

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA**

**CRISTIANE FIGUEIRA BRASIL**

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA E DE EFICIÊNCIA DOS PRINCIPAIS  
TIPOS DE BATERIAS UTILIZADAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
ISOLADOS**

Manaus  
2018

**CRISTIANE FIGUEIRA BRASIL**

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA E DE EFICIÊNCIA DOS PRINCIPAIS  
TIPOS DE BATERIAS UTILIZADAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
ISOLADOS**

Monografia desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia (EST), da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Orientador: Carlos Alberto de Leon Benitez, Dr.

Manaus

2018

**Universidade do Estado do Amazonas – UEA**  
**Escola Superior de Tecnologia - EST**

*Reitor:*

**Cleinaldo de Almeida Costa**

*Vice-Reitor:*

**Cleto Cavalcante de Souza Leal**

*Diretor da Escola Superior de Tecnologia:*

**Roberto Higino Pereira da Silva**

*Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:*

**Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo**

*Banca Avaliadora composta por:*

*Data da defesa: 18/06/2018.*

**Prof. Carlos Alberto de Leon Benitez, Dr. (Orientador)**

**Prof., Luis Benigno Corrales Barrios, Dr.**

**Prof. Ignacio Romero Rueda, Dr.**

## **CIP – Catalogação na Publicação**

Brasil, Cristiane Figueira

Análise técnico-econômica e de eficiência dos principais tipos de baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados / Cristiane Figueira Brasil; [orientado por] Carlos Alberto de Leon Benitez. – Manaus: 2018.

100 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2018.

1. Viabilidade econômica-financeira. 2. Sistemas fotovoltaicos. 3. Fontes alternativas de energia. I. Benitez, Carlos Alberto de Leon.

**CRISTIANE FIGUEIRA BRASIL**

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA E DE EFICIÊNCIA DOS PRINCIPAIS  
TIPOS DE BATERIAS UTILIZADAS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
ISOLADOS**

Monografia desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia (EST), da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Nota obtida: \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ )

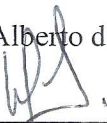
Aprovada em 18/ 06/ 2018

Área de concentração: eficiência energética

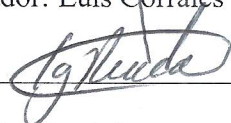
BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_

Orientador: Carlos Alberto de Leon Benitez, Dr.

  
\_\_\_\_\_

Avaliador: Luis Corrales Barrios, Dr.

  
\_\_\_\_\_

Avaliador: Ignacio Romero Rueda, Dr.

Manaus

2018

Dedico este trabalho à minha família pois sem ela eu jamais chegaria onde estou, e ao meu noivo por sempre me apoiar em todas as situações quer sejam boas ou ruins.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela ajuda, proteção, presença constante, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades e por me guiar à conclusão de mais uma preciosa etapa de minha vida; À minha querida mãe Maria Joana, que com muito amor, confiança, dedicação e força me proporcionou a realização desta etapa.

À minha querida irmã Shalaby por todo apoio e incentivo ao longo dos anos. Ao meu noivo Tikara por todo amor, e motivação em todos os momentos e dificuldades. Ao Prof. e orientador Dr. Carlos Alberto de Leon Benitez, o meu sincero agradecimento pela orientação valiosa, antes de tudo, por ter acreditado neste trabalho e ter me ajudado a realizar mais um sonho, que faz parte do meu projeto de vida. A esta universidade, seu corpo docente, direção e coordenação que oportunizaram este horizonte superior que hoje vislumbro.

## RESUMO

O estudo objetivou analisar a viabilidade econômico-financeira e de eficiência dos principais tipos de baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados, aplicados a uma unidade residencial rural, no municípios de Tabatinga, interior do estado do Amazonas. Para tal, realizou-se um pesquisa bibliográfica. Para análise da viabilidade de implementação do projeto, foi utilizado o software PVsyst, versão 6.72. Como os resultados do software não são tão completos foi necessário realizar um estudo econômico-financeiro da utilização de baterias em sistemas fotovoltaicos isolados, foram analisados o Payback descontado, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o retorno sobre o investimento. Os resultados revelaram que o projeto de sistema fotovoltaico isolado é viável para ambos os estudos de casos apresentados. Contudo, evidenciou-se que devido ao curto período de vida das baterias de chumbo-ácido é mais rentável e eficiente a utilização de baterias de Fosfato de Ferro de Lítio, neste tipo de projeto, por apresentarem maior vida útil, baixa toxicidade e menor custo por ciclo de vida.

**Palavras-chave:** Viabilidade econômica-financeira; sistemas fotovoltaicos; fontes alternativas de energia.

## **ABSTRACT**

*The objective of this study was to analyze the economic and financial viability and efficiency of the main types of batteries used in isolated photovoltaic systems, applied to a rural residential unity, in the county of Tabatinga, in the state of Amazonas. For this, a bibliographic research was carried out. For the analysis of the viability of project implementation, the PVsyst software version 6.72 was used. As the results of the software are not so complete it was necessary to perform an economic-financial study of the use of batteries in isolated photovoltaic systems, we analyzed the discounted Payback, net present value, internal rate of return and return on investment. The results revealed that the isolated photovoltaic system design is feasible for both case studies presented. However, it was evidenced that due to the short life of lead-acid batteries, the use of Lithium Iron Phosphate batteries in this type of project is more profitable and efficient, since they have a longer life, lower toxicity and lower cost per life cycle.*

*Keywords: Economic-financial viability; Photovoltaic systems; Alternative energy sources.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Participação de Energias Renováveis na Estimativa de Produção Global de Eletricidade, Fim de 2016.....	20
Figura 2 – Capacidades de Energia Renovável no Mundo, Brasil, Federação Russa, Índia, China e América do Sul (BRICS), União Europeia (União de 28 países UE-28) e Top 6 Países, 2016. Não incluindo a energia hidrelétrica.....	21
Figura 3 – Capacidade Solar Global Fotovoltaica, por País e Região, 2006-2016.....	22
Figura 4 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte no Brasil.....	23
Figura 5 – Os três principais componentes da radiação solar.....	27
Figura 6 – Relações geométricas entre raios solares e a superfície terrestre.....	28
Figura 7 – Outras relações geométricas entre raios solares e solares e a superfície terrestre.....	28
Figura 8 – Representação do efeito fotovoltaico.....	30
Figura 9 – Esquema simplificado de um sistema fotovoltaico isolado.....	31
Figura 10 – Principais materiais utilizados na fabricação de um painel solar.....	32
Figura 11 – Inversor solar fotovoltaico.....	33
Figura 12 – Controlador PWM.....	34
Figura 13 – Controlador MPP.....	34
Figura 14 – Ciclos de vida em função da profundidade de descarga.....	35
Figura 15 – Densidade de energia de diferentes tecnologias de acumuladores.....	36
Figura 16 – Réplica em 1997, de um par de baterias voltaicas do tipo coluna para experiências de eletrólise de água. As baterias são protegidas por uma caixa de vidro. Os discos da coluna são feitos de cobre, zinco e feltro.....	37
Figura 17 – Réplica em 1991, de uma bateria Voltaica do tipo de coroa de copos. É composto por 54 células zinco-cobre.....	38
Figura 18 – a) Pilhas de Daniell, Exposição no Museu Nacional de História Americana, em Washington, DC, EUA b) Esquema da pilha de Daniell ou pilha de zinco-cobre.....	39
Figura 19 – Primeira bateria de Chumbo-ácido recarregável construída por Gaston Planté.....	39
Figura 20 – Bateria de chumbo ácido.....	40
Figura 21 – Bateria chumbo-ácido de eletrólito líquido, automotiva.....	41
Figura 22 – Estrutura de uma Bateria Chumbo-ácido selada eletrólito imobilizado.....	42
Figura 23 – Bateria níquel cádmio.....	43

Figura 24 – Bateria íon-lítio recarregável, mecanismo de carga.....	45
Figura 25 – Bateria íon-lítio recarregável, mecanismo de descarga.....	45
Figura 26 – Menu Ferramentas.....	54
Figura 27 – modelo 3D simulado do SFI em Tabatinga.....	55
Figura 28 – modelo 3D simulado do SFI em Tabatinga.....	55
Figura 29 – Inclinação e orientação do painel fotovoltaico.....	56
Figura 30 – Insolação no local, em Tabatinga.....	57
Figura 31 – Definição das cargas e necessidades diárias do SFI.....	57
Figura 32 – Definição das cargas e necessidades diárias do SFI.....	58
Figura 33 – Definição da bateria chumbo ácido do SFI.....	58
Figura 34 – Grafico do estado de carga e descarga da bateria.....	59
Figura 35 – Seleção módulo solar e controlador de carga.....	59
Figura 36 – Layout típico de um SFI, sem o bloco de inversor.....	60
Figura 37 – Definição dos custos do sistema.....	61
Figura 38 – Balanço de Carbono.....	62
Figura 39 – Emissões detalhadas do ciclo de vida do sistema.....	63
Figura 40 – Definição das cargas e necessidades diárias do SFI.....	66
Figura 41 – Definição da bateria LiFePO <sub>4</sub> do SFI.....	66
Figura 42 – Grafico do estado de carga e descarga da bateria.....	67
Figura 43 – Seleção módulo solar e controlador de carga.....	67
Figura 44 – Layout típico de um SFI, sem o bloco de inversor.....	68
Figura 45 – Definição dos custos do sistema.....	69
Figura 46 – Balanço de Carbono.....	70
Figura 47 – Emissões detalhadas do ciclo de vida do sistema.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo de baterias .....	49
Tabela 2 – Investimento do projeto Caso 1.....	63
Tabela 3 - Fluxo de caixa projetado para um período de 10 anos.....	64
Tabela 4 - Indicadores financeiros de viabilidade.....	65
Tabela 5 – Investimento do projeto Caso 2.....	71
Tabela 6 - Fluxo de caixa projetado para um período de 10 anos.....	72
Tabela 7 - Indicadores financeiros de viabilidade.....	73

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Payback Caso 1, baterias de chumbo-ácido.....	65
Gráfico 2 – Payback Caso 2, baterias LiFePO <sub>4</sub> .....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGM – Material de Vidro Absorvido (em inglês: Absorbed Glass Material)

Ah – Ampére hora

APEC – A Cooperação Econômica Ásia-Pacífico (em inglês: Asia-Pacific Economic Cooperation – APEC) é um fórum de 21 países-membros localizado no Círculo do Pacífico

BRICS – Brasil, Federação Russa, Índia, China e América do Sul

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

c-Si – Silício cristalino

EVA – Etileno Vinil Acetato

FCt – Fluxo de Caixa de cada período t

G20 – Grupo dos Vinte, 19 maiores economias do mundo mais a União Europeia

GWDC – Gigawatt em Corrente contínua (CC ou DC do inglês direct current)

IEA – Agência Internacional de Energia

LED – Diodo Emissor de Luz (em inglês: Light Emitting Diode)

LCE – Emissões do Ciclo de Vida (em inglês: Life Cycle Emissions)

LCOE – Custo nivelado da eletricidade (em inglês: Levelized Cost Of Electricity)

Li-íon – Íon de lítio

LiFePO<sub>4</sub> – Fosfato de Ferro de Lítio

LFP – Fosfato de Ferro de Lítio

Li-MnO<sub>2</sub> – Lítio Dióxido de Manganês

NiCd – níquel-cádmio

PD – Payback Descontado

PV – fotovoltaico

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – taxa mínima de atratividade

TSI – Irradiância Solar Total (em inglês: Total Solar Irradiance)

UA – Unidade Astronômica

UE-28 – União Europeia (União de 28 países)

UPS – unidade de alimentação ininterrupta (em inglês: uninterruptible power supply)

Valor Presente Líquido VPL – Valor Presente Líquido

VRLA – Baterias de chumbo ácido reguladas por válvulas (em inglês: valve-regulated lead-acid battery)

ROI – Retorno sobre Investimento (em inglês: return on investment)

SFI – Sistema Fotovoltaico Isolado

SLI – baterias de ignição de partida (em inglês: Starting-Lightning-Ignition)

SSI – Irradiância Solar Espectral (em inglês: Solar Spectral Irradiance)

Wh/m<sup>2</sup> – Watt-hora por metro quadrado

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1 PANORAMA ENERGÉTICO RENOVÁVEL MUNDIAL E BRASILEIRO.....	19
1.2 JUSTIFICATIVA.....	24
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.3.1 Objetivo geral.....	24
1.3.2 Objetivos específicos.....	24
1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	25
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	25
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
2.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	26
2.1.1 Componentes da Radiação.....	26
2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	29
2.1.1 Sistemas fotovoltaicos isolados.....	30
2.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	31
2.2.1 Módulo solar fotovoltaico.....	31
2.2.2 Inversor.....	32
2.2.3 Controladores de carga fotovoltaicos.....	33
2.2.4 Bateria.....	34
2.3 ESTADO DA ARTE DAS BATERIAS.....	37
2.4 PRINCIPAIS TIPOS DE BATERIAS UTILIZADAS EM SISTEMAS ISOLADOS.....	40
2.4.1 Baterias de chumbo-ácido.....	40
2.4.2 Baterias NiCd cádmio/óxido de níquel (níquel/cádmio).....	42
2.4.3 Baterias de íons de lítio.....	44
2.4.4 Baterias de Fosfato de Ferro de Lítio.....	46
2.5 COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE BATERIAS.....	47
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE BATERIAS.....	50
3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA.....	50
3.3 CARACTERÍSTICAS DO PVSYST.....	53
3.4 SIMULAÇÃO DO PROJETO.....	54
3.4.1 Caso 1 – Sistema com bateria de chumbo ácido.....	57
3.4.1.1 Resultado de simulação Caso 1, sistema com bateria de chumbo ácido.....	61
3.4.1.2 Análise da viabilidade econômica-financeira do projeto – Caso 1.....	63

3.4.2 Caso 2 – Sistema com baterias de fosfato de ferro de lítio (LiFePO <sub>4</sub> ).....	66
3.4.2.1 Resultado de simulação Caso 2, sistema com bateria de Fosfato de Ferro de Lítio.....	69
3.4.2.2 Análise da viabilidade econômica-financeira do projeto – Caso 2 .....	71
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>74</b>
4.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	76
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>93</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por eletricidade e o esgotamento dos combustíveis fósseis são preocupações constantes para a indústria de energia elétrica. Além disso, os altos níveis de poluição devido ao uso de combustíveis baseados no uso de carbono, tornar-se uma grande preocupação, embora esses combustíveis sejam a principal fonte de energia utilizada atualmente. Essa apreensão propôs recorrer ao uso de novas fontes de energia como solução para problemas futuros. Assim, neste contexto, a geração de eletricidade a partir da energia solar, energia eólica e assim por diante, é uma solução viável, uma vez que são fontes renováveis (BRASIL; MELO, 2017).

Um dos maiores desafios do futuro próximo, é obter a quantidade de energia limpa necessária para tentar conter os efeitos do aquecimento global, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e aliviar o impacto econômico da subida dos preços do petróleo. Uma das melhores formas de resolver esta problemática é com a utilização de recursos de energia renovável. Neste aspeto, os sistemas de energia solar fotovoltaica desempenham um papel fundamental na geração de eletricidade (BAYOD-RUJULA; HARO-LARRODE; MARTINEZ-GRACIA, 2013). De fato, verifica-se um dos maiores crescimentos de utilização desta tecnologia para geração de eletricidade na área das energias renováveis e é expectável que essa tendência expansionista se verifique nos próximos anos (ELTAWIL; ZHAO, 2010).

O Brasil é o país que apresenta o maior índice de crescimento no consumo e geração de energia da América do Sul e Central, e também é o que mais cresce no uso de energias renováveis (DALE, 2017). Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2.500 Wh/m<sup>2</sup>), são superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha (900-1250 Wh/m<sup>2</sup>), França (900-1650 Wh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 Wh/m<sup>2</sup>), locais onde projetos de aproveitamentos solares são amplamente disseminados (NASCIMENTO, 2017).

A energia fotovoltaica está se provando continuamente ser eficiente em todo o mundo, a tecnologia conhecida tem tido uma tremenda evolução, juntamente com uma enorme queda de preços, tornando-se desta forma cada vez mais acessível. A evolução da energia fotovoltaica pode ser atribuída ao desenvolvimento das diferentes partes individuais de um sistema solar autônomo e expansão de sistemas ligados rede. O constante interesse no aumento da energia renovável e de armazenamento, tem sido cada vez mais impactante na produção e estoque de energia elétrica. A produção deste tipo de energia procura reduzir ao máximo as emissões de

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), podendo representar um total de cerca de 80%. Teoricamente, as energias renováveis poderão contribuir com uma redução das emissões dos recursos fósseis em 21% até ao ano de 2050 (INAGE, 2009).

No entanto, o armazenamento de energia permanece em grande parte com base nas baterias de chumbo-ácido e não conheceram muitas mudanças nas últimas décadas. O preço dos painéis solares diminuiu consideravelmente, mesmo se a tecnologia ainda em geral é feita baseada em painéis com células solares mono ou policristalinas. O preço dos painéis continua decrescente continuamente, conforme descrito por Robert (STEELE, 2007), o mesmo acontece para controladores de carga e inversores em geral.

O ponto fraco continua a ser a bateria de chumbo-ácido, principalmente por causa de sua vida útil mais curta, especialmente em comparação com os outros componentes de um sistema isolado. A tecnologia da bateria sofreu uma grande evolução, mas a indústria fotovoltaica ainda usa em grande parte, baterias de chumbo ácido por razões de custo inicial e reciclagem controlada. Historicamente, as baterias de chumbo ácido reguladas por válvulas (VRLA) tiveram alguns traços técnicos melhorados, além de seu custo extremamente baixo, que as manteve na liderança do mercado geral de baterias. Em um sistema fotovoltaicos (PV) autônomo, a vida útil do painel solar é mais do que 25 anos, e pelo menos 50.000h para o LED (Light Emitting Diode), que equivale cerca de 15 anos. A fim de melhorar a longevidade desse sistema, a vida útil da bateria deve subir do nível baixo para corresponder ao das lâmpadas LED atingindo o objetivo de 15 anos, cerca de 5000 ciclos com 80% profundidade de descarga (PODE; DIOUF, 2011). O íon de lítio (Li-íon) é um recém-chegado na tecnologia das baterias (DAHAN et al., 2005). Os mercados de baterias Li-íon e VRLA devem crescer ao longo dos próximos anos, mas as de Li-íon certamente devem ultrapassar as VRLA em algumas áreas, como massa, vida útil ou densidade de potência. Baterias à base de lítio com suas características técnicas tem o potencial de revolucionar a indústria fotovoltaica (PV) e as energias renováveis em geral, pois fornecem recursos acessíveis para sistemas comuns. O atual mercado fotovoltaico não é lucrativo o suficiente para aumentar a capacidade de uma nova tecnologia de bateria de outra forma. O desenvolvimento de indústrias paralelas como o setor elétrico automotivo (DAHAN et al., 2005; THACKERAY; WOLVERTON; ISAACS, 2012), a bicicleta elétrica, especialmente na China (WEINERT; BURKE; WEI, 2007), a indústria eletrônica de consumo e outras aplicações como militares e médicas, criará um efeito explosivo e aberto para novas oportunidades afim de reduzir o custo das baterias de lítio recarregável e torná-las candidatas ideais para armazenamento comum em energia renovável isolada. Na verdade, para este tipo de aplicação de armazenamento estacionário, as baterias de íons de lítio podem

apresentar duas características fundamentais: vida útil mais longa e menor custo por ciclo de vida. O custo por ciclo pode ser menor para as baterias de íons de lítio em comparação com baterias de chumbo-ácido quando consideradas suas expectativas de vida. Então, mesmo com o estado atual do desenvolvimento, para uma visão de longo prazo, pode ser mais aconselhável investir em baterias de Li- íon em vez de ácido-chumbo, mesmo que o custo inicial seja maior.

Nos países em desenvolvimento, onde as baterias são mais utilizadas porque geralmente os sistemas fotovoltaicos estão fora da rede, elas são menos acessíveis devido às receitas das populações (DIOUF; PODE; OSEI, 2013). Isso é uma importante limitação do que deveria ser um grande mercado para o armazenamento em baterias de Li-íon e é um fator limitante na introdução em massa de baterias de Li-íon em sistemas de armazenamento. O preço inicial continua a ser um parâmetro importante na escolha da bateria em um sistema autônomo. No momento, o mercado de veículos elétricos parece ser a força motriz mais forte para o desenvolvimento de baterias de Li-íon, que serão capazes de trazer mudanças nas energias renováveis. Para alcançar a popularização de baterias Li-íon, é necessário torná-las mais seguras e competitivas (WEN; YU; CHEN, 2012). As instituições e indústrias acadêmicas estão atualmente desenvolvendo materiais inovadores e design para alcançar esse objetivo (ARMAND; TARASCON, 2008).

## 1.1 PANORAMA ENERGÉTICO RENOVÁVEL MUNDIAL E BRASILEIRO

O ano de 2016 viu reduções dramáticas de preços de várias tecnologias em energias renováveis (especialmente solar fotovoltaica e eólica), e aumento contínuo na atenção ao armazenamento de energia. A demanda mundial de energia primária cresceu em média anual cerca de 1,8% desde 2011, embora o ritmo de crescimento tenha desacelerado nos últimos anos, com grandes variações por país. O crescimento na demanda de energia primária ocorreu em grande parte em países subdesenvolvidos, enquanto nos países desenvolvidos diminuiu ou declinou (SAWIN et al., 2017).

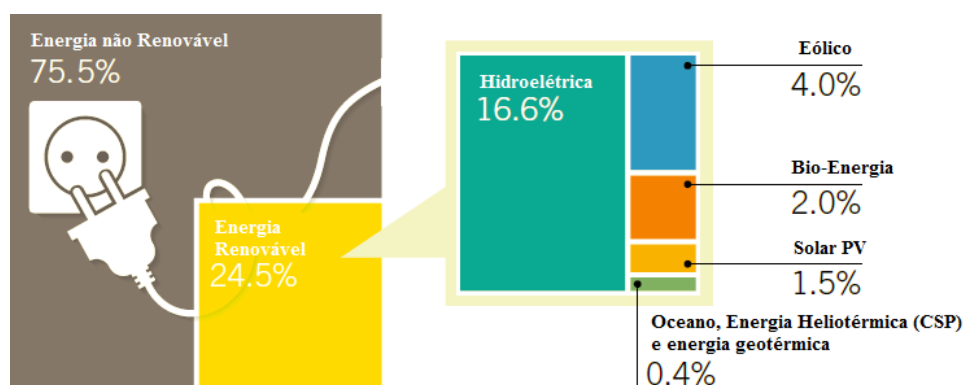
Pelo terceiro ano consecutivo, o relatório de energia global relacionado as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes de combustíveis fósseis e da indústria foram um pouco achatados em relação ao ano de 2016, subindo apenas cerca de 0,2%, continuando a quebrar longe da tendência de crescimento médio de 2,2% durante a década anterior. Essa desaceleração do crescimento das emissões foi devida ao declínio do uso de carvão em todo o mundo, mas também para melhorias na eficiência energética e aumento na geração de energia a partir de fontes renováveis. Globalmente, a produção de carvão diminuiu pelo segundo ano consecutivo.

Em 2016, outros países comprometeram-se a reduzir ou eliminar o carvão para geração de eletricidade (por exemplo, Canadá, Finlândia, França, Holanda, EUA e estado de Oregon) ou não financiar mais o uso do carvão. (SAWIN et al., 2017).

Apesar do declínio geral na produção de carvão, o custo global relativamente baixo dos preços do petróleo e gás natural durante a maior parte do ano, continuaram a desafiar os mercados de energia renovável, especialmente no aquecimento e subsídios aos combustíveis fósseis, que permaneceram significativamente superior aos subsídios para as energias renováveis, afetando o crescimento das energias renováveis. Contudo, compromissos de eliminar os subsídios aos combustíveis fósseis, como o compromisso do Grupo dos Vinte (G20), e da Ásia-Pacífico, Cooperação Econômica (APEC), até o final de 2016 mais de 50 países haviam se comprometido a eliminar os subsídios aos combustíveis fósseis. Reformas de subsídios foram instituídas durante 2016 em Angola, Brasil, República Dominicana, Egito, Gabão, Índia, Irã, Kuwait, Nigéria, Qatar, Arábia Saudita, Serra Leoa, Sudão, Tailândia, Trinidad e Tobago, Tunísia, Ucrânia, Venezuela e Zâmbia (SAWIN et al., 2017).

O mundo agora adiciona mais capacidade de energia renovável anualmente, acrescenta capacidade (líquida) de todos os combustíveis fósseis combinados. Em 2016, as energias renováveis representavam cerca de 62% das adições à capacidade de geração de energia global, representavam quotas muito mais elevadas de capacidade acrescentada em vários países no mundo. Até o final do ano, as energias renováveis chegaram a 30% da capacidade de geração de energia do mundo, o suficiente para fornecer cerca de 24,5% da eletricidade global, com energia hidrelétrica fornecendo cerca de 16,6% conforme mostrado na Figura 1 (SAWIN et al., 2017).

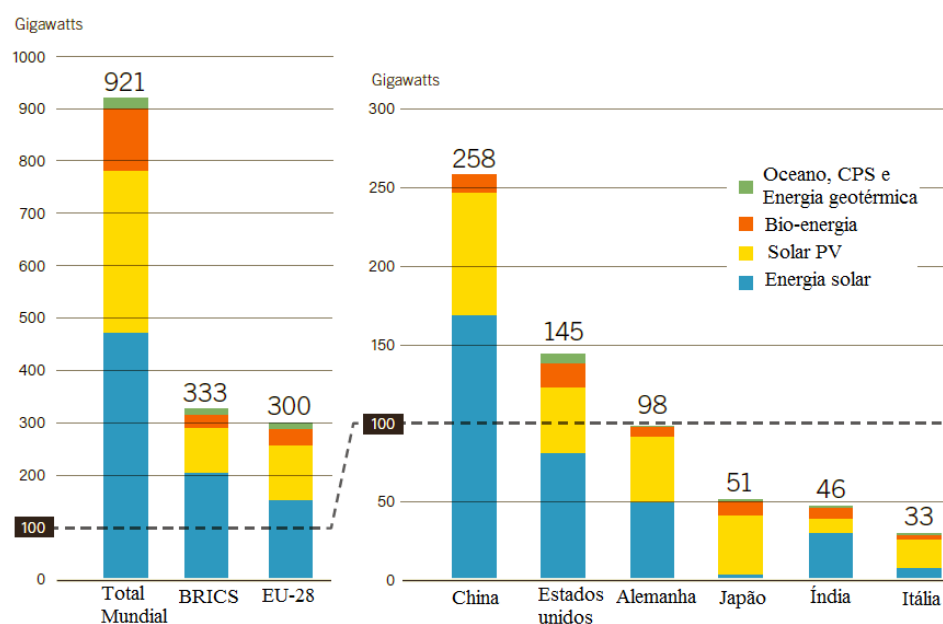
Figura 1 – Participação de Energias Renováveis na Estimativa de Produção Global de Eletricidade, Fim de 2016



Fonte: (SAWIN et al., 2017, tradução nossa).

Até o final de 2016, os principais países com maior capacidade de energia hidroelétrica instalada, continuou a ser a China, os Estados Unidos, Brasil, Alemanha e Canadá. A China estava na casa de mais de um quarto da capacidade de energia renovável do mundo - totalizando aproximadamente 564 GW, incluindo cerca de 305 GW de energia hidroelétrica. Considerando apenas a capacidade não-hídrica, os principais países são China, Estados Unidos e Alemanha; eles foram seguidos por Japão, Índia, Itália, pela Espanha e pelo Reino Unido (com quantidades aproximadamente iguais de capacidade até o final do ano), Figura 2. Os principais países do mundo para capacidade de energia renovável não-hídrica por habitante foram: Islândia, Dinamarca, Suécia e Alemanha (SAWIN et al., 2017).

Figura 2 – Capacidades de Energia Renovável no Mundo, Brasil, Federação Russa, Índia, China e América do Sul (BRICS), União Europeia (União de 28 países UE-28) e Top 6 Países, 2016. Não incluindo a energia hidrelétrica

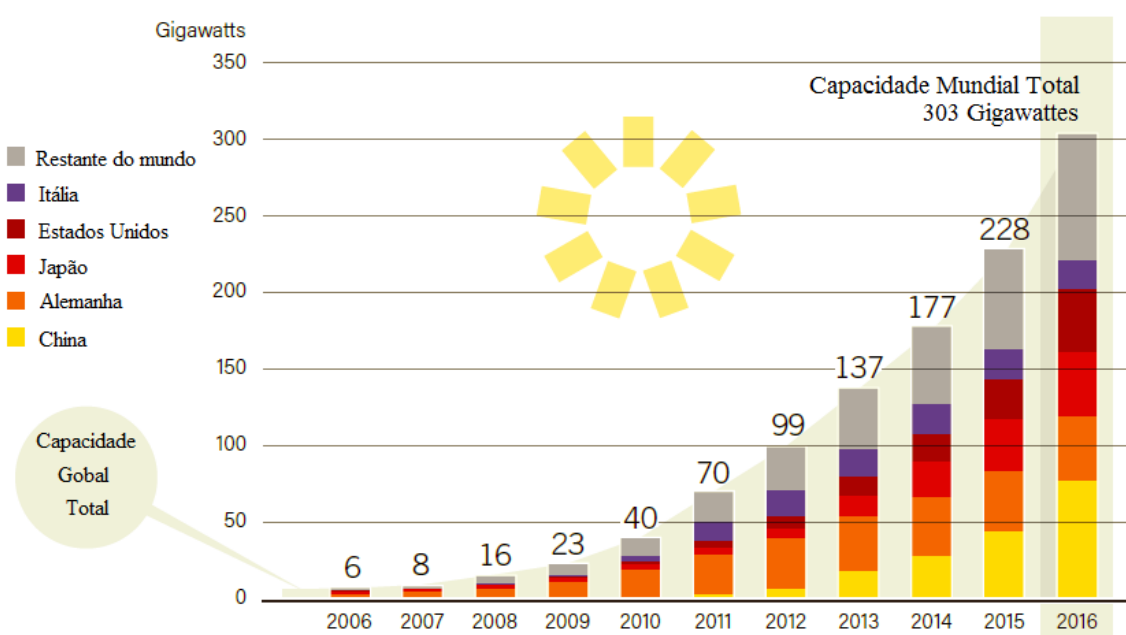


Fonte: (SAWIN et al., 2017, tradução nossa).

Durante 2016, foram adicionados pelo menos 75 GWDC de capacidade solar fotovoltaica em todo o mundo, equivalente à instalação de mais de 31.000 painéis solares a cada hora. Mais capacidade solar fotovoltaica foi instalada em 2016 (até 48% em relação a 2015), do que a capacidade mundial acumulada em cinco anos anteriores. Até o final do ano, a capacidade global de energia solar fotovoltaica totalizava pelo menos 303 GW, conforme vemos na Figura 3. Pelo quarto ano consecutivo, a Ásia eclipsou todos os outros mercados,

responsável por cerca de dois terços das adições globais. Cinco mercados: China, Estados Unidos, Japão, Índia e Estados Unidos Reino, foram responsáveis por cerca de 85% das adições. Outros top 10 para adições foram Alemanha, República da Coreia, Austrália, Filipinas e Chile. Para capacidade cumulativa, os principais países foram a China, o Japão (que passou a Alemanha) e os Estados Unidos, com a Itália um quinto distante Figura 3. A China continuou a dominar tanto o uso quanto a fabricação de energia solar fotovoltaica, mercados emergentes em todos os continentes começaram a contribuir significativamente para o crescimento global. No final de 2016, o continente tinha instalado pelo menos 1 GW, pelo menos 24 países tinham 1 GW ou mais de capacidade, e pelo menos 114 países tinham mais de 10 MW. Os líderes para capacidade de PV solar por habitante são Alemanha, Japão, Itália, Bélgica e Austrália (SAWIN et al., 2017).

Figura 3 – Capacidade Solar Global Fotovoltaica, por País e Região, 2006-2016



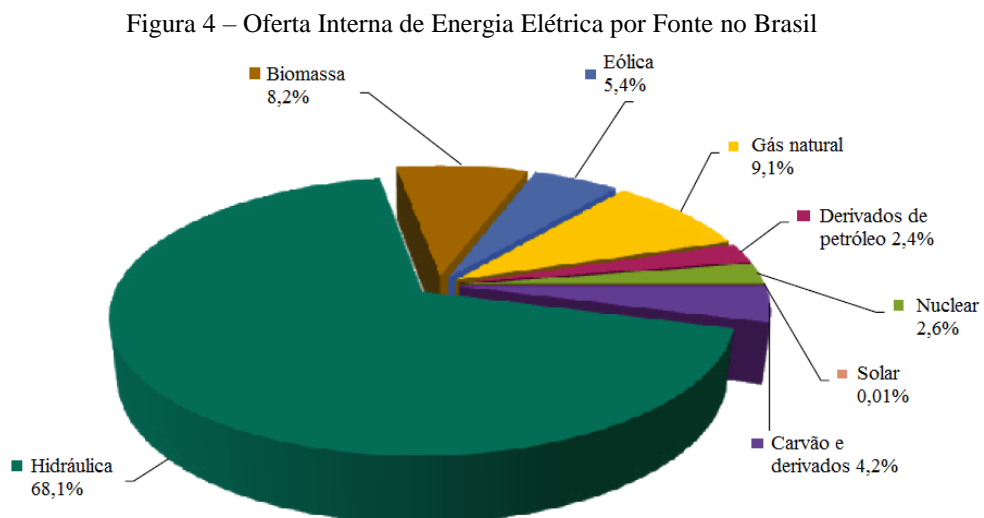
Fonte: (SAWIN et al., 2017, tradução nossa).

O crescente aumento de utilização da energia solar fotovoltaica deve-se às contínuas melhorias no desenvolvimento da tecnologia (a nível de manufatura, redução de custos dos sistemas e dos módulos PV) e estima-se que o custo de utilização e operação dos sistemas PV baixem 5% até 2025, comparativamente a 2015. Esta diminuição de custos reflete-se nas tendências do custo de energia – LCOE (Levelized Cost Of Eletricity), que caiu 58% em apenas

cinco anos, entre 2010 e 2015, e é expetável que esta tendência de redução continue. Em 2015, o valor médio do LCOE para o PV era de 0.13 Dólares Americanos (USD) por kWh e estima-se que esse valor baixe para 0,055 USD/kWh em 2025, uma redução de quase 60%. Note-se que em 2015 e 2016 verificaram-se estimativas de preços recorde do LCOE para projetos a ter início em 2017/2018, por exemplo de 0,048 USD/kWh no Peru e 0,045 USD/kWh no México. Existem outras estimativas que se encontram em linha com a tendência anterior. Por exemplo, é expetável que o custo energético se encontre entre os 0,03 USD/kWh e os 0,06 USD/kWh em 2026 (IRENA, 2016).

No Brasil, os primeiros sistemas fotovoltaicos foram os autônomos, esses sistemas foram instalados em locais onde não se tinha acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica. E, foi graças a esses sistemas que locais remotos puderem ter acesso à energia elétrica. Apesar de a energia solar possuir uma variabilidade de geração em razão da sua dependência com as condições meteorológicas locais, os índices de radiação incidentes no Brasil favorecem a utilização desse tipo de energia (RÚTHER et al., 2017).

Em 2016, a micro e mini geração distribuída brasileiras, atingiram 104,1 GWh com uma potência instalada de 72,4 MW, com destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 53,6 GWh e 56,9 MW de geração e potência instalada respectivamente. A matriz energética brasileira é de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 68,1% da oferta interna. As fontes renováveis representam 81,7% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional, mais as importações, que são essencialmente de origem renovável, conforme vemos na Figura 4 (ENERGÉTICA, 2017).



Fonte: (DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A motivação do presente trabalho é a criação de um projeto de produção de eletricidade que seja autossuficiente, se mostre mais eficiente e capaz de suprir as necessidades energéticas de uma unidade residencial isolada, do município de Tabatinga, interior do Estado do Amazonas. Pretende-se também, que o projeto se mostre economicamente viável e seja rentável do ponto de vista energético e econômico.

Na Amazônia rural brasileira, mais de dois milhões de pessoas não têm acesso à energia elétrica, as longas distâncias, os obstáculos naturais, as dificuldades de acesso, a baixa densidade populacional, dificultam o atendimento de grande parte da população pelo sistema convencional de distribuição, o atendimento alternativo é a iluminação noturna realizada por lamparinas alimentadas com óleo diesel, que apresenta custos elevados e dificuldades associadas à operação e manutenção com respeito à logística de distribuição do combustível (LASCIO; BARRETO, 2009).

Na presente monografia, propõe-se a realização de um estudo técnico-econômico e de eficiência de dois cenários de sistemas fotovoltaicos isolados, com os dois principais tipos de baterias difundidas comercialmente no mundo, um com as tradicionais baterias de chumbo-ácido e outro com baterias de Fosfato de Ferro de Lítio ( $\text{LiFePO}_4$ ), afim de demonstrar qual tipo de bateria apresenta melhor viabilidade de armazenamento para a região estudada.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnico-econômica e de eficiência de acumuladores de energia, em um projeto de um sistema fotovoltaicos isolado (SFI), no telhado de uma residência localizada no município de Tabatinga, que está localizado no meio da selva amazônica, à margem esquerda do Rio Solimões, faz fronteira com a Colômbia e o Peru. (PORTAL TABATINGA, 2018).

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Descrever os principais elementos que compõem um sistema fotovoltaico isolado;
- Permitir o armazenamento de energia na forma mais viável economicamente para a unidade residencial de Tabatinga;

- Utilizar o software PVsyst para auxiliar no dimensionamento do projeto e na análise técnico-econômica;
- Estimar a quantidade de energia que poderá ser produzida e utilizada pelo novo sistema;
- Realizar análise econômica pelos principais critérios de análise econômica;
- Estimar qual o tipo de sistema é mais viável a ser instalado.

#### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa será do tipo exploratória, sendo a análise documental o principal instrumento para a coleta de dados, que poderá ser através da consulta a livros, artigos técnicos, sites e revistas especializadas, datasheets e manuais de fabricantes, terminando numa ampla revisão da literatura disponível.

A seção de procedimentos metodológicos irá apresentar cenários de sistemas fotovoltaicos isolados e indicará o mais viável economicamente através dos principais critérios de análise econômica.

#### 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A presente monografia, além da introdução, na qual foi realizada uma revisão da matriz energética mundial e brasileira, é constituída por mais quatro capítulos.

No segundo capítulo, são apresentados fundamentos teóricos relacionados com o recurso solar e componentes do sistema fotovoltaico isolado.

No terceiro capítulo, explicita-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento dos cenários de sistemas fotovoltaicos isolados, incluindo o desenvolvimento de projetos com o software PVsyst, que permite o dimensionamento, análise de viabilidade técnica-econômica, são realizados cálculos do retorno econômico de cada um dos cenários estudados no software através dos principais critérios de análise econômica. Também são realizadas análises dos resultados obtidos, clarificando as suas características relevantes.

No quarto capítulo, são apresentadas as principais conclusões relativas ao trabalho desenvolvido, bem como define-se qual das propostas fornece o melhor retorno econômico para o usuário e as perspectivas de desenvolvimentos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é o fluxo de energia emitida pelo Sol, sendo transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. Durante muitos anos foi considerada uma constante em torno de  $1.365 \text{ Wm}^{-2}$ . No entanto, observações contínuas desde o final da década de 70 demonstraram variação em escalas de tempo de minutos até décadas. As medidas de radiação são denominadas como Irradiância Solar Total (TSI - *Total Solar Irradiance*) e Irradiância Solar Espectral (SSI - *Solar Spectral Irradiance*). A Irradiância Solar Total é definida como a potência total da energia proveniente do Sol por unidade de área a 1 UA (distância entre o Sol e a Terra conhecida como Unidade Astronômica). As medidas podem ser realizadas em função do comprimento de onda [ $\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ ] e integradas para determinar a TSI (GÓMEZ, 2018).

Quando se estuda o sistema solar fotovoltaico fica evidente que se deve entender a radiação solar, ou seja, o sistema e a eficiência dependem de quanto irradia no local. O sol é a fonte luminosa cujo perfil pode ser comparado a um corpo negro perto dos 6000 K (kelvin). Tal fonte absorve e emite radiação eletromagnética em todos os comprimentos de onda (VILALVA, 2014).

#### 2.1.1 Componentes da Radiação

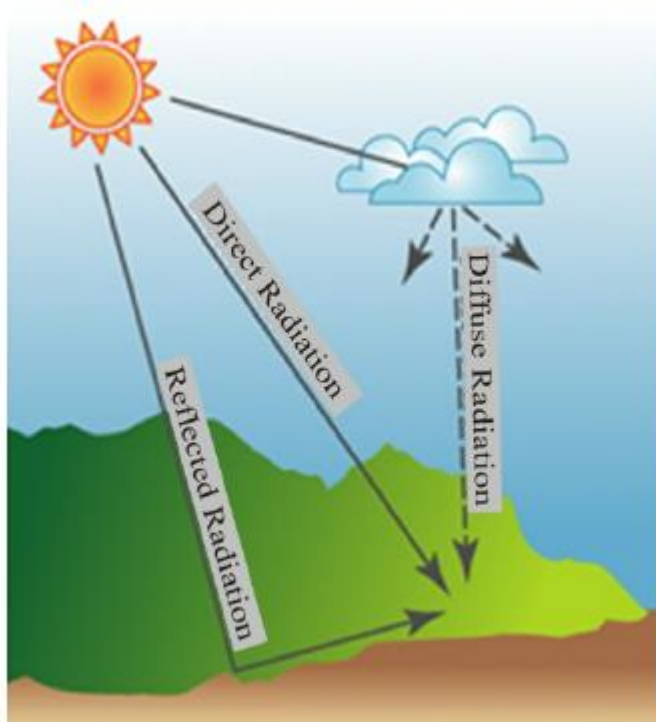
A radiação solar pode ser dividida em três principais componentes, ao incidir sobre um receptor qualquer (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011):

- Radiação Direta: representa todos os raios solares que são recebidos pelo receptor quando em linha reta com sol, ou seja, a que incide diretamente na superfície;
- Radiação Difusa: diz respeito à luz solar recebida de forma indireta, ou seja, que é proveniente da difração nas nuvens, nevoeiro, poeiras suspensas na atmosfera, assim como de outros obstáculos atmosféricos;
- Radiação Refletida no Albedo: refere-se à radiação que é proveniente do solo e com origem na reflexão da radiação incidente em nuvens e na superfície terrestre. O termo albedo traduz-se como a razão entre a radiação refletida e a incidente.

Podemos ver as componentes referidas na Figura 5. Além destas componentes, define-se a radiação de duas formas:

- Radiação global, a soma entre as radiações direta e difusa.
- Radiação total, que engloba a radiação total e a refletida no albedo.

Figura 5 – Os três principais componentes da radiação solar



Fonte: (CHALKIAS; FAKA; KALOGEROPOULOS, 2013).

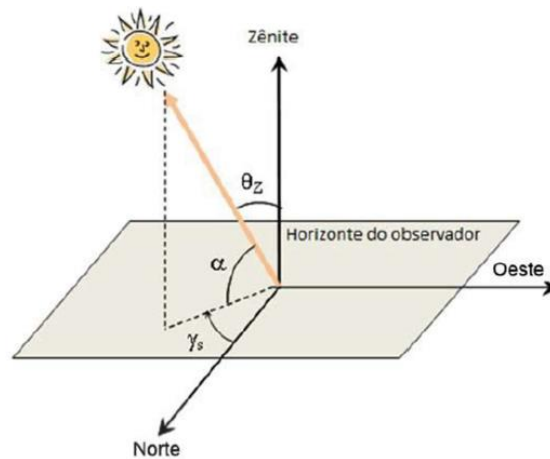
De acordo com CEPEL – CRESESB (2014), as relações geométricas entre os raios solares, que variam de acordo com o movimento aparente do Sol e a superfície terrestre, são descritas através de vários ângulos, os quais estão apresentados na Figura 6 e Figura 7 e definidos a seguir:

- Ângulo Zenital ( $\theta_z$ ): ângulo formado entre os raios do Sol e a vertical local (Zênite);
- Altura ou Elevação Solar ( $\alpha$ ): ângulo compreendido entre os raios do Sol e a projeção dos mesmos sobre o plano horizontal (horizonte do observador);
- Ângulo Azimutal do Sol ( $\gamma_s$ ): também chamado azimute solar, é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul (horizonte do observador). O deslocamento angular é tomado a partir do Norte ( $0^\circ$ ) geográfico, sendo, por convenção, positivo quando a projeção se encontrar à direita do Sul (a Leste) e negativo quando se encontrar à esquerda (a Oeste), Equação 1;

$$-180^\circ \leq \gamma_s \leq +180^\circ \quad \text{Eq. (1)}$$

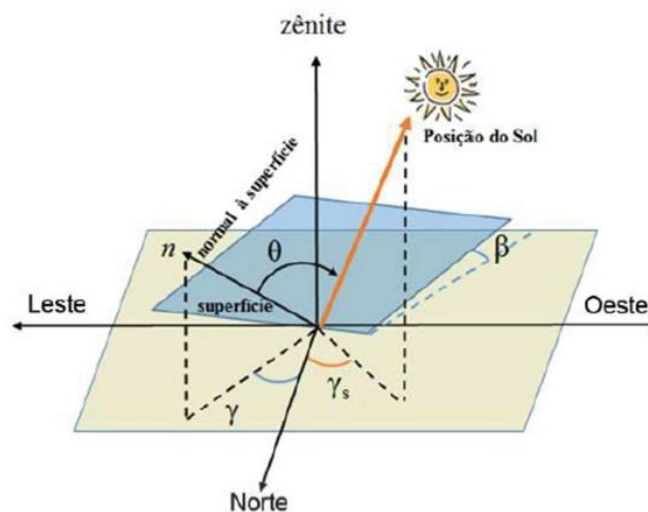
- Ângulo Azimutal da Superfície ( $\gamma$ ): ângulo entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul. Obedece às mesmas convenções do azimute solar;
- Inclinação da superfície de captação ( $\beta$ ): ângulo entre o plano da superfície em questão e o plano horizontal [ $0^\circ$   $90^\circ$ ];
- Ângulo de incidência ( $\theta$ ): ângulo formado entre os raios do Sol e a normal à superfície de captação.

Figura 6 – Relações geométricas entre raios solares e a superfície terrestre



Fonte: (DE ENERGIA SOLAR, 2014).

Figura 7 – Outras relações geométricas entre raios solares e solares e a superfície terrestre



Fonte: (DE ENERGIA SOLAR, 2014).

## 2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

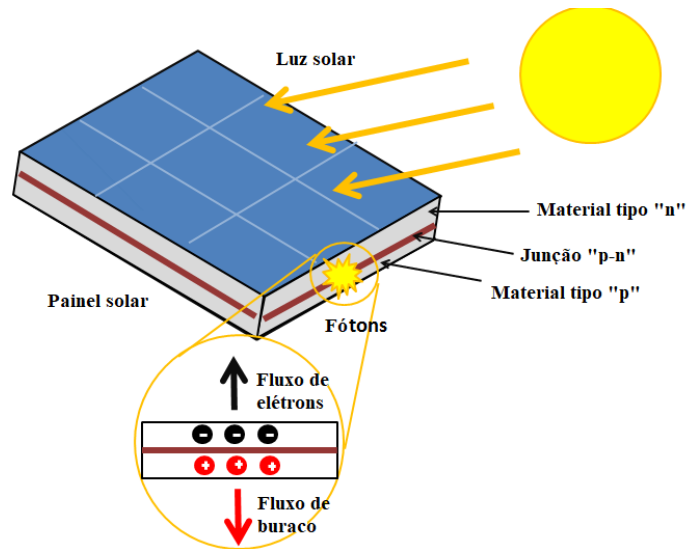
O efeito fotovoltaico foi descoberto por Edmond Becquerel em 1839 (TAVARES; GAUDINO, 2014), o mesmo ocorre nas células solares. Essas células solares são compostas de dois tipos diferentes de semicondutores, um tipo p e um tipo n, que são unidos para criar uma junção p-n. Ao unir esses dois tipos de semicondutores, um campo elétrico é formado na região da junção à medida que os elétrons se movem para o lado positivo e os buracos se movem para o lado negativo. Este campo faz com que as partículas carregadas negativamente se movam em uma direção e as partículas carregadas positivamente na outra direção (GODFREY, 2004).

Quando a luz de um comprimento de onda adequada incide sobre as células fotovoltaicas, a energia do fóton é transferida para um átomo do material semicondutor na junção p-n. Especificamente, a energia é transferida para os elétrons no material. Isso faz com que os elétrons saltem para um estado de energia mais alto, conhecido como banda de condução. Isso deixa para trás um "buraco" na banda de valência da qual o elétron saltou. Este movimento do elétron como resultado da energia adicionada cria dois portadores de carga, um par de elétron-buraco (BOYLE, et al., 1996).

Quando não são excitados, os elétrons mantêm o material semicondutor unido formando ligações com os átomos ao redor, e assim eles não podem se mover. No entanto, em seu estado excitado na banda de condução, esses elétrons estão livres para se mover através do material. Por causa do campo elétrico que existe como resultado da junção p-n, elétrons e buracos se movem na direção oposta. Em vez de ser atraído para o lado-p, o elétron liberado tende a se mover para o lado-n. Esse movimento do elétron cria uma corrente elétrica na célula. Uma vez que o elétron se move, há um "buraco" que resta. Este buraco também pode se mover, mas na direção oposta ao lado p. É esse processo que cria uma corrente na célula. Um diagrama desse processo pode ser visto na Figura 8 (BOYLE, et al., 1996).

Dentre os materiais mais adequados para a conversão de radiação solar em energia elétrica, destaca-se o silício, principal matéria prima de uma célula solar fotovoltaica, que representa o menor elemento do sistema fotovoltaico e sua eficiência de conversão é medida pela proporção de radiação solar incidente sobre a sua superfície que é convertida em energia elétrica (SILVA, 2014).

Figura 8 – Representação do efeito fotovoltaico



Fonte: ([http://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic\\_effect](http://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect), 2018, tradução nossa).

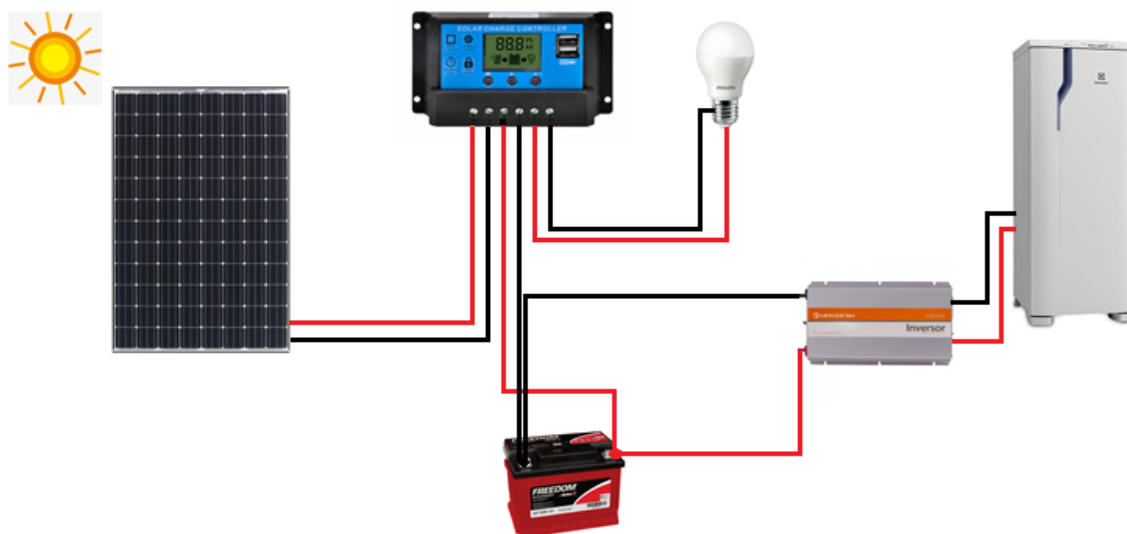
Um conjunto de células forma um módulo fotovoltaico. Os módulos podem ser ligados em série, formando uma string, e um conjunto de strings ligadas em paralelo formam um arranjo. Tais ligações entre células, módulos e strings podem ser conectadas em série e/ou paralelo para se obter o nível de tensão e corrente requerido por cada sistema. Posteriormente, um inversor converte a corrente contínua em corrente alternada para disponibilizar o consumo da energia que está sendo gerada (TAVARES; GAUDINO, 2014).

### 2.1.1 Sistemas fotovoltaicos isolados

Os sistemas fotovoltaicos isolados costumam ser instalados em regiões onde não se tem disponibilidade de fornecimento de energia elétrica através das concessionárias ou quando se deseja mantê-lo isolado de outros sistemas energéticos (BENEDITO, 2009; SILVA, 2014).

Um sistema fotovoltaico autônomo, é representado na Figura 9, é composto basicamente por um módulo fotovoltaico, um inversor, um controlador de carga e uma bateria. Para que a energia elétrica produzida durante os horários de alta incidência solar seja armazenada, utilizam-se os acumuladores; estes permitem utilizar a energia armazenada nos horários em que a radiação solar não esteja disponível. Já os controladores de carga, têm a função de manter a bateria no sistema saudável, evitando que seja sobrecarregada, ou descarregada profundamente, a fim de garantir que toda a energia gerada pelo sistema seja armazenada com maior eficácia na bateria (LOPEZ, 2002; SILVA, 2013).

Figura 9 – Esquema simplificado de um sistema fotovoltaico isolado



Fonte: (própria autora, 2018).

## 2.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

A seguir serão brevemente apresentados os componentes do sistema fotovoltaico citado anteriormente.

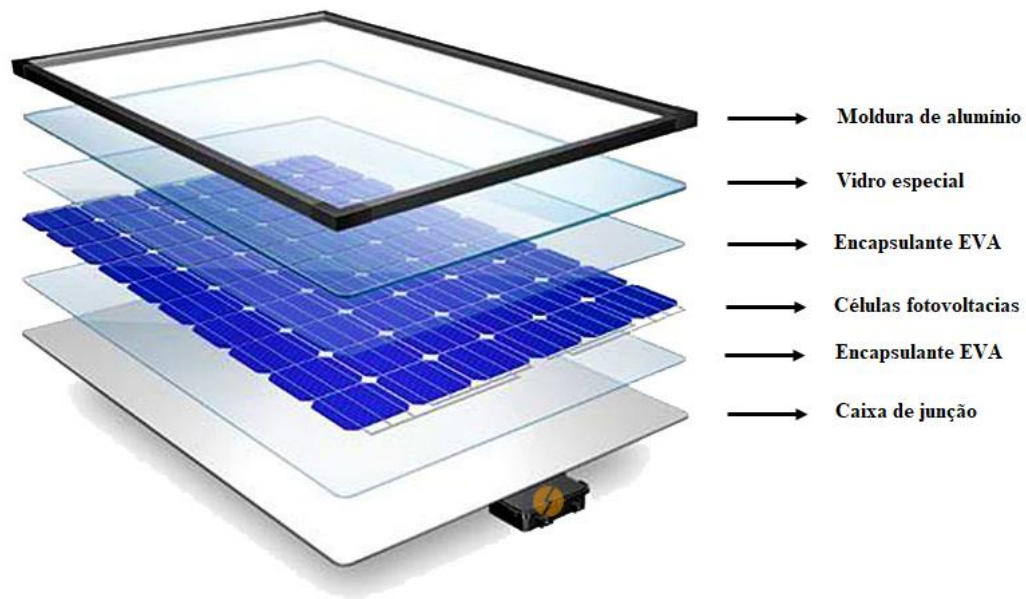
### 2.2.1 Módulo solar fotovoltaico

O módulo solar fotovoltaico é a base do sistema gerador. Formado pelo conjunto de células, feitas de material semicondutor, sendo o silício a principal matéria prima para este fim, são capazes de converter diretamente uma parte do espectro da radiação solar em corrente elétrica. (SILVEIRA, 2013; RÜTHER, 2004).

A quantidade de módulos conectados em série, formando strings, irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua (CC). Conectando as strings em paralelo, a corrente do gerador solar é definida. A potência instalada é obtida através da soma da potência nominal de cada módulo (RÜTHER, 2004).

Os módulos mais comuns são formados por células de silício cristalino (c-Si), conectadas em série, recobertas com encapsulante de etileno vinil acetato (EVA) e vidro temperado de alta transmitância e alta resistência a impactos. Para garantir a proteção do módulo, ao manuseá-lo, o conjunto pode ser protegido por uma estrutura metálica a fim de garantir sua rigidez (BENEDITO, 2009). A Figura 10 mostra a ilustração dos materiais utilizados na fabricação de um painel solar.

Figura 10 – Principais materiais utilizados na fabricação de um painel solar



Fonte: (<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>, 2018).

### 2.2.2 Inversor

As células e os módulos de um sistema fotovoltaico trabalham em corrente contínua, e para alimentar as cargas AC, é necessário a utilização do inversor solar, que é o responsável pela conversão da corrente contínua DC gerada pelos painéis solares, para corrente alternada (AC) Figura 11. O inversor deve apresentar eficiência superior a 90%, o que garante a segurança e proteção do sistema (SILVEIRA, 2013; RODRÍGUEZ, 2002).

O objetivo do inversor é obter sinais de saída com baixo conteúdo harmônico e alto fator de potência, esse resultado é obtido aumentando a frequência de comutação dos semicondutores e filtrando adequadamente o sinal de saída que então será regulado pelo inversor. A regulação é obtida basicamente de três formas: ajustando a tensão antes do inversor (conversores CC/CC), regulando a tensão no próprio inversor através de seu sistema de controle ou regulando o sinal do inversor mediante um autotransformador (RAMPINELLI, KRENZINGER, ROMERO, 2013).

Os inversores podem ser classificados para serem utilizados em sistemas isolados, sistemas conectados à rede sem baterias e sistemas conectados à rede com baterias (LOPEZ, 2002).

Figura 11 – Inversor solar fotovoltaico



Fonte: ([http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-AEC2F083-8B290A4E/fronius\\_brasil/hs.xsl/7552\\_9883.htm#.WyXRXIpKjIU](http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-AEC2F083-8B290A4E/fronius_brasil/hs.xsl/7552_9883.htm#.WyXRXIpKjIU), 2018).

### 2.2.3 Controladores de carga fotovoltaicos

Os controladores dos sistemas fotovoltaicos têm como principal função o controle da carga das baterias de forma a evitar sobrecargas. Quando as baterias atingem o nível máximo de carga, o controlador desliga-as do sistema ou diminui significativamente a corrente de carga. Alguns controladores possuem a capacidade de limitar a descarga das baterias. Se o nível de carga atingir um valor demasiado baixo, as baterias são desligadas do sistema (MCEVOY, 2003). Os principais controladores existentes no mercado vão desde controladores On/Off até aos complexos MPP, passando pelos PWM (MCEVOY, 2003).

- O controlador On/Off assegura a monitorização do nível de carga através de um relé responsável pelo acoplamento das baterias ao sistema. Quando a carga atinge o nível máximo, o circuito elétrico de carga é interrompido através da abertura do relé. A desvantagem deste controlador prende-se com as oscilações do nível de tensão provocadas pelas comutações do relé.
- O controlador PWM é o tipo mais usado em sistemas fotovoltaicos. Regula o ciclo de carga das baterias sempre a uma tensão ou corrente constantes. Normalmente a tensão de carga é constante, enquanto que a corrente varia de forma a evitar o aquecimento e a produção de gases das baterias. Desta forma, o carregamento é bastante eficiente, rápido e não prejudicial para as baterias, Figura 12.
- O controlador MPPT coloca o sistema fotovoltaico a funcionar no ponto ideal, ou seja, a potência fornecida pelo gerador é sempre máxima. Possui um sistema de rastreio que tem como função encontrar o ponto de funcionamento ideal. Após este procedimento é realizado o ajuste da carga vista pelo painel fotovoltaico. Devido ao nível de

sofisticação, o seu preço é o mais elevado entre todos os controladores, o que limita a sua utilização Figura 13 (MCEVOY, 2003).

Figura 12 – Controlador PWM



Fonte: ([https://www.biaeletronico.com.br/index.php?route=product/product&product\\_id=490](https://www.biaeletronico.com.br/index.php?route=product/product&product_id=490), 2018)

Figura 13 – Controlador MPP



Fonte: (<https://www.victronenergy.pt/solar-charge-controllers/mppt7510>, 2018).

## 2.2.4 Bateria

As baterias eletroquímicas são uma forma de armazenamento de energia que podem ser utilizadas em sistemas fotovoltaicos, por converterem energia química contida em seus materiais ativos diretamente em energia elétrica por meio de uma reação eletroquímica oxidação-redução (redox). No caso de um sistema recarregável, a bateria é recarregada por uma inversão do processo. Este tipo de reação envolve a transferência de elétrons de um material para outro através de um circuito elétrico (LINDEN, 2002). Dessa forma sendo capazes de armazenar energia química nas horas de baixo consumo para posteriormente serem transformadas e utilizada na forma de energia elétrica em horas de elevado consumo (SEGUEL, 2009).

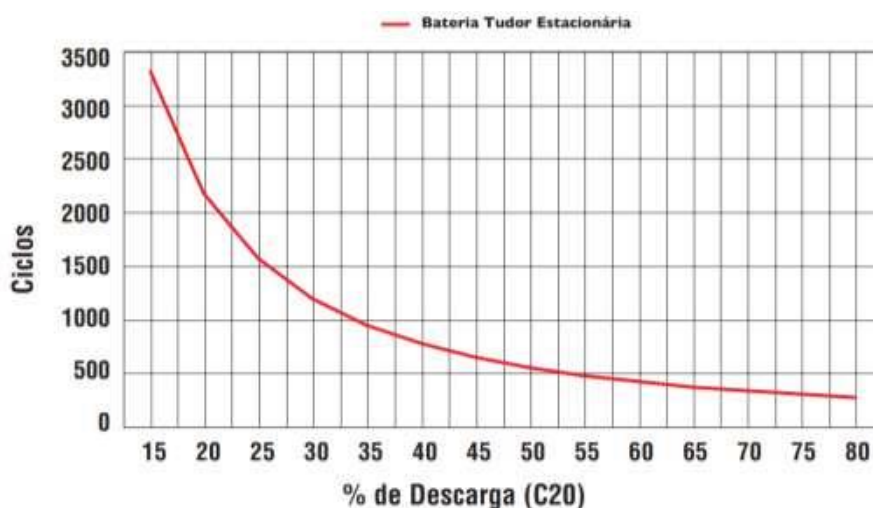
Também chamadas de acumuladores eletroquímicos, as baterias são classificadas em duas categorias: baterias primárias e secundárias. Na primeira, são dispositivos eletroquímicos que, uma vez esgotado os reagentes que produzem a energia elétrica são descartados por não serem recarregáveis. As baterias secundárias, através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais podem reverter as reações responsáveis pela geração de energia elétrica e então,

carregam novamente. Para os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica, são utilizados acumuladores secundários. Dentre inúmeros tipos de baterias, as mais comuns são as chumbo-ácido, íons de lítio e as níquel-cádmio. Porém, por apresentarem menor custo, as chumbo-ácido são mais populares no mercado (SEGUEL, 2009; TAVARES, GALDINO, 2014).

A vida útil de uma bateria é medida pelo número de ciclos, com determinada profundidade de descarga que uma célula ou bateria pode ser submetida antes de apresentar falhas, dependendo da profundidade de descarga do ciclo, da corrente de descarga e da temperatura de operação. Em um sistema fotovoltaico, normalmente os ciclos de carga/descarga são diários, ou seja, o número de ciclos de vida corresponde ao número de dias de serviço (TAVARES, GALDINO, 2014).

As baterias estacionárias atuais permitem uma profundidade de descarga de até 80%, que expressa a quantidade de carga que pode ser extraída de uma bateria plenamente carregada. Fatores que diminuem a vida útil das baterias são a alta frequência, 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 é afetada pela profundidade da descarga está ilustrada na Figura 14 (PEREIRA, 2016).

Figura 14 – Ciclos de vida em função da profundidade de descarga



Fonte: (<http://www.solenerg.com.br/files/A-bateria-estacionaria-em-geradores-fotovoltaicos-autonomos.pdf>, 2017.)

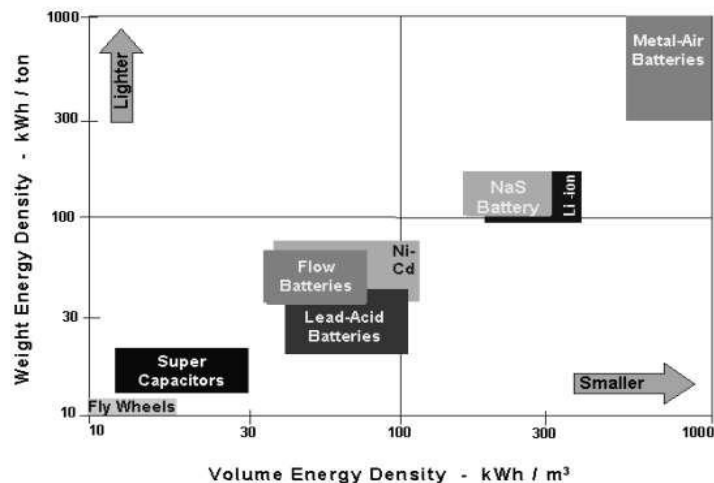
Em sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica, as baterias são utilizadas para atender a demanda nos períodos em que a geração não é suficiente ou é nula (dias com níveis baixos de irradiância solar, no período noturno ou em dias chuvosos e nublados). Para esses

sistemas, parte da energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos durante o dia é armazenada para atender a demanda em outros momentos (TAVARES, GALDINO, 2014).

Os acumuladores mais populares instalados em sistemas fotovoltaicos são as baterias estacionárias, que são projetadas para oferecer quantidade constante de corrente por um longo período de tempo e são projetadas para serem descarregadas completamente várias vezes. Elas podem suportar altas correntes de descarga, mas não tão frequente quanto uma bateria automotiva, que é o segundo tipo de bateria popular em sistemas fotovoltaicos, pois apresenta baixo custo. Ambas usam a mesma química em sua operação, porém as baterias automotivas possuem um tempo de vida menor, levando a substituições frequentes, o que acaba comprometendo a confiabilidade do sistema (VERA, 2009).

A tecnologia das baterias de Lítio Íon (Li-íon) é considerada promissora e apresenta vasto espaço para desenvolvimento, possuindo vantagens como alta densidade energética e possibilidade de suportar altas taxas de carga e descarga, baixo tempo de carga e baixa taxa de autodescarga (TAVARES, GALDINO, 2014). Também se destaca por ser mais compacta do que os acumuladores de chumbo-ácido e níquel-cádmio, conforme a Figura 15 (GETH et.al 2011). apresentou uma análise técnico-econômica e de expectativa de vida entre baterias Chumbo-ácido e Lítio-íon como acumuladores para sistemas de energia, utilizando como parâmetros baterias com 10 anos de duração, enquanto a bateria de Pb-ácido dura 400 ciclos, a de Li-íon dura 3000 ciclos e enquanto a primeira leva 3 horas para carregar, a segunda carrega em 1 hora. Apesar de apresentar custo mais elevado, para sistemas menores, as baterias Li-íon mostram-se mais eficazes.

Figura 15 – Densidade de energia de diferentes tecnologias de acumuladores



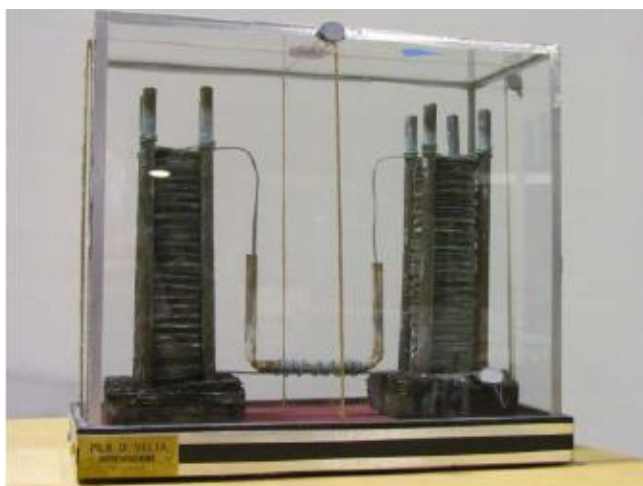
Fonte: (NOURAI, 2002).

As baterias do tipo Lítio-íon, Níquel-cádmio e Chumbo-ácido, são consideradas ideais para sistemas de aplicações em menor escala, por possuírem tecnologias mais avançadas. Porém, em sistemas de larga escala seu custo tende a inviabilizar seu uso (HILL et.al 2012).

### 2.3 ESTADO DA ARTE DAS BATERIAS

O aparecimento da primeira bateria deveu-se a Alessandro Volta, professor de Filosofia Natural da Universidade de Pavia na Itália, numa investigação começada no ano de 1800 quando conseguiu converter energia química em energia elétrica, contudo sua intenção era apenas contatar o conceito de eletricidade animal dos experimentos de Galvani em que corpos de rãs dissecadas estimulados por um arco bimetálico se mexiam, para Galvani a energia viria da rã, ou seja, tratava-se de “eletricidade animal”. Volta não se conformou com a ideia de Galvani e interpretou corretamente o que estava acontecendo: a eletricidade provinha do contato elétrico entre dois metais diferentes através de um eletrólito. Construiu o primeiro "gerador de movimento perpétuo de eletricidade" em duas configurações diferentes: o tipo de coluna (conhecido como pilha) Figura 16, e o tipo de coroa de copos Figura 17. O gerador provou funcionar, embora a Volta tivesse pouca e baixa instrumentação para verificar o funcionamento do dispositivo: apenas um eletrômetro para medir a força eletromotriz e uma rã para detectar a corrente produzida pelo dispositivo. (BRENNI, et al., 2012).

Figura 16 – Réplica em 1997, de um par de baterias voltaicas do tipo coluna para experiências de eletrólise de água. As baterias são protegidas por uma caixa de vidro. Os discos da coluna são feitos de cobre, zinco e feltro



Fonte: (BRENNI, et al., 2012).

Figura 17 – Réplica em 1991, de uma bateria Voltaica do tipo de coroa de copos. É composto por 54 células zinco-cobre

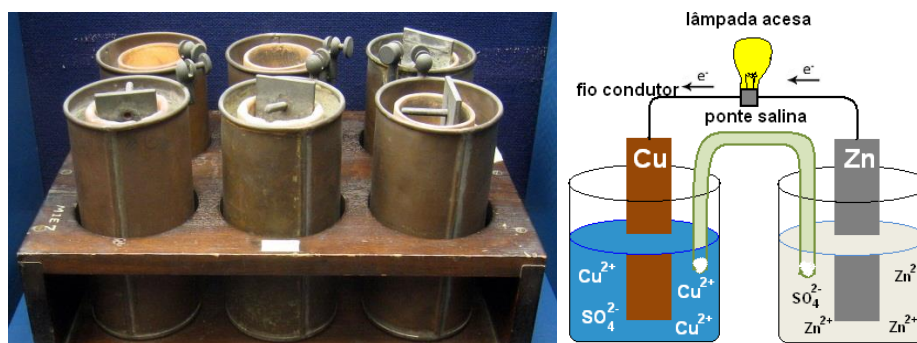


Fonte: (BRENNI, et al., 2012).

Infelizmente, do ponto de vista prático, as primeiras células elétricas baseadas na invenção da Volta foram altamente ineficientes. Um dos principais problemas foi o efeito de polarização. Este é um efeito produzido sobre as placas de uma bateria Voltaica, ou os eletrodos em uma célula eletrolítica, pela deposição sobre eles dos gases (geralmente hidrogênio) liberados pela ação da corrente. A polarização produz um aumento de resistência e a configuração de uma força eletromotriz oposta; ambos os fenômenos tendem a enfraquecer a corrente da bateria ao passar pela célula (BRENNI, et al., 2012).

Outro acontecimento marcante na história das baterias foi a invenção da chamada pilha de Daniell Figura 18, que solucionava o problema das bolhas de hidrogênio encontradas na bateria Voltaica na qual formava-se átomos de hidrogênio em torno do eletrodo de cobre, esta cobertura de hidrogênio era isolante e interrompia progressivamente o fluxo de corrente, impedindo o funcionamento da pilha, para que voltasse a funcionar era preciso aguardar um tempo, seria necessário desliga-la do circuito exterior, para que a camada de hidrogênio se extinguísse ou então deveria ser limpo o eletrodo de cobre retirando-se o hidrogênio envolvente. É este fenômeno de polarização que tornava esta pilha pouco prática. A solução encontrada por Daniell, foi criar um segundo eletrólito capaz de consumir o hidrogênio produzido pelo primeiro, aumentando assim a segurança do objeto e diminuindo sua corrosão (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2017).

Figura 18 – a) Pilhas de Daniell, Exposição no Museu Nacional de História Americana, em Washington, DC, EUA b) Esquema da pilha de Daniell ou pilha de zinco-cobre



Fonte: (<http://manualdaquimica.uol.com.br/fisico-quimica/pilha-daniell.htm>, 2017).

A primeira bateria recarregável da história foi construída em 1859, pelo físico francês Gaston Planté, era constituída de nove elementos. Seu primeiro modelo continha duas folhas de chumbo, separadas por tiras de borracha, enroladas em espiral e imersas em uma solução contendo cerca de 10 por cento de ácido sulfúrico Figura 19. Tal artefato, que mais tarde ficou conhecido como bateria de chumbo-ácido podia ser recarregado pela passagem de uma corrente reversa através dele (BATTERY FACTS, 2017).

Figura 19 – Primeira bateria de Chumbo-ácido recarregável construída por Gaston Planté



Fonte: (<http://www.batteryfacts.co.uk/BatteryHistory/Plante.html>, 2017).

Desde de então uma ampla gama de variantes fora fabricada, já com a utilização de duas ou mais células de energia em um só produto, consolidando-se o nome de “bateria”. Uma das descobertas que revolucionou o mundo dos eletroeletrônicos em geral foram as baterias de íons de lítio, comercializadas pela Sony em 1990, suas principais características são a possibilidade

de recarregarem-se centenas de vezes e a capacidade de serem fabricadas em diferentes formatos, facilitando assim sua adequação aos mais diversos produtos (LINDEN, 2002).

## 2.4 PRINCIPAIS TIPOS DE BATERIAS UTILIZADAS EM SISTEMAS ISOLADOS

### 2.4.1 Baterias de chumbo-ácido

Sua matéria ativa é o chumbo e seus compostos é uma solução aquosa de ácido sulfúrico. São formadas por elementos constituídos por duas placas de polaridades opostas, isoladas entre si e banhadas pela solução de ácido sulfúrico. Sua capacidade é medida pela quantidade de carga elétrica, expressa em Ampère - hora (Ah), isto é, o produto da corrente em Ampères pelo tempo em horas corrigido para a temperatura de referência. (ROSEMBACK, 2004).

Este tipo de baterias, têm sido utilizadas para o armazenamento desde sua criação por Gaston Planté no século XIX, é a tecnologia mais madura são consideradas as mais baratas e as mais utilizadas entre as que existem no mercado. O interior da célula é constituído por um ânodo, o qual é constituído por um chumbo esponjoso, enquanto o cátodo é composto por dióxido de chumbo. Na figura 20, pode observar-se um exemplo esquemático de uma bateria chumbo ácido (COPPEZ, 2010).

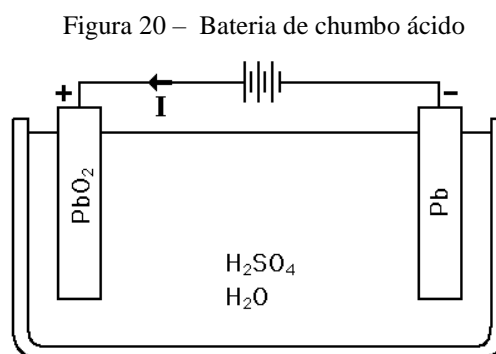


Figura 14 (COPPEZ, 2010).

Tanto o ânodo como o cátodo estão mergulhados em um eletrólito de ácido sulfúrico, com densidade de 1,28 mg/L, que conduz a corrente ao coletor. Quando ocorre a descarga, os dois elétrodos produzem sulfato de chumbo. Para recarregar a bateria fornece-se corrente contínua no elétrodo de dióxido de chumbo que resulta na inversão das reações, implicando a regeneração do ácido sulfúrico, que indicará o grau de descarga ou carga da bateria (COPPEZ, 2010). Este tipo de baterias é considerado a tecnologia do mercado com mais procura, estando a ser utilizadas no ramo industrial há mais de 20 anos.

Recentemente, as baterias de chumbo ácido estão a utilizar materiais com tecnologia mais avançada de forma a melhorar o ciclo de vida e a sua eficiência. Contudo, este tipo de baterias ainda apresenta um tempo de vida curto ao longo das operações que realizam, sendo por isso utilizadas em situações de emergência ou na gestão da qualidade da energia. (GONZÁLEZ, 2012).

Para aumentar a durabilidade destas baterias é preciso carregá-las adequadamente, conforme as recomendações dos fabricantes, antes que sua descarga alcance níveis superiores aos pré-estabelecidos para sua profundidade de descarga (ROSEMBACK, 2004).

De acordo com o tipo de eletrólito e a tecnologia de construção das placas, as baterias de chumbo ácido pode ser classificadas em:

*Baterias de Eletrólito Líquido:* são compostas pelas placas e pelo eletrólito em estado líquido. Essa é a concepção das baterias automotivas, produzidas em larga escala, por isso são as mais baratas e facilmente encontradas no mercado Figura 21. Nas baterias automotivas, chamadas de baterias de partida ou SLI, sigla em inglês para Starting-Lighting-Ignition, os eletrodos positivos e negativos são grades onde são depositadas as matérias ativas, chumbo e dióxido de chumbo. Essas baterias utilizadas para a partida de motores (que requerem altas correntes até 200 A por alguns segundos), não são adequadas para sistemas fotovoltaicos, pois são construídas para fornecerem apenas uma fração da sua capacidade (até 10%) em descargas muito altas e períodos muito curtos. Suas placas são mais finas e em maior número, além do eletrólito possuir maior teor de ácido. Se forem submetidas a profundidade de descarga maior que 50%, podem falhar em poucos dias.

Figura 21 – Bateria chumbo-ácido de eletrólito líquido, automotiva.

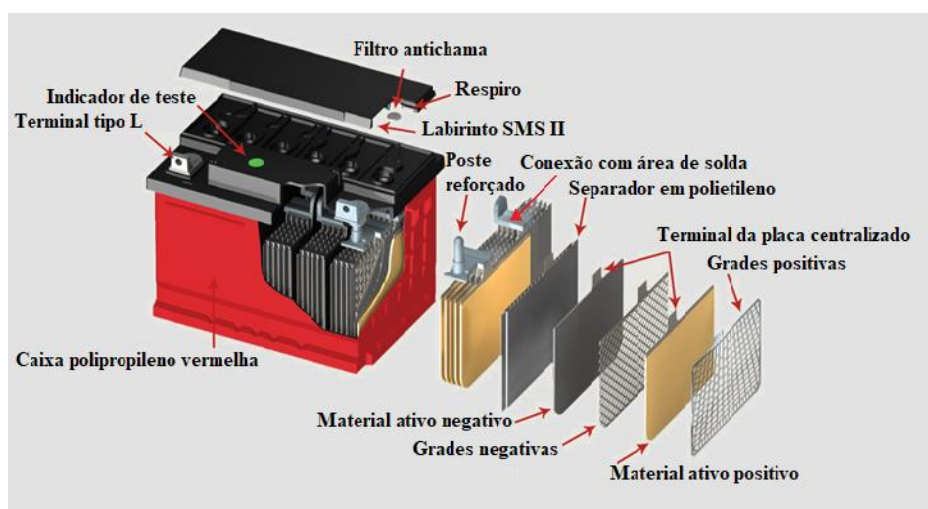


Fonte: (<http://www.directindustry.com/pt/prod/maribat/product-138679-1868765.html>, 2017).

*Baterias de Eletrólito Imobilizado*: possuem o eletrólito imobilizado, seja na forma de gel (com a adição de dióxido de silício), ou pelo sistema AGM (Absorbed Glass Material), nas quais o eletrólito está em forma cristalina envolto em esponjas de fibra de vidro.

Ao contrário das baterias de eletrólito líquido, as baterias de eletrólito imobilizado não necessitam serem instaladas em locais ventilados, pois são fechadas e possuem um sistema com válvula de segurança que limitam a saída dos gases liberados em casos de sobrecargas, por isso são chamadas também de baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula (VRLA, do inglês: Valve Regulated Lead Acid). Não requerem a reposição de água, por isso são seladas e não necessitam de manutenção. Os controladores de carga devem ser específicos ou ajustados para trabalhar com as baterias de eletrólito imobilizado, pois estas não podem receber sobrecargas. São baterias com geralmente o dobro da vida útil das baterias de eletrólito líquido, sob as mesmas condições de profundidade de descarga Figura 22. (SISTEMA e TECNOLOGIA APLICADA, 2017).

Figura 22 – Estrutura de uma Bateria Chumbo-ácido selada eletrólito imobilizado



Fonte: (<http://www.jacobs.heliar.com/pt-br/tecnologia/estacionaria>, 2018, tradução nossa).

#### 2.4.2 Baterias NiCd cádmio/óxido de níquel (níquel/cádmio)

A bateria secundária de níquel-cádmio é a mais popular bateria secundária alcalina e está disponível em vários modelos de células e em uma ampla gama de tamanhos. As células são muito resistentes e podem resistir ao abuso elétrico e mecânico. Elas têm vidas muito longas e requer pouca manutenção além da cobertura ocasional com água. Este tipo de bateria é usado em aplicações industriais pesadas, como caminhões, veículos de mineração, sinalização ferroviária, energia de emergência e etc. A construção de placas sintetizadas é um

desenvolvimento mais recente, com maior densidade de energia e um melhor desempenho do que o primeiro modelo criado, com altas taxas de descarga a baixas temperaturas, mas possui um custo mais elevado. É usada em aplicações, como motor de aeronave, diversos eletrônicos, com um peso mais leve.

A célula selada é um terceiro design. Ela usa uma característica de recombinação de oxigênio semelhante à usada nas baterias de chumbo ácido seladas para evitar o acúmulo de pressão causada pelo gaseamento durante a carga. Células seladas estão disponíveis em configurações prismáticas, de botão e cilíndricas e são usadas pelo consumidor e pequenas aplicações industriais pois apresenta maior vida útil. O custo, no entanto, é maior do que para o ácido-chumbo. (CROMPTON, 2000).

O uso destas baterias tem sido posto em causa, devido à elevada toxicidade do cádmio, pois o uso das mesmas pode causar disfunção renal, problemas pulmonares e cancro, para além dos problemas ambientais (COPPEZ, 2010).

As baterias níquel cádmio têm a desvantagem que o cádmio é altamente tóxico. Na maioria das áreas rurais não há sistemas de reciclagem, e a maioria das baterias acabarão no solo haverá uma grande chance que o cádmio entre na cadeia alimentar (ADELMANN, 2015).

As baterias de níquel cádmio são constituídas, tal como a maioria das baterias, por um ânodo, por um cátodo e por uma solução eletrolítica.

O cátodo é revestido por níquel hidratado ( $\text{NiO}(\text{OH})$ ), enquanto que o ânodo é coberto por cádmio Figura 23.

Figura 23 – Bateria níquel cádmio



Fonte: (<https://www.elprocus.com/batteries-types-working/>, 2017).

Ambos os pólos estão mergulhados numa solução eletrolítica de hidróxido de potássio (KOH). Este tipo de baterias possui normalmente um invólucro metálico com uma tampa, que está equipada com uma válvula de segurança. O ânodo e o cátodo estão isolados um do outro através de uma membrana separadora, como se pode ver na figura 23, estando enrolados em forma de espiral. Esta configuração permite que a bateria produza uma corrente bastante

elevada, superior às baterias alcalinas com dimensões semelhantes (BATTERIES – TYPES & WORKING, 2017).

### 2.4.3 Baterias de íons de lítio

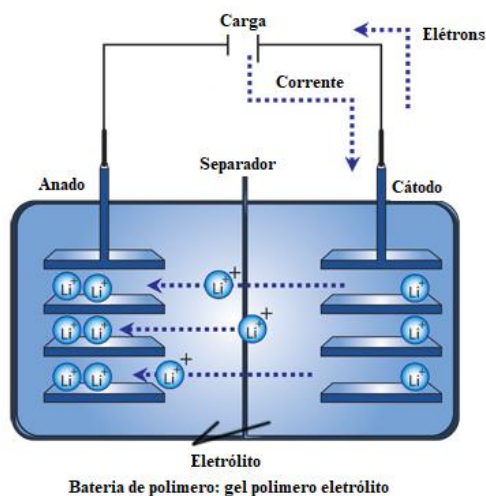
A primeira bateria de lítio foi criada em 1912, por Gilbert Newton Lewis. Contudo somente a partir de 1970, foi utilizada em aplicações militares selecionadas, mas seu uso foi limitado, formulações e considerações de segurança tiveram que ser resolvidas. Diversas tentativas foram feitas para desenvolver as baterias de lítio, mas todas elas falharam por questões de segurança. Devido à instabilidade inerente do lítio metálico, especialmente na fase de carregamento, houve a necessidade de desenvolver baterias não metálicas de lítio, utilizando íons de lítio. O desenvolvimento sério de sistemas de bateria de alta densidade de energia foi iniciado na década de 1960 e concentrado em pilhas primárias não aquosas usando lítio como ânodo. Apesar da densidade de energia ser ligeiramente inferior à do lítio metálico, e depois de serem asseguradas todas as questões de segurança das baterias de íons de lítio, a empresa Sony Corporation comercializou a primeira bateria deste tipo, no ano de 1991. O metal de lítio é atraente como um material de ânodo de bateria devido à sua leveza, alta tensão, alta equivalência eletroquímica e boa condutividade. Por causa destas excelentes características, o uso de lítio dominou o desenvolvimento de baterias primárias de alto desempenho e baterias secundárias durante as últimas duas décadas. (LINDEN, 2002).

Este tipo de baterias é uma tecnologia mais recente no mercado, estando ainda em franco desenvolvimento e crescimento. Tradicionalmente, as baterias de íons de lítio são utilizadas em dispositivos eletrônicos, como celulares ou computadores portáteis, mais recentemente em veículos híbridos. Além disso têm uma vida útil elevada, que pode atingir os 3000 ciclos de funcionamento (COPPEZ, 2010).

Recentemente, as baterias de íons de lítio conseguiram reduções de custos significativas, bem como aumentos de potência e vida útil. Assim, elas estão sendo cada vez mais instaladas em sistemas de baterias estacionárias (NYKVIST; NILSSON, 2015).

Na Figura 24, podemos ver um esquema de uma bateria íon de lítio, durante o seu mecanismo de carga, e a Figura 25 durante o mecanismo de descarga. A sua parte exterior não é mais que um invólucro de metal que engloba o ânodo, o cátodo e uma membrana. O termo "íon de lítio" não se refere a um único casal eletroquímico, mas a uma ampla gama de substâncias químicas diferentes, que são caracterizadas pela transferência de íons de lítio entre os eletrodos durante as reações de carga e descarga.

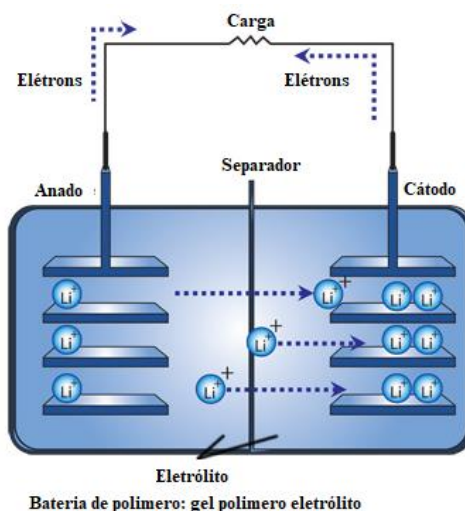
Figura 24 – Bateria íon-lítio recarregável, mecanismo de carga



Fonte:

(<https://www.upsbatterycenter.com/blog/intercalation-work-batteries/>, 2018, tradução nossa).

Figura 25 – Bateria íon-lítio recarregável, mecanismo de descarga



Fonte:

(<https://www.upsbatterycenter.com/blog/intercalation-work-batteries/>, 2018, tradução nossa).

O ânodo é separado do cátodo por uma lâmina bem fina de plástico com inúmeros furos que permite a passagem dos íons. O cátodo é composto por óxido de lítio-cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ), enquanto o ânodo é composto por carbono. Durante o processo de carga da bateria, os íons de lítio passam, através da membrana, do cátodo para o ânodo, ligando-se ao carbono, produzindo assim uma corrente elétrica. Quando ocorre a descarga, o movimento dos íons é feito no sentido inverso, isto é, do ânodo para o cátodo. O movimento dos íons de lítio provoca uma tensão relativamente alta, traduzindo-se num valor por volta de 3,7 V. Valor este muito superior ao

valor típico de uma pilha alcalina, tornando este tipo de acumulador compacto e ideal a ser utilizado em celulares por exemplo (PARK, et al, 2010).

O material catódico  $\text{LiCoO}_2$ , é bastante utilizado pela sua alta densidade de energia e facilidade de fabricação, porém, é de alto custo e as reservas mundiais de cobalto são limitadas. Desta forma, a reciclagem dos metais presentes em baterias deve ser estudada, evitando-se assim a geração e conseqüente disposição de toneladas de resíduos perigosos. Este fato, associado ao valor econômico de metais como lítio, cobalto e cobre que estão presentes na composição destes resíduos, faz com que sejam avaliados processos eficientes de reciclagem. Portanto a reciclagem deste tipo de resíduo além de trazer ganhos em termos ambientais também pode trazer benefícios em termos econômicos. (CALGARO, 2012)

#### 2.4.4 Baterias de Fosfato de Ferro de Lítio

Outra alternativa comercializada é a bateria fosfato de ferro de lítio ( $\text{LiFePO}_4$ ), que foi descoberta em 1996, por John B. Goodenough (e outros colaboradores) na Universidade do Texas.

A bateria  $\text{LiFePO}_4$  possui melhores características de segurança que outras de Li-íon, vida útil longa (até 2000 ciclos) e disponibilidade substancial. A energia específica e densidade de energia é de 150Wh/kg e 400Wh/l, respectivamente. É adequada para requisitos de alta taxa de descarga, tais como demandas militares, veículos elétricos, ferramentas elétricas, necessidades móveis, UPS (Interrupção / Back-Up) e sistemas de energia solar. As vantagens dos íons de lítio tradicionais, juntamente com as características de segurança dos fosfatos, tornam a tecnologia  $\text{LiFePO}_4$  a tecnologia do íon de lítio para o futuro. A tecnologia  $\text{LiFePO}_4$  de íon de lítio utiliza material natural à base de fosfato e oferece uma maior combinação de desempenho, segurança, custo, confiabilidade e características ambientais.

As baterias de íons de lítio à base de células  $\text{LiFePO}_4$  são um tipo de bateria que usa o fosfato como material catódico, sendo menos dispendioso do que outros materiais de cátodo, pois ocorre em grandes quantidades naturalmente. O mineral oferece excelente estabilidade térmica sob condições de abuso. As razões por trás da estabilidade térmica inerente do material  $\text{LiFePO}_4$  são bastante fáceis de explicar. Primeiro, na estrutura de olivina, o oxigênio está fortemente ligado ao tetraedro de fosfato e não será liberado durante o abuso de combustível. Esta ligação é muito forte, de modo que quando o material catódico é aquecido durante o evento de abuso, não libera oxigênio ou se decompõe em uma reação exotérmica. Assim, o calor gerado durante qualquer evento é significativamente reduzido. Em segundo lugar, quando totalmente

carregada, o cátodo de uma célula  $\text{LiFePO}_4$  projetada corretamente não contém lítio. O material  $\text{LiFePO}_4$  é estável, isso elimina a possibilidade de ruptura da estrutura de revestimento ou do cátodo para o ânodo para o evento de sobrecarga do lítio (BRASIL; MELO, 2017).

A bateria de  $\text{LiFePO}_4$  é mais tolerante às condições de carga total, e é menos estressada do que outros sistemas de Li-Íon, se mantidos em alta tensão por um tempo prolongado. Em contrapartida, sua menor tensão nominal de 3,2V/célula reduz a energia específica abaixo da de Li-Íon à base de cobalto.

Como a maioria das baterias, baixas temperaturas reduz o desempenho e a temperatura elevada do armazenamento encurta a vida de serviço, e a bateria  $\text{LiFePO}_4$  não é nenhuma exceção. A bateria de  $\text{LiFePO}_4$  tem uma maior autodescarga do que outras baterias Li-Íon, o que pode causar problemas de equilíbrio com o envelhecimento. (SISTEMA e TECNOLOGIA APLICADA, 2017).

## 2.5 COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE BATERIAS

As maiores densidades de energia e potência são as mesmas razões porque as baterias Li-íon já dominam amplamente o mercado consumidor de eletrônicos, como telefones celulares, computadores portáteis, digitais câmeras e muitos outros dispositivos eletrônicos portáteis.

Algumas vantagens das baterias de íons de lítio em comparação com baterias de chumbo ácido e de níquel-cádmio (NiCd), são resumidas na Tabela 1, relacionam-se a sua eficiência de alta energia, sem efeitos de memória, e uma vida de ciclo relativamente longa. Além disso, a curva de descarga plana da célula Li-íon oferece uma utilização eficaz da energia armazenada enquanto a tensão permanece quase constante.

O custo das baterias de lítio deverá cair significativamente porque as baterias serão cada vez mais utilizadas para muitas aplicações, como o carro elétrico, equipamentos médico ininterrupto. À medida que o mercado cresce e a produção de escala, fabricantes aproveitarão as economias de escala e colocarão no mercado produtos de preços mais baixos. De acordo com estudos, o custo das baterias de Li-íon irá diminuir de US \$ 650 / kWh em 2009 para US \$ 325/kWh até 2020.

Até agora, os principais avanços na tecnologia de bateria de lítio foram feitos com base na descoberta de novos materiais, como  $\text{LiFePO}_4$ .

Desde a sua introdução no mercado em 1991 pela Sony, a tecnologia Li-íon fascinou os cientistas com a aceleração rápida em ganho de densidade de energia dentro de um modesto volume de peso quando comparado com baterias recarregáveis de chumbo ácido e NiCd.

A química do Li-íon oferece outras vantagens interessantes sobre seus concorrentes como pode ser visto na Tabela 1, como nenhum efeito de memória, sem necessidade de manutenção especial para prolongar a vida útil.

As baterias de íons de lítio têm potencial para aumentar a eficiência, tempo de vida e confiabilidade de sistemas fotovoltaicos desconectados da rede elétrica que atualmente usa quase exclusivamente baterias de chumbo ácido.

O volume necessário para baterias VRLA é de 5,6 vezes o de Li-íon, estimando uma densidade 3,5 vezes maior para Li-íon do que para VRLA. Em aplicações de descarga profunda, as baterias de íons de lítio têm significativamente maior vida útil do ciclo do que as baterias de chumbo-ácido. Essa diferença é melhorada à medida que a temperatura de operação aumenta. A vida de ciclo de cada uma das substâncias químicas pode ser aumentada limitando a profundidade da taxa de descarga e da temperatura, mas o chumbo ácido é geralmente muito mais sensível a cada um desses fatores.

Ao fazer uma escolha para uma ou outra, os seguintes fatores devem ser levados em consideração como: segurança, confiabilidade, custo inicial incluindo a instalação, a vida útil, o peso e o volume, especialmente considerar o custo de transporte e a disponibilidade de armazenamento, sensibilidade a temperatura, impacto ambiental e manutenção. Baterias de íons de lítio apresentam melhor desempenho, uma vez que suportam temperaturas mais elevadas de climas quentes, mas seu custo inicial é maior.

O crescimento é contínuo em países em desenvolvimento, com uma demanda principal para iluminação e telefones celulares. Neste caso, o armazenamento de energia desempenha um papel fundamental e geralmente as populações têm que lidar com o afastamento, tornando os serviços não disponíveis, além disso, as altas temperaturas limitam a vida útil das baterias de chumbo-ácido em geral usadas. Tais situações apelam a favor das baterias Li-íon (Tabela 1) em vez da de chumbo-ácido. Por exemplo, no modelo de taxa de serviço, um dos modelos de eletrificação rural, a adoção de baterias de Li-íon terá o benefício de manutenção não necessária, a vida útil é muito maior (atualmente até 2000 ciclos para uma profundidade de descarga a 80%) e uma melhor tolerância a altas temperaturas.

Um dos problemas dessas áreas rurais é que não há serviço técnico ou peças disponíveis em caso de avaria; os sistemas devem ser construídos para minimizar falhas técnicas.

Entre as diferentes baterias de Li-íon a de LiFePO<sub>4</sub>, parece ser a mais promissora para o armazenamento de energia de grande capacidade. Isto é devido à sua vida útil e segurança em comparação com outras baterias de íons de lítio. Assim, deve-se esperar que, no futuro próximo, a tendência atual em pesquisa e desenvolvimento para a indústria automobilística os preços serão continuamente reduzidos e baterias de íons de lítio, particularmente LiFePO<sub>4</sub>, ganhará popularidade no armazenamento de energia renovável e particularmente em sistemas domésticos fora da rede. No entanto, para operar baterias de íons de lítio com segurança, é necessário protegê-la com um circuito eletrônico, pois não toleram sobrecarga ou descarga a temperaturas extremas que podem levar a sérios problemas (DIOUF, B; PODE, R, 2015).

Tabela 1. Comparativo de baterias

Especificações	Chumbo ácido	NiCd	NiMH	Li-íon		
				Cobalto	Manganês	Fosfato
Densidade de energia específica (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Resistência interna (mΩ)	<100 12V pico	100-200 6V pico	200-300 Pacote de 6V	150-300 7.2V pico	25-75 Por célula	25-50 Por célula
Ciclo de vida (80% descarga)	200-300	1000	300-500	500-1000	500-1000	1000-2000
Eficiência	0.70-0.84	0.65-0.85	0.65-0.85	0.85-0.95	0.85-0.95	0.85-0.95
Tempo de carga rápido	8-16h	1h típica	2-4h	2-4h	1h ou menos	1h ou menos
Tolerância de sobrecarga	Alta	Moderada	Baixo	Baixa	Baixa	Baixa
Auto descarga/mês (temperatura ambiente)	5%	20%	30%	<10%	10%	8%
Tensão celular (nominal)	2V	1,2V	1,2 V	3,6V	3,8V	3,3V
Tensão de corte de carga (V / célula)	2,40 Flutuação 2,25	Detecção de carga completa por sinal de tensão	Detecção de carga completa por sinal de tensão	4,20	4,20	3,60
Tensão de corte de descarga (V / célula, 1C)	1,75	1,00	-	2,50-3,00	2,50-3,00	2,80
Corrente de carga máxima	5C	20C	5C	>3C	>30C	>30C
Melhor resultado	0,2C	1C	0,5C	>1C	<10C	<10C
Temperatura de carga	-20 até 50° C	0 até 45°C	0 até 40°C	0 até 45°C	-40 até +85C	+5 até 55°C
Temperatura de descarga	-20 até 50° C	-20 até 65° C	0 até 50°C	-20 até 60°C	-40 até +85C	-20 até 50°C

<b>Requisito de Manutenção</b>	3-6 meses	30-60 dias	60 a 90 dias (descarga)	Não exigido	-	Não exigido
<b>Requisitos de segurança</b>	Termicamente estável	Proteção de fusível estável termicamente estável	Proteção de fusível estável termicamente estável	Obrigatório circuito de proteção	-	-
<b>Em uso desde</b>	XIX	1950	1900	1991	1996	1999
<b>Toxicidade</b>	Muito alta	Muito alta	Baixa	Baixa	-	Baixa

Fonte: (DIOUF, B; PODE, R, 2015., RYDH; SANDÉN, 2005 tradução nossa.)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE BATERIAS

A eficiência energética pode ser definida de várias formas, mas em todos os casos, é uma medida da quantidade de recursos energéticos (insumos) necessários para fornecer um serviço de energia (produção).

A vida útil da baterias é afetada diretamente pela temperatura, conforme mostrado na Equação 2 (RYDH; SANDÉN, 2005):

$$t_v = \frac{N}{n} * \sigma(T) \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

$N$  - é o número máximo de ciclos de carga e descarga a 25 ° C, em uma profundidade de descarga (DOD) específica.

$n$  - é o número de ciclos de carga e descarga por ano.

$\sigma(T)$  - é um fator de correção em função da temperatura.

#### 3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA

Para investimentos em projetos, diferentes técnicas de engenharia podem ser usadas para tomada de decisão, mas os aspectos econômicos dominam o problema, sendo, portanto, preponderantes na determinação da melhor solução (NEWNAN; LAVELLE, 2000).

A análise e a avaliação de projetos são realizadas tendo como base os fluxos de caixa gerados pelos mesmos. Os critérios de análise mais usuais são: Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Payback Simples e Payback Descontado (GOMES, 2013).

O método do Valor Presente Líquido (VPL) tem como finalidade determinar um valor no instante inicial a partir de um fluxo de caixa formado de uma série de receitas e despesas (HIRSCHFELD, 2016). Com o VPL é possível decidir qual a melhor alternativa de investimento, calculando os valores atuais equivalentes às séries correspondentes e comparando-os, no qual o resultado com o maior valor positivo é o mais rentável (EHRlich; MORAES, 2013). O cálculo do VPL pode ser obtido através da Equação 3 (BROME BALIAN, 2007).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde: VPL é o fluxo de caixa do investimento [R\$];  $FC_t$  é a entrada ou fluxo de caixa de cada período  $t$  [R\$];  $i$  é Taxa Mínima de Atratividade (TMA) esperada pelo investidor [% ao período];  $n$  é o período estimado para o projeto.

O VPL é a medida mais utilizada nas mecânicas de fluxo monetário, e representa a soma de despesas e benefícios. Se o VPL é positivo, então o projeto é financeiramente atraente, se for negativo, então seria mais proveitoso investir o dinheiro em outro projeto. Um problema deste método encontra-se em que a escolha de um valor inapropriado da TMA pode resultar em valores equivocados (VERA, 2009).

Antes de iniciar a análise e comparação das diferentes oportunidades de investimento deve-se determinar qual será o custo do capital. Este custo refere-se diretamente aos riscos que o investidor irá correr ao optar por determinado investimento e, conseqüentemente, ao retorno que o mesmo irá esperar por tal ação. O custo deste capital se denomina taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA) (VERA, 2009).

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) apresenta um forte grau de subjetividade, uma vez que parte do investimento deverá ser o rendimento requerido para o projeto. Esta taxa deve refletir o custo de oportunidade dos investidores, que podem escolher entre investir no projeto que está sendo avaliado ou em outro projeto similar (HESS et al., 1992).

A Taxa Interna de Retorno (TIR), segundo Gomes (2013) e Camloffski (2014), é a taxa de juros que torna o valor presente do fluxo de caixa igual à zero, ou seja, é a rentabilidade projetada do investimento estimando quanto se deseja executar um projeto de acordo com o fluxo de caixa definido. Os investimentos com o resultado TIR maior que o valor da TMA são

considerados rentáveis e são passíveis de análise (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2010). A Equação 4 proposta por Camargos (2013) expressa o cálculo da TIR.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - FC_0 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:  $FC_0$  é o investimento realizado no momento zero [R\$];  $FC_t$  é a entrada ou fluxo de caixa de cada período  $t$  [R\$];  $k$  é a TIR [% ao período];  $n$  é o período estimado para o projeto.

A característica particular dos problemas de engenharia econômica decorre do fato de as alternativas de investimento envolverem entradas e saídas de caixa diferentes, em instantes de tempo diferentes (HESS et al., 1992). Conforme Newnan e Lavelle (2000), a quantia disposta no presente é equivalente ao valor disposto em uma data futura, sendo esta equivalência denominada como Taxa de Juros Equivalentes. Taxas equivalentes são taxas de juros que, mesmo pertencendo a diferentes períodos de capitalização, quando incidem sobre um mesmo capital, resultam em rendimentos ou valores acumulados idênticos, ao fim de um mesmo período financeiro (FERREIRA, 2014). Newnan e Lavelle (2000) utilizam a Equação 5 para o cálculo da Taxa de Juros Equivalente:

$$i_{eq} = (1 + i_n)^n - 1 \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde:  $i_{eq}$  é a taxa de juros equivalente ao período desejado [% ao período];  $i_n$  é a taxa de juros no período  $n$  [% ao período];  $n$  é o número de períodos.

O Período de Recuperação do Capital ou Payback Simples, é o período de tempo em que ocorre o retorno do investimento, sendo calculado no fluxo de caixa da vida útil (BRITO, 2011). Para Frezatti (2008), a aceitação de um projeto com base no Payback Simples é válida desde que o período de recuperação do capital seja inferior ao período máximo proposto inicialmente. Vale ressaltar que Blank e Tarquin (2011) afirmam que o período de recuperação do capital nunca deve ser considerado como o principal indicador para definição de uma alternativa, mas sim como uma ferramenta para prover uma triagem inicial ou uma informação complementar em conjunto com uma análise realizada pelo VPL ou outro método.

O período de Payback é o tempo necessário para que o valor dos fluxos de caixa previstos e acumulados (excluindo o pagamento de dívidas) seja igual ao valor inicialmente investido ou seja, é o tempo que um projeto leva para pagar-se (VERA, 2009).

Embora não deixe de representar um parâmetro de análise, o Payback Simples não pode ser considerado do ponto de vista financeiro, visto que, simplesmente não leva em conta o princípio básico das finanças, que é o valor do dinheiro no tempo (CAMLOFFSKI, 2014). Para a realização dessa análise considerando o rendimento do dinheiro ao longo do tempo, deve-se utilizar o Payback Descontado (PD). No PD, somam-se os valores das entradas de caixa descontadas até que se igualem ao investimento inicial, ou as saídas de caixa também descontadas do projeto, em função do tempo gasto (CAMARGOS, 2014).

O retorno sobre investimento (em inglês, return on investment ou ROI), subtrai-se o ganho obtido com o investimento pelo próprio valor investido, em seguida, divide-se esse resultado por esse mesmo valor de investimento. Com isso, a fórmula fica da seguinte maneira, Equação 6 (KANSSAI, 2000):

$$\text{ROI} = (\text{Ganho obtido} - \text{Investimento}) / \text{Investimento} \quad \text{Eq. (6)}$$

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DO PVSYST

O software PVsyst é uma ferramenta que permite ao usuário analisar com precisão diferentes configurações e avaliar os resultados e identificar a melhor solução possível (PVSYST, 2018).

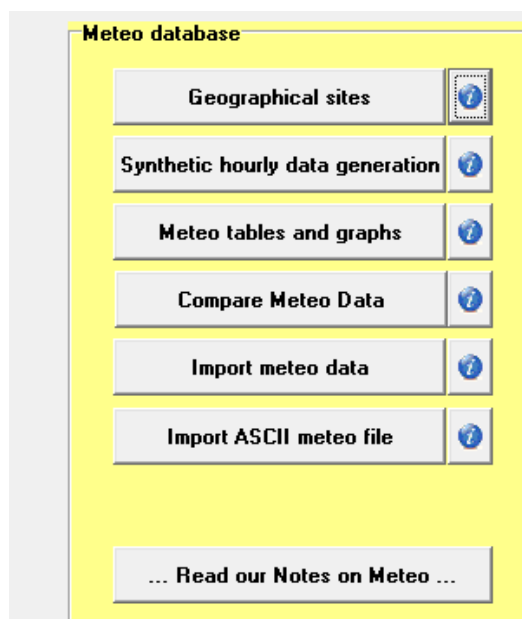
Foi desenvolvido pelo Grupo de Energia da Universidade de Genebra Suíça e pode ser usado em qualquer local que possui dados meteorológicos e de insolação solar. Sendo amplamente utilizado devido aos muitos parâmetros disponíveis para o usuário modificar. É um software para o estudo, dimensionamento, simulação e análise de dados de sistemas fotovoltaicos completos. É apropriado para sistemas on-grid, off-grid, bombeamento etc., e oferece um extenso banco de dados meteorológicos e de componentes fotovoltaicos (MERMOUD, 1995).

O tutorial de ajuda pode ser facilmente encontrado no site disponível na internet, <http://www.pvsyst.com/>, seguidamente, apenas serão detalhadas as características que exigem uma breve noção introdutória para que todas as avaliações realizadas nesta monografia tenham fundamento. Cada explicação será acompanhada com prints do próprio programa para melhor percepção do que está a ser explicado.

O PVsyst é um programa de simulação muito completo para analisar o sistema fotovoltaico, sendo possível configura-lo totalmente.

Os dados meteorológicos são o ponto de partida da avaliação de um projeto. O PVsyst possui um banco de dados interno meteo limitado de cerca de 300 sites no mundo, mas oferece fácil acesso a várias fontes públicas diretamente disponíveis na Web. Dados de outros provedores como fontes meteorológicas nacionais, também pode ser importado usando uma ferramenta de importação flexível, Figura 26. Todas as manipulações e visualizações do meteo são realizadas em "Ferramentas".

Figura 26 – Menu Ferramentas



Fonte: Software PVSYSY v.6.72 – modo de avaliação, PVSYSY SA, 2018

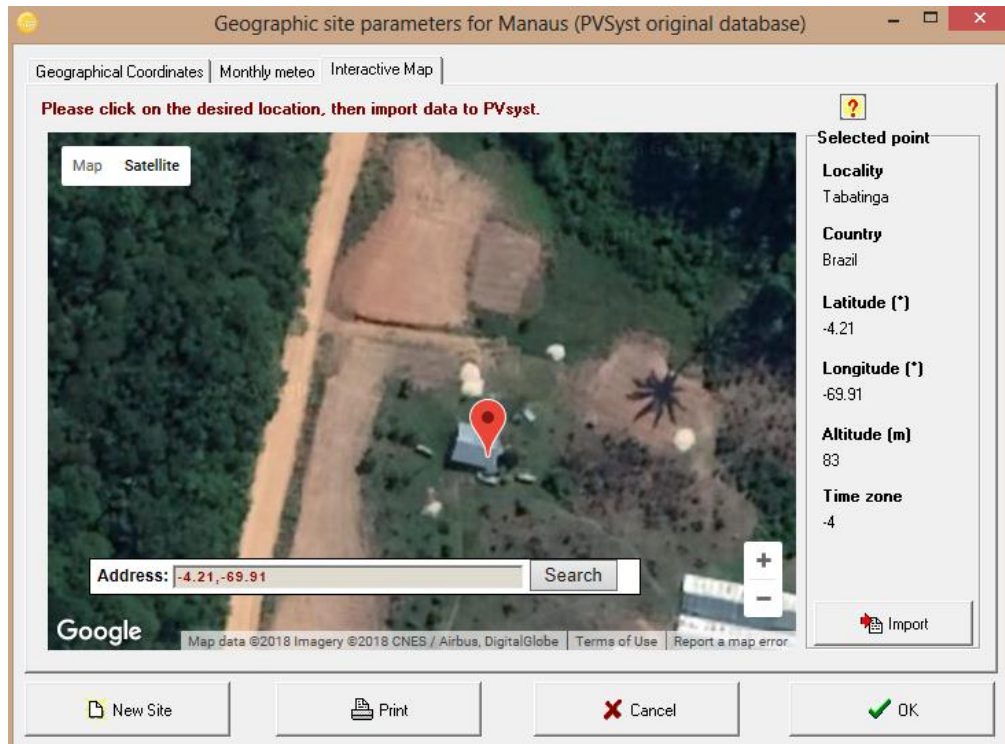
O programa permite ao usuário escolher em sua biblioteca os componentes do sistema, sua base de dados, que contém componentes de diversos fabricantes com referências atualizadas até o ano de 2018 na versão 6.72, ao final da simulação gera um relatório com os parâmetros da configuração, mostra os principais resultados da simulação, com gráficos e tabelas de valores mensais, perdas do sistema, permite o usuário fazer avaliação econômica do sistema projetado.

### 3.4 SIMULAÇÃO DO PROJETO

Com o objetivo analisar a viabilidade técnico-econômica e de eficiência de acumuladores de energia, em um projeto de um sistema fotovoltaicos isolado (SFI), no telhado de uma residência localizada no município de Tabatinga, foram realizadas simulações utilizando o software PVsyst 6.72 em sua versão de avaliação.

O software permite ao projetista marcar o local exato de instalação do sistema, que neste caso fica em uma área sem o recebimento de energia pela concessionária, com Latitude  $-4,21^\circ$  e Longitude  $-69,91^\circ$ , conforme mostrado na Figura 27.

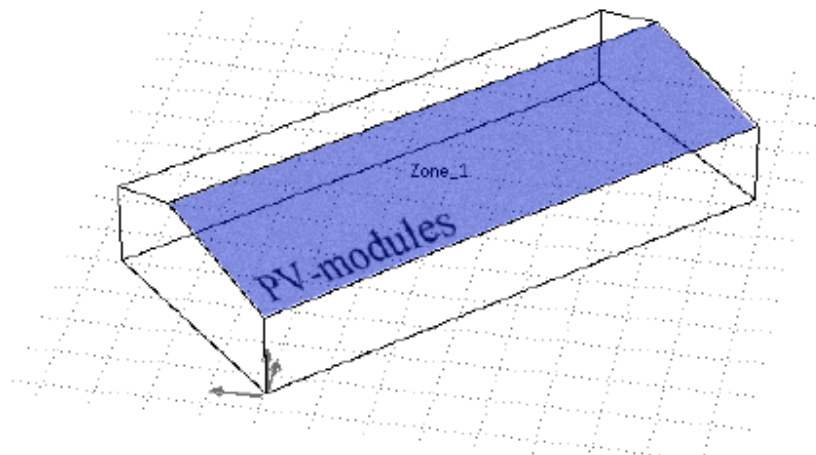
Figura 27 – modelo 3D simulado do SFI em Tabatinga.



Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

Na Figura 28, vemos uma vista geral do sistema fotovoltaico em modelo 3D do sistema fotovoltaico simulado.

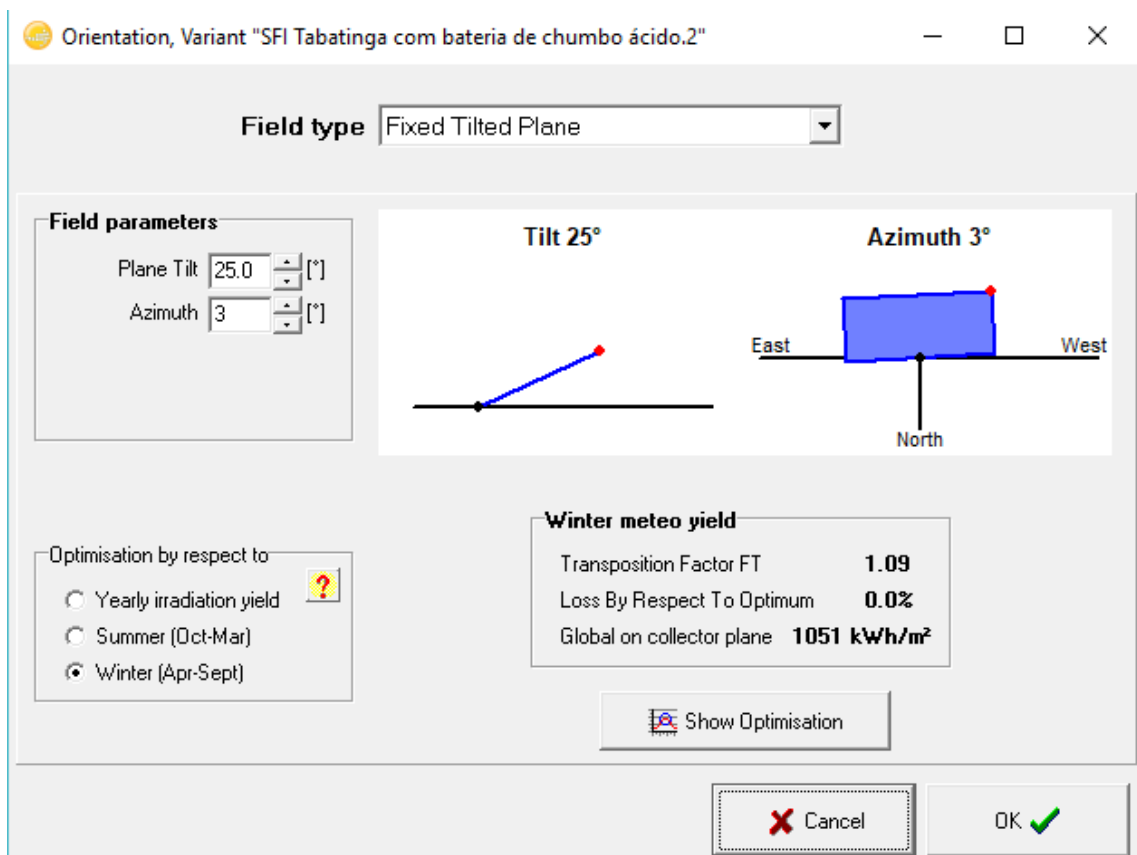
Figura 28 – modelo 3D simulado do SFI em Tabatinga.



Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

O PVsyst possui a capacidade de definir o tipo de sistema a utilizar, painéis fixos ou orientáveis, segundo 1 ou 2 eixos, etc., mediante a avaliação que se quer realizar, define-se o tipo de sistema instalado, sendo possível ao utilizador, definir cada componente específica para cada sistema escolhido. No sistema isolado em Tabatinga, foi definido um sistema fixo, é nesta secção onde se define a orientação e o azimute dos painéis fotovoltaicos. Foi escolhida a inclinação de 25° e o azimute igual a 3° pois foi a que se obteve melhor potência por metro quadrado em kWh/m<sup>2</sup> no software, Figura 29.

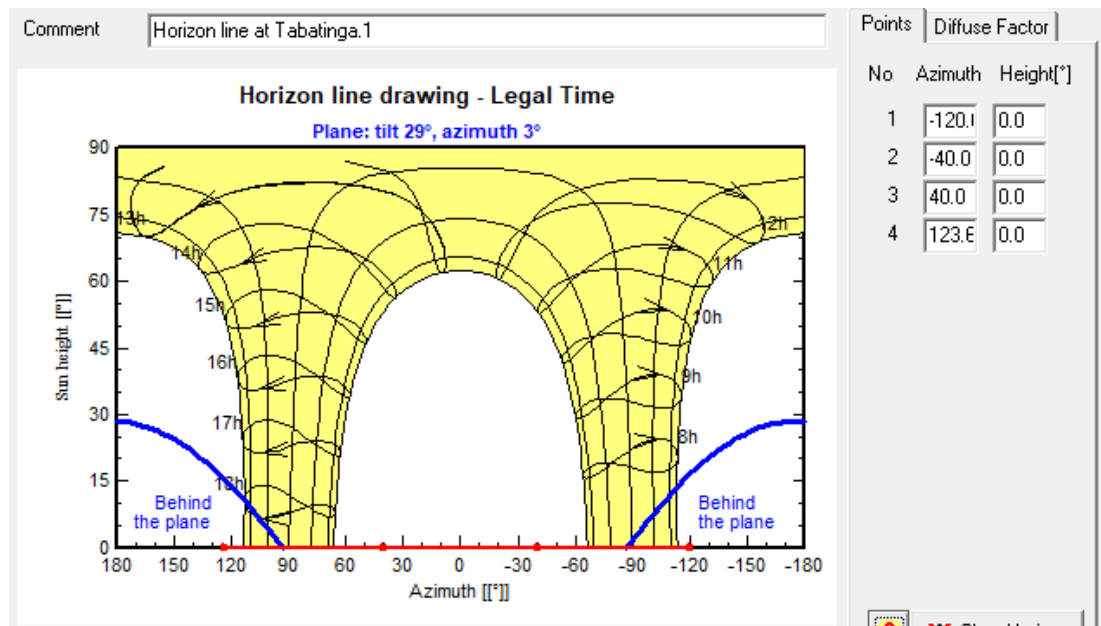
Figura 29 – Inclinação e orientação do painel fotovoltaico.



Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

O próximo passo foi definir a linha de horizonte do local, fator que influencia a hora em que os painéis começam a receber a radiação solar, bem como os sombreamentos que possam estar sujeitos devido a relevos que interferem na incidência de luz solar sobre a área fotovoltaica. Neste projeto como não há árvores, que causem sombreamento no sistema, desse modo a linha vermelha que indica obstáculos permanece constante Figura 30.

Figura 30 – Insolação no local, em Tabatinga.



Fonte: própria autora, simulação no PVSYS v.6.72

Na janela “input parameters” foi inserido em “user’s needs” Figura 31, as cargas e consumos diários da residência em questão.

Figura 31 – Definição das cargas e necessidades diárias do SFI.

Results overview	
System kind	Stand-alone system
System Production	1071 kWh/yr
Specific production	1232 kWh/kWp/yr
Performance Ratio	0.563
Normalized production	2.85 kWh/kWp/day
Array losses	2.06 kWh/kWp/day
System losses	0.16 kWh/kWp/day

Fonte: simulação no PVSYS v.6.72

### 3.4.1 Caso 1 – Sistema com bateria de chumbo ácido

A Figura 32 mostra quais as cargas do sistema isolado e seus respectivos consumos diários. O tempo médio de 10 horas diárias para a geladeira refere-se ao período em que o compressor fica ligado para manter o interior na temperatura desejada.

Figura 32 – Definição das cargas e necessidades diárias do SFI.

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
1	Geladeira	200 W/lamp	10.0 h/day	OK	2000 Wh
1	Ventilador	50 W/app.	10.0 h/day	OK	500 Wh
3	Lâmpada LED	9 W/app.	6.0 h/day	OK	162 Wh
0	Fridge / Deep-freeze	0.00 kWh/day	24.0 h/day		0 Wh
0	Dish- & Cloth-washers	0.0 W aver.	2.0 h/day		0 Wh
0	Other uses	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
0	Other uses	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
Stand-by consumers		1 W tot	24 h/day		24 Wh
<b>Total daily energy</b>					<b>2686 Wh/day</b>
<b>Total monthly energy</b>					<b>80.6 kWh/month</b>

Fonte: própria autora, simulação no PVSYS v.6.72

Em “System” foi definido o tipo de bateria utilizada no projeto, onde foi escolhida uma bateria “Pb Open Tube” de 150Ah Figura 33, única disponível com esta capacidade, coincidindo com a disponibilidade de capacidade de bateria encontrada na empresa BA Elétrica Ltda, em Manaus. Embora a bateria do software seja a bateria “Pb Open Tube” e as da BA Elétrica sejam baterias estacionárias de 150Ah do fabricante FREEDOM, estas possuem a mesma vida útil da bateria do software. Foi utilizado o preço das baterias da BA na análise econômica.

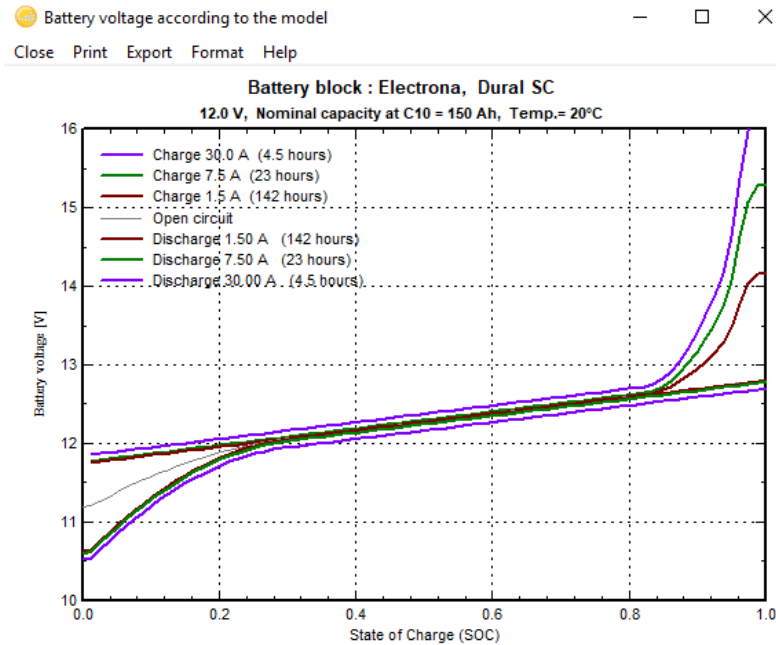
Figura 33 – Definição da bateria do SFI.

Sort Batteries by		<input checked="" type="radio"/> voltage	<input type="radio"/> capacity	<input type="radio"/> manufacturer
All Manufacturers	12 V	150 Ah	Pb Open Tub	Dural SC
Electrona	<input type="button" value="Open"/>			
Lead-acid				
1	<input checked="" type="checkbox"/> Batterys in serie	Number of batterys	7	Battery pack voltage
7	<input checked="" type="checkbox"/> Batterys in parallel	Number of elements	42	Global capacity
				Stored energy (80% DOD)
				10.1 kWh
				Total weight
				446 kg
				Nb. cycles at 50% DOD
				1475
				Total stored energy during the battery life
				10314 kWh

Fonte: própria autora, simulação no PVSYS v.6.72

Em “Open” podemos verificar desde os parâmetros básicos da bateria selecionada, a detalhes do modelo, vida útil, fabricante e gráfico de carga e descarga da bateria, Figura 34.

Figura 34 – Gráfico do estado de carga e descarga da bateria de chumbo ácido.



Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

Em “System” também foi definido o tipo de módulo fotovoltaico, onde foi selecionado o módulo de silício policristalino de 145Wp e o controlador de carga de 30A 12/24V Figura 35.

Figura 35 – Seleção módulo solar e controlador de carga.

Design of a Standalone system, Variant "SFI Tabatinga com bateria de chumbo ácido.2"

Category	Specification
User needs	Household, Aver. power 112 W, Daily Energy 2.69 kWh, Night ratio 49.3 %
Battery pack	4 in parallel, 24 V, Capacity 600 Ah, Stored energy 14.40 kWh, Autonomy 5.4 d
PV Array	6 str. of 1 modules, 145 Wp, Nom. power 870 Wp, Av. daily energy 3.05 kWh, PV/PLoad 7.8
Controller	Direct coupling, Thresholds: acc. to voltMax, PV current 30 A

**Storage: PV Array | Back-up | Schema**

Sub-array name and Orientation:  
Name: PV Array  
Orient: Fixed Tilted Plane  
Tilt: 25°, Azimut: 3°

**Select the PV module**  
All modules: Canadian Solar Inc. 145 Wp 29V Si-poly CS5A-145 Until 2009 Photon Max. 200°  
Sizing voltages: Vmpp (60°C) 28.3 V, Voc (-10°C) 48.4 V

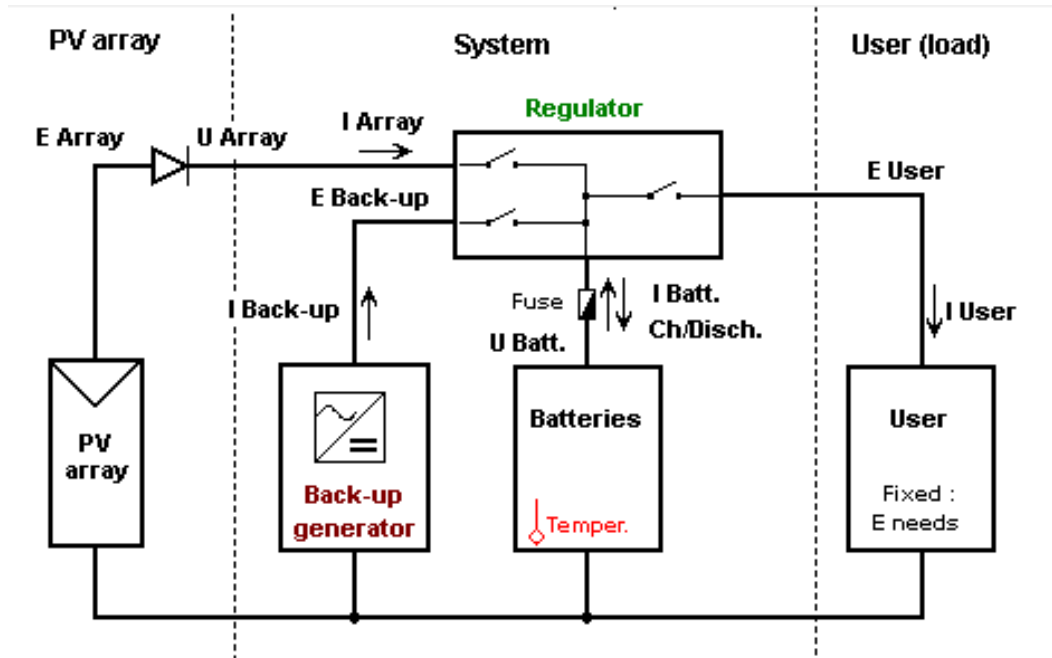
**Select the control mode and the controller**  
Direct coupling of PV array to battery  
Operating mode: Direct coupling, Series 12-24 V, 30 A, 30 A, EcoPulse EC-30M  
Number of controllers: 1

**PV Array design**  
Number of modules and strings: Mod. in serie 1, Nb. strings 6, Nb modules 6, Area 8 m²  
Operating conditions: Vmpp (60°C) 28 V, Vmpp (20°C) 35 V, Voc (-10°C) 48 V  
Plane irradiance 1000 W/m²  
Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 0.8 kW  
Array's nom. power (STC): 870 Wp

Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

Na Figura 36, vemos o layout do sistema, uma das limitações do software é não permitir no sistema isolado o uso de inversor para as cargas AC.

Figura 36 – Layout típico de um SFI, sem o bloco de inversor.



Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

Contudo em “Details” de “Investment” de “Economic eval”, foi inserido o preço do inversor para as cargas AC, o dimensionado e escolhido foi o Inversor Hayonik 800W 12/127V com custo de R\$ 349,42 incluindo o frete. Também em “Investment” de “Economic eval” do software PVsyst, inseriu-se o valor dos 6 módulos utilizados, e suporte para fixação dos módulos em telhado ondulado, o valor do banco de baterias composto por 8 unidades de baterias de chumbo-ácido e cabos de conexões entre as baterias demais componentes do sistema, o custo de 1 controlador de carga, outros gastos como transporte fluvial de Manaus a Tabatinga e custo dos serviços de engenharia, Figura 37. O programa permite selecionar a moeda de nosso país para os cálculos, obtendo ao final: a produção anual, os custos anuais e o custo da energia produzida pelo sistema projetado.

Figura 37 – Definição dos custos do sistema.

**Economic evaluation**

**Project and Simulation variant**  
 Project: SFI Tabatinga Bateria de Chumbo  
 Simulation: SFI Tabatinga com bateria de chumbo ácido.4  
 PV Array, Pnom = 870 Wp System: Stand  
 PV module: CS5A - 145

**Investment**

PV modules	6 units of 145 Wp	2900	Real
Supports / Integration		1136	Real
Batteries	8 of 12 V/ 150 Ah	10775	Real
Controller		127	Real
Settings, wiring, ...		338	Real
Others, miscellaneous...	<input type="button" value="Details"/>	6349	Real
Substitution underworth		0	Real
<b>Gross investment, (excl. taxes)</b>		<b>21625</b>	<b>Real</b>

**Financing**

Taxes	15.00 %	3244	Real
Subsidies	- 0		Real
<b>Net investment</b>		<b>24869</b>	<b>Real</b>
Annuities		1996	Real / yr
Running Costs	<input type="button" value="Details"/>	0	Real / yr
<b>Total yearly cost</b>		<b>1996</b>	<b>Real / yr</b>

**Miscellaneous user defined...**  
 User defined cost labels, will be summed in "Miscellaneous"

Transporte fluvial de MAO a TB	1000	Real
Inversor Hayonik 8000w 12/127v	349	Real
Serviços de engenharia	5000	Real
Transport and assembly	0	Real
Engineering	0	Real
<b>Total miscellaneous costs</b>	<b>6349</b>	<b>Real</b>

**Loan**  
 Duration: 20 Years  
 Rate: 5.0 %  
 Ann. factor 8.02 %cap./yr

**Currency**  
 Brazil

**Energy cost**

Used solar energy	906	kWh / year
Excess energy	115	kWh / year
Yearly cost	1996	Real / year
Used energy cost	2.20	Real / kWh

Fonte: própria autora, simulação no PVSYSY v.6.72

### 3.4.1.1 Resultado de simulação Caso 1, sistema com bateria de chumbo ácido

O PVSyst ao final da simulação permite ao usuário imprimir um relatório final, o qual nesta etapa conterá os parâmetros da configuração, detalhes de necessidades do usuário, perdas do sistema e avaliação econômica do sistema projetado. Ver relatório em Anexo1.

A ferramenta Balanço de Carbono permite estimar a economia nas emissões de CO<sub>2</sub> esperadas para a instalação do sistema fotovoltaico. A base deste cálculo são as chamadas emissões do ciclo de vida (Life Cycle Emissions - LCE), que representam as emissões de CO<sub>2</sub> associadas a um determinado componente ou quantidade de energia. Esses valores incluem o ciclo de vida total de um componente ou quantidade de energia, incluindo produção, operação, manutenção, descarte etc.

O raciocínio por trás da Ferramenta de Balanço de Carbono é que a eletricidade produzida pela instalação de energia fotovoltaica substituirá a mesma quantidade de eletricidade na rede existente. Se as emissões de carbono da instalação fotovoltaica por kWh

for menor do que a da produção de eletricidade da rede, haverá uma economia líquida de emissões de dióxido de carbono (PVSYST 6 HELP, 2018).

O balanço total de carbono simulado para a da unidade fotovoltaica rural de Tabatinga conta com a diferença entre emissões de CO<sub>2</sub> produzidas e salvas, e depende de quatro fatores principais:

**Produção do sistema:** A produção do sistema simulado, ou rendimento energético, da instalação fotovoltaica durante um ano foi de 927,84kWh/ano, conforme calculado pela simulação do PVsyst. A degradação do sistema por padrão no software é 1% anualmente, devido ao envelhecimento dos componentes Figura 38.

**Vida útil do sistema:** é 30 anos por padrão de simulação Figura 38, esse tempo determina, junto com a Produção do sistema, a quantidade total de energia que será substituída pela instalação PV.

**Emissões do ciclo de vida da rede:** no projeto foi de 81gCO<sub>2</sub> / kWh e representa a quantidade média de emissões de CO<sub>2</sub> pela unidade de energia para a eletricidade produzida pela rede Figura 38. Este valor foi pré-definido no software, tendo como referência a Agência Internacional de Energia (IEA). Este valor representam a emissão média de CO<sub>2</sub> em 2010 por kWh. (PVSYST 6 HELP, 2018).

**LCE do Sistema fotovoltaico:** É dado em tCO<sub>2</sub> e representa a quantidade total de emissões de CO<sub>2</sub> causadas pela construção e operação da instalação fotovoltaica. (PVSYST 6 HELP, 2018).

A simulação também mostra a visão geral e evolução temporal do balanço de CO<sub>2</sub>.

Figura 38 – Balanço de Carbono

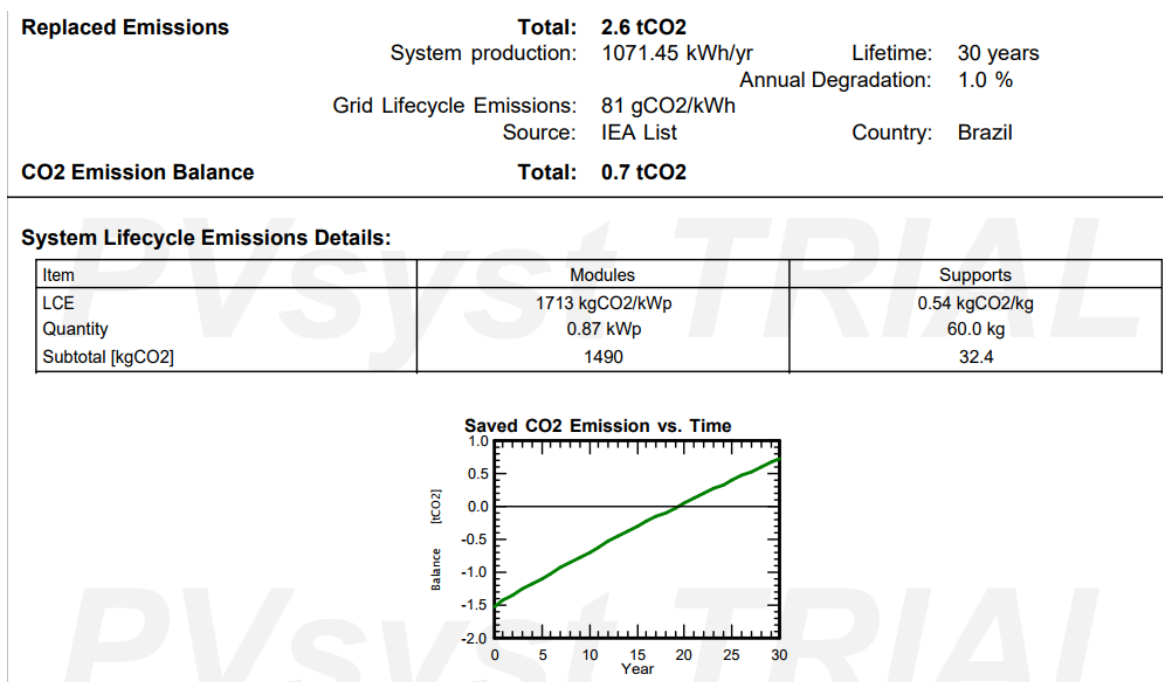
<b>Produced Emissions</b>	<b>Total: 1.52 tCO2</b>	
	Source: Detailed calculation from table below	
<b>Replaced Emissions</b>	<b>Total: 2.6 tCO2</b>	
	System production: 1071.45 kWh/yr	Lifetime: 30 years
		Annual Degradation: 1.0 %
	Grid Lifecycle Emissions: 81 gCO2/kWh	
	Source: IEA List	Country: Brazil
<b>CO2 Emission Balance</b>	<b>Total: 0.7 tCO2</b>	

Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

Na Figura 38, vemos ainda as emissões produzidas de CO<sub>2</sub>, que foram 1,52 tCO<sub>2</sub>, as emissões substituídas, a poupança total de emissões de CO<sub>2</sub> nesta simulação deu 2,6tCO<sub>2</sub> durante o tempo de vida esperado da instalação fotovoltaica e o balanço de emissões de 0,7tCO<sub>2</sub>.

O software também gera uma tabela detalhada com as emissões do ciclo de vida do sistema, e um gráfico com a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> salvas, ao longo de 30 anos do projeto, Figura 39.

Figura 39 – Emissões detalhadas do ciclo de vida do sistema



Fonte: própria autora, simulação no PVSYS v.6.72

#### 3.4.1.2 Análise da viabilidade econômica-financeira do projeto – Caso 1

Com base nos custos coletados de fornecedores de empresas de Manaus e nacionais já incluso o preço de frete, foi montado o sistema isolado para atender a unidade rural de Tabatinga, os valores dos materiais a serem utilizados no projeto, mão de obra, transporte, são descritos na Tabela 2. Neste projeto não foram levados em conta as substituições de baterias de chumbo-ácido.

Tabela 2 – Investimento do projeto Caso 1

Equipamentos	Unidades	Vida Útil (anos)	Custo Total R\$
<b>Módulo Fotovoltaico</b>	5	25	2.183,32
<b>Controlador de carga</b>	2	15	127,45
<b>Baterias de chumbo ácido</b>	7	5	10.775,44
<b>Inversor</b>	1	15	349,42
<b>Suporte de fixação de painéis</b>	1	25	1.135,49
<b>Transporte fluvial de MAO à TBT</b>	1	5	1.000,00

<b>Serviços de engenharia</b>	1	25	5.000,00
<b>Suporte - Fiação - Proteção</b>	1	25	337,80
<b>TOTAL</b>			<b>20.908,92</b>

Fonte: própria autora

Os painéis solares, descritos na Tabela 2, serão instalados em uma das águas do telhado tipo ondulado da unidade residencial, os quais serão calçados com suportes de sustentação fixados na própria edificação.

Verifica-se que o investimento em equipamentos para instalação do sistema e geração de energia através de painéis fotovoltaicos, conforme pode ser visualizado no Tabela 2, é de R\$ 20.908,92.

A Tabela 3 apresenta o fluxo de caixa projetado para um período de 10 anos, sem reposição de baterias.

Tabela 3 - Fluxo de caixa projetado para um período de 10 anos

Ano	Investimentos [R\$]	Entrada	Fluxo de Caixa [R\$]	Fluxo de Caixa Descontado [R\$]	Payback descontado [R\$]
		Economias Anuais [R\$]			
<b>0</b>	-20.908,92	0,00	-20.908,92	-20.908,92	-20.908,92
<b>1</b>	-104,54	4.835,27	4.730,73	4.730,73	-16.462,75
<b>2</b>	-110,82	5.265,61	5.154,80	5.154,80	-11.909,43
<b>3</b>	-117,47	5.734,25	5.616,79	5.616,79	-7.246,45
<b>4</b>	-124,51	6.244,60	6.120,09	6.120,09	-2.471,26
<b>5</b>	-131,99	6.800,37	6.668,39	6.668,39	2.418,79
<b>6</b>	-139,90	7.405,60	7.265,70	7.265,70	7.426,36
<b>7</b>	-148,30	8.064,70	7.916,40	7.916,40	12.554,23
<b>8</b>	-157,20	8.782,46	8.625,26	8.625,26	17.805,20
<b>9</b>	-166,63	9.564,10	9.397,47	9.397,47	23.182,15
<b>10</b>	-176,63	10.415,31	10.238,68	10.238,68	28.688,04
<b>Total R\$</b>		<b>73.112,29</b>			

Fonte: própria autora

Para o cálculo do Payback descontado considera-se uma TMA igual a taxa Selic de 6,40% ao ano (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2018). Assim, são necessários 4 anos, 6 meses e 2 dias, para se recuperar o investimento inicial proposto de R\$ 20.908,92 Tabela 4.

Nota-se ainda, na Tabela 3, que o valor presente líquido ao final do décimo ano será de R\$ 28.688,04. Ao observar a Tabela, apenas a economia acumulada durante um período de 10 anos, é possível identificar um valor total de R\$ 73.112,29, ou seja, já é R\$ 52.203,37 superior ao custo total da instalação do sistema de geração solar. Portanto, a partir de, aproximadamente, 4,6 anos o sistema já estará totalmente pago e gerando uma economia mínima de pelo menos R\$ 4.835,27.

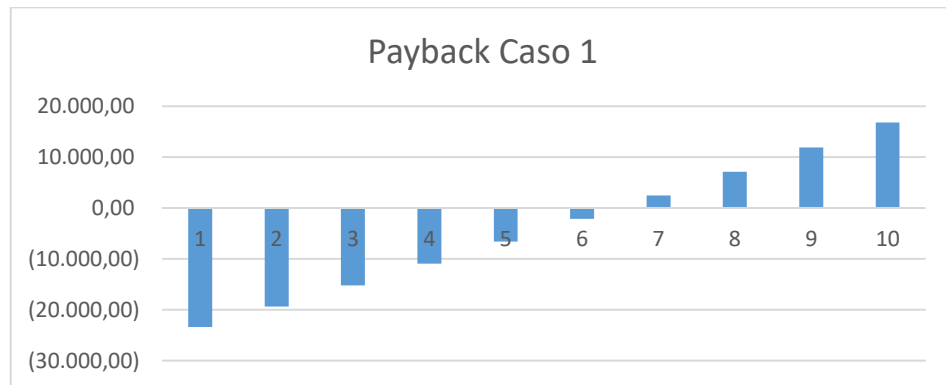
Assim, é possível concluir que, para uma TMA de 6,40% ao ano, o projeto de energia solar fotovoltaica isolada como alternativa para redução de custos e de diversificação energética é viável para o período analisado, considerando os dados projetados. Na Tabela 4 vemos uma Tabela resumo com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Retorno sobre Investimento (ROI).

Tabela 4 - Indicadores financeiros de viabilidade

<b>(TMA)</b>	<b>6,40%</b>
<b>(VPL)</b>	R\$ 28.688,04
<b>(TIR)</b>	26,50%
<b>(ROI)</b>	4 anos(s) 6 mês(es) 2 dia(s)

O Gráfico 1, apresenta o Payback descontado para o período de 10 anos, sem reposição de baterias, vemos que a partir de 4,6 anos o projeto é pago, e começa a gerar economias.

Gráfico 1 – Payback Caso 1, baterias de chumbo-ácido



Os resultados revelaram que o projeto Caso 1, de implantação de energia solar fotovoltaica com utilização de baterias de chumbo ácido, em Tabatinga é viável para o período analisado, considerando os dados projetados, sem reposição de baterias que é o componente do sistema com menor vida útil de 5 anos.

### 3.4.2 Caso 2 – Sistema com baterias de fosfato de ferro de lítio (LiFePO<sub>4</sub>)

A definição das cargas utilizadas no Caso 2, foram as mesmas do Caso 1, conforme mostrado na Figura 40.

Figura 40 – Definição das cargas e necessidades diárias do SFI.

Daily use of Energy, Variant "SFI Tabatinga com baterias LiFePO4\_simulação12"

**Definition of Daily Household consumptions. year**

Consumptions | Hourly distribution

**Daily consumptions**

Number	Appliance	Power	Daily use	Hourly distrib	Daily energy
3	Lâmpada LED	9 W/lamp	6.0 h/day	OK	162 Wh
1	Geladeira	200 W/app.	10.0 h/day	OK	2000 Wh
1	Ventilador	50 W/app.	10.0 h/day	OK	500 Wh
0	Fridge / Deep-freeze	0.00 kWh/day	0.0 h/day		0 Wh
0	Dish- & Cloth-washers	0.0 W aver.	0.0 h/day		0 Wh
0	Other uses	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
0	Other uses	0 W/app.	0.0 h/day		0 Wh
<b>Stand-by consumers</b>		<b>1 W tot</b>	<b>24 h/day</b>		<b>24 Wh</b>
<b>Total daily energy</b>					<b>2686 Wh/day</b>
<b>Total monthly energy</b>					<b>80.6 kWh/month</b>

Appliances info

Consumption definition by:  Year  Seasons  Months

Week-end or Weekly use:  Use only during  7 days in a week

Fonte: própria autora, simulação no PVSYS v.6.72

Em “System” foi definido o tipo de bateria utilizada no projeto, onde foi escolhida uma bateria “Li LFP” de 202Ah, Figura 41. Em análise econômica utilizou-se cotações de preço de baterias chinesas LiFePO<sub>4</sub>, com mesma capacidade.

Figura 41 – Definição da bateria do SFI.

**Specify the Battery set**

Sort Batteries by:  voltage  capacity  manufacturer

Victron Energy | 12.8 V | 202 Ah | Li LFP | LFP-CB 12.8V / 200Ah Since 2017 | Open

Lithium-ion | The selected battery is a module

2 modules in serie | Number of modules: 4

2 modules in parallel | Number of elements: 1040

Battery pack voltage: 26 V

Global capacity: 404 Ah

Stored energy (80% DOD): 8.3 kWh

Total weight: 168 kg

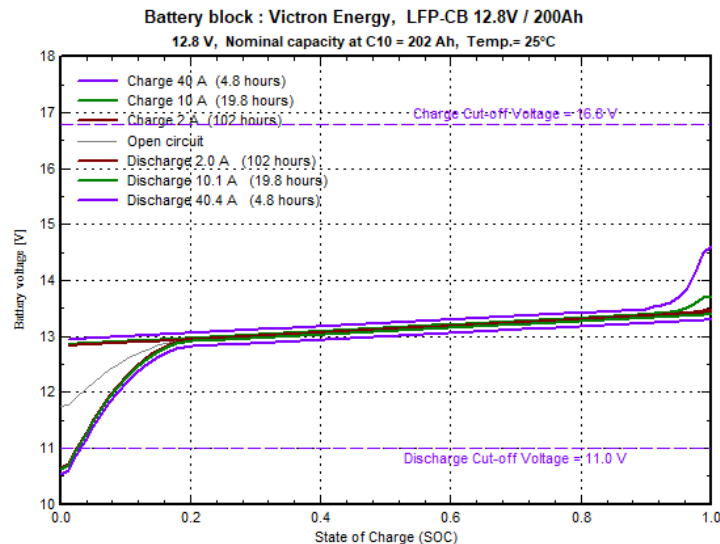
Nb. cycles at 50% DOD: 5000

Total stored energy during the battery life: 25580 kWh

Fonte: própria autora, simulação no PVSYS v.6.72

Em “Open” podemos verificar desde os parâmetros básicos da bateria LiFePO<sub>4</sub> selecionada, a detalhes do modelo, vida útil, fabricante e gráfico de carga e descarga da bateria Figura 42.

Figura 42 – Gráfico do estado de carga e descarga da bateria.



Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

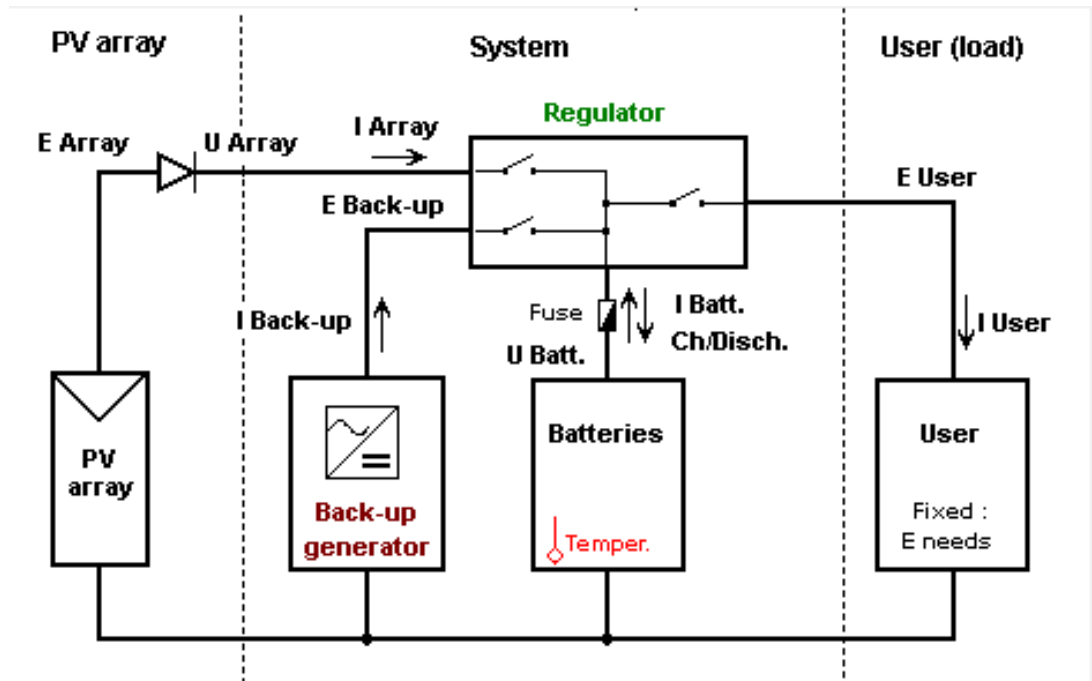
Em “System” também foi definido o tipo de módulo fotovoltaico, onde foi selecionado o módulo de silício monocristalino de 165Wp e o controlador de carga de 35A 26V, Figura 43.

Figura 43 – Seleção módulo solar e controlador de carga.

Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

Na Figura 44, vemos o layout do sistema, uma das limitações do software é não permitir no sistema isolado o uso de inversor para as cargas AC.

Figura 44 – Layout típico de um SFI, sem o bloco de inversor.



Fonte: própria autora, simulação no PVSYS v.6.72

Contudo em “Details” de “Investment” de “Economic eval”, foi inserido o preço do inversor para as cargas AC, o dimensionado e escolhido foi o Inversor Hayonik 800W 12/127V com custo de R\$ 349,42 incluindo o frete. Também em “Investment” de “Economic eval” do software PVsyst, inseriu-se o valor dos 5 módulos utilizados, suporte para fixação dos módulos em telhado ondulado, o valor do banco de baterias composto por 4 unidades de baterias de fosfato de ferro de lítio, cabos de conexões entre as baterias, o custo de 1 controlador de carga, outros gastos como transporte fluvial de Manaus a Tabatinga e custo dos serviços de engenharia, conforme mostrados na Figura 45. O programa permite selecionar a moeda de nosso país para os cálculos, obtendo ao final um relatório com: a produção anual, os custos anuais e o custo da energia produzida pelo sistema projetado.

Figura 45 – Definição dos custos do sistema.

**Economic evaluation**

**Project and Simulation variant**

Project: SFI Tabatinga com baterias LiFePO4  
 Simulation: SFI Tabatinga com baterias LiFePO4\_simulação  
 PV Array, Pnom = 825 Wp System: Stand  
 PV module : CS5A - 165M

**Investment**

PV modules	5 units of 165 Wp	2045	Real
Supports / Integration		1135	Real
Batteries	4 of 13 V/ 3 Ah	12886	Real
Controller		665	Real
Settings, wiring, ...		338	Real
Others, miscellaneous...	<input type="button" value="Details"/>	6349	Real
Substitution underworth		0	Real
<b>Gross investment, (excl. taxes)</b>		<b>23419</b>	<b>Real</b>

**Financing**

Taxes	<input type="text" value="15.00"/> %	3513	Real
Subsidies	<input type="text" value="0"/> %	0	Real
<b>Net investment</b>		<b>26932</b>	<b>Real</b>
Annuities		3488	Real / yr
Running Costs	<input type="button" value="Details"/>	5154	Real / yr
<b>Total yearly cost</b>		<b>8641</b>	<b>Real / yr</b>

**Loan**

Duration:  Years  
 Rate:  %  
 Ann. factor 12.95 %cap./yr

**Currency**

Brazil

**Energy cost**

Used solar energy	947	kWh / year
Excess energy	124	kWh / year
Yearly cost	8641	Real / year
Used energy cost	9.12	Real / kWh

**Miscellaneous user defined...**

User defined cost labels, will be summed in "Miscellaneous"

Inversor Hayonik 800w 12/127v	<input type="text" value="349"/>	Real
Transporte fluvial de MAO a TB	<input type="text" value="1000"/>	Real
Serviços de engenharia	<input type="text" value="5000"/>	Real
	<input type="text" value="0"/>	Real
	<input type="text" value="0"/>	Real
<b>Total miscellaneous costs</b>	<b>6349</b>	<b>Real</b>

Fonte: própria autora, simulação no PVSYS v.6.72

### 3.4.2.1 Resultado de simulação Caso 2, sistema com bateria de Fosfato de Ferro de Lítio

O PVsyst ao final da simulação permite ao usuário imprimir um relatório final, o qual nesta etapa conterá os parâmetros da configuração, detalhes de necessidades do usuário, perdas do sistema e avaliação econômica do sistema projetado. Ver relatório completo em Anexo 2.

A ferramenta Balanço de Carbono permite estimar a economia nas emissões de CO<sub>2</sub> esperadas para a instalação do sistema fotovoltaico. A base deste cálculo são as chamadas emissões do ciclo de vida (Life Cycle Emissions - LCE), que representam as emissões de CO<sub>2</sub> associadas a um determinado componente ou quantidade de energia. Esses valores incluem o ciclo de vida total de um componente ou quantidade de energia, incluindo produção, operação, manutenção, descarte etc.

O raciocínio por trás da Ferramenta de Balanço de Carbono é que a eletricidade produzida pela instalação de energia fotovoltaica substituirá a mesma quantidade de eletricidade na rede existente. Se as emissões de carbono da instalação fotovoltaica por kWh

for menor do que a da produção de eletricidade da rede, haverá uma economia líquida de emissões de dióxido de carbono (PVSYST 6 HELP, 2018).

O balanço total de carbono simulado para a da unidade fotovoltaica rural de Tabatinga conta com a diferença entre emissões de CO<sub>2</sub> produzidas e salvas, e depende de quatro fatores principais:

**Produção do sistema:** A produção do sistema simulado, ou rendimento energético, da instalação fotovoltaica durante um ano foi de 1106,64kWh/ano, conforme calculado pela simulação do PVsyst. A degradação do sistema por padrão no software é 1% anualmente, devido ao envelhecimento dos componentes Figura 46.

**Vida útil do sistema:** é 30 anos por padrão de simulação Figura 46, esse tempo determina, junto com a Produção do sistema, a quantidade total de energia que será substituída pela instalação PV.

**Emissões do ciclo de vida da rede:** no projeto foi de 81gCO<sub>2</sub>/kWh e representa a quantidade média de emissões de CO<sub>2</sub> pela unidade de energia para a eletricidade produzida pela rede, Figura 46. Este valor foi pré-definido no software, tendo como referência a Agência Internacional de Energia (IEA). Este valor representam a emissão média de CO<sub>2</sub> em 2010 por kWh. (PVSYST 6 HELP, 2018).

**LCE do Sistema fotovoltaico:** É dado em tCO<sub>2</sub> e representa a quantidade total de emissões de CO<sub>2</sub> causadas pela construção e operação da instalação fotovoltaica. (PVSYST 6 HELP, 2018).

A simulação também mostra a visão geral e evolução temporal do balanço de CO<sub>2</sub>.

Figura 46 – Balanço de Carbono

<b>Produced Emissions</b>	<b>Total: 1.44 tCO<sub>2</sub></b>		
	Source: Detailed calculation from table below		
<b>Replaced Emissions</b>	<b>Total: 2.7 tCO<sub>2</sub></b>		
	System production: 1106.64 kWh/yr	Lifetime: 30 years	
		Annual Degradation: 1.0 %	
	Grid Lifecycle Emissions: 81 gCO <sub>2</sub> /kWh		
	Source: IEA List	Country: Brazil	
<b>CO<sub>2</sub> Emission Balance</b>	<b>Total: 0.9 tCO<sub>2</sub></b>		

Fonte: própria autora, simulação no PVSYST v.6.72

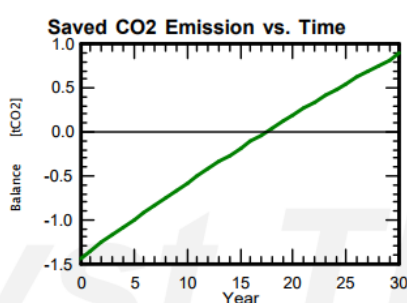
Na Figura 46, vemos ainda as emissões produzidas de CO<sub>2</sub>, que foram 1,44 tCO<sub>2</sub>, as emissões substituídas, a poupança total de emissões de CO<sub>2</sub> nesta simulação deu 2,7tCO<sub>2</sub> durante o tempo de vida esperado da instalação fotovoltaica, o balanço de emissões é de 0,9tCO<sub>2</sub>.

O software também gera uma tabela detalhada com as emissões do ciclo de vida do sistema, e um gráfico com a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> salvas, ao longo de 30 anos do projeto Figura 47.

Figura 47 – Emissões detalhadas do ciclo de vida do sistema

**System Lifecycle Emissions Details:**

Item	Modules	Supports
LCE	1713 kgCO <sub>2</sub> /kWp	0.54 kgCO <sub>2</sub> /kg
Quantity	0.82 kWp	50.0 kg
Subtotal [kgCO <sub>2</sub> ]	1413	27.0



Fonte: própria autora, simulação no PVSYS v.6.72

### 3.4.2.2 Análise da viabilidade econômica-financeira do projeto – Caso 2

Com base nos custos coletados de fornecedores de empresas Chinesas para as baterias e demais componentes em empresas nacionais, já incluso o preço de frete, foi montado o sistema isolado para atender a unidade rural de Tabatinga, descritos na Tabela 5, com os respectivos investimentos necessários.

Tabela 5 – Investimento do projeto Caso 2

Equipamentos	Unidades	Vida Útil (anos)	Custo Total R\$
Módulo Fotovoltaico	5	25	R\$ 2.045,00
Controlador de carga	1	15	R\$ 665,00
Baterias Fosfato de Ferro de Lítio	4	25	R\$ 12.886,08
Inversor	1	15	R\$ 349,42
Suporte de fixação de painéis	1	25	R\$ 1.135,49
Transporte fluvial de MAO à TBT	1	5	R\$ 1.000,00
Serviços de engenharia	1	25	R\$ 5.000,00
Suporte - Fiação - Proteção	2	25	R\$ 337,80
TOTAL			<b>23.418,79</b>

Fonte: própria autora

Os painéis solares, descritos na Tabela 5, serão instalados em uma das águas do telhado tipo ondulado da unidade residencial, os quais serão calçados com suportes de sustentação fixados na própria edificação.

Verifica-se que o investimento em equipamentos para instalação do sistema e geração de energia através de painéis fotovoltaicos, conforme pode ser visualizado no Tabela 2, é de R\$ 23.418,79.

A Tabela 6 apresenta o fluxo de caixa projetado para um período de 10 anos.

Tabela 6 - Fluxo de caixa projetado para um período de 10 anos

Ano	Investimentos [R\$]	Entrada	Fluxo de Caixa [R\$]	Fluxo de Caixa Descontado [R\$]	Payback descontado [R\$]
		Economias Anuais [R\$]			
0	-23.418,79	0,00	-23.418,79	-23.418,79	-23.418,79
1	-117,09	4.432,33	4.315,24	4.055,68	-19.363,11
2	-124,12	4.826,81	4.702,69	4.153,97	-15.209,14
3	-131,57	5.256,40	5.124,83	4.254,56	-10.954,58
4	-139,46	5.724,22	5.584,76	4.357,50	-6.597,08
5	-147,83	6.233,67	6.085,85	4.462,85	-2.134,22
6	-156,70	6.788,47	6.631,77	4.570,67	2.436,45
7	-166,10	7.392,64	7.226,54	4.681,01	7.117,45
8	-176,07	8.050,59	7.874,52	4.793,93	11.911,38
9	-186,63	8.767,09	8.580,46	4.909,49	16.820,86
10	-197,83	9.547,36	9.349,54	5.027,75	21.848,62
<b>Total R\$</b>		<b>67.019,60</b>			

Fonte: própria autora

Para o cálculo do Payback descontado considera-se uma TMA igual a taxa Selic de 6,40% ao ano (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2018). Assim, são necessários 5 anos, 5 meses e 19 dias, para se recuperar o investimento inicial proposto de R\$ 23.418,79, conforme mostrado na Tabela 7.

Nota-se ainda, na Tabela 6, que o valor presente líquido ao final do décimo ano será de R\$ 21.848,62. Ao observar a Tabela, apenas a economia acumulada durante um período de 10 anos, é possível identificar um valor total de R\$ 67.019,60, ou seja, já é R\$ 43.600,98 superior ao custo total da instalação do sistema de geração solar. Portanto, a partir de, aproximadamente, 5,5 anos o sistema já estará totalmente pago e gerando uma economia mínima de pelo menos R\$ 4.432,33.

Assim, é possível concluir que, para uma TMA de 6,40% ao ano, o projeto de energia solar fotovoltaica isolada como alternativa para redução de custos e de diversificação energética utilizando baterias de fosfato de ferro de lítio, é viável para o período analisado, considerando os dados projetados. Na Tabela 7 vemos uma Tabela resumo com a Taxa Mínima de

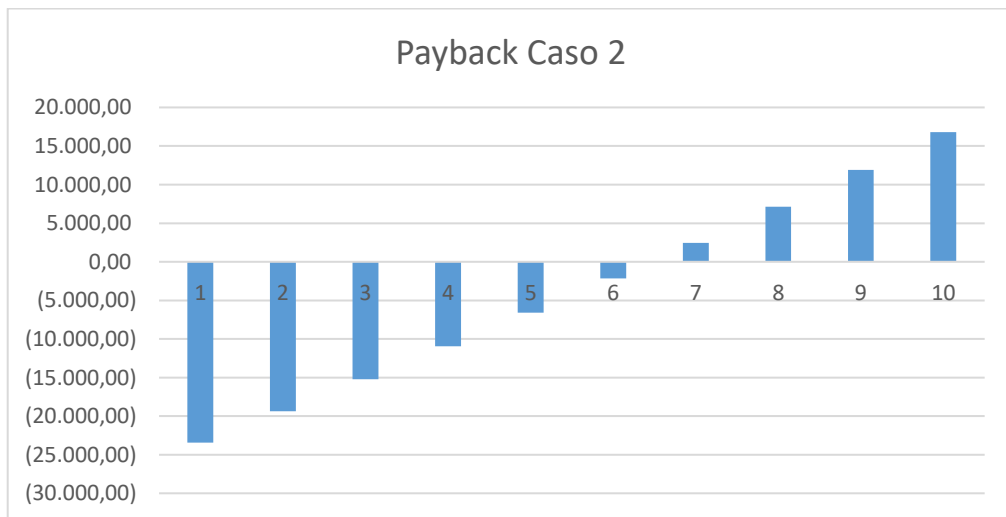
Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Retorno sobre Investimento (ROI).

Tabela 7 - Indicadores financeiros de viabilidade

<b>(TMA)</b>	<b>6,40%</b>
<b>(VPL)</b>	R\$ 21.848,62
<b>(TIR)</b>	20,85%
<b>(ROI)</b>	5 anos(s) 5 mês(es) 19 dia(s)

O Gráfico 2, apresenta o Payback descontado para o período de 10 anos, vemos que a partir de 5,5 anos o projeto é pago, e começa a gerar economias.

Gráfico 2 – Payback Caso 2, baterias LiFePO<sub>4</sub>



Os resultados revelaram que o projeto Caso 2, de implantação de energia solar fotovoltaica com utilização de baterias de fosfato de ferro de lítio, em Tabatinga é viável para o período analisado, considerando os dados projetados, como a tecnologia de LiFePO<sub>4</sub> possui vida útil superior a 10 anos, não será necessário fazer reposições no período projetado.

## 4 CONCLUSÃO

O estudo objetivou analisar a viabilidade econômica-financeira de baterias em sistemas fotovoltaicos isolados. Para tal análise, foram averiguados o valor presente líquido, Payback descontado, a taxa interna de retorno e o valor anual uniforme equivalente.

Como a VPL obtido em ambas as análises efetuadas é positivo, conclui-se que o investimento efetuado é recuperado, que a remuneração efetiva é superior à que foi exigida no projeto e é gerado lucro puro (corresponde ao valor do VPL), nos dois casos. Através dos indicadores econômicos obtidos comprovou-se que os sistemas fotovoltaicos do Caso 1 e Caso 2, correspondem a investimentos rentáveis.

Ambas as análises realizadas, se mostraram viáveis de serem implementadas, contudo a solução com bateria de  $\text{LiFePO}_4$ , possui maior eficiência e maior vida útil que a solução com baterias de chumbo-ácido.

Como a vida útil das baterias está diretamente relacionada com o fator temperatura, e o município de Tabatinga, interior do Estado do Amazonas, possui elevadas temperatura locais que variam a uma temperatura média de  $26.4^\circ$  à  $31.4^\circ$  em seus meses mais quentes (CLIMA:TABATINGA, 2018). Tais temperaturas estão acima dos valores requeridos pelas folhas de especificações da maioria dos fabricantes de tecnologias de baterias. Na Tabela 1, vimos uma análise comparativa das principais tecnologias de baterias.

As baterias que apresentaram maiores densidades de energia foram as baterias de íons de lítio, estas não possuem efeitos de memória, e tem um ciclo de vida relativamente logo, dessa forma tendo potencial para aumentar a eficiência, tempo de vida e confiabilidade de sistemas fotovoltaicos isolados que atualmente usam quase que exclusivamente baterias de chumbo ácido devido ao seu preço mais acessível.

Ao fazer uma escolha para uma ou outra bateria, os seguintes fatores devem ser levados em consideração como: segurança, confiabilidade, custo inicial incluindo a instalação, a vida útil, o peso e o volume, especialmente considerar o custo de transporte e a disponibilidade de armazenamento, sensibilidade a temperatura, impacto ambiental e manutenção. Baterias de íons de lítio apresentam melhor desempenho, uma vez que suportam temperaturas mais elevadas de climas quentes como o de Tabatinga, mas seu custo inicial é maior. Contudo se fossem consideradas as substituições do banco de baterias de chumbo ácido depois de 5 anos, o custo por ciclo de vida das baterias de  $\text{LiFePO}_4$ , acabam se tornando menores, por terem longa vida útil, superior a 10 anos.

Um dos problemas dessas áreas rurais é que não há serviço técnico ou peças disponíveis em caso de avaria, