



COORDENAÇÃO DA ÁREA INDÚSTRIA

CLEBER JONATAN GOMES PEREIRA

**ANÁLISE DO SISTEMA HÍBRIDO (SOLAR/BATERIA/DIESEL) DO
CENTRO DE PESQUISA CANGUÇU POR SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Palmas - TO.

2017

CLEBER JONATAN GOMES PEREIRA

**ANÁLISE DO SISTEMA HÍBRIDO (SOLAR/BATERIA/DIESEL) DO
CENTRO DE PESQUISA CANGUÇU POR SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins.

Orientador: Prof. Esp. Felipe Tozzi Bittencourt

Co-orientador: Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque

Palmas - TO

2017

CLEBER JONATAN GOMES PEREIRA

**ANÁLISE DO SISTEMA HÍBRIDO (SOLAR/BATERIA/DIESEL) DO
CENTRO DE PESQUISA CANGUÇU POR SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como cumprimento às exigências legais do currículo do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos pela Coordenação da Área de Indústria do Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia do Tocantins - Campus de Palmas.

Palmas, 4 de Outubro de 2017.

Prof. Esp. Felipe Tozzi Bittencourt
Supervisor do Trabalho de Conclusão de Curso

Banca Examinadora:

Prof. Esp. Felipe Tozzi Bittencourt
Presidente e Orientador

Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque
Co-Orientador

Prof. Me. João Coelho de Sousa Filho
Membro da Banca Avaliadora

Prof. Esp. Wellington Dias da Silva
Membro da Banca Avaliadora

Pereira, Cleber Jonatan Gomes

Análise do sistema híbrido (solar/bateria/diesel) do centro de pesquisa canguçu por simulação computacional / Cleber Jonatan Gomes Pereira - Palmas, 2017.

57f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Tecnológica em Sistemas Elétrico) – Instituto Federal de Educação do Tocantins, Campus de Palmas, 2017.

Orientador: Prof. Esp. Felipe Tozzi Bittencourt Albuquerque

1.Sistema elétrico. 2. Homer I. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela força de vontade que tem me dado nesse percurso da minha vida. Agradeço também o IFTO pela oportunidade e também aos professores do curso pelos ensinamentos e paciência em especial o meu orientador professor Felipe. Agradeço a minha família pelo incentivo diário nessa longa jornada do curso em especial minha mãe e o meu saudoso pai.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar economicamente as fontes disponíveis de geração de energia e acumuladores para o sistema elétrico autônomo do Centro de Pesquisa do Canguçu (CPC) com auxílio de um programa computacional (Homer), levantamento da atual curva de carga do CPC, pesquisa das fontes de geração de energia disponível para o CPC, estudo de baterias para sistemas fotovoltaicos (FV), coleta de dados climáticos e de preços de equipamento e insumos. Obtendo gráficos do funcionamento de cada fonte de geração de energia, do banco de baterias para cada sistema elétrico configurado no Homer, e tabela de custo para cada sistema elétrico no período de 25 anos devido a vida útil das placas solares.

ABSTRACT

This work aims to analyze economically the available sources of energy generation and accumulators for the autonomous electrical system of the Research Center of Canguçu (CPC) with the aid of a computer program (Homer), survey of the current CPC load curve, research of the sources of energy available for CPC, battery study for photovoltaic (PV) system, collection of climatic data and prices of equipment and inputs. Getting graphs of the operation of each power generation source, the battery bank for each electrical system configured in Homer, and cost table for each electrical system in the period of 25 years due to the life of the solar panels.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico da evolução dos sistemas fotovoltaicos no mundo.....	12
Figura 2 - Estrutura do Sol.	14
Figura 3 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.	16
Figura 4 - Estruturas moleculares dos semicondutores P e N.....	17
Figura 5 - Materiais semicondutores em três situações diferentes.....	18
Figura 6 - Influência da profundidade de descarga na vida de uma bateria.....	25
Figura 7 - Curva de carga do CPC	29
Figura 8 - Geração de energia fotovoltaica do sistema Solar/Bateria/Diesel	34
Figura 9 - Utilização de baterias no sistema Solar/Bateria/Diesel.....	34
Figura 10 - Geração de energia a diesel do sistema Solar/Bateria/Diesel	34
Figura 11 - Geração de energia fotovoltaica do sistema Solar/Bateria	36
Figura 12 - Utilização de baterias no sistema Solar/Bateria.....	36
Figura 13 - Geração de energia a diesel do sistema Diesel.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Irradiação Solar	30
Tabela 2 - Temperatura.....	30
Tabela 3 - Profundidade de Carga X Ciclo de Vida.....	32
Tabela 4 - Pesquisa de preço de gerador diesel 2 KVA 09/09/2017	32
Tabela 5 - Custos do Sistema Híbrido Solar/Bateria/Diesel	33
Tabela 6 - Custos do Sistema Solar/Bateria.....	35
Tabela 7 - Custos do Sistema Diesel	37
Tabela 8 - Custos dos Sistemas.....	38
Tabela 9 - Configuração dos Sistemas	38
Tabela 10 - Geração e Custos dos Sistemas	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Justificativa	12
1.2. Objetivos do Projeto	13
1.2.1. Objetivo Geral	13
1.2.2. Objetivos Específicos	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. O Sol e suas Características	14
2.2. Células e Módulos Fotovoltaicos	15
2.2.1. Células Fotovoltaicas	15
2.3. Geração Distribuída	19
2.3.1. Áreas Isoladas Eletricamente	20
2.3.2. Medidas que Assuguram o Acesso à Eletricidade	20
2.4. Sistemas Híbridos	21
2.4.1. Geração a Diesel	21
2.4.2. Bateria Estacionária	22
2.4.2.1. Tipos de Baterias	23
2.4.3. Características de Baterias para Sistemas Fotovoltaicos	24
2.5. Homer	27
2.5.1. O que é Homer?	27
2.5.2. Como é que Homer trabalha?	27
3. METODOLOGIA	28
4. PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO	29
4.1. Curva de Carga do CPC	29
4.2. Irradiação Solar e Temperatura	29
4.3. Pannel Solar	31

4.4. Inversor.....	31
4.5. Baterias.....	31
4.6. Motor Gerador Diesel	32
4.6.1. Preço de Óleo Diesel	32
4.7. Dados Econômicos.....	32
5. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	33
5.1. Solar/Diesel/Bateria	33
5.2. Solar/Bateria.....	35
5.3. Diesel	36
5.4. Discussão e Análise dos Resultados.....	37
6. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	42
APÊNDICE.....	43

1. INTRODUÇÃO

Para ter energia elétrica em uma residência, esta tem de ser gerada em uma usina geradora de energia elétrica, passando por uma subestação elevadora de tensão, sendo transportada através de linhas de transmissão, com abaixamento da tensão em subestação e distribuída pelas concessionárias de energia até o padrão de entrada da residência. Assim, se torna complexo para levar energia elétrica em todo território nacional neste sistema convencional, ocorrendo de não ser atendida uma pequena parte do sistema convencional de distribuição de energia elétrica devido sua distância da rede.

No Brasil, foram implantados vários programas de fornecimento de energia elétrica, entre eles o Desenvolvimento Energético dos Estado e municípios (Prodeem), Programa Nacional de Eletrificação Rural (Pner) e Programa Luz para Todos (LPT), através de extensão de rede em comunidades rurais isoladas eletricamente.

Na Região Amazônica devido a sua característica natural como baixa densidade populacional e áreas remotas, o fornecimento de energia pela rede elétrica convencional é dificultado pelo acesso e pelos elevados custos para implantação de subestações, redes de transmissão e distribuição. (PINHO et al., 2008)

No município de Pium - To está implantado o Centro de Pesquisa de Canguçu (CPC), a 246 km de Palmas. Sua área é utilizada para estudo, implantação de projetos e pesquisa para geração de informações científicas e tecnológicas ligadas as mudanças climáticas e a biodiversidade. O CPC não é atendido pela rede convencional de energia elétrica devido às características naturais e de preservação ambiental. Assim CPC foi implantado um projeto de Gestão Energética para o Desenvolvimento Sustentável através da utilização de energias renováveis através sistema híbrido.

Energia renovável ou energia alternativa é aquela gerada através de fontes renováveis e que, portanto, não gera impacto no meio ambiente, seja através do esgotamento de recursos ou pela emissão de CO₂ na atmosfera. As principais fontes alternativas de energia são a energia solar, eólica, hidráulica, biomassa, maré motriz e geotérmica.

Sistema de energia híbrido geralmente utiliza duas ou mais fontes de energia renováveis ou não, funcionando em conjunto para obter maior eficiência no sistema, bem como um maior equilíbrio no fornecimento de energia.

No CPC, foi utilizado inicialmente uma concepção de utilização de sistema fotovoltaico e motor gerador diesel.

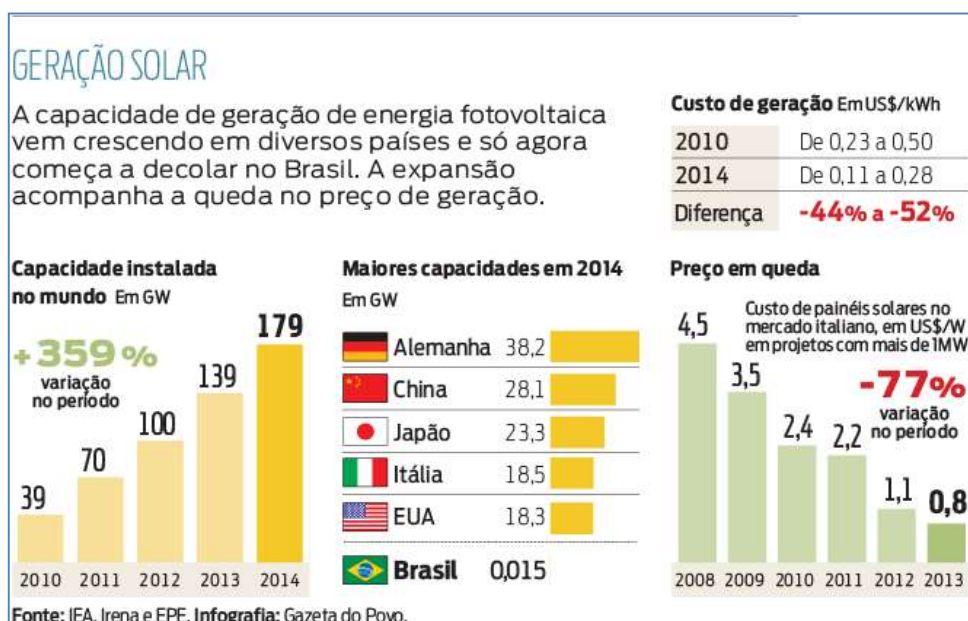
1.1. Justificativa

Este trabalho se justifica pela necessidade de obter dados em relação à eficiência e o custo de instalação e operação de um sistema Híbrido de geração de energia (fotovoltaica/bateria – gerador diesel). Estes dados poderão auxiliar futuros projetos híbridos, mais econômicos para estas comunidades.

A geração de energia alternativa tem um grande apelo ambiental, mas ela também tem que ser eficiente e principalmente ter um custo acessível para instalação em inúmeras comunidades isoladas eletricamente.

Toda tecnologia com o tempo pode se tornar mais eficiente e viável economicamente. A produção de energia elétrica através de painéis solares é um exemplo, conforme visto na Figura 1.

Figura 1 – Gráfico da evolução dos sistemas fotovoltaicos no mundo



Fonte: EPE, 2016.

1.2. Objetivos do Projeto

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é analisar as melhores escolhas para a geração de energia no CPC, através de uma ferramenta computacional “Homer”, quanto à viabilidade das mesmas.

Será feito um levantamento e análise da eficiência de um sistema híbrido (fotovoltaico/bateria –gerador diesel) de geração de energia elétrica, simulando o seu funcionamento com auxílio de um programa computacional.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Pesquisa bibliográfica sobre sistemas híbridos de energia;
- Levantamento de custos de materiais utilizado em sistema híbrido;
- Levantamento de custo de operação e manutenção (O&M) do sistema;
- Levantamento da curva da carga do CPC;
- Verificação e simulação de viabilidade técnica e financeira utilizando o Homer.

