horários dentro do mesmo ciclo de faturamento, devendo, ainda, ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia, se houver.
> IV - os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para este fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, ou cujas unidades consumidoras forem reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito.
> V - o consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica.
> VI - os créditos de energia ativa gerada por meio do sistema de compensação de energia elétrica expirarão 60 (sessenta) meses após a data do faturamento, não fazendo jus o consumidor a qualquer forma de compensação após o seu vencimento, e serão revertidos em prol da modicidade tarifária.
> [...] V - o consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica, devendo a unidade consumidora onde se encontra instalada a geração ser a primeira a ter seu consumo compensado. (Redação dada pela REN ANEEL 517, de 11.12.2012.)

O valor do investimento e custos de compatibilidade ao sistema de medição, para compensação de energia elétrica, ficam a cargo da unidade consumidora interessada em ingressar na modalidade.

Assim a Resolução Normativa nº 482, é de todo interesse das indústrias que pretendem utilizar a geração de energia fotovoltaica, visto que normalmente os horários de pico de suas produções está no período matutino e vespertino, onde a luz solar e geração fotovoltaica estão favoráveis.

2.8 ESTUFA DE CURA DE REVESTIMENTOS CIMENTÍCIOS

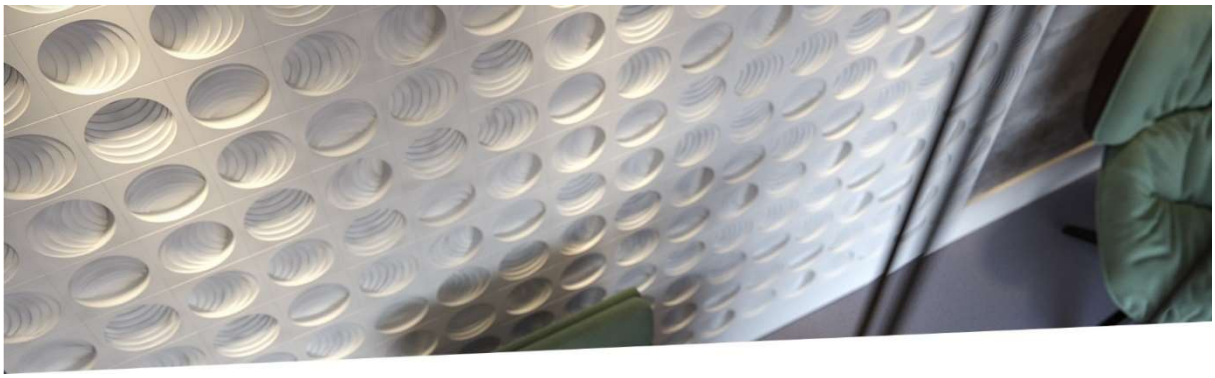
A estufa de cura tem aplicação industrial, para secagem e cura de tintas e revestimentos, além de cura de resinas de epóxi e outros materiais. Conhecer bem o tipo do

material que se deseja curar é fundamental para se escolher, de forma segura, a mais indicada. (COMMERX, 2019)

Os revestimentos cimentícios, como demonstrados na figura 12, necessitam de um tempo de cura logo após o preparo do *mix* de cimentos ter sido aplicado, neste momento, esse material necessita estar em um ambiente com umidade e temperatura controlados, dependendo do produto, o tempo deste processo pode durar até 72 horas ininterruptas.

Desta forma, a alimentação de energia elétrica deve ser constante e sem interrupções, qualquer pausa nesse processo pode ocasionar deformações e irregularidades do produto final.

Figura 12 - Parede com Revestimento Cimentício



Fonte: (REVELUX, 2019).

3 DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do estudo, inicialmente ocorreu o levamento de alguns itens, onde os principais foram: *datasheet* do umidificador de ar da estufa de cura, tempo médio e máximo de indisponibilidade de energia da rede da concessionaria, local para instalação dos módulos, sistema de armazenamento e do sistema de geração fotovoltaico.

3.1 DETALHAMENTO DA ESTUFA DE CURA

A estufa de cura trabalha exclusivamente com um único equipamento, dentre as características importantes presentes na tabela 2 do umicom P-15, seguem algumas que se destacam abaixo:

Tabela 2 - Modelo P-15

Características Básicas Modelo P-15	
Capacidade de Umidificação:	15 l/h
Alimentação:	110/220 Vca - Bifásico
	220/380 Vca - Trifásico
Potência:	1/3 cv Bifásico - 0,5 cv Trifásico
Consumo (Trifásico):	2,2 A em 220 Vca - 1,2 A em 380 Vca
Peso:	30 kg
Dimensões:	450 x 750 x 590 (mm)

Fonte: (PRÓPRIO AUTOR)

No modelo utilizado, ainda consta um banco de resistências de 3000 watts de potência elétrica, sendo utilizadas para poder manter a temperatura ambiente da estufa igual ou acima de 25° C. Sendo assim para equação 6 considerando o cosφ = 0,9, tem-se:

$$\text{Potência Total P-15} = (\sqrt{3} * 380 * 1{,}2 * 0{,}9) + 3000\ W = 3710{,}834\ W \quad (6)$$

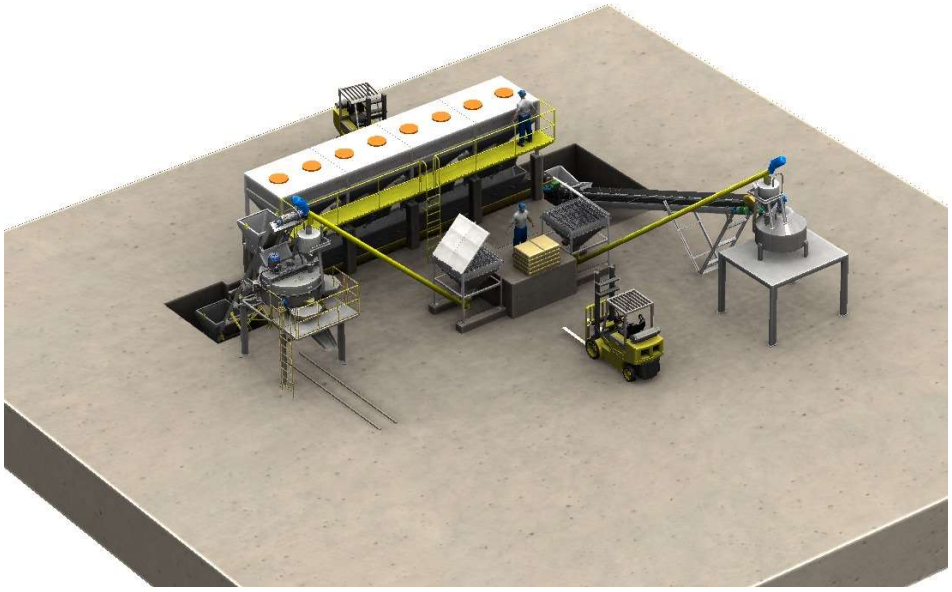
3.2 DETALHAMENTO DAS MAIORES MÁQUINAS DA FABRICA

Para o dimensionamento correto do sistema de geração fotovoltaica, além da estufa de cura que tem que trabalhar de forma ininterrupta, existem outros equipamentos no processo produtivo, é de suma importância o conhecimento destes equipamentos e de suas características de consumo elétrico, como citados nos tópicos seguir.

3.2.1.1 Central de Concreto

A Central de Concreto, figura 13, se faz imprescindível para a fabricação da matéria-prima do revestimento cimentício. Utiliza em sua planta funcional uma potência de 15,8 kW.

Figura 13 - Central de Concreto

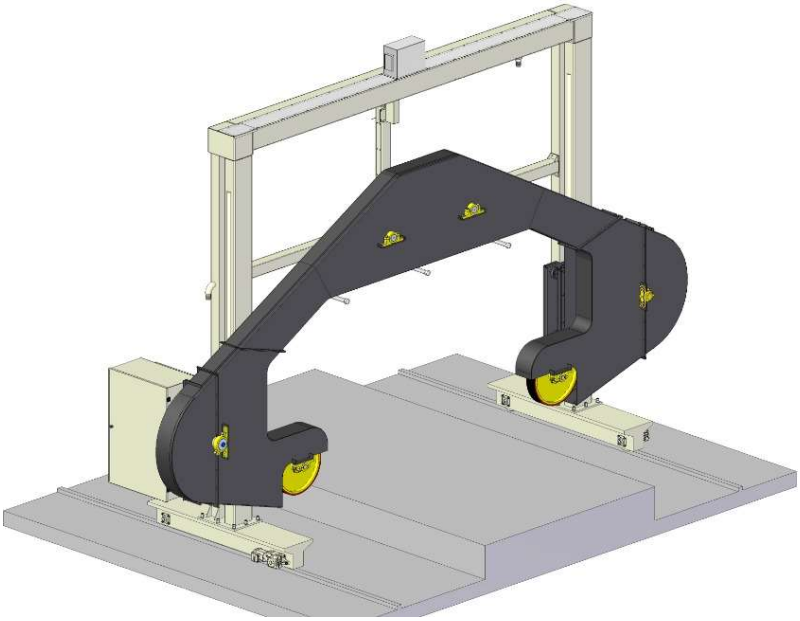


Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

3.2.1.2 Tear Multi-fios

O Tear Multi-fios, mostrado na figura 14, consiste em um dispositivo eletromecânico de grande porte, responsável pelo corte dos blocos de concreto que saem da central de concreto, em chapa de 30 mm de espessura. Faz uso de uma potência nominal de 20 kW.

Figura 14 - Tear Multifios

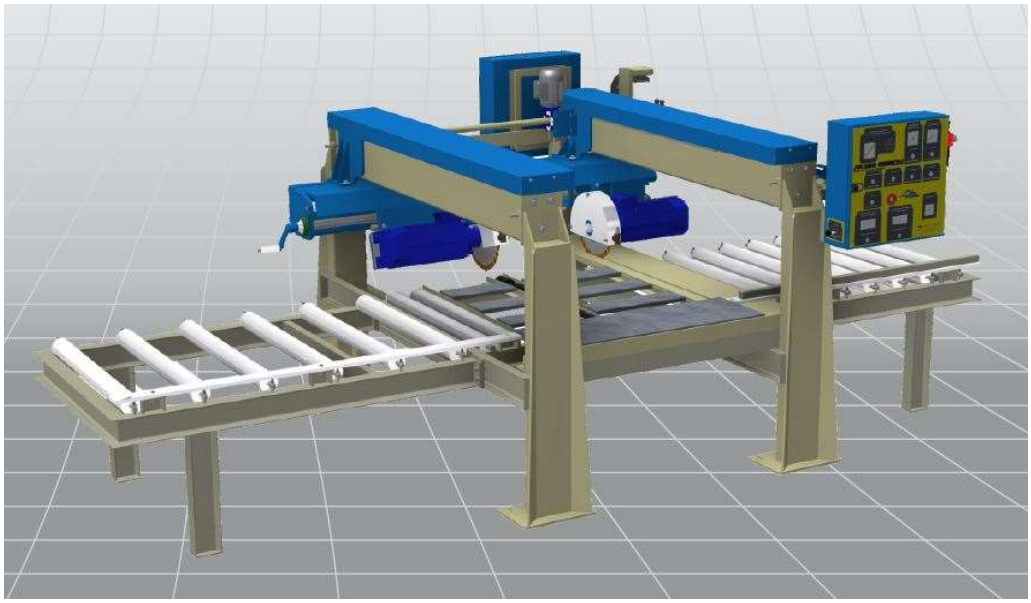


Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

3.2.1.3 Máquina de Serra Mármore

Responsável por realizar a retifica dos produtos cimentícios, a serra mármore ou popularmente conhecida como encabeçadeira, figura 15, contém uma potência instalada de 18,77 kW.

Figura 15 - Máquina de Serra Mármore



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR).

3.3 ARMAZENAMENTO

O dimensionamento do sistema de armazenamento está composto por dois principais itens, que são: levantamento da curva de carga x tempo. A potência da estufa de cura levantada e detalhada no tópico 3.1 “Detalhamento da Estufa de Cura”.

Para o tempo necessário de alimentação do sistema utilizou-se as informações de indisponibilidade de energia elétrica, que constam na fatura e são classificadas em 3 diferentes siglas DIC, FIC, DMIC.

- DIC - Duração de interrupção individual por unidade consumidora, esse índice demonstra a quantidade de tempo que determinado consumidor esteve sem energia. Expresso em horas e centésimos de horas e dada pela equação 7:

$$DIC = \sum_{i=1}^{n} t(i) \qquad (7)$$

- FIC - Frequência de interrupção individual por unidade consumidor, número de vezes que o consumidor ficou desabastecido. Expresso em número de interrupções, e dada pela equação 8:

$$FIC = n \quad (8)$$

- DMIC - Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora, expressa em horas e centésimos de hora, calculada pela equação 9:

$$DMIC = t(i)\ max \quad (9)$$

- DICRI - Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico[19] por unidade consumidora, expressa em horas e centésimos de hora, calculada pela equação 10:

$$DICRI = tcrítico \quad (10)$$

Para:

i – Índice de interrupções da unidade consumidora este pode variar entre 1 a n.
n – Número de interrupções da unidade consumidora.
t(i) – Tempo de duração da interrupção por unidade consumidora.
t(i) max – Tempo da máxima duração de interrupção contínua.
tcrítico – Tempo de duração da interrupção em dia crítico.

Segundo o módulo 8 dos Procedimentos De Distribuição De Energia Elétrica No Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, previsto na Resolução Normativa nº395/2009 da Aneel, sobre qualidade de energia elétrica, a avaliação da qualidade tem base em cálculos de alguns indicadores, os quais a continuidade da entrega de energia elétrica, tempo de duração, e frequência de interrupção pelas distribuídas são exemplos.

Esses indicadores são calculados por períodos e suas conferências são mensais, trimestrais e anuais. Além do indicador de interrupção ocorrida em dia crítico. (ANEEL, 2018)

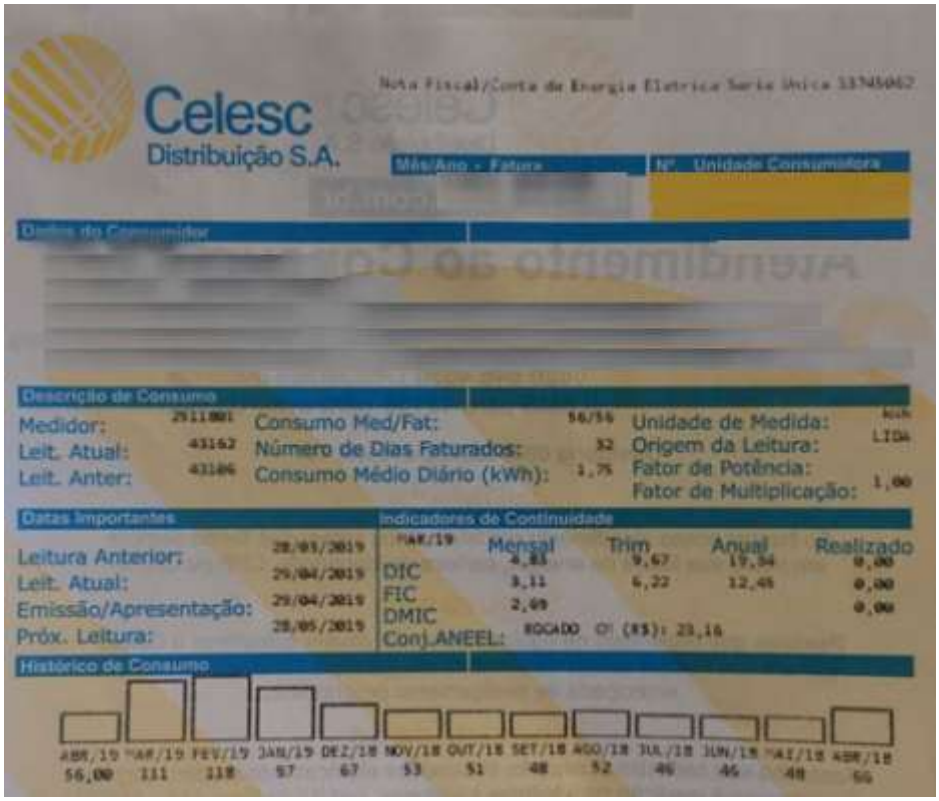
Para os indicadores de continuidade, esses devem ser apurados de formas individuais para cada unidade consumidora. O PRODIST Módulo 8, capitulo 5, trata destes indicadores.

---

[19] Segundo a Aneel a definição de dia crítico é: “Dia em que a quantidade de ocorrências emergenciais, em um determinado conjunto de unidades consumidoras, superar a média acrescida de três desvios padrões dos valores diários.”

Os dados de indisponibilidade na entrega de energia elétrica para as unidades consumidoras, que estão na área de concessão da empresa Celesc Distribuições S.A. constam na fatura de energia elétrica próximo ao campo “Datas Importantes” (figura 16), segundo glossário do site da Celesc.

Figura 16 – Exemplo de fatura de energia elétrica



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR)

Dados obtidos na fatura de energia elétrica referentes a março de 2020 da empresa Donata Estilos em Cimentícios, como é possível avaliar na figura abaixo, apontam que a duração de interrupção da energia elétrica esteve em 2,91 h no mês de fevereiro, ainda para o trimestre de 9,43 h, anual com um valor de 18,86 h e que a meta está em 4,71 h. Importante observar que os valores expressos na fatura estão em horas e centésimos de horas, abaixo um exemplo:

$$2{,}91 \;=\; 2 \text{ horas e } 0{,}91 \text{ centésimo de hora} \tag{11}$$

$$0{,}91 \;=\; 0{,}91*60 \approx 55 \text{ minutos} \tag{12}$$

$$2{,}91 \ = \ 2 \text{ horas e } 55 \text{ minutos} \qquad (13)$$

Figura 17 - Dados fatura energia elétrica Donata Estilos em Cimentícios



INDICADORES DE CONTINUIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA

Período de referência da apuração:	01/2020	02/2020	META	TRIMEST.	ANUAIS
DIC - DURAÇÃO DE INTERRUPÇÃO INDIVIDUAL (h):	0.00	2.91	4.71	9.43	18.86
FIC - FREQUÊNCIA DE INTERRUPÇÃO INDIVIDUAL (h):	0.00	2.00	3.11	6.22	12.45
DMIC - DURAÇÃO MÁXIMA DE INTERRUPÇÃO INDIVIDUAL (h):	0.00	1.90	2.60	0.00	0.00
EUSD - Valor Enc. Uso Sist. Distr (R$)			2,008.13		
DICRI - Duração da Interrupção Individual Dia Crítico (h):			12,22		

A CONCESSIONÁRIA COMPENSA POR MEIO DE CRÉDITO NA CONTA DE LUZ, EVENTUAIS VIOLAÇÕES DA META DOS INDICADORES DIC, FIC, DMIC E DICRI.
É DIREITO DO CONSUMIDOR SOLICITAR APURAÇÃO DOS INDICADORES DIC, FIC, DMIC E DICRI, A QUALQUER TEMPO.

0800 480120 - CELESC

167 - ANEEL (LIGAÇÃO GRATUITA DE TELEFONES FIXOS)

Fonte: (PRÓPRIO AUTOR)

Foi considerado, utilizar o sistema de armazenamento para abastecimento exclusivamente da estufa. Com base nas informações apuradas, ao considerar a meta da DMIC (para esse trabalho de conclusão de curso não será considerado a meta do DICRI) que está em 2,60 h, ou aproximadamente 2 horas e 36 minutos, dimensionou-se um sistema de armazenamento capaz de fornecer energia elétrica por um período de 3 horas.

Para o dimensionamento do tempo que o sistema de armazenamento está apto a fazer o fornecimento, aplicou-se o seguinte cálculo:

Considerando as seguintes variáveis:

$$\text{Potência Total P - 15} = (\sqrt{3}*380*120*0{,}9)+3000 \text{ W} \ = 3710{,}834 \text{ W} \qquad (14)$$

$$\text{Horas de fornecimento (Hf)} = 3 \text{ Horas}$$

Considerando estes dados, é possível afirmar que a energia que deve ser entregue pelo dimensionamento do banco de baterias é de:

$$\text{Potência entregue} = 3710{,}834 \text{ W}*3 = 11{,}1 \text{ kWh} \qquad (15)$$

Neste caso, foi considerado uma eficiência de 80% para o sistema de armazenamento. Desta forma, o banco de baterias foi que ser dimensionado para 13,32 kWh, com uma potência média de 4,64 kW, entregando $I_T = 225$ A.

Foi utilizado como referência o manual do fornecedor Freedom By Heliar, conforme a tabela na tabela 3:

Tabela 3 - Tabela de Baterias Freedom By Heliar

Capacidade em ampère-hora (Ah) a 25 °C em diferentes regimes de descarga	Tensão Final p/ elemento	HORAS																MINUTOS		
		100	20	10	9	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	45	30	15
		DF300																		
	1,75	30,0	26,0	24,0	23,8	23,5	23,1	22,8	22,0	21,9	21,6	21,0	20,8	20,5	20,0	19,2	18,0	15,8	12,5	10,0
	1,80	28,9	25,2	23,2	22,9	22,7	22,3	22,0	21,4	21,3	21,1	20,3	20,0	19,7	19,0	17,8	16,4	14,2	11,0	8,6
	1,85	27,8	24,0	22,5	22,0	21,6	21,3	21,0	20,6	20,2	19,8	19,3	18,8	18,5	17,7	16,1	14,2	12,7	9,9	7,8
		DF500																		
	1,75	40,0	36,0	30,0	29,9	29,8	29,7	29,0	28,2	27,7	27,0	26,6	25,8	24,8	24,0	22,5	20,0	19,0	16,5	13,0
	1,80	38,7	34,9	29,0	28,9	28,7	28,4	27,9	27,6	26,6	26,0	25,9	24,9	23,6	22,6	21,4	18,2	17,0	14,6	11,3
	1,85	36,8	33,0	27,7	27,5	27,2	27,1	26,7	25,7	25,2	24,6	24,3	23,3	22,4	21,2	19,5	16,4	15,3	13,1	10,2
		DF700																		
	1,75	50,0	45,0	41,0	40,5	40,0	39,5	39,2	37,5	37,1	36,8	35,0	34,5	34,0	32,5	30,8	27,0	24,0	21,5	16,3
	1,80	47,5	43,5	39,5	38,9	38,4	38,0	37,7	36,0	35,6	35,3	33,5	32,7	31,8	30,3	27,9	24,1	21,6	19,2	14,1
	1,85	46,4	41,7	37,9	37,4	36,8	36,3	35,9	34,2	33,7	33,1	31,2	30,1	29,0	28,0	26,2	21,6	19,3	17,0	12,7
		DF1000																		
	1,75	70,0	60,0	54,0	51,8	51,6	51,1	49,2	49,0	47,3	46,0	43,8	43,5	42,5	38,0	37,8	35,0	31,9	27,5	21,0
	1,80	67,7	58,1	52,2	49,9	49,6	49,1	47,2	46,9	45,1	43,8	41,6	41,2	39,7	35,5	34,7	31,7	28,6	23,9	18,0
	1,85	64,9	55,7	50,0	48,0	47,7	47,1	45,2	45,0	42,6	41,2	39,1	38,0	36,2	31,9	31,8	28,8	25,6	21,7	16,4
		DF1500																		
	1,75	93,0	80,0	76,0	73,8	72,0	70,0	69,0	66,0	65,3	64,0	63,7	63,0	62,5	59,0	57,0	54,0	51,8	45,0	32,5
	1,80	88,9	77,5	73,6	71,4	69,7	67,7	66,7	63,6	62,7	61,4	61,1	59,1	58,1	54,3	51,6	49,0	46,4	39,5	27,8
	1,85	86,2	74,2	70,4	68,3	66,6	64,6	63,6	60,7	59,5	57,6	57,3	55,2	53,6	50,2	48,1	44,5	41,5	36,0	25,5
		DF2000																		
	1,75	115,0	105,0	94,0	92,0	91,8	91,0	87,0	85,0	82,8	81,2	79,1	75,0	73,8	69,0	66,0	60,0	56,3	48,0	37,5
	1,80	110,8	101,1	91,0	89,1	88,7	87,9	84,2	82,2	80,0	78,3	76,0	71,0	69,3	64,7	60,6	54,5	50,5	42,0	32,1
	1,85	106,0	97,5	87,2	85,2	84,8	83,9	80,1	78,1	75,5	73,9	71,3	65,9	63,3	58,6	55,8	49,5	45,1	37,7	29,4
		DF2500																		
	1,75	165,0	150,0	130,0	129,8	129,6	126,0	120,0	115,0	112,5	112,0	108,5	102,0	100,0	94,0	87,0	81,0	74,3	65,0	50,0
	1,80	159,4	144,6	125,8	125,7	125,0	121,7	116,0	110,8	107,7	106,6	102,8	96,5	93,8	88,0	79,6	73,4	66,6	57,1	42,8
	1,85	152,2	138,4	120,0	119,3	118,6	115,1	109,5	104,7	102,1	100,9	97,5	89,4	85,2	79,9	73,2	66,0	59,5	51,8	39,1
		DF3000																		
	1,75	185,0	170,0	156,0	153,0	152,0	150,0	148,2	140,0	135,0	132,0	126,0	123,0	120,0	114,0	108,0	95,0	84,0	76,0	57,8
	1,80	179,2	164,9	151,1	148,3	147,2	145,1	142,8	134,5	129,1	126,5	120,7	116,0	112,8	106,1	98,8	86,2	76,0	66,5	49,6
	1,85	171,8	157,9	145,0	141,3	139,7	137,7	135,0	128,7	122,4	118,4	112,6	107,1	102,3	96,2	90,6	78,2	67,6	60,3	45,3
		DF4000 / DF4001																		
	1,75	240,0	225,0	200,0	193,5	192,0	185,5	180,0	175,0	171,0	166,0	161,0	156,0	150,0	144,0	135,0	120,0	108,8	95,5	72,0
	1,80	231,4	213,0	193,3	187,0	185,7	179,3	173,5	168,7	163,2	160,2	155,2	147,2	140,0	134,2	123,9	108,9	97,7	83,8	61,6
	1,85	222,5	203,0	184,5	178,0	176,6	170,5	165,4	160,7	155,6	149,0	144,4	136,0	127,5	122,1	113,1	98,5	87,2	74,8	56,3

Fonte: (HELIAR,2020).

A partir dela foi possível dimensionar a quantidade e o modelo de baterias a serem usadas, utilizando a seguinte Equação, conforme:

$$\text{Número Nominal de Baterias} = \frac{I_T * H_F}{\text{Capacidade x tempo descarga}} \quad (16)$$

Avaliando o mercado de baterias, valores comerciais e referências técnicas, foi escolhido o modelo DF4000, assim tem-se:

$$\text{Número Nominal de Baterias} = \frac{225\text{Ah} * 3\ \text{Horas}}{175} = 3{,}86 \cong 4\ \text{Baterias} \qquad (17)$$

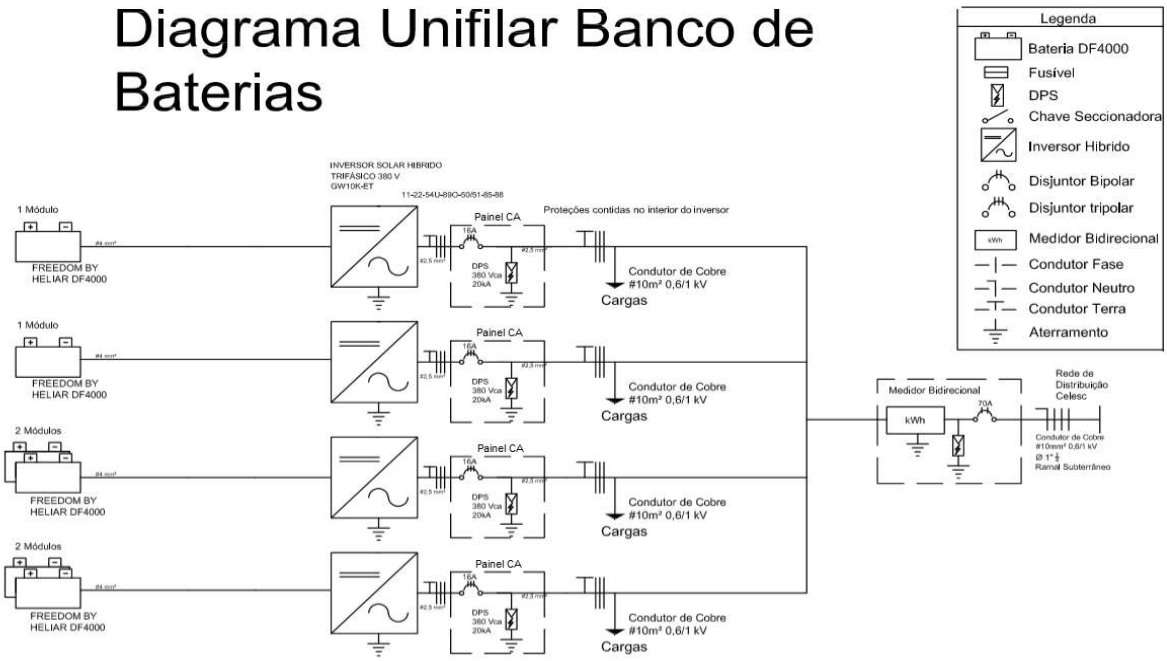
Levando em sequência, o valor em questão, deve-se considerar, por especificação técnica do fornecedor, que cada bateria não pode ter uma descarga abaixo de 30% de seu valor de tensão nominal. Desta forma, através dos valores obtidos, deve-se acrescentar:

$$\text{Valor adicional de baterias} = 4*30\ \% = 1{,}2 \cong 2\ \text{baterias adicionais} \qquad (18)$$

2 (duas) unidades de baterias, que possam assim, suprir essa exigência de qualidade e vida útil especificadas pelo fabricante.

Sendo assim, fica especificado o total de 6 baterias do modelo DF4000. A figura 18 demonstra o diagrama unifilar do sistema de armazenamento.

Figura 18 - Diagrama Unifilar Banco de Baterias



Fonte: (PRÓPRIO AUTOR)

Considerando o mercado atual, a média de valor unitário para o modelo escolhido fica em torno de R$ 1.137,76. Somando um investimento total de R$ 6.826,56.

3.4 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Para o cálculo da geração fotovoltaica utilizou-se o software da plataforma Programa América do sol. Essa organização é um projeto do Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina (IDEAL), com parcerias do Grupo Fotovoltaico da Universidade de Santa Catarina (UFSC), da cooperação Alemã para desenvolvimento sustentável através do *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) e KfW. (AMERICADOSOL, 2019).

O software simulador é um desenvolvimento das entidades citadas anteriormente, que tem por objetivo possibilitar o conhecimento de fatores a serem considerados antes do projeto de instalação e conexão à rede. As principais fonte de dados que o software utiliza são: Resolução Normativa nº 414, com publicação em 9 de setembro de 2010 e alterada pela Resolução Normativa nº 479 de 03 de abril de 2012, Resolução Normativa nº 482 esta alterada Resolução Normativa nº 687 de 24 novembro de 2015, Modulo 3 do PRODIST da ANEEL de 2012, Projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment (*SWERA), Fator de emissão de CO2 do setor elétrico que tem seus dados informados pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, e o Livro "O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica – Edição 2016". Ainda conta com a revisão técnica de alguns especialistas, tais como: Alexandre Montenegro, Dr. Johannes Kissel, Peter Krenz, Dr. Ricardo Rüther e Grupo Fotovoltaico da UFSC. (AMERICADOSOL, 2018)

Com base nas informações fornecidas pelo usuário, o software exibe os dados de irradiação da localidade, onde esses são obtidos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que coordena as atividades do Projeto SWERA no Brasil.

Para o endereço da empresa (R. Enedina de Souza Bento, 200 - Vila Flor, Capivari de Baixo - SC, 88745-000) as tabelas 4 e 5 indicam irradiação mensal e anual da localidade:

Tabela 4 - Irradiação Global Horizontal

Mês	Irradiação Global	Irradiação Inclinada	Irradiação Direta
Janeiro	6,39 kWh/m²/dia	5,85 kWh/m²/dia	6,22 kWh/m²/dia
Fevereiro	5,72 kWh/m²/dia	5,42 kWh/m²/dia	4,98 kWh/m²/dia
Março	5,08 kWh/m²/dia	4,60 kWh/m²/dia	4,85 kWh/m²/dia
Abril	4,85 kWh/m²/dia	3,81 kWh/m²/dia	6,42 kWh/m²/dia
Maio	3,31 kWh/m²/dia	2,99 kWh/m²/dia	4,26 kWh/m²/dia
Junho	2,70 kWh/m²/dia	2,53 kWh/m²/dia	3,90 kWh/m²/dia
Julho	2,78 kWh/m²/dia	2,75 kWh/m²/dia	2,78 kWh/m²/dia
Agosto	3,80 kWh/m²/dia	3,48 kWh/m²/dia	4,86 kWh/m²/dia
Setembro	4,46 kWh/m²/dia	3,61 kWh/m²/dia	4,78 kWh/m²/dia
Outubro	4,94 kWh/m²/dia	4,46 kWh/m²/dia	4,42 kWh/m²/dia
Novembro	5,89 kWh/m²/dia	5,74 kWh/m²/dia	4,78 kWh/m²/dia
Dezembro	6,18 kWh/m²/dia	6,14 kWh/m²/dia	5,02 kWh/m²/dia

Fonte: (AMERICADOSOL, 2020)

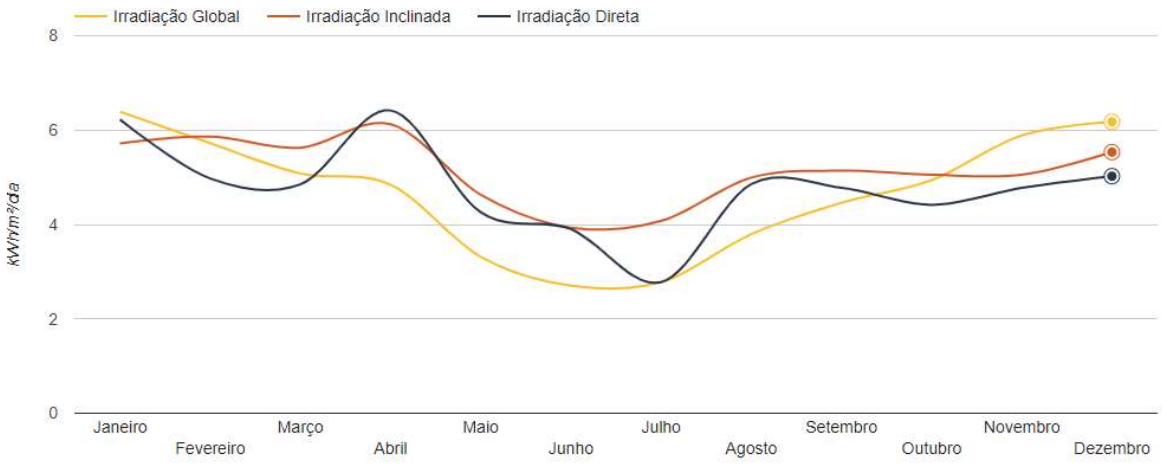
Tabela 5 - Irradiação Solar Anual - Localidade de Capivari de Baixo

Irradiação Anual da Localidade	
Global:	1.735,58 kWh/m²
Inclinada:	1.921,00 kWh/m²
Direta:	1.777,92 kWh/m²

Fonte: (AMERICADOSOL, 2020)

O gráfico 7 exibe as informações de irradiação Global, Inclinada e Direta para a localidade de Capivari de Baixo, Santa Catarina.

Gráfico 7 - Irradiação Global, Inclinada e Direta



Fonte: (AMERICADOSOL, 2020)

Os dados coletados na fatura de energia elétrica da empresa Donata Estilos em Cimentícios referentes ao consumo de energia nos últimos 12 meses, indicam que os períodos de maior consumo estão entre os meses de agosto a março. Conforme tabela 6:

Tabela 6 - Histórico de consumo de energia elétrica – Donata Estilos em Cimentícos

HISTÓRICO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA		
Mês	**Ano**	**Consumo (kWh)**
Abril	2019	3101
Maio	2019	3500
Junho	2019	3204
Julho	2019	3585
Agosto	2019	6015
Setembro	2019	4265
Outubro	2019	6006
Novembro	2019	4553
Dezembro	2019	6267
Janeiro	2020	9780
Fevereiro	2020	9031
Março	2020	6030
Total Anual		**65337**

Fonte: (PRÓPRIO AUTOR)

Conhecendo o nível de irradiação e abastecido do consumo mensal da empresa, o software montou as características do sistema fotovoltaico, tabela 7, a ser instalado. Importante ressaltar que está definido que o sistema de fornecimento de energia elétrica pela concessionaria é trifásico, e que conforme a resolução 482/2012 da ANEEL, unidades consumidoras do Grupo B, devem pegar um valor mínimo para disponibilidade[20], logo não existe a intenção de ter um sistema com capacidade de geração maior que o consumo anual, e sim que este sistema faça o suprimento e gere créditos nos meses de menor consumo, para que esses créditos sejam abatidos nos meses seguintes com consumo superior aos anteriores.

Tabela 7 - Características do Sistema Fotovoltaico

Características do Sistema Fotovoltaico	
Capacidade do seu sistema (Potência)	43,3 kWp
Área ocupada pelo seu sistema	de 299 a 367m²
Inclinação aproximada dos módulos	29º
Rendimento anual	1.271 kWh/kWp
Emissões de CO_2 evitadas	15.918 kg/a
Como seria consumo elétrica anual	
Consumo Total	65,34 MWh
Seu consumo da rede elétrica	13,91 MWh
Sua geração fotovoltaica	55,04 MWh

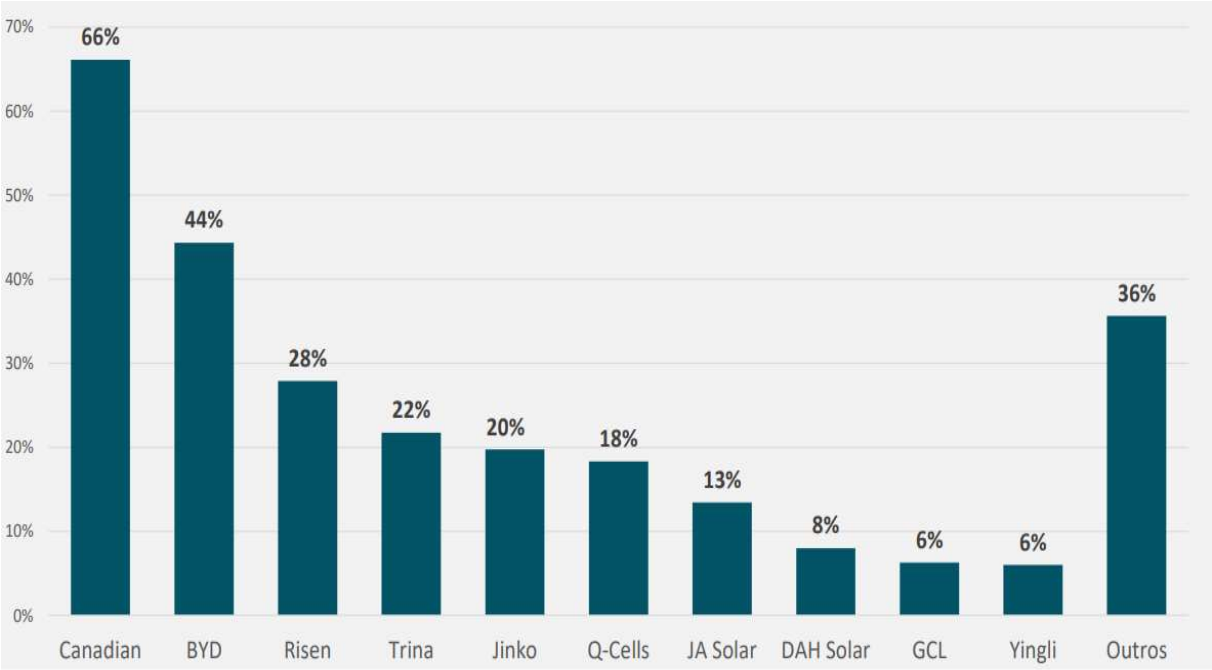
Fonte: (AMERICADOSOL, 2020)

Como pode ser observado na tabela 7, e conforme as definições indicadas no software, obteve-se que a capacidade máxima de potência indicada para o modelo sugerido, é de 43,3 kWp, com 55,041 MWh de geração de energia elétrica anual.

[20] Unidades do Grupo B, mesmo não tendo consumido energia elétrica da concessionária pagam o custo mínimo de disponibilidade e infraestrutura. Para as unidades do Grupo A estas pagarão a demanda contratada. (ANEEL,2012)

O estudo estratégico do mercado fotovoltaico de geração distribuída para 4º trimestre de 2019, finalizado em 27 de janeiro de 2020 realizado pela empresa de pesquisa e consultoria Greener, que entrevistou 884 empresas do segmento distribuídas pelo país. Verificou que as marcas de módulos fotovoltaicos mais utilizadas por essas estão no gráfico a seguir:

Gráfico 8 - Marcas de Módulos Fotovoltaicos



Fonte: (GREENER, 2020)

Para o projeto de 43,3kWp foram necessários 130 módulos fotovoltaicos de 335 Wp, figura 19 traz um modelo da marca Canadian, e a figura 20, o diagrama unifilar para o sistema de geração fotovoltaico.

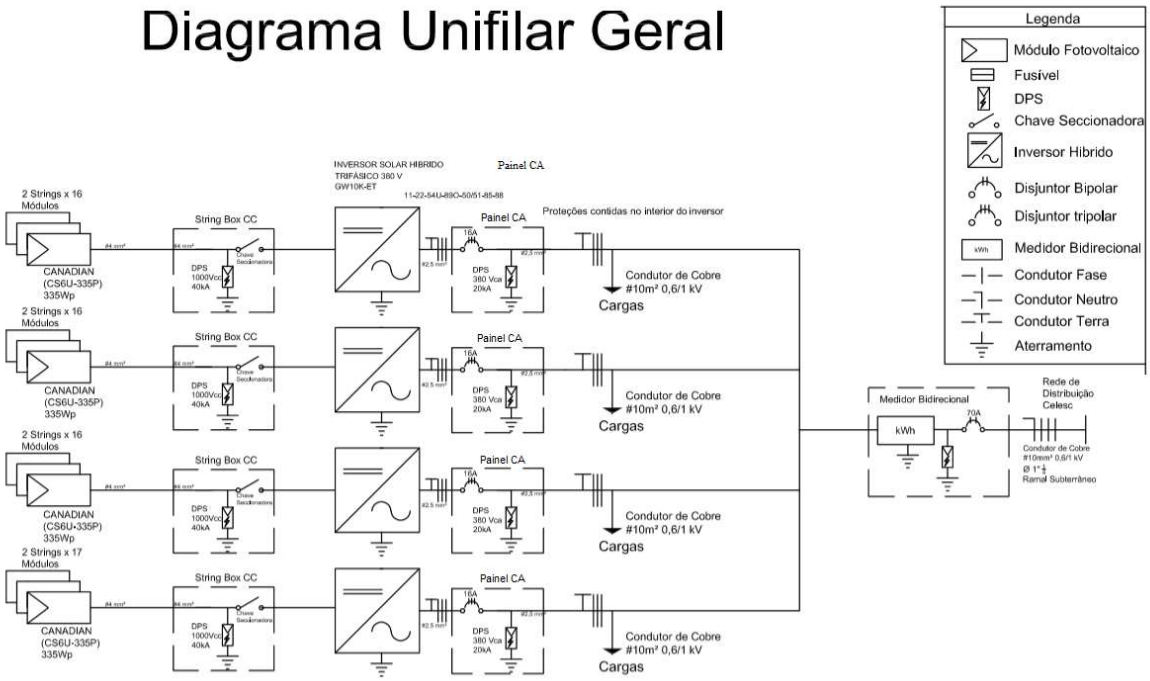
Figura 19 - Modulo Fotovoltaico



Potência Módulo STC (W):	335
Fabricante:	Canadian
Código do Fabricante:	CS6U-335P
Tipo de célula:	Policristalino
Número de células:	72
Tipo de conexão:	MC4
Tensão Operação STC - Vmp (V):	37,4
Corrente Operação STC (Imp) (A):	8,96
Tensão Circuito Aberto STC - Voc (V):	45,8

Fonte: (CANADIAN, 2020)

Figura 20 - Diagrama Unifilar Geral do Sistema Fotovoltaico



Fonte: (PROPRIO AUTOR)

A Resolução Normativa nº 482 de 17 abril de 2012, estabelece que os créditos são computados quando o sistema da unidade consumidora gerar acima de seu consumo, na tabela 8, com a capacidade de produção projetada é possível analisar a quantidade de créditos gerados.

Tabela 8 - Créditos gerados na geração de energia elétrica

Mês	Eletricidade total consumida	Eletricidade gerada pelo sistema FV	Eletricidade fornecida pela rede	Créditos gerados
Abril	3.101,00 kWh	5.386,73 kWh	0,00 kWh	2.285,73 kWh
Maio	3.500,00 kWh	4.207,88 kWh	0,00 kWh	707,88 kWh
Junho	3.204,00 kWh	3.457,50 kWh	0,00 kWh	253,50 kWh
Julho	3.585,00 kWh	3.701,77 kWh	0,00 kWh	116,77 kWh
Agosto	6.015,00 kWh	4.536,81 kWh	1.478,19 kWh	0,00 kWh
Setembro	4.265,00 kWh	4.519,72 kWh	0,00 kWh	254,72 kWh
Outubro	6.006,00 kWh	4.593,14 kWh	1.412,86 kWh	0,00 kWh
Novembro	4.553,00 kWh	4.444,98 kWh	108,02 kWh	0,00 kWh
Dezembro	6.267,00 kWh	5.028,38 kWh	1.238,62 kWh	0,00 kWh
Janeiro	9.780,00 kWh	5.197,39 kWh	4.582,61 kWh	0,00 kWh
Fevereiro	9.031,00 kWh	4.854,74 kWh	4.176,26 kWh	0,00 kWh
Março	6.030,00 kWh	5.111,97 kWh	918,03 kWh	0,00 kWh
Total Anual	**65.337,00 kWh**	**55.041,01 kWh**	**13.914,59 kWh**	**3.618,60 kWh**

Fonte: (AMERICADOSOL, 2020)

Conforme é possível observar na tabela 8, e segundo os cálculos de consumo médio diário x geração média diária tem-se o seguinte cenário:

- Meses de baixa da produção (4 meses) Abril/Maio/Junho/Julho

  111,58 kWh consumo médio/dia
  139,67 kWh geração média/dia
  25% da geração ficará como crédito

- Meses média (4 meses) Agosto/Setembro/Outubro/Novembro

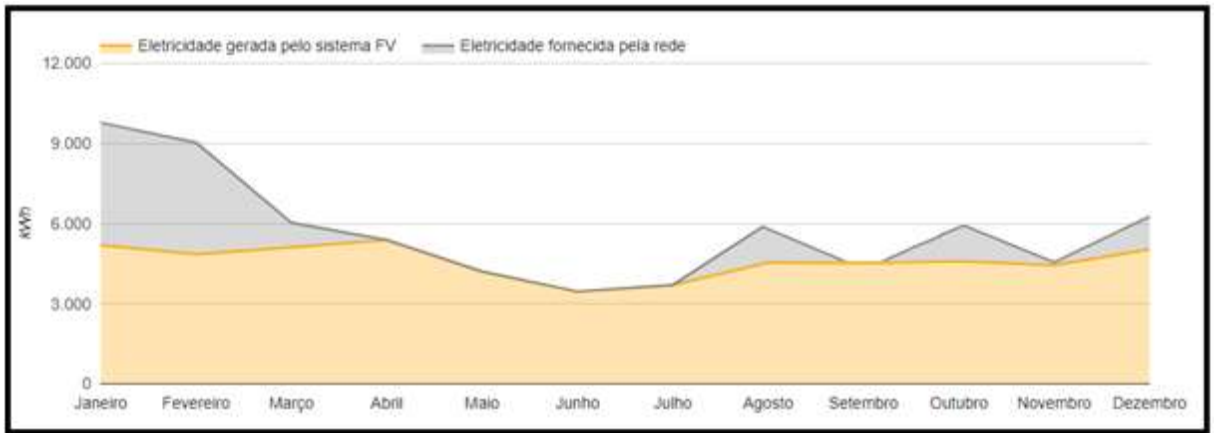
  173,69 kWh consumo médio/dia
  150,78 kWh geração média/dia
  Consumo 15% maior que a geração

- Meses alta (4 meses) Dezembro/Janeiro/Fevereiro/Março

259,23 kWh consumo médio/dia
168,27 kWh geração média/dia
Consumo 54% maior que a geração

O gráfico 9 exibe a eletricidade gerada (Laranja) x consumida (Cinza), onde é possível analisar que nos períodos de abril a julho a quantidade gerada é maior que consumida, e de agosto a março é complementada pela energia comprada da concessionária. Também é possível visualizar que mesmo nos meses de maior quantidade de energia elétrica consumida ainda existe momentos de geração superior ao consumo, como no mês de setembro, que nestes moldes gera um crédito de 254,72 kWh.

Gráfico 9 - Geração x Consumo



Fonte: (AMERICADOSOL, 2020)

Ao analisar a quantidade de kWh pagos sem geração (Azul) x com a geração fotovoltaica (Amarelo) no gráfico 10, é possível verificar que nos meses de abril a novembro o valor a ser pago deve ficar próximo ao mínimo. Em abril, maio, junho, julho e setembro este valor seria o mínimo estabelecido para fornecimento trifásico, que é de 100 kWh, conforme resolução normativa nº 482.

Gráfico 10 - Quantidade de kWh pagos Sem Geração x Com Geração



Fonte: (AMERICADOSOL, 2020)

Para poder calcular como deve ficar o valor da fatura com o sistema de geração fotovoltaico, deve-se conhecer o sistema de composição do faturamento da energia elétrica. A tarifa e preço não são o mesmo, a tarifa é o valor cobrado por serviços prestados de distribuição, transmissão e geração. E o preço é tarifa com os impostos ICMS, CONFIS e PIS. Logo o valor final é composto por uma soma da tarifa com os impostos (figura 21). Abaixo como fica a composição do valor final com participação percentual de cada item:

Composição % do valor:
Distribuição 13,729%
Enc. Setoriais 6,693%
Energia 42,883%
Transmissão 4,166%
Tributos 32,529

Figura 21 - Preço x Tarifa

Dados do Faturamento	Faturado	Tarifa (R$)	Valor (R$)
Consumo	6.030	0,696277	4.198,55
Subtotal (R$)			**4.198,55**

Composição do Preço em R$ (Art. 31, Res. 166/05):

DISTRIBUICAO	ENC. SETORIAIS	ENERGIA	TRANSMISSAO	TRIBUTOS	Soma Demonstr.
576,40	280,99	1.800,45	174,93	1.365,78	4.198,55

INCIDIRÃO SOBRE A CONTA PAGA APÓS O VENCIMENTO MULTA DE 2%, JUROS DE MORA DE 0,0333% AO DIA (CONF. LEI 10.438/02) E ATUALIZAÇÃO MONETÁRIA COM BASE NO IGP-M A SEREM INCLUÍDOS NA PRÓXIMA CONTA.

INFORMAÇÃO DE TRIBUTOS				
TRIBUTOS	BASE DE CÁLCULO		ALÍQUOTA	VALOR DO IMPOSTO
ICMS	R$	4.198,55	25,00000%	R$ 1.049,63
COFINS	R$	4.198,55	6,19000%	R$ 259,89
PIS	R$	4.198,55	1,34000%	R$ 56,26

Fonte: (PROPRIO AUTOR)

Na figura 22 tem-se o valor do kWh, e esse foi considerado para os cálculos de faturas a seguir.

Figura 22 - Valor kWh

Dados do Faturamento	Faturado	Tarifa (R$)	Valor (R$)
Consumo	6.030	0,696277	4.198,55
Subtotal (R$)			**4.198,55**

Fonte: (PROPRIO AUTOR)

A tabela 9 utiliza os dados de consumo e geração, mais os créditos gerados para simular o valor da fatura de energia elétrica para os 12 meses analisados. O valor em reais do crédito gerado não está deduzido para coluna correspondente da fatura com geração fotovoltaica, para que seja possível analisar apenas a diferença bruta entre as duas últimas colunas. O valor do crédito gerado em reais é obtido da seguinte fórmula:

$$\text{Valor Crédito R\$} = \frac{\text{kWh}}{(1+ \text{PIS} + \text{COFINS})} \tag{19}$$

Tabela 9 - Cálculo de Faturas

Mês	Eletricidade total consumida (kWh)	Eletricidade gerada pelo sistema FV (kWh)	Eletricidade fornecida pela rede (kWh)	Créditos gerados (kWh)	Valor kWh	Valor crédito kWh	Valor R$ crédito gerado	Consumo de energia (R$) (sem geração fotovoltaica)	Consumo de energia (R$) (com geração fotovoltaica)
Abril	3.101,00	5.386,73	100	2.285,73	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ 1.480,05	R$ 2.159,15	R$ 69,63
Maio	3.500,00	4.207,88	100	707,88	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ 458,37	R$ 2.436,97	R$ 69,63
Junho	3.204,00	3.457,50	100	253,5	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ 164,15	R$ 2.230,87	R$ 69,63
Julho	3.585,00	3.701,77	100	116,77	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ 75,61	R$ 2.496,15	R$ 69,63
Agosto	6.015,00	4.536,81	1.478,19	0	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ -	R$ 4.188,11	R$ 1.029,23
Setembro	4.265,00	4.519,72	100	254,72	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ 164,94	R$ 2.969,62	R$ 69,63
Outubro	6.006,00	4.593,14	1.412,86	0	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ -	R$ 4.181,84	R$ 983,74
Novembro	4.553,00	4.444,98	108,02	0	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ -	R$ 3.170,15	R$ 75,21
Dezembro	6.267,00	5.028,38	1.238,62	0	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ -	R$ 4.363,57	R$ 862,42
Janeiro	9.780,00	5.197,39	4.582,61	0	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ -	R$ 6.809,59	R$ 3.190,77
Fevereiro	9.031,00	4.854,74	4.176,26	0	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ -	R$ 6.288,08	R$ 2.907,83
Março	6.030,00	5.111,97	918,03	0	R$ 0,696277	R$ 0,647519	R$ -	R$ 4.198,55	R$ 639,20
Total Anual	**65.337,00**	**55.041,01**	**13.914,59**	**3.618,60**	**R$ 0,696277**	**R$ 0,647519**	**R$ 2.343,11**	**R$ 45.492,65**	**R$ 9.688,41**

*Valores menores que 100 kWh de eletricidade fornecida pela rede, considerado 100 kWh conforme resolução normativa nº 482 para fornecimento trifásico

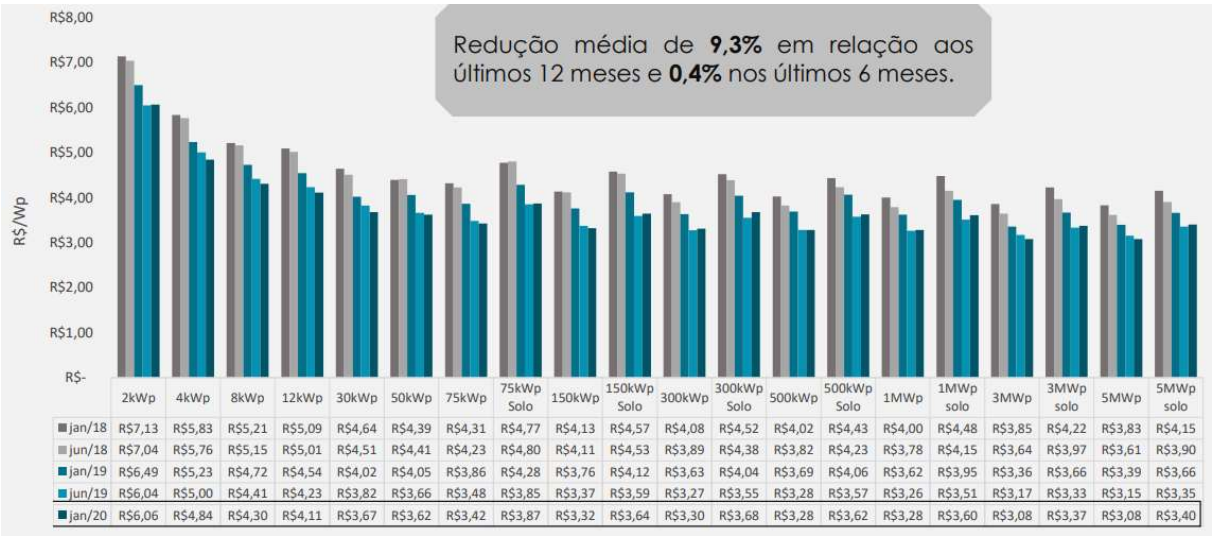
Fonte: (PROPRIO AUTOR)

Analisando os dados obtidos da tabela 9, e considerando abater os créditos gerados, tem-se que o valor de faturamento de energia elétrica anual com o sistema de geração fotovoltaico instalado, ficou em R$ 7.345,30. Esse valor representa aproximadamente 16,15% da fatura anual atual sem o sistema instalado, que ficou em R$ 45.492,65. Desta forma uma redução de 83,85% na conta de energia elétrica.

4 VIABILIDADE ECONÔMICA

Obteve-se o valor de economia no primeiro ano de instalação de R$ 38.147,35 e com uma economia média mensal de R$ 3.178,95. Porém para verificar a viabilidade do projeto ainda é necessário considerar os valores do sistema de armazenamento, módulos, inversores e componentes de integração[21]. Sobre o preço médio dos 3 últimos citados, a pesquisa de mercado fotovoltaico brasileiro da empresa Greener, trouxe os dados que podem ser observados no gráfico 12 e tabela 10. Ainda são necessários para o cálculo do *payback* o aumento tarifário anual e a taxa de juros do mercado ao mês. (MATIAS, 2015)

Gráfico 11 - Pesquisa de Mercado Fotovoltaico Brasileiro



	2kWp	4kWp	8kWp	12kWp	30kWp	50kWp	75kWp	75kWp Solo	150kWp	150kWp Solo	300kWp	300kWp Solo	500kWp	500kWp Solo	1MWp	1MWp solo	3MWp	3MWp solo	5MWp	5MWp solo
jan/18	R$7,13	R$5,83	R$5,21	R$5,09	R$4,64	R$4,39	R$4,31	R$4,77	R$4,13	R$4,57	R$4,08	R$4,52	R$4,02	R$4,43	R$4,00	R$4,48	R$3,85	R$4,22	R$3,83	R$4,15
jun/18	R$7,04	R$5,76	R$5,15	R$5,01	R$4,51	R$4,41	R$4,23	R$4,80	R$4,11	R$4,53	R$3,89	R$4,38	R$3,82	R$4,23	R$3,78	R$4,15	R$3,64	R$3,97	R$3,61	R$3,90
jan/19	R$6,49	R$5,23	R$4,72	R$4,54	R$4,02	R$4,05	R$3,86	R$4,28	R$3,76	R$4,12	R$3,63	R$4,04	R$3,69	R$4,06	R$3,62	R$3,95	R$3,36	R$3,66	R$3,39	R$3,66
jun/19	R$6,04	R$5,00	R$4,41	R$4,23	R$3,82	R$3,66	R$3,48	R$3,85	R$3,37	R$3,59	R$3,27	R$3,55	R$3,28	R$3,57	R$3,26	R$3,51	R$3,17	R$3,33	R$3,15	R$3,35
jan/20	R$6,06	R$4,84	R$4,30	R$4,11	R$3,67	R$3,62	R$3,42	R$3,87	R$3,32	R$3,64	R$3,30	R$3,68	R$3,28	R$3,62	R$3,28	R$3,60	R$3,08	R$3,37	R$3,08	R$3,40

Fonte: (GREENER, 2020)

[21] Em sistemas fotovoltaicos os componentes de integração (CIS) são compostos por cabos, conectores, seccionadores, dispositivos de proteção e estrutura de fixação.

Tabela 10 - Materiais para Gerador

Gerador Fotovoltaico de 43,300 kWp	
Quantidade	Material
130	MÓDULO FOTOVOLTAICO CANADIAN 335 WP (CS6U-335P)
4	INVERSOR SOLAR HÍBRIDO TRIFÁSICO 380 V
4	DSV DIN 63A
4	DPS FINDER CC
4	DPS FINDER CA
9	CONECTOR MC4 6 MM²
200	CABO CC UNIPOLAR FLEXÍVEL NH 6 mm² PRETO
200	CABO CC UNIPOLAR FLEXÍVEL NH 6 MM² VERMELHO
1	DISJUNTOR CA MDW-B100-3
3	ESTRUTURA PARA TELHADO METÁLICO 3 MÓDULOS EM RETRATO
31	ESTRUTURA PARA TELHADO METÁLICO 4 MÓDULOS EM RETRATO

Fonte: (PROPRIO AUTOR)

Os valores médios R$/Wp para este projeto ficam entre R$3,67 e R$3,62, correspondem a 30 kWp e 50 kWp respectivamente no gráfico. Utilizando o método da média ponderada inversamente proporcional em um sistema de 20 pontos para obter o preço para 43,3 kWp, tem-se:

30 kWp - 3,67 - (13,3 pontos)
50 kWp - 3,62 - (6,7 pontos)

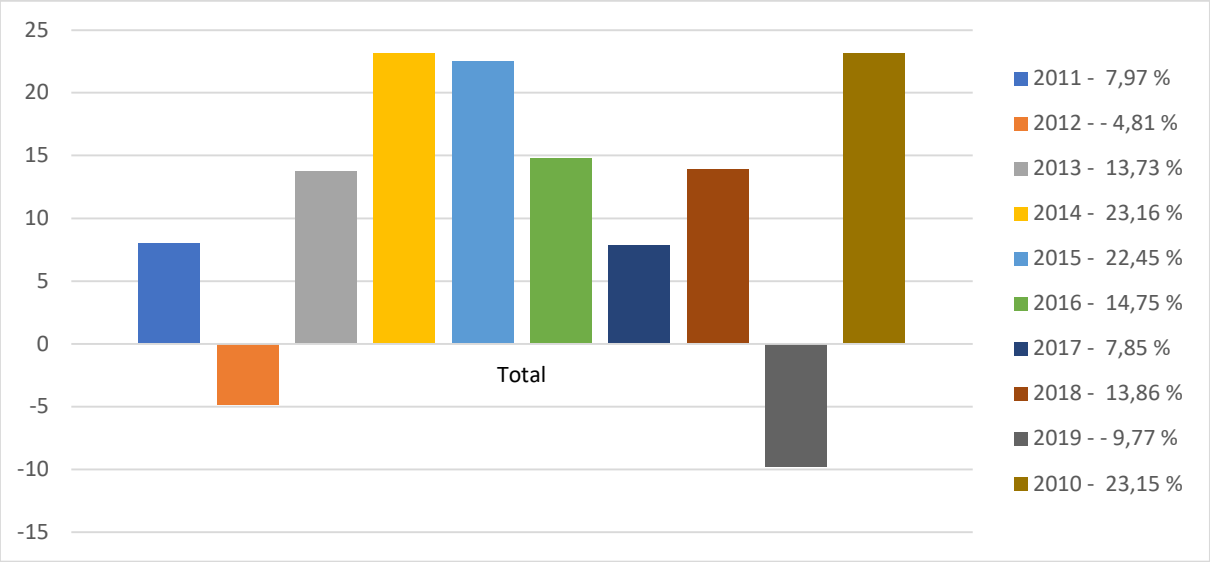
$$\frac{R\$}{Wp'} = \frac{(3{,}62 * 13{,}3 + 3{,}67 * 6{,}7)}{20} = 3{,}63675 \tag{20}$$

Logo, para calcular o valor investido inicialmente no sistema de geração fotovoltaica com potência de 43,3 kWp, o R$/Wp é de aproximadamente R$ 3,64. Desta forma o valor para o kit com módulos, inversor e componentes de integração instalado ficou em torno de R$ 157.612,00.

Sobre o valor dos reajustes anuais das tarifas de energia elétrica, no site da ANEEL foi realizada uma pesquisa para identificar o reajuste anual aprovado para Celesc, e a soma dos

reajustes nos últimos 10 anos é igual a 112,34%, ou seja, o valor médio anual fica em 11,23%. No gráfico 12 é possível analisar estes valores mais detalhados.

Gráfico 12 - Reajustes Anual das Tarifas Residenciais



Fonte: (ANEEL, 2020)

Último fator a ser considerado é a taxa de juros para mercado ao mês, foi considerado a taxa de juros da poupança 0,5% ao mês.

Assim, tem-se o tempo (n) para o *payback* do projeto com cálculo da seguinte equação:

$$n = \frac{\text{Log}\frac{\gamma}{\beta^{12}}}{\text{Log}\frac{\alpha}{\beta^{12}}} \qquad (20)$$

Onde:

$$\gamma = (1+i)^{12} + \frac{VI\,[(1+r) - (1+i)^{12}]}{m * s}$$

$$\alpha = (1+r)$$

$$\beta = (1+i)$$

$$s = \frac{1-(1+i)^{-12}}{i}$$

r = Aumento tarifário médio anual;

i = Taxa de juros do mercado ao mês;

VI = Valor inicial do investimento (R$ 6.826,56 + R$ 157.612,00);

m = Valor economizado médio mensal da fatura de energia elétrica para um ano.

$$n = \frac{\text{Log}\dfrac{(1+0{,}005)^{12} + \dfrac{164.438{,}56[(1+0{,}1123)-(1+0{,}005)^{12}]}{3.178{,}95 * \dfrac{1-(1+0{,}005)^{-12}}{0{,}005}}}{(1+0{,}005)^{12}}}{\text{Log}\dfrac{(1+0{,}1123)}{(1+0{,}005)^{12}}} \quad (21)$$

$$n \approx 5 \text{ anos}$$

Assim analisando a equação 21 observou-se que o *paypack* do investimento é de 5 anos. Logo, após o 6º ano o sistema é lucrativo para empresa. Tornado o projeto viável tanto tecnicamente quanto economicamente, visto que o tempo de vida útil considerado é de 15 anos.

5 CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento deste trabalho, foi possível realizar um estudo de viabilidade para implantação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica fotovoltaico e bateria.

Os resultados obtidos por esse estudo demonstram que é possível ter um retorno tanto financeiro, quanto tecnológico a partir do sistema empregado.

Apresentados todos os cálculos de dimensionamento do sistema, o qual deve ter capacidade instalada de 43,3 kWp, constituído por 130 módulos fotovoltaicos, além do sistema de armazenamento de 6 baterias, projetado para suportar um período de 3 horas ininterruptas fornecendo energia elétrica para a estufa de cura.

Para tal capacidade de geração e armazenamento, verificou-se um investimento inicial de R$164.438,56 (cento e sessenta e quatro mil, quatrocentos e trinta e oito reais e cinquenta e seis centavos), destes R$ 157.612,00 (cento e cinquenta e sete mil e seiscentos e dose reais) são relativos ao sistema de geração fotovoltaica, e R$ 6.826,56 (seis mil oitocentos e vinte e seis reais) para o sistema de armazenamento.

A partir do sistema citado, e dos dados levantados, foi possível verificar uma economia anual de R$ 38.147,35, com média mensal de R$ 3.178,95.

Conforme os cálculos apresentados na equação 21, tem-se um *paypack* de 5 anos, assim após esse período, obtendo-se lucros do sistema de geração híbrida de energia elétrica fotovoltaica e baterias apresentado.

Nos dias atuais as empresas adeptas à energia sustentável buscam todos os dias comprovar a eficácia desta tecnologia, como exemplo, a quantidade de árvores postadas equivalentes ao sistema instalado e a diminuição da emissão de CO_2 na atmosfera. Em especial, a Donata Estilos em Cimentícios, que busca em todos os aspectos o caráter sustentável, desde o seu processo fabril no reaproveitamento dos seus rejeitos, até na forma de consumir energia elétrica.

Deve-se ter em vista que este projeto destaca-se, em sua peculiaridade, no fornecimento ininterruptos de periféricos fabris, vitais no processo produtivo e qualidade do produto final, e com todos os parâmetros citado, dados levantados e estudos realizados, é correto afirmar que o projeto se torna viável, tanto econômica quanto tecnicamente.

REFERÊNCIAS

AMERICADOSOL, 2019. **Quem somos**, Disponível em: < http://americadosol.org/quem-somos/>. Acesso em: 01/04/2020.

ANEEL, Agência nacional de energia elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil,** Ed. 2 – Brasilia, ANEEL 2005, 243 p. ISBN: 85-87491-09-1

ANEEL, 2017. **Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024,** Disponivel em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9>. Acesso em 04/12/2019.

ANEEL, 2012. **Brasil ultrapassa a marca de 1 GW em geração distribuída**, Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/Xx'GPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877>. Acesso em: 03/12/2019.

ANEEL, 2018. **Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica**, Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo_8-Revis%C3%A3o_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em: 31/03/2020.

ANEEL, 2019. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**, Disponível em: <http://biblioteca.aneel.gov.br/asp/textos_main.asp?codigo=126935&desc=ti&servidor=1&iBanner=&iIdioma=0>. Acesso em: 05/12/2019.

ANEEL, 2020. **Tarifas residenciais efeito dos reajustes tarifários,** Disponivel em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDFmMzIzM2QtM2EyNi00YjkyLWIxNDMtYTU4NTI0NWIyNTI5IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9>. Acesso em 07/04/2020.

BORSATO, Dionísio, Combustíveis Fósseis - Carvão e Petróleo, Ed. Eduel, 2009, p. 31-32.

BRASILESCOLA, 2019, **Energia térmica.** Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/energia-termica.htm/>. Acessado em: 04/12/2019.

CRESESB, 2016, **Energia Solar Fotovoltaica.** Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321/>. Acessado em: 04/12/2019.

COMMERX, 2019. **Estufa de Cura**, Disponível em: < https://www.commerx.com.br/estufa-cura/>. Acessado em: 25/10/2019.>. Acessado em: 25/10/2019

DICIO, 2019. **Significado de Contínuo**. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/continuo/>. Acessado em: 03/12/2019.

ELETROBRAS, 2011. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20El%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf >. Acessado em: 03/12/2019

ELETROMAG.NET 2019. **Inversores hibridos**. Disponível em: <http://eletromag.net/?p=476>. Acessado em: 05/12/2019

EPE, 2018. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 19/08/2019.

FREEDOM, 2020. **Bateria Estacionária.** Disponível em:< https://www.heliar.com.br/pt-br/produtos/estacionaria/heliar-freedom>. Acessado em: 27/02/2020

GIRATHRON, 2019. **Energia Solar**. Disponível em: <https://www.girathron.com.br/energia-solar>. Acessado em: 05/12/2019

GOUVEIA, Rosimar. Irradiação Térmica, **Toda Matéria.** Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/irradiacao-termica/>. Acessado em: 04/12/2019.

GOODWE,2020. **Linha ES Goodwe.** Disponivel em:<https://br.goodwe.com/armazenamento-de-energia/linha-es-283_2.asp>. Acessado em: 27/02/2020.

GREENPRO, 2004. **Energia fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação.** Disponível em: < http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf >. Acessado em: 05/12/2019
GREENER, 2020. **Estudo estratégico mercado fotovoltaico de geração distribuída 4º trimestre de 2019**. Disponível em: <https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-4o-trimestre-de-2019/>. Acesso em: 07/04/2020.

HELENE, Paulo; LEVY, Salomon, Curado del hormigón, Boletín Técnico, Ed. ALCONPAT Int, 2013, p. 6.
IEA, 2017. **Geração de eletricidade por fonte, Mundo 1990-2017**. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Electricity%20generation%20by%20source >. Acessado em: 04/12/2019.

INMETRO, 2014. **Sistema de energia fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/sistema-fotovoltaico.asp >. Acessado em: 11/12/2019.

INSTITUTO IDEAL, 2012. **Ideal lança cartilha sobre eletricidade solar. Instituto Ideal**. Disponível em: <https://institutoideal.org/ideal-lanca-cartilha-sobre-eletricidade-solar/>. Acessado em: 13/09/2019.

MATIAS, LUCAS, 2015. **Estudo do dimensionamento e da viabilidade econômica de microgerador solar fotovoltaico conectado à rede elétrica.** Disponível em: <http://www.ufjf.br/labsolar/files/2011/05/Estudo-do-Dimensionamento-e-da-Viabilidade-Econ%C3%B4mica-de-Microgerador-Solar-Fotovoltaico.pdf>. Acessado em: 07/04/2020

MUNDOEDUCAÇÃO, 2018. **Energia eletromagnética**. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/energia-das-ondas-eletromagneticas.htm/>. Acessado em: 04/12/2019.

REIS L. **História da Eletricidade**. Disponível em: <https://www.mundociencia.com.br/fisica/historia-da-eletricidade/>. Acesso em: 30 agosto 2019.

REUTER, Gero. Alemanha registra recorde de energia renovável. **Deutsche Welle Brasil**. p. 2, jan.2019

RIBEIRO, Amarolina. **O que é matriz energética? Brasil Escola**. Disponível em:<https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/geografia/o-que-e-matriz-energetica.htm>. Acesso em: 30 agosto 2019.

SERRANA ENERGIA,2020. **Inversor Solar Off Grid Híbrido Torrontes.** Disponivel em:<http://www.serranaenergia.com.br/produtos.php?pid=206>. Acessado em: 27/02/2020.

SOLARPRIME, 2017. **Geração de energia solar**. Disponível em: <http://solarprime.com.br/blog/descubra-quais-os-fatores-que-influenciam-na-geracao-de-energia-solar/>. Acessado em: 13/09/2019.

SHARENERGY, 2019. **O que é o inversor**. Disponível em:<https://sharenergy.com.br/o-que-e-o-inversor-e-como-ele-funciona/>. Acessado em: 25/10/2019

VINTURINI, MATEUS 2019. **Desligamento do inversor por variação da tensão**. Disponível em:<https://canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/184-desligamento-do-inversor>. Acessado em: 05/12/2019

WEG.NET,2020. **Inversor Monofásico SIW300.** Disponivel em:< https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Inversores-Solares-Fotovoltaicos/Inversor-Monof%C3%A1sico-SIW300/Inversor-Monof%C3%A1sico-SIW300/p/MKT_WDC_BRAZIL_INVERTER1PHASE_SIW300>. Acessado em: 27/02/2020.