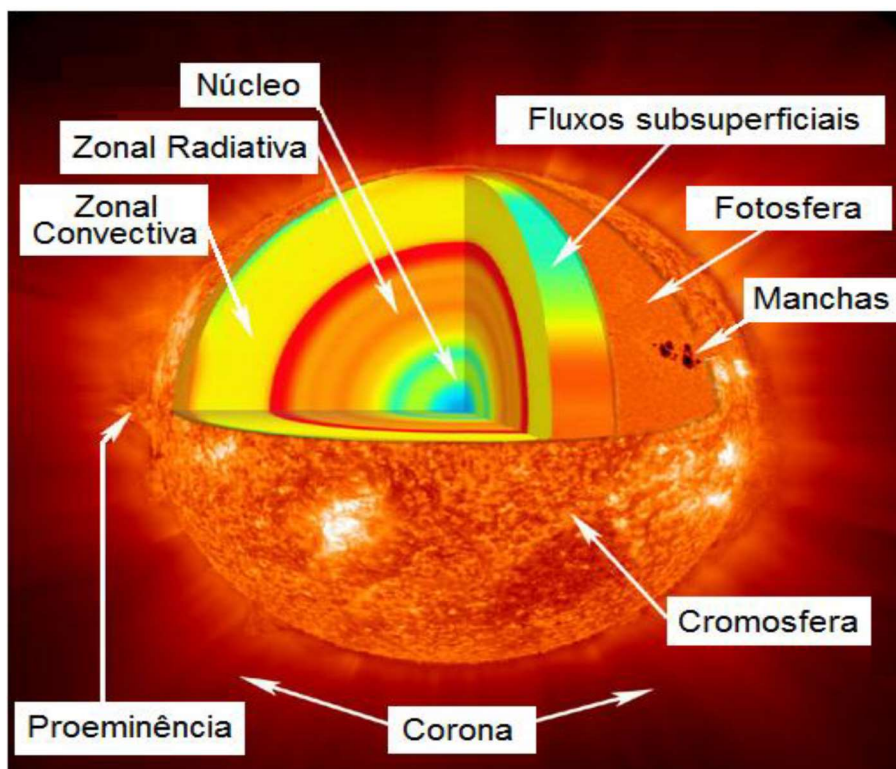
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Sol é a principal fonte de energia para a Terra. Além de ser responsável pela manutenção da vida no Planeta, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de sua utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia, como por exemplo, a térmica e a elétrica. (PINHO et al., 2014).

2.1. O Sol e suas Características

O Sol é basicamente uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo ocorre a geração de energia através de reações termonucleares. Sua estrutura, apresentada na Figura 2, é composta pelas principais regiões: núcleo, zona radiativa, zona convectiva, fotosfera, cromosfera e coroa (ou às vezes chamada de coroa). (PINHO et al., 2014).

Figura 2 - Estrutura do Sol.



Fonte: Universal Matrix

No Sol a energia é liberada a partir de reações termonucleares, onde quatro prótons de hidrogênio são fundidos em um núcleo de hélio, com a liberação de energia. Ele tem reserva de hidrogênio suficiente para alimentar as reações nucleares por mais 5 bilhões de anos (NASA, 2013a, 2013b). Estima-se que a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de energia mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

Quase todas as fontes de energia são provenientes do sol direta ou indiretamente. A energia do Sol é também responsável pelo movimento dos oceanos, pela formação dos ventos (aquecimento do ar) e pelo ciclo da água, responsável pelas chuvas que garantem o fornecimento de água nos rios e lagos. É o calor do Sol que transporta a água do mar e da superfície da Terra para grandes altitudes, de onde volta, na forma de chuva e de neve, para os continentes, assim, criando potenciais para geração de energia elétrica de forma indireta através de hidrelétricas e também na forma de biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos.

2.2. Células e Módulos Fotovoltaicos

2.2.1. Células Fotovoltaicas

O efeito fotovoltaico é o fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade. Esse fenômeno ocorre quando a luz, ou a radiação eletromagnética do sol, incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas.

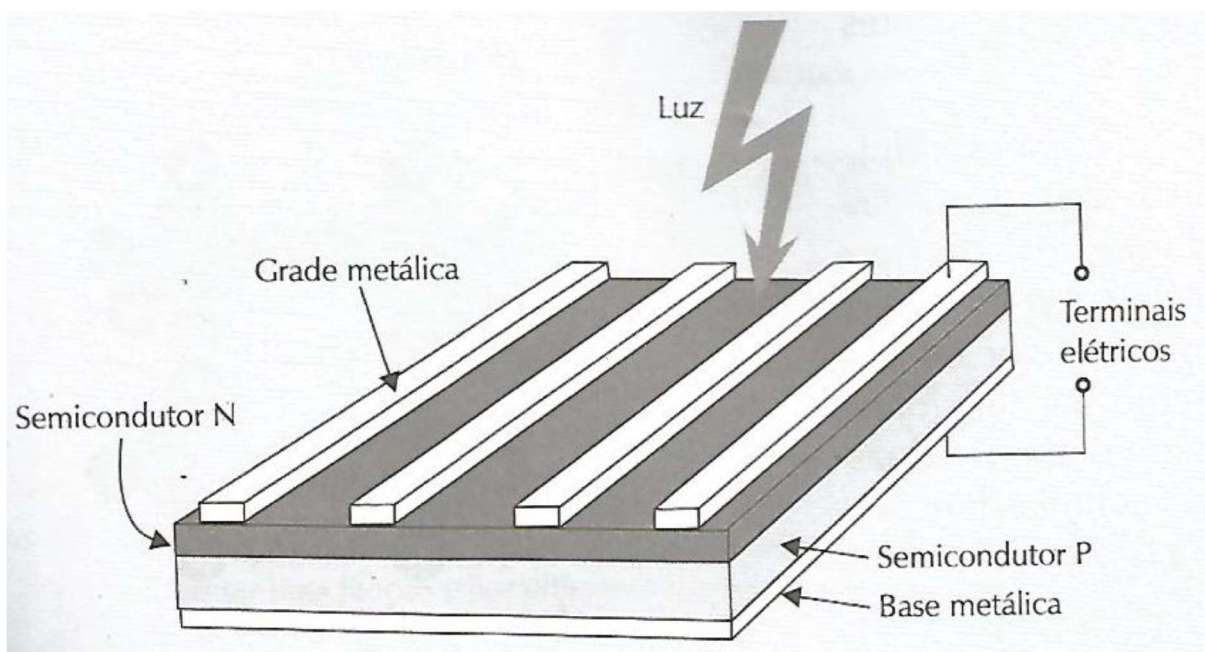
Na Figura 3 ilustra a estrutura de uma célula fotovoltaica composta por duas camadas de material semicondutor P e N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior.

A grade e a base metálica inferior são os terminais elétricos que fazem a coleta da corrente elétrica produzida pela ação da luz. A base inferior é uma película

de alumínio ou de prata. A parte superior da célula, que recebe a luz, precisa ser translúcida, portanto os contatos elétricos são construídos na forma de uma fina grade metálica impressa na célula.

Uma célula comercial ainda possui uma camada de material anti-reflexivo, normalmente feito de nitreto de silício ou de dióxido de titânio, necessário para evitar a reflexão e aumentar a absorção de luz pela célula.

Figura 3 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.



As camadas semicondutoras da célula podem ser fabricadas com vários materiais diferentes, sendo o mais comum o silício. Cerca de 95% de todas as células fotovoltaicas fabricadas no mundo são de silício, pois é um material muito abundante e barato.

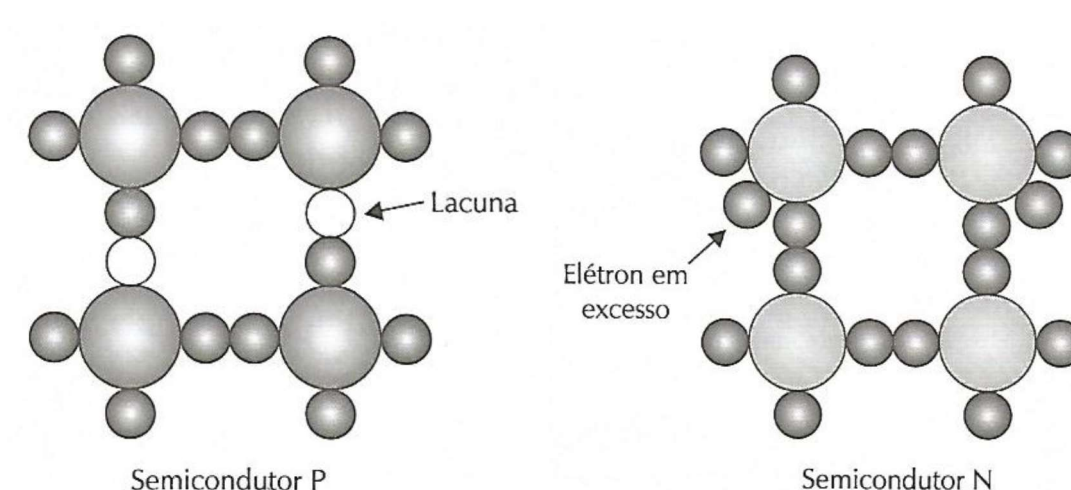
Um semicondutor é um material que não pode ser classificado como condutor elétrico nem como isolante. As propriedades de um semicondutor podem ser modificadas pela adição de materiais dopante ou impurezas.

Uma célula fotovoltaica é composta tipicamente pela junção de duas camadas de material semicondutor, uma do tipo P e outra N. Existem células de múltiplas junções, que possuem um maior número de camadas, entretanto seu funcionamento é idêntico ao das células de duas camadas. As células de múltiplas junções produzem mais energia, porém são mais caras e não são tão utilizadas como as de apenas duas camadas.

O material N possui um excedente de elétrons e o material P apresenta falta de elétrons. Devido à diferença de concentração de elétrons nas duas camadas de materiais, os elétrons da camada N fluem para a camada P e criam um campo elétrico dentro de uma zona de depleção, também chamada de barreira de potencial, no interior da estrutura da célula.

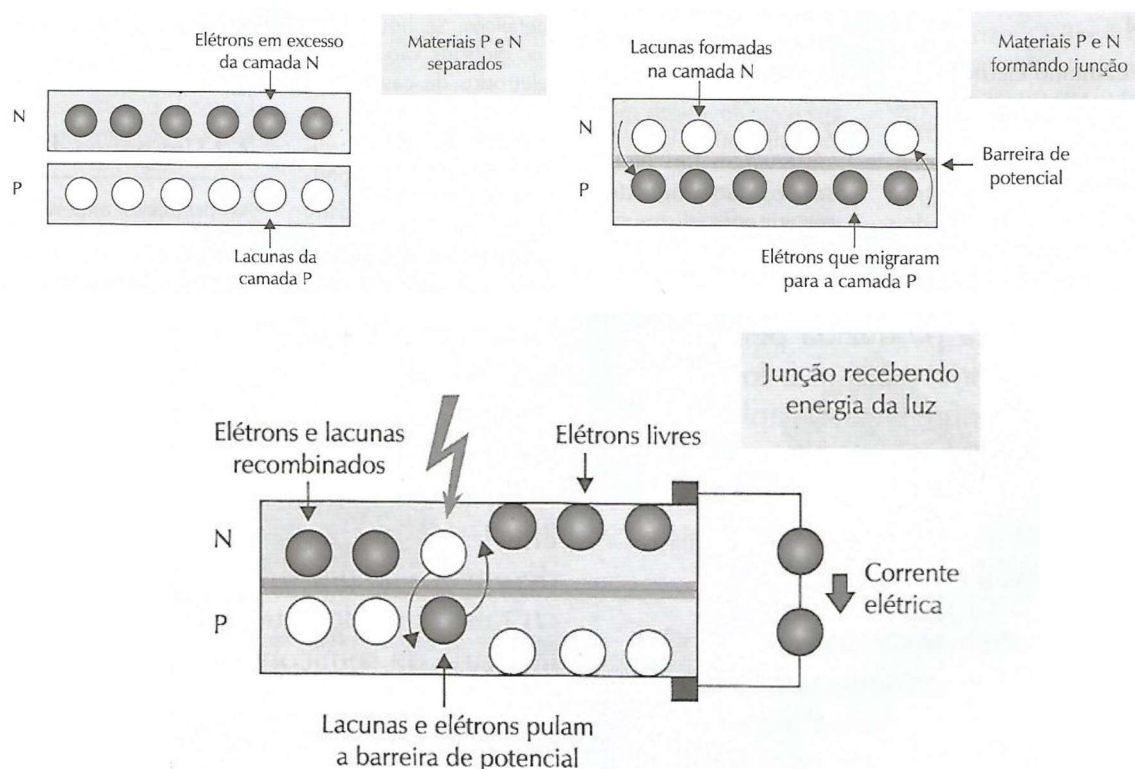
A Figura 4 ilustra as estruturas moleculares dos materiais P e N. O material P possui menos elétrons do que teria um material semiconductor puro, o que se percebe pela presença de lacunas, portanto é um material positivo. O material N possui elétrons em excesso, como se observa na figura pela presença de elétrons adicional em torno de alguns átomos da estrutura. Devido ao excesso de elétrons, o material é negativo, pois o elétron é uma partícula de carga negativa.

Figura 4 - Estruturas moleculares dos semicondutores P e N.



Quando duas camadas de materiais P e N são colocadas em contato, formando o que se chama junção semicondutora, os elétrons da camada N migram para a camada P e ocupam os espaços vazios das lacunas, como ilustra a Figura 5.

A Figura 5 mostra o que acontece quando as duas camadas P e N são unidas. A mudança dos elétrons e lacunas de uma camada para outra origina um campo elétrico e cria uma barreira de potencial entre as duas camadas. Os elétrons e lacunas permanecem presos atrás dessa barreira quando a célula fotovoltaica não está iluminada.

Figura 5 - Materiais semicondutores em três situações diferentes

A camada superior de material tipo N de uma célula fotovoltaica é tão fina que a luz pode penetrar nesse material e descarregar sua energia sobre os elétrons, fazendo que eles tenham energia suficiente para vencer a barreira de potencial e movimenta-se da camada de material N para a camada de material P.

Os elétrons em movimento são coletados pelos eletrodos metálicos. Se houver um circuito fechado os elétrons vão circular em direção aos eletrodos da camada N, formando uma corrente elétrica.

Uma parte dos elétrons acaba sendo aprisionada pelas lacunas que existem na camada de material tipo N, entretanto uma grande parte deles fica livre para formar a corrente elétrica quando um condutor elétrico forma um circuito entre as duas camadas, como ilustrou a Figura 5.

Se não houver um caminho elétrico entre as duas camadas os elétrons livres não podem formar uma corrente elétrica. Entretanto, mesmo na ausência de corrente elétrica, percebe-se uma tensão elétrica de aproximadamente 0,6 V entre os dois lados da célula, causada pelo campo elétrico da barreira de potencial.

A corrente elétrica produzida pela célula fotovoltaica, quando exposta à luz, pode ser usada numa infinidade de aplicações, alimentando aparelhos elétricos, carregando baterias ou fornecendo eletricidade para casas, bairros e cidade conectados à rede elétrica.

Uma célula fotovoltaica sozinha produz pouca energia e apresenta uma tensão elétrica muito baixa, mas várias células podem ser ligadas em séries para fornecer uma grande quantidade de energia elétrica e uma tensão mais elevada.

Atualmente as células fotovoltaicas produzidas em larga escala e disponíveis comercialmente são constituídas de silício monocristalino, policristalino ou amorfo. Existem diversos outros tipos de tecnologias de materiais e recentemente têm surgido pesquisas sobre as chamadas células fotovoltaicas orgânicas, que utilizam polímeros e outros tipos de materiais combinados no lugar dos semicondutores. Esta tecnologia ainda não alcançou eficiência de conversão muito elevada nem a confiabilidade necessária para a produção comercial.

2.3. Geração Distribuída

Um aspecto que influenciou o desenvolvimento da geração distribuída foi o avanço recente da ciência, que permitiu o desenvolvimento e o amadurecimento de novas tecnologias de conversão energética passíveis de uso em pequena escala, capazes de utilizar os mais diversos recursos energéticos e com impactos ambientais cada vez menores. Dessa forma, a geração energética no local do consumo aproxima-se cada vez mais de uma ferramenta de planejamento da expansão das matrizes energéticas mundiais.

Assim, a reestruturação do setor energético brasileiro construiu um contexto favorável à ideia da geração distribuída de energia, o avanço recente da ciência (em particular com o surgimento de novas tecnologias de conversão energética) e o constante aumento da demanda energética deram força ao seu desenvolvimento. Finalmente, cabe ressaltar que esse retorno à geração distribuída não substitui a geração centralizada; é complementar a ela. (Zilles et. al., 2012)

2.3.1. Áreas Isoladas Eletricamente

No Brasil ocorreram vários projetos para levar energia elétrica através de extensão da rede convencional de distribuição de energia para consumidores isolados (por exemplo luz para todos).

Em algumas áreas remotas devido a grandes distâncias que eleva os custos de implantação e manutenção das linhas de distribuição de energia elétrica para atender poucos clientes, este torna-se economicamente inviável.

As pessoas que moram nestes locais para se beneficiar das tecnologias dos equipamentos que são na maioria elétricos, para seu conforto e diminuir o trabalho tem que produzir sua própria energia elétrica, se tornando um sistema autônomo.

Ao projetar o sistema autônomo de geração de energia elétrica para sua implantação, será necessário conhecimento de vários fatores: investimento inicial acessível as suas condições financeiras, conhecer as fontes disponíveis no local, tanto as fontes renováveis ou não renováveis, custos com manutenção e se possível optar pelo projeto que causar menos impacto ambiental na sua implantação e no seu funcionamento, mesmo que tenha um custo inicial maior.

2.3.2. Medidas que Asseguram o Acesso à Eletricidade

Em sua tese de doutorado, a autora Mariana Matos relembra as várias medidas tomadas pelo governo federal visando levar energia elétrica para toda a população brasileira. A começar pelo Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (Prodeem), criado em 1994 com a finalidade de permitir acesso à eletricidade pelas comunidades isoladas contemplando bombeamento de água e iluminação pública. A maioria dos sistemas do Prodeem foi instalada em escolas rurais e a quase totalidade desses sistemas era fotovoltaico, apesar da concepção original de diferentes tipos de fontes renováveis. (MATTOS, 2016).

O Programa Nacional de Eletrificação Rural (Pner), também conhecido como Luz no Campo, surgiu durante o mandato do presidente Fernando Henrique Cardoso com objetivo similar ao do Prodeem. Em novembro de 2003, o governo lançou o programa Luz para Todos (LPT), ao qual foi incorporado o Luz no Campo, com a

meta de fornecer acesso à energia elétrica para mais de 10 milhões de pessoas no meio rural até 2008. (MATTOS, 2016).

O LPT foi estendido até 2014 através de decreto, ao se perceber que o universo de excluídos era maior do que se pensava. O programa já atendeu cerca de 3,3 milhões de famílias (aproximadamente 15 milhões de pessoas) e pretende contemplar mais 715 mil famílias de 2011 a 2014. No caso do Ceará a autora da tese realizou o estudo de caso, o Luz para Todos beneficiou 172 mil famílias (862 mil pessoas) no período de 2004 a 2012. (MATTOS, 2016).

Foi em 2004 que a Aneel publicou resolução regulamentando os procedimentos e as condições de fornecimento através dos Sistemas Individuais de Geração de Energia com Fontes Alternativas (SIGFI's) – sistemas que podem ser utilizados como alternativa para universalização dos serviços de eletricidade. Em 2012, outra resolução normativa da Aneel estabeleceu os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Micro-sistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI). (MATTOS, 2016).

2.4. Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos podem ser formados apenas por fontes renováveis ou pela combinação de renováveis com não renováveis.

O sistema de geração de energia em estudo deste trabalho é um sistema híbrido que combina a geração fotovoltaica e um grupo gerador a diesel.

2.4.1. Geração a Diesel

Supondo-se não haver quaisquer restrições quanto à disponibilidade e uso de combustível, sistemas de geração a diesel são dimensionados de forma a atender totalmente à carga, consideradas as perdas envolvidas no processo. Por estarem eles disponíveis comercialmente em uma vasta gama de potências, a determinação do valor de potência do gerador mais adequado ao sistema irá depender apenas dos custos envolvidos, da finalidade do sistema e da estratégia de operação adotada. (PINHO et al., 2008).

O grupo gerador deve ser dimensionado para suprir completamente a carga durante o período em que a geração renovável não está disponível. Em contrapartida, em situações onde o gerador alimenta diretamente o banco de baterias através da utilização de um retificador, sua potência nominal deve ser especificada para que ele opere com fator de carregamento ótimo, pois nessas condições o gerador apresenta máxima eficiência. (PINHO et al., 2008).

Definida a potência nominal do gerador (P_{GMG}), dada em kWe, o seu consumo estimado de combustível (FC), em L/h, é dado pela relação de skarstein e uhlen (1989) apresentada pela equação.

$$FC = 0,246 \cdot P_{ci} + 0,08415 \cdot P_{GMG}. \text{ Equação. 1}$$

O termo P_{ci} , dado em kW, representa a potência ativa efetivamente demandada pela carga em determinado instante. Para fins de cálculos práticos, quando não se dispuser de valores pontuais de demanda, pode-se considerar o primeiro termo da equação (1) como a potência total instalada e multiplicá-lo pelo fator de carga (f_c) estimado das instalações no determinado instante, o que garante uma aproximação razoável. (PINHO et al., 2008).

2.4.2. Bateria Estacionária

Devido às características de variabilidade da radiação solar, a eletricidade produzida pelos módulos fotovoltaicos apresenta níveis variáveis, dependendo das condições de insolação. Durante a noite, não há nenhuma geração e, no início da manhã ou no final da tarde, os níveis de energia elétrica gerados são baixos. O mesmo ocorre em dias nublados. Próximo ao meio-dia, a geração está no máximo. (SOLENERG, 2016).

Para algumas aplicações, como o bombeamento de água, isso pode não ser problema, pois se pode armazenar a água em reservatórios e usá-la quando se desejar. Entretanto, na maioria das aplicações de sistemas isolados, necessita-se que a energia elétrica esteja disponível durante as 24 horas do dia e, principalmente, à noite, para iluminação. (SOLENERG, 2016).

O armazenamento da energia elétrica contínua gerada pelos módulos FV é, normalmente, realizado por meio de acumuladores elétricos ou baterias. Nesses

equipamentos a energia elétrica é armazenada sob a forma de energia química. Quando se necessita dessa energia armazenada, esta é novamente convertida em energia elétrica contínua. Cada bateria é composta por um conjunto de células eletroquímicas. A tensão elétrica da bateria é função do número de células ligadas em série. (SOLENERG, 2016).

2.4.2.1 Tipos de Baterias

Existem diversos tipos de baterias utilizando tecnologias e materiais diferentes que resultam em equipamentos de tamanhos, pesos, capacidades de armazenamento, custos e durabilidades bastante diferentes. Existem as baterias automotivas especificamente projetadas para veículos nos quais se desejam correntes elevadas e ocorrem poucas descargas profundas. Existem as baterias próprias para tração, como as utilizadas em veículos elétricos, adequadas às descargas profundas características dessa aplicação. As baterias estacionárias, usadas como reserva em condições de emergência, operam na maior parte do tempo em flutuação, fornecendo energia para a carga com esporádicos ciclos mais profundos de descarga e carga. Já as baterias fotovoltaicas trabalham com ciclos diários de carga e descarga, com esporádicos ciclos mais profundos em épocas de chuva. (SOLENERG, 2016).

Existem baterias especificamente projetadas para sistemas fotovoltaicos que levam em conta as características próprias desse tipo de aplicação. As baterias mais utilizadas no Brasil em sistemas fotovoltaicos isolados são as de chumbo-ácido do tipo automotivo, mas modificadas para trabalhar em regime estacionário com descargas profundas eventuais. São baterias com uma boa relação custo-benefício. Deve ser evitado o uso de baterias automotivas comuns, utilizadas em veículos, que tem uma vida útil menor quando instaladas em sistemas fotovoltaicos. Podem também ser usadas baterias do tipo OPzS ou OPzV e outras baterias mais caras de acordo com as características da aplicação. (SOLENERG, 2016).

2.4.3. Características de Baterias para Sistemas Fotovoltaicos

As baterias mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos são de 12 V de tensão nominal. Esta é a tensão nominal, já que a tensão realmente presente nos terminais da bateria depende de sua condição de carga e do fornecimento ou solicitação externa de energia. Normalmente, a bateria está à plena carga em torno de 14,3 V, não devendo receber mais corrente e quando atinge 11,3 V as cargas devem ser desligadas. Estas providências aumentam a vida útil da bateria. (SOLENERG, 2016).

Quanto maior é a capacidade da bateria em armazenar energia, maior autonomia de funcionamento na ausência de radiação solar tem o sistema. A capacidade das baterias determina o número de dias em que determinado sistema pode fornecer energia para os equipamentos consumidores, sem a presença do sol. Essa capacidade pode ser expressa em Wh ou kWh, mas, a forma mais comum é expressá-la em Ah (Ampère-hora). Essa unidade de energia quantifica a corrente elétrica que se pode tirar em determinado tempo da bateria, considerando-se condições específicas de descarga, temperatura e tensão mínima. (SOLENERG, 2016).

Uma bateria típica utilizada em sistemas fotovoltaicos tem uma capacidade nominal de descarga de 220 Ah em 20 horas - referência a 25°C. Isso significa que se pode tirar dessa bateria, quando totalmente carregada, 11 A durante 20 horas. Entretanto, à medida que a descarga for mais rápida ou mais lenta do que o especificado, a capacidade da bateria será ligeiramente diminuída ou aumentada. Esta mesma bateria quando carregada tem uma capacidade de 200 Ah quando descarregada em 10 horas (20 A), mas uma capacidade de 240Ah quando descarregada em 100 horas (2,4 A). (SOLENERG, 2016).

Não se deve usar normalmente toda a capacidade da bateria, pois, quando a profundidade da descarga ultrapassa 50% ou 60% da capacidade total, ocorre uma descarga profunda. Esse tipo de descarga reduz a vida útil da bateria e deve ser evitada em alguns tipos de baterias. (SOLENERG, 2016).

As baterias, devido aos seus processos internos, estão permanentemente se descarregando, mesmo quando não conectadas a nenhum circuito externo.

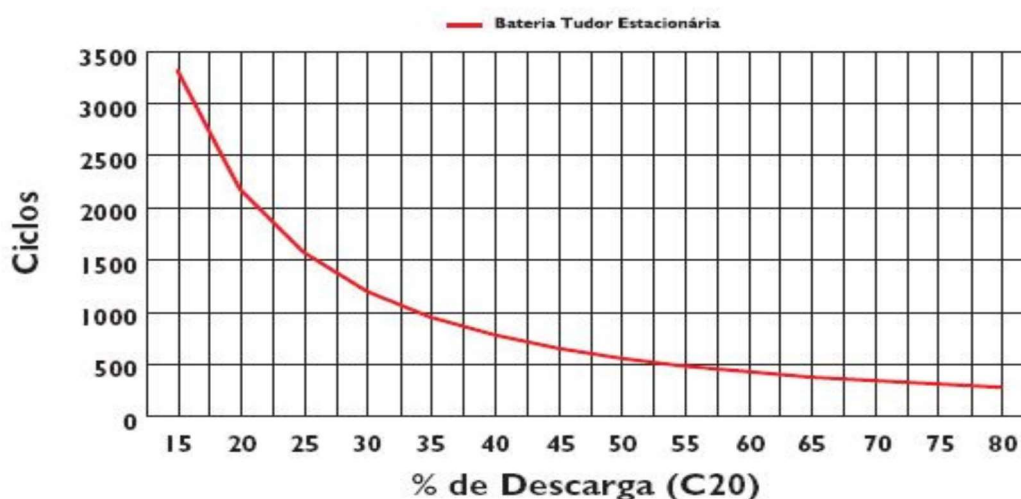
Considerando que a energia solar fotovoltaica é normalmente gerada em pequena escala, deve-se reduzir ao mínimo esta energia perdida internamente. O ideal é que esta auto descarga não ultrapasse 5% ao mês na temperatura de 30°C. (SOLENERG, 2016).

Considerando o ciclo diário de carga e descarga das baterias em sistemas fotovoltaicos, é importante que estas apresentem nível de eficiência elevado, ou seja, que haja pouca diferença entre a energia retirada de uma bateria e a quantidade de energia que se tem que colocar para que ela volte ao mesmo estado de carga anterior. (SOLENERG, 2016).

A vida útil de uma bateria termina quando ela não consegue mais armazenar 80% da energia que armazenava quando nova. Isso significa que ela precisa ser substituída. E isso é um problema quando se considera que os sistemas fotovoltaicos estão situados em locais remotos, distantes de centros de manutenção. Além disso, os custos das baterias são relativamente altos, para muitos dos usuários. Portanto, é importante que as baterias para sistemas fotovoltaicos tenham vida longa, de preferência acima de 3 ou 4 anos. (SOLENERG, 2016).

Fatores que diminuem a vida útil das baterias são a alta frequência e a profundidade das descargas e a temperatura elevada de operação. Nessas condições, os eletrodos perdem material ativo em um processo irreversível e cumulativo. A forma como a vida útil da bateria de chumbo ácido é afetada pela profundidade da descarga está ilustrada na Figura 6. (SOLENERG, 2016).

Figura 6 - Influência da profundidade de descarga na vida de uma bateria.



Considerando que os sistemas fotovoltaicos funcionam em um ciclo diário de carga e descarga, em condições algumas vezes adversas de temperatura, é importante que as baterias sejam dimensionadas e especificadas criteriosamente, colocadas em locais frescos e ventilados e que tenham controladores de carga bem ajustados que impeçam descargas profundas ou sobrecargas. (SOLENERG, 2016).

Podem ser usadas, em sistemas fotovoltaicos, tanto as baterias abertas, que necessitam de inspeção periódica do eletrólito e eventual adição de água, como as baterias seladas, do tipo “livre de manutenção”, sem necessidade de reposição de água. Em aplicações pequena sem locais remotos, sem estrutura de manutenção, é recomendável que se use a bateria selada. (SOLENERG, 2016).

Baterias fotovoltaicas - são projetadas para ciclos diários de profundidade rasa a moderada com taxas de descarga reduzidas (C/20) e devem suportar descargas profundas esporádicas devidas à ausência de geração (dias nublados). (Pinho et. al. 2014).

Procedimentos que contribuem para o aumento da vida útil da bateria são: manutenção do estado de carga em baterias de Chumbo-ácido (equalização e flutuação), operação em ambientes de temperatura controlada, controle de sobrecargas e sobre descargas etc. (Pinho et. al. 2014).

Segundo alguns fabricantes de baterias de níquel-cádmio, estas podem ser totalmente descarregadas e recarregadas sem sofrerem alteração no seu desempenho. Já as de chumbo ácido possuem restrições quanto a descargas profundas. A profundidade de descarga da bateria chumbo-ácido a ser considerada em um projeto depende do tipo construtivo da mesma. Baterias chamadas OPzS e OPzV11 aceitam até 80% de profundidade de descarga máxima enquanto baterias estacionárias comuns não devem passar de 50%. Quanto maior a profundidade de descarga, menor a quantidade de ciclos que a bateria chumbo-ácido vai apresentar em sua vida útil. (Pinho et. al. 2014).

Dos vários tipos de acumuladores eletroquímicos existentes, a bateria de Chumbo-ácido (Pb ácido) ainda é a tecnologia mais empregada. Baterias com tecnologias mais modernas, tais como Níquel-Cádmio (NiCd), Níquel-hidreto metálico (NiMH), íon de Lítio (Li-ion), dentre outras, embora apresentando vantagens (maior eficiência, maior vida útil, maior profundidade de descarga), geralmente não são ainda economicamente viáveis na maioria dos sistemas fotovoltaicos (Pinho et. al. 2014).

2.5 Homer

Tudo o que for citado sobre o Homer foi extraído do próprio programa, como será visto nos dois próximos tópicos.

2.5.1 O que é Homer?

Homer, o modelo de otimização micro potência, simplifica a tarefa de avaliação dos projetos de ambos fora de rede e conectadas à rede para sistemas de energia de uma variedade de aplicações. Quando você desenha um sistema de energia, você deve fazer muitas decisões sobre a configuração do sistema: Que componentes faz sentido incluir na concepção do sistema? Quantos e que tamanho de cada componente que você deve usar? O grande número de opções tecnológicas e a variação dos custos em tecnologia e disponibilidade de recursos energéticos. Homer de otimização e sensibilidade análise algoritmos tornam mais fáceis de avaliar as muitas possíveis configurações de sistema. (BITTENCOURT, 2009).

2.5.2 Como é que Homer trabalha?

Homer simula o funcionamento de um sistema de equilíbrio energético, fazendo cálculos para cada uma das 8.760 horas em um ano. Para cada hora, Homero compara a demanda elétrica e térmica na hora para a energia que o sistema pode fornecer nessa hora, e calcula os fluxos de energia de e para cada componente do sistema. Para os sistemas que incluem as células à combustível ou geradores, Homer decide igualmente para cada hora como operar os geradores ou a descarga das células. (BITTENCOURT, 2009).

Homer realiza balanço energético destes cálculos para cada configuração de sistema que você deseja examinar. Em seguida, determina se uma configuração é viável, ou seja, se pode satisfazer a demanda elétrica, nas condições que especifica, e estima que o custo de instalação e de funcionamento do sistema durante toda a vida útil do projeto. O sistema de cálculos de custos, como a conta de

capital, substituição, utilização e manutenção, combustível, e os juros. (BITTENCOURT, 2009).

Otimização:

Depois de simular todas as possíveis configurações de sistema, Homer exibe uma lista de configurações, ordenado pelo valor presente líquido (às vezes chamado ciclo custo), que pode ser usado para comparar as opções do sistema.

Análise de sensibilidade: Quando você define sensibilidade variável como insumos, Homer repete o processo de otimização para cada sensibilidade variável que você especificar. Por exemplo, se você definir a velocidade do vento como uma sensibilidade variável, Homer irá simular configurações de sistema para a gama de velocidades do vento que você especificar. (BITTENCOURT, 2009).

3. METODOLOGIA

Método de Pesquisa

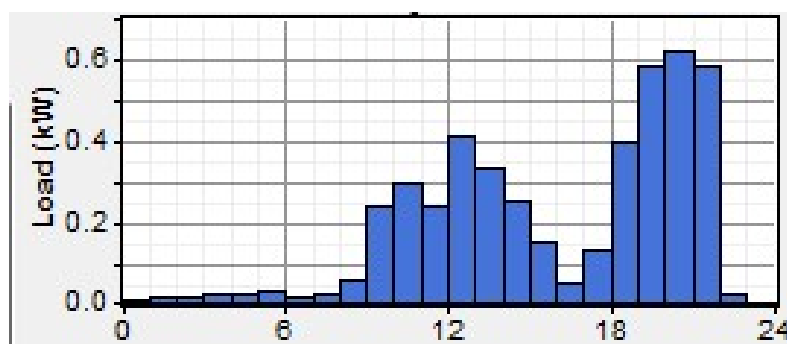
A metodologia a ser adotada consistirá de uma pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, coleta de carga do CPC, levantamento de custo de materiais e mão de obra e utilização de software computacional como auxílio para análise técnica e financeira.

4. PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO

4.1. Curva de Carga do CPC

Para esta simulação foi feito uma visita no CPC para coletar a carga atual com analisador de energia. A coleta de dados foi realizada em 11 de Abril de 2015 e 28 de Maio de 2016. É apresentado na Figura 7 a curva de carga utilizada para as simulações.

Figura 7 - Curva de carga do CPC



Na Figura 7 é possível verificar que a partir das 22 horas a carga é desligada até as 7 horas da manhã, porém a carga registrada neste período é somente a energia utilizada pelo analisador de energia. A partir das 7 horas o sistema é religado, entrando em funcionamento os aparelhos elétricos necessários para sua operação. A partir das 18 horas toda iluminação do CPC é ligada fazendo que sua carga aumenta até as 22 horas que o sistema é desligado.

4.2. Irradiação Solar e Temperatura

Os dados de radiação solar e de temperatura foram coletados no site Swera, que são obtidos através imagens de satélite. Esses dados são do lugar específico do trabalho o CPC. Outras fontes que fornece estes dados de irradiação só teriam de locais próximo, não teriam do CPC. Na Tabela 1 é apresentado os dados de radiação do Swera.

Tabela 1 - Índice de Irradiação Solar

Radiação solar CPC	
Mês	Radiação Solar kWh/m/dia
Janeiro	4,667
Fevereiro	5,1
Março	5,708
Abril	5,714
Maio	5,363
Junho	4,833
Julho	4,917
Agosto	6,302
Setembro	6,232
Outubro	6,241
Novembro	6,241
Dezembro	4,465
Média diária anual	5,517

Na Tabela 1 pode-se observar que dezembro e janeiro são os menores índice de irradiação solar, por ser o período de maior índice de chuva. E os meses de junho e julho os índices são baixos devidos ao movimento de translação. Os dados de temperatura média são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Temperatura

Mês	Temperatura °C
Janeiro	25,44
Fevereiro	25,33
Março	25,45
Abril	25,97
Maio	26,98
Junho	27,26
Julho	27,57
Agosto	29,49
Setembro	30,42
Outubro	28,39
Novembro	26,45
Dezembro	25,88

Na Tabela 2 agosto, setembro e outubro são os meses que apresentam maior temperatura do ano, devido o sol estar mais próximo do local e também tendo baixo índice de chuva.

Elevadas temperaturas diminui a produção de energia elétrica nos painéis fotovoltaicos, ocasionando diminuição do rendimento do sistema.

4.3. Paine Solar

Paine solar de silício policristalino de 320 W canadian solar CS6U – 320 P garantia de 10 anos para defeitos de fabricação 25 anos – perda máxima de potência de 20%, coeficiente de temperatura (P_{max}) – 0,43%/°c, temperatura nominal da célula $45 \pm 2^\circ\text{C}$, eficiência do módulo 16,68%, no valor de R\$ 899,00 no site do mercado livre no dia 08/09/2017.

4.4. Inversor

Inversor solar off – grid 1000W onda senoidal pura – EP Solar. Tensão de saída (CA) 220V. Tensão nominal do sistema 48V. Modo de saída (CA) monofásico. Frequência 50/60 Hz. Potência do inversor 1000 Watts. Eficiência do Inversor (%) maior que 94%, valor comercial de R\$ 1724,71 no dia 11/09/2017.

4.5. Baterias

Bateria estacionaria chumbo ácida ventilada 2Vcc, 350Ah/10 horas, uso em flutuação: Acima de 10 anos a 25°C e 1,75 Vpe, eficiência de ciclos 80%, mínimo estado de carga 20% conforme Tabela 3, taxa de carga máxima 1A/Ah, máxima corrente da carga 87.5 A, máxima capacidade 529 Ah. Orçamento de acumuladores Moura S.A – filial 8 no valor de R\$ 854,00 em 30/01/2017.

Tabela 3 - Profundidade de Carga X Ciclo de Vida

Profundidade de carga	Ciclo de vida
10%	5250 ciclos
20%	4250 ciclos
30%	3750 ciclos
40%	3000 ciclos
50%	2250 ciclos
60%	2000 ciclos
70%	1500 ciclos
80%	1250 ciclos

4.6. Motor Gerador Diesel

O Gerador de energia a diesel considerado foi o de 2,2 kVA monofásico - partida elétrica – BD 2500E – Branco. Os preços estão na Tabela 4.

Tabela 4 - Pesquisa de preço de gerador diesel 2 KVA em 09/09/2017

Site	vendedor	Gerador	Preço R\$
www.mercadolivre.com.br	Ribeirão Preto, SP	Gerador a diesel 2 KVA 110/220 partida elétrica BD-2500	4.899,00
www.mercadolivre.com.br	Ibirama, SC	Gerador de energia Branco Bd - 2500 e 2 KVA - partida elétrica	4.581,00
www.lojassgeradores.com.br	São Paulo	Gerador de energia a diesel 2.2 KVA monofásico - par. Elé. BD 2500E – Branco	2.353,83

4.6.1. Preço de Óleo Diesel

O valor do óleo diesel no dia 25/09/2017 e de R\$ 3,15 no Pium Auto Posto, Av. Diogenes de Brito, S/nº - Aeroporto Setor Aeroporto, CEP: 77.570-000 Pium TO.

4.7. Dados Econômicos

A taxa de juros é um fator importante para uma viabilidade de um projeto. O Homer utiliza taxa de juros reais, pois tira as oscilações do mercado. Atualmente a taxa de juros oficial é a Selic que está 8,25% Setembro 2017. E a inflação do IPCA

acumulada em 12 meses está 2,71% Setembro 2017. Sendo assim, a taxa de juros reais é de 5,54% ao ano.

5. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

5.1. Solar/Diesel/Bateria

O sistema elétrico Solar/diesel/bateria tem um sistema fotovoltaico de 1,96 kW, com um motor gerador diesel de 2 kW, 7 baterias Moura Clean Max, um inversor de 1 kW para uma carga de 4,4 kWh/dia

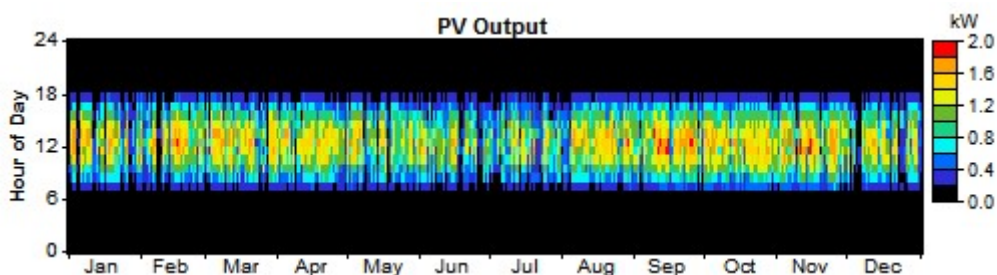
Com um custo inicial de R\$ 15.563,00, o seu valor presente líquido em um período de 25 anos é de R\$ 32.886,00. O custo de operação é de R\$ 6.858,00 conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Custos do Sistema Híbrido Solar/Bateria/Diesel

Componente	Capital inicial	Substituição	O&M	Combustível	Retorno	Total
	(R\$)	(R\$)	(R\$)	(R\$)	(R\$)	(R\$)
Fotovoltaico	5.506	0	818	0	0	6.325
Gerador	2.354	0	695	5.217	-115	8.151
Bateria	5.978	5.520	4.677	0	-776	15.398
Inversor	1.725	768	668	0	-149	3.012
Total	15.563,00	6.288,00	6.858,00	5.217,00	1.040,00	32.886,00

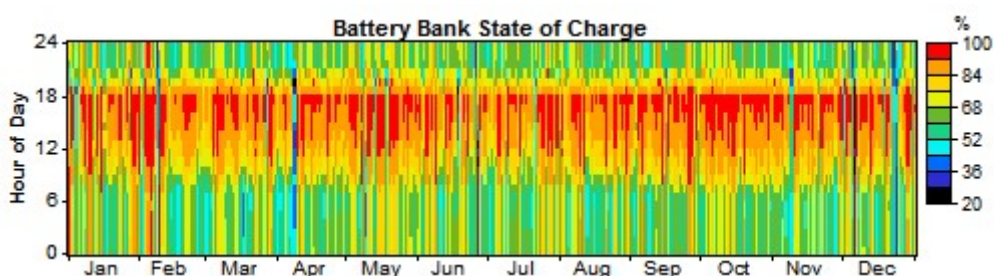
Conforme observado na Figura 8, a produção de energia nos painéis solares se inicia a partir das 6 horas, tendo seu pico de maior produção de energia entorno de 12 horas, a partir deste horário vai diminuindo a produção de energia até se encerrar próximo das 18 horas.

Figura 8 - Geração de energia fotovoltaica do sistema Solar/Bateria/Diesel



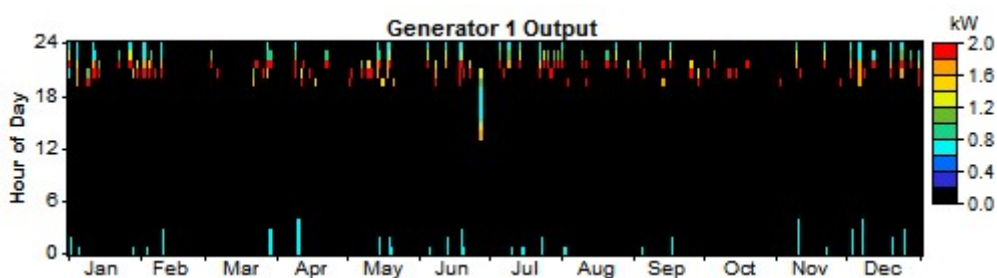
Na Figura 9 o banco de bateria entra em funcionamento quando os geradores fotovoltaicos não conseguem suprir a carga. Isto ocorre a partir das 18 horas, e continua alimentando a carga até próximo das 9 horas da manhã. A partir daí o banco de bateria começa a se recarregar para estar pronto para a próxima entrada da carga.

Figura 9 - Utilização de baterias no sistema Solar/Bateria/Diesel



Na Figura 10 o gerador de energia entra em funcionamento em apenas alguns dias do ano quando o nível de descarga do banco de bateria chega em 80%, totalizando 260 horas por ano.

Figura 10 - Geração de energia a diesel do sistema Solar/Bateria/Diesel



5.2. Solar/Bateria

O sistema elétrico solar/bateria, tem um gerador fotovoltaico de 3,84 kW, um banco de bateria com 9 baterias Moura Clean Max, um inversor de 2 kW, para uma carga de 4,4 kWh/dia.

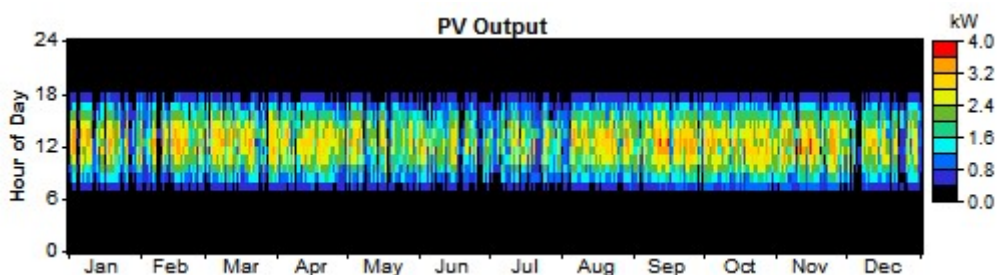
Este sistema elétrico tem um custo inicial de R\$ 21.994,00 mais R\$ 7.337,00 de troca de equipamentos e um custo de operação e manutenção de R\$ 8.952,00 totalizando o valor de R\$ 38.213,00 num período de 25 anos de operação conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Custos do Sistema Solar/Bateria

Componentes	Capital inicial	Substituição	O&M	Combustível	Retorno	Total
	(R\$)	(R\$)	(R\$)	(R\$)	(R\$)	(R\$)
Fotovoltaico	10.788	0	1.603	0	0	12.391
Bateria	7.686	7.097	6.013	0	-998	19.797
Inversor	3.450	1.537	1.336	0	-299	6.024
Total	21.924	8.634	8.952	0	-1.297	38.213

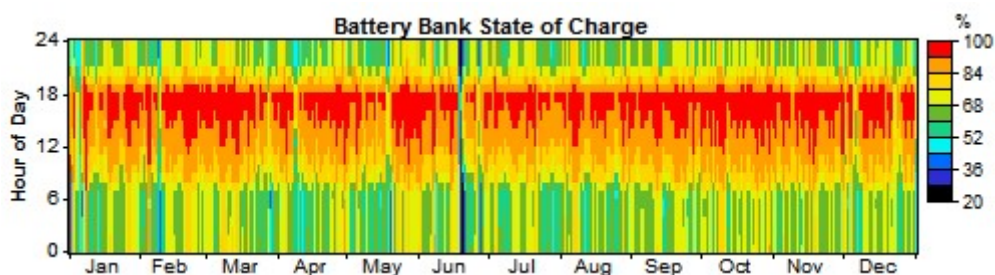
Conforme observado na Figura 11, a produção de energia nos painéis solares se inicia a partir das 6 horas, tendo seu pico de maior produção de energia entorno de 12 horas, a partir deste horário vai diminuindo a produção de energia até se encerrar lá pelas 18 horas.

Figura 11 - Geração de energia fotovoltaica do sistema Solar/Bateria



Na Figura 12 o banco de bateria entra em funcionamento quando o gerador fotovoltaico não consegue suprir a carga por volta das 18 horas, e vai alimentando a carga ate entorno das 9 horas, quando o banco de bateria se desliga da carga e começa a se recarregar para estar pronto para a próxima entrada na carga.

Figura 12 - Utilização de baterias no sistema Solar/Bateria



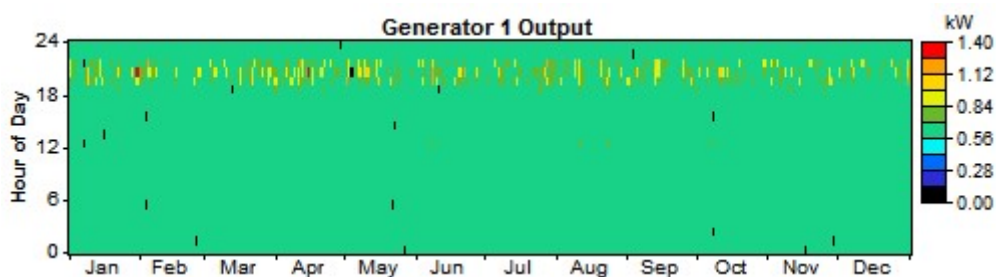
5.3. Diesel

No sistema elétrico onde a geração de energia é produzida por apenas o motor gerador diesel de 2 kW para suprir uma carga de 4,4 kWh/dia. Seu custo inicial é de R\$ 2.354,00, mas a troca de equipamentos é de R\$ 33.842,00 como também sua operação e manutenção no valor de R\$ 23.362,00 com um custo de óleo diesel no valor de R\$ 115.011,00 totalizando um custo no período de 25 anos a quantia de R\$ 174.569,00 conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Custos do Sistema Diesel

Componentes	Capital inicial	Substituição	O&M	Combustível	Retorno	Total
	(R\$)	(R\$)	(R\$)	(R\$)	(R\$)	(R\$)
Gerador	2.354	34.259	23.362	115.011	-417	174.569
Total	2.354	34.259	23.362	115.011	-417	174.569

O gerador funciona sem interrupções durante o ano inteiro, com alguns eventuais picos de energia conforme a curva de carga do CPC apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Geração de energia a diesel do sistema Diesel

5.4. Discussão e Análise dos Resultados

Conforme a Tabela 8 o sistema solar/bateria/diesel tem um custo inicial menor e também seu custo total durante o período de 25 anos é menor, por utilizar um gerador FV, um inversor e o banco de bateria com uma potência menor, o gerador diesel entra poucas vezes em funcionamento tendo com isso um custo menor com substituição, O&M e Combustível.

O sistema solar/bateria tem um custo inicial maior e também durante o período de 25 anos do que o solar/bateria/diesel, porque tem um gerador FV, inversor e o banco de bateria com uma potência maior, para suprir a ausência do gerador.

O sistema diesel tem um custo inicial menor que o solar/bateria/diesel e o solar/bateria, mas seu custo com substituição, O&M e combustível são maiores, tendo o valor mais alto no período de 25 anos.

Tabela 8 - Custos dos Sistemas

Configuração	Custo Inicial	Substituição	O&M	Combustível	Total
Solar/Bateria/Diesel	R\$15.563,00	R\$6.288,00	R\$6.858,00	R\$5.217,00	R\$32.866,00
Solar/Bateria	R\$21.924,00	R\$8.634,00	R\$8.952,00	R\$0,00	R\$38.213,00
Diesel	R\$2.354,00	R\$34.259,00	R\$23.362,00	R\$115.011,00	R\$174.569,00

Na Tabela 9 a configuração híbrida solar/bateria/diesel é um sistema elétrico mais complexo, por ter duas fontes de geração de energia diferente, uma de fonte de energia renovável (FV 1,96 kW) e outra não renovável (gerador diesel 2 kW), um acumulador (7 baterias moura 2 V 350 Ah) e um inversor (1 kW).

O sistema elétrico solar/bateria tem uma fonte de energia renovável (FV 3,84 kW), acumulador (9 baterias moura 2 V 350 Ah) e um inversor (2 kW).

A configuração a diesel é a mais simples, possui um motor gerador diesel de corrente alternada com tensão e frequência necessária para os equipamentos utilizados, sua fonte de energia é não renovável, não tem outra fonte de geração de energia, não possui acumuladores e inversor.

Tabela 9 - Configuração dos Sistemas

Configuração	FV (kW)	Bateria Moura 350(Ah)	Gerador Diesel (kW)	Inversor (kW)
Solar/Bateria/Diesel	1,96	7	2	1
Solar/Bateria	3,84	9	---	2
Diesel	---	---	2	---

Na Tabela 10 o sistema híbrido solar/bateria/diesel teve o menor preço médio de R\$1,53 por kWh, onde foi gerado 3123 kWh/ano pelo gerador FV, o gerador diesel produziu 329 kWh/ano com um consumo de 124 litros de diesel por ano e o banco de bateria com uma autonomia 21,3 horas.

O sistema solar/bateria teve um custo médio de R\$1,77 por kWh, o gerador FV produziu 6118 kWh/ano com um banco de bateria de 27,4 horas de autonomia.

O sistema diesel teve o maior preço médio por kWh de R\$8.10 por kWh e uma geração de energia a diesel de 5335 kWh/ano com um consumo de 8742 litros de óleo diesel por ano.

Tabela 10 - Geração e Custos dos Sistemas

Configuração	Geração de Energia FV kWh por ano	Geração de Energia a Diesel kWh por ano	Consumo de Diesel por Ano (litros)	Autonomia das Baterias (horas)	Preço Médio do kWh
Solar/Bateria/Diesel	3123	329	124	21,3	R\$1,53
Solar/Bateria	6118	---	---	27,4	R\$1,77
Diesel	---	5335	8742	---	R\$8,10

O sistema híbrido solar/bateria/diesel nos resultados da simulação computacional teve um valor de R\$ 32.866,00 num período de 25 anos e um valor médio de kWh (R\$1,53) tendo os menores valores. O sistema híbrido é mais complexo por utilizar duas fontes de geração de energia uma renovável e a outra não renovável e otimizado por tem uma potência no gerador FV e no inversor mais baixa, um banco de bateria menor, o gerador diesel funciona 260 horas/ano com 91 partidas por ano, onde só entra em funcionamento quando o nível máximo de descarga do banco de bateria é alcançado.

O sistema solar/bateria nos resultados da simulação computacional devido seu sistema ter uma potência maior no gerador FV (3,84 kW), o inversor e no banco de bateria teve um valor inicial maior que solar/bateria/diesel e também o custo com substituição e O&M são maiores apesar de não ter custo com óleo diesel. No custo final do período de 25 anos ficou acima do solar/bateria/diesel, mas seu sistema não tem o gerador diesel, deixando o sistema mais simples, com menos operação e manutenção não tendo o manuseio com óleo diesel e também não poluindo o meio ambiente com produção de gases de efeito estufa.

O sistema diesel tem um custo inicial menor que os outros por ter apenas a aquisição do gerador diesel, por ser uma tecnologia amplamente conhecida, ocasionando um menor custo do gerador. Mas o custo com combustível e O&M são elevados, nesta configuração a geração de energia é somente do gerador diesel tendo que funcionar em tempo integral, elevando o consumo com óleo diesel tendo um custo final maior no período de 25 anos.

6. CONCLUSÃO

O sistema elétrico híbrido tem uma complexidade maior que solar/bateria e diesel, mas a confiabilidade na produção de energia é maior, por ter duas fontes de produção de energia, 90% da energia elétrica da carga é produzida pelo gerador FV e 10% pelo gerador a diesel, mas se o gerador FV parar de funcionar o gerador diesel pode produzir energia para carga e também carregar as baterias deixando de ser apenas uma complementação. Diferente do sistema solar/bateria, se o gerador FV parar de funcionar, só terá mais 27,4 horas de energia disponível no banco de bateria, o gerador diesel se parar de funcionar não tem outra fonte de energia, o sistema solar/bateria não necessita de insumos, ideal para áreas remotas de difícil acesso.

O gerador FV produz energia das 6,30 a 18 horas do dia, tendo a necessidade de ter outro gerador de energia ou um acumulador, para suprir a energia da carga no restante do dia.

O acumulador foi responsável acima de 50% do custo final no período de 25 anos no sistema híbrido e também no solar/bateria.

O gerador diesel para funcionar como emergência ou esporadicamente é uma boa alternativa por ter um custo inicial baixo, mas se torna caro para o uso em tempo integral devido seu consumo de óleo diesel e O&M

OCPC não fica em área remota ou distante da rede convencional de distribuição de energia, a dificuldade de construção da rede elétrica é devido a área que tem de ser desmatado num local de preservação ambiental, a carga considerada na simulação é a atual do CPC, porém, existe uma demanda reprimida, que são as cargas dos tanques de quelônios e outras cargas diversas. Necessitando de um estudo mais aprofundado para o atendimento destas cargas.

Numa comunidade isolada eletricamente em áreas remotas os insumos como óleo diesel ficam mais caros devido sua distância ou acessos ao local, o sistema híbrido com duas fontes de geração de energia uma fonte de energia renovável responsável pela totalidade da carga ou quase e o gerador diesel funcionando com complementação.

Neste trabalho não incluído o custo de transporte dos equipamentos, insumos, projeto e instalação do sistema elétrico.

Algumas sugestões de trabalhos são: estudo de novas tecnologias de armazenamento de energia, estudo de logística do diesel em comunidades isoladas e um estudo da utilização de outras fontes de energia renovável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BITTENCOURT, Felipe. **Análise de um sistema híbrido fotovoltaico – célula combustível (PV/Cac) por simulação computacional**. 2009. 136f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação Tecnológica em sistemas Elétrico) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2009.

MATTOS, Mariana. **Análise energética do projeto de um sistema híbrido eólico - fotovoltaico com armazenamento de energia elétrica através do hidrogênio e banco de baterias**. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/ju/576/pesquisa-analisa-sistema-hibrido-de-energia-eletrica>. Acesso em: 10 junho 2016.

PINHO, João et al. **Sistemas Híbridos: Soluções Energética para a Amazônia**. 1ª Edição. Brasília: Ministério de Minas e Energia: 2008.

SOLENERG. **A bateria estacionária para gerador fotovoltaico autônomos**. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/produtos-baterias-estacionarias.html>, pdf. Acesso em: 18 junho 2016.

PINHO, João Tavares; Galdino, Marcos Antonio: **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**; Grupo de Trabalho de Energia Solar-(GTES); Rio de Janeiro, 2014.

PEREIRA, Enio Bueno; Martins, Fernando Ramos; Abreu, Luma de; Rütther, Ricardo: **Atlas Brasileiro de Energia Solar**; São João dos Campos: INPE, 2006.

Zilles, Roberto. et.al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**; São Paulo: oficina de textos, 2012

APÊNDICE

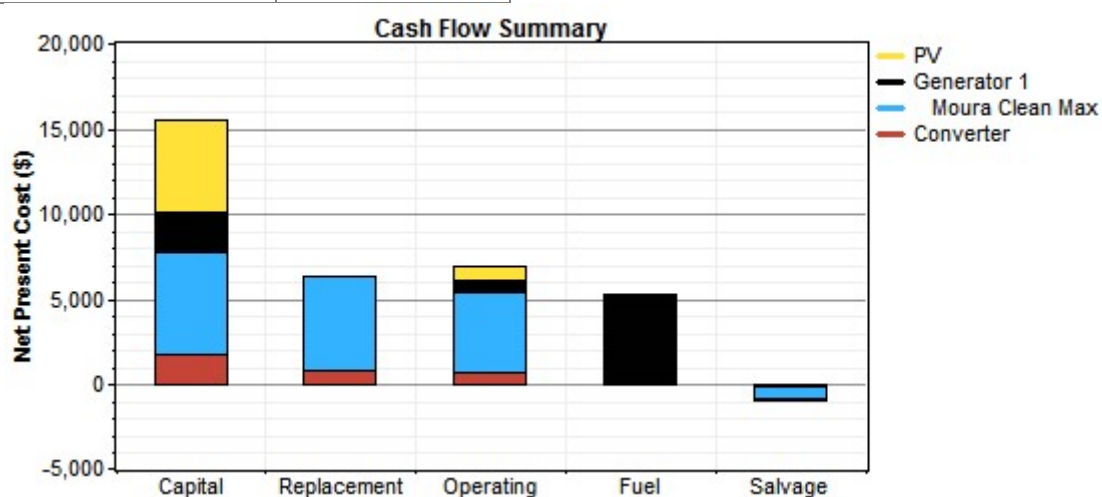
System Report - simulação TCC final.hmr

System architecture

PV Array	1.96 kW
Generator 1	2 kW
Battery	7 Moura Clean Max
Inverter	1 kW
Rectifier	1 kW
Dispatch strategy	Cycle Charging

Cost summary

Total net present cost	\$ 32,886
Levelized cost of energy	\$ 1.526/kWh
Operating cost	\$ 1,296/yr



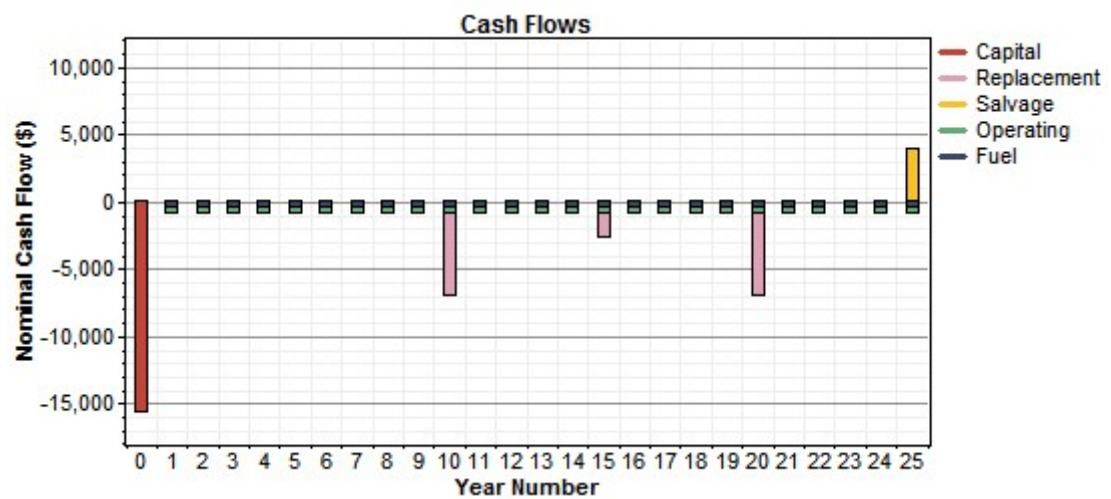
Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	5,506	0	818	0	0	6,325
Generator 1	2,354	0	695	5,217	-115	8,151
Moura Clean Max	5,978	5,520	4,677	0	-776	15,398
Converter	1,725	768	668	0	-149	3,012

System	15,563	6,288	6,858	5,217	-1,040	32,886
--------	--------	-------	-------	-------	--------	--------

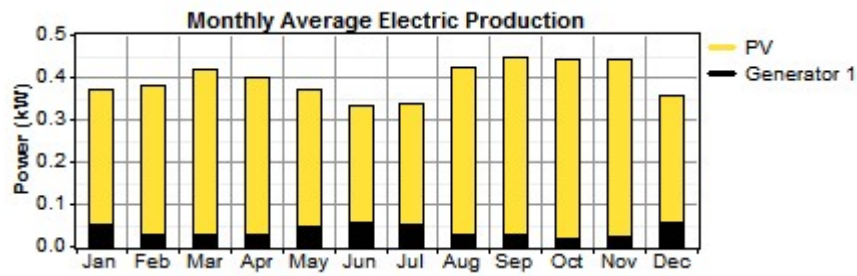
Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	412	0	61	0	0	473
Generator 1	176	0	52	390	-9	610
Moura Clean Max	447	413	350	0	-58	1,152
Converter	129	58	50	0	-11	225
System	1,165	471	513	390	-78	2,461



Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	3,123	90%
Generator 1	329	10%
Total	3,452	100%



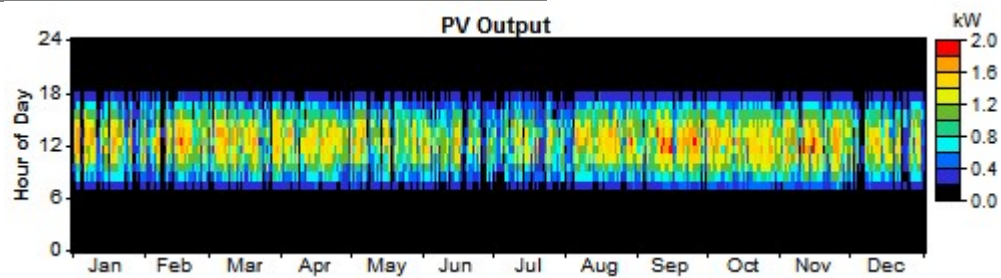
Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	1,613	100%
Total	1,613	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	1,520	kWh/yr
Unmet load	0.00000773	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.905	

PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	1.96	kW
Mean output	0.356	kW
Mean output	8.56	kWh/d
Capacity factor	18.2	%
Total production	3,123	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	1.89	kW
PV penetration	194	%
Hours of operation	4,294	hr/yr
Levelized cost	0.152	\$/kWh

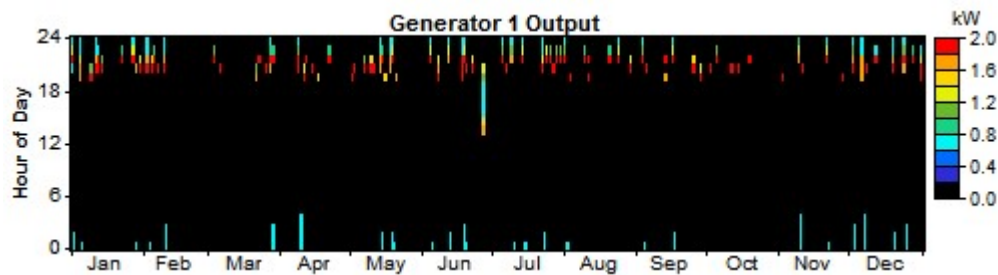


Generator 1

Quantity	Value	Units
Hours of operation	260	hr/yr
Number of starts	91	starts/yr
Operational life	30.8	yr
Capacity factor	1.88	%
Fixed generation cost	0.998	\$/hr
Marginal generation cost	0.788	\$/kWhyr

Quantity	Value	Units
Electrical production	329	kWh/yr
Mean electrical output	1.27	kW
Min. electrical output	0.600	kW
Max. electrical output	2.00	kW

Quantity	Value	Units
Fuel consumption	124	L/yr
Specific fuel consumption	0.376	L/kWh
Fuel energy input	1,220	kWh/yr
Mean electrical efficiency	27.0	%



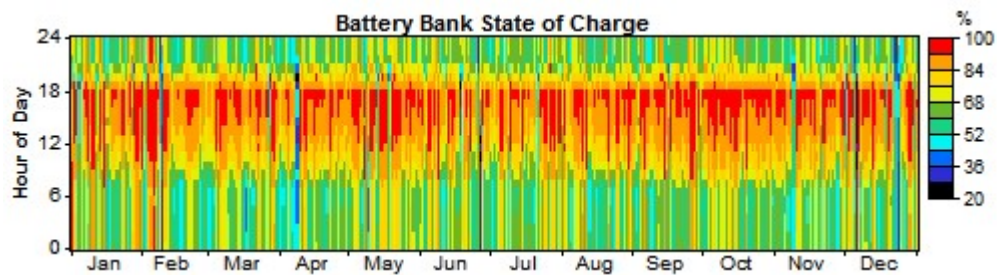
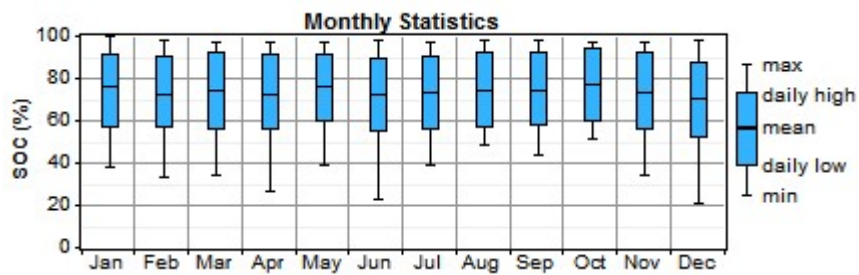
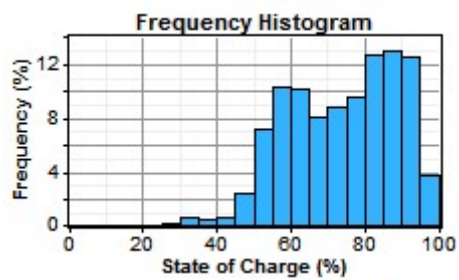
Battery

Quantity	Value
String size	1
Strings in parallel	7
Batteries	7
Bus voltage (V)	2

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	4.90	kWh
Usable nominal capacity	3.92	kWh
Autonomy	21.3	hr
Lifetime throughput	9,870	kWh

Battery wear cost	0.677	\$/kWh
Average energy cost	0.161	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Energy in	984	kWh/yr
Energy out	790	kWh/yr
Storage depletion	2.20	kWh/yr
Losses	192	kWh/yr
Annual throughput	883	kWh/yr
Expected life	10.0	yr

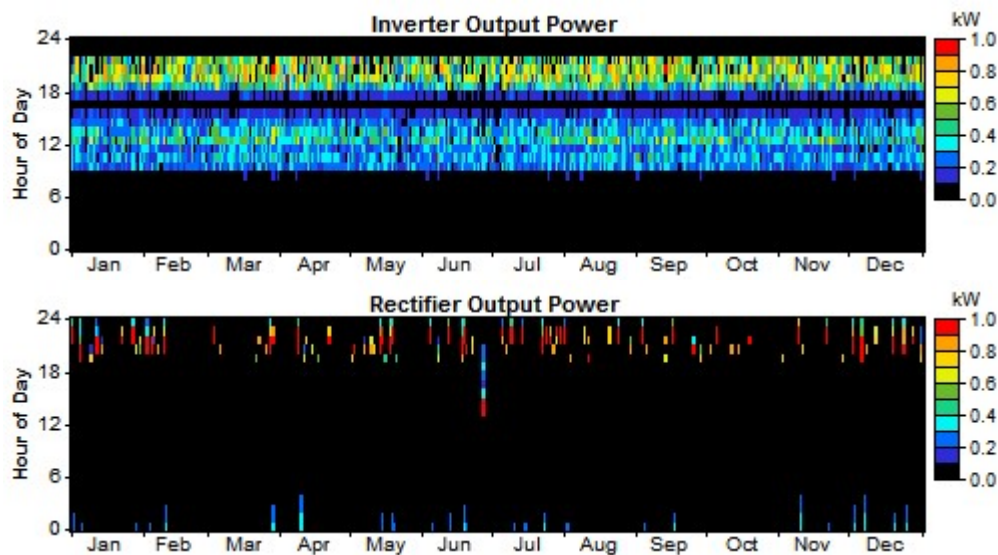


Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	1.00	1.00	kW
Mean output	0.17	0.02	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	0.91	1.00	kW
Capacity factor	17.1	1.9	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	8,484	259	hrs/yr

Energy in	1,597	198	kWh/yr
Energy out	1,501	168	kWh/yr
Losses	96	30	kWh/yr



Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	326
Carbon monoxide	0.806
Unburned hydrocarbons	0.0892
Particulate matter	0.0607
Sulfur dioxide	0.655
Nitrogen oxides	7.19

Solar/bateria

System Report - simulação TCC final.hmr

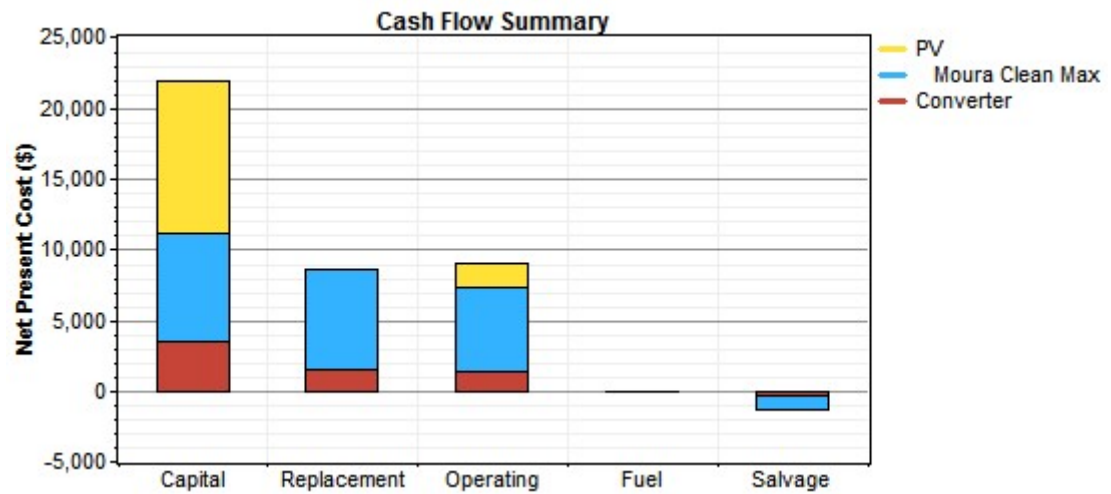
System architecture

PV Array	3.84 kW
Battery	9 Moura Clean Max
Inverter	2 kW
Rectifier	2 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 38,213
Levelized cost of energy	\$ 1.774/kWh

Operating cost	\$ 1,219/yr
----------------	-------------

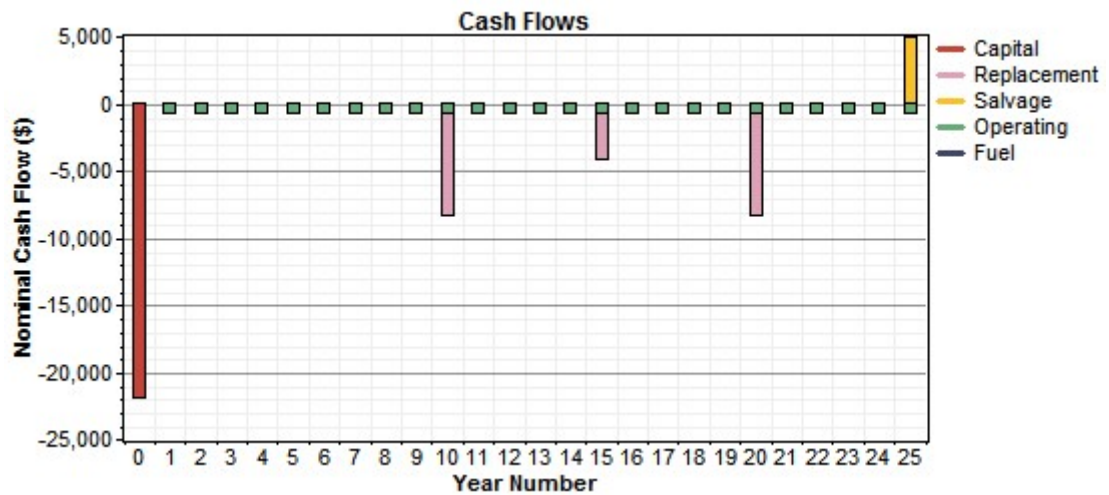


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	10,788	0	1,603	0	0	12,391
Moura Clean Max	7,686	7,097	6,013	0	-998	19,797
Converter	3,450	1,537	1,336	0	-299	6,024
System	21,924	8,634	8,952	0	-1,297	38,213

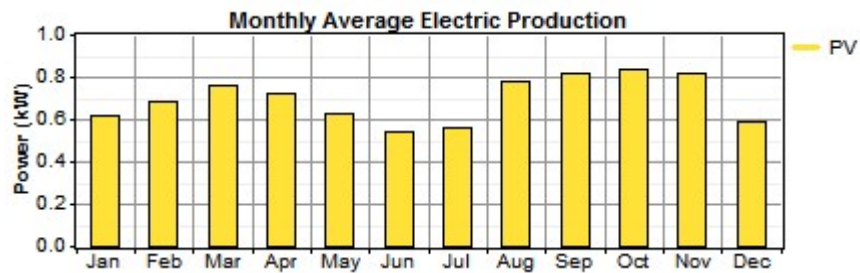
Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	807	0	120	0	0	927
Moura Clean Max	575	531	450	0	-75	1,482
Converter	258	115	100	0	-22	451
System	1,641	646	670	0	-97	2,860



Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	6,118	100%
Total	6,118	100%



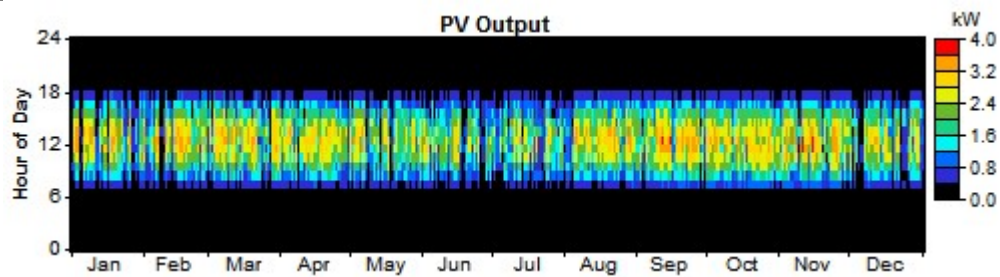
Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	1,612	100%
Total	1,612	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	4,187	kWh/yr
Unmet load	1.04	kWh/yr
Capacity shortage	1.47	kWh/yr
Renewable fraction	1.000	

PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	3.84	kW
Mean output	0.698	kW

Mean output	16.8	kWh/d
Capacity factor	18.2	%
Total production	6,118	kWh/yr
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	3.71	kW
PV penetration	379	%
Hours of operation	4,294	hr/yr
Levelized cost	0.152	\$/kWh



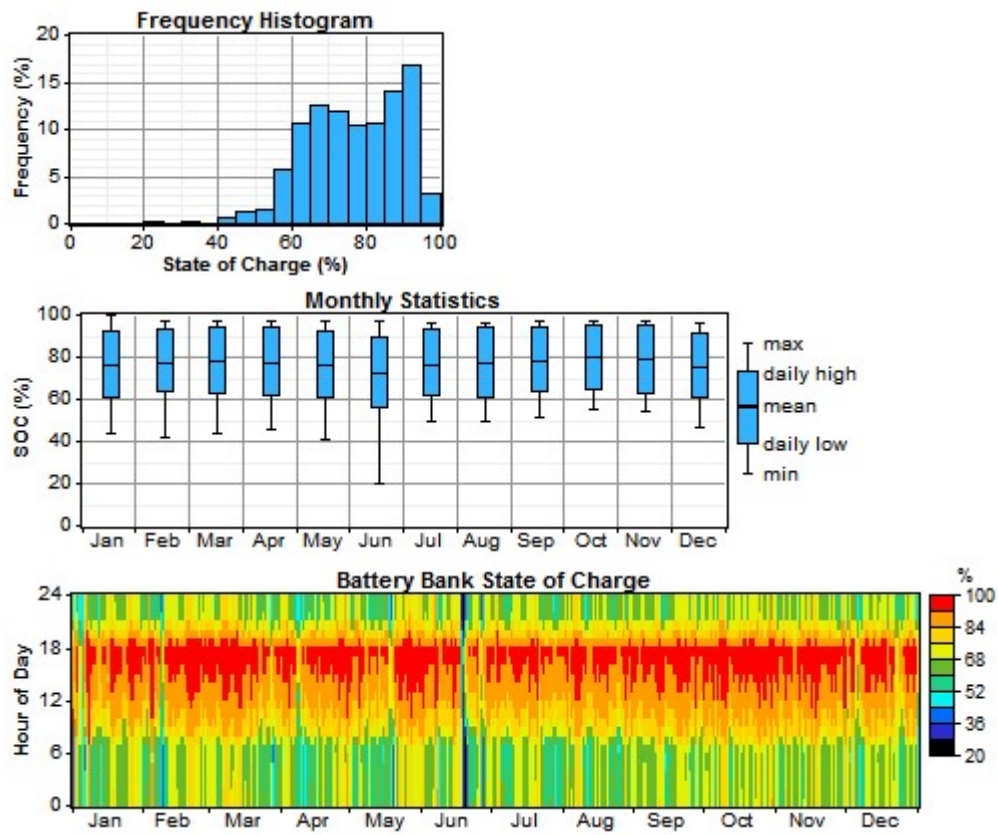
Battery

Quantity	Value
String size	1
Strings in parallel	9
Batteries	9
Bus voltage (V)	2

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	6.30	kWh
Usable nominal capacity	5.04	kWh
Autonomy	27.4	hr
Lifetime throughput	12,690	kWh
Battery wear cost	0.677	\$/kWh
Average energy cost	0.000	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Energy in	1,099	kWh/yr
Energy out	883	kWh/yr
Storage depletion	2.80	kWh/yr
Losses	213	kWh/yr
Annual throughput	987	kWh/yr

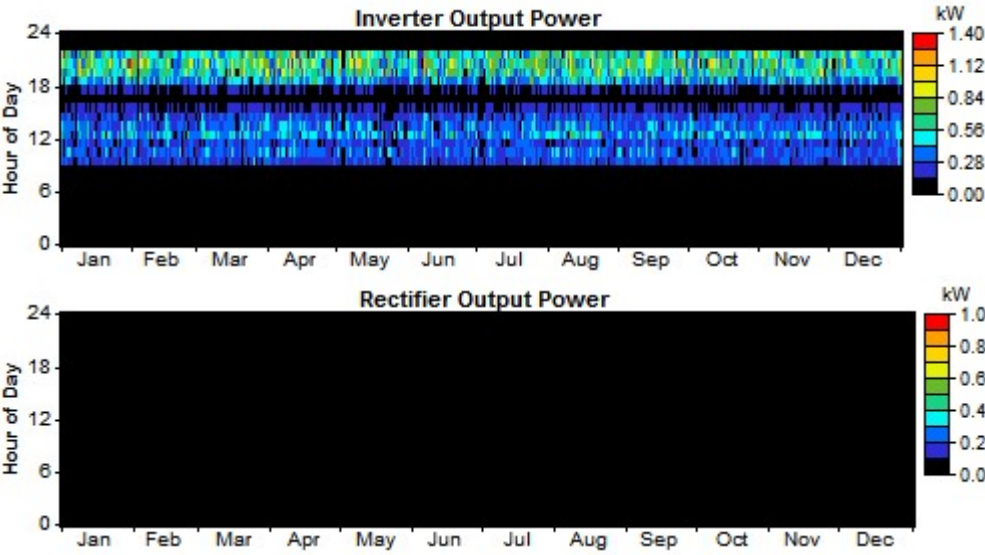
Expected life	10.0	yr
---------------	------	----



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	2.00	2.00	kW
Mean output	0.18	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	1.32	0.00	kW
Capacity factor	9.2	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	8,739	0	hrs/yr
Energy in	1,715	0	kWh/yr
Energy out	1,612	0	kWh/yr
Losses	103	0	kWh/yr



Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	0
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	0
Nitrogen oxides	0

Diesel

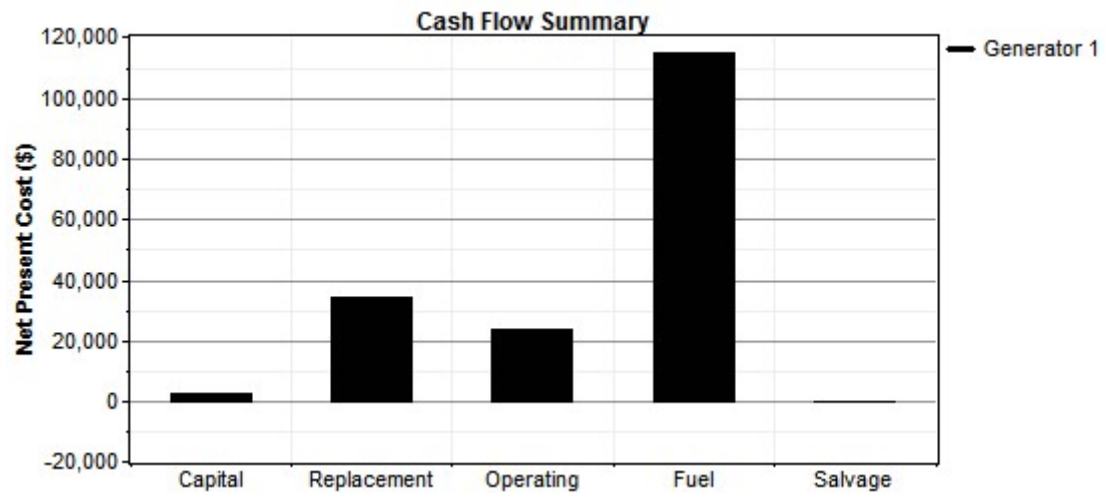
System Report - simulação TCC final.hmr

System architecture

Generator 1	2 kW
-------------	------

Cost summary

Total net present cost	\$ 174,569
Levelized cost of energy	\$ 8.098/kWh
Operating cost	\$ 12,889/yr

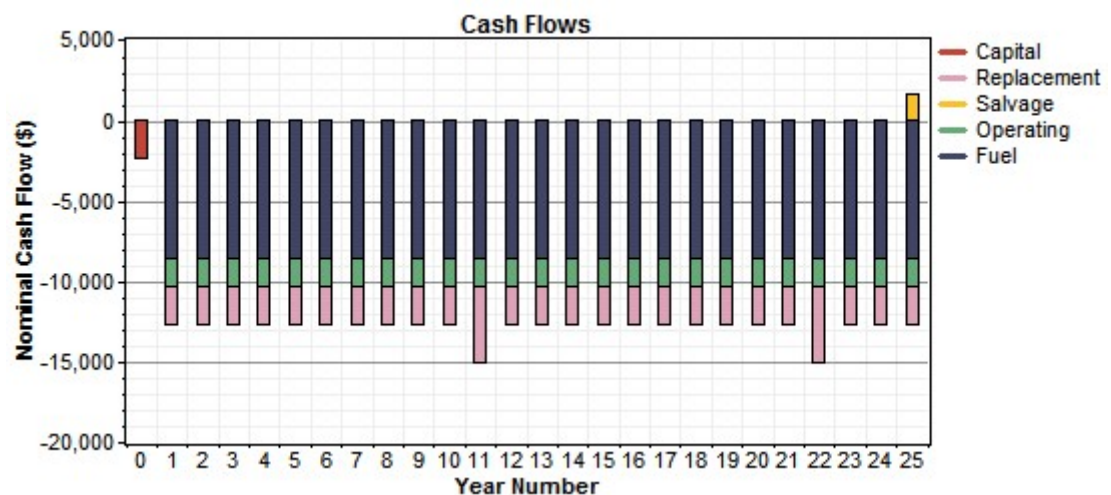


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
Generator 1	2,354	34,259	23,362	115,011	-417	174,569
System	2,354	34,259	23,362	115,011	-417	174,569

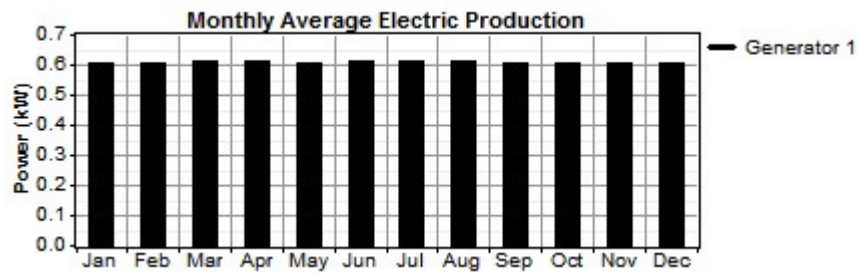
Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
Generator 1	176	2,564	1,748	8,607	-31	13,065
System	176	2,564	1,748	8,607	-31	13,065



Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
Generator 1	5,335	100%
Total	5,335	100%



Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	1,613	100%
Total	1,613	100%

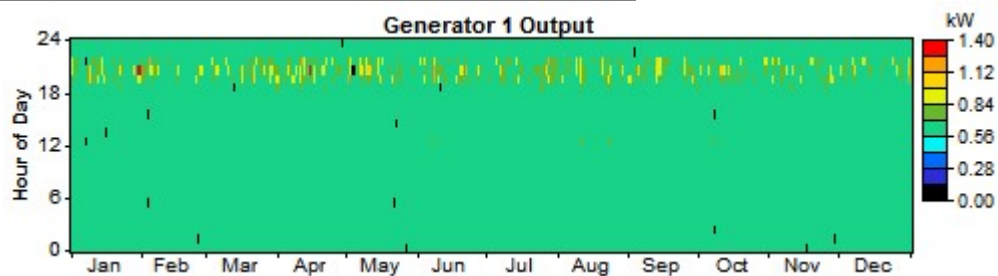
Quantity	Value	Units
Excess electricity	3,721	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.000	

Generator 1

Quantity	Value	Units
Hours of operation	8,742	hr/yr
Number of starts	19	starts/yr
Operational life	0.915	yr
Capacity factor	30.4	%
Fixed generation cost	0.998	\$/hr
Marginal generation cost	0.788	\$/kWhyr

Quantity	Value	Units
Electrical production	5,335	kWh/yr
Mean electrical output	0.610	kW
Min. electrical output	0.600	kW
Max. electrical output	1.32	kW
Quantity	Value	Units

Fuel consumption	2,733	L/yr
Specific fuel consumption	0.512	L/kWh
Fuel energy input	26,888	kWh/yr
Mean electrical efficiency	19.8	%



Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	7,196
Carbon monoxide	17.8
Unburned hydrocarbons	1.97
Particulate matter	1.34
Sulfur dioxide	14.5
Nitrogen oxides	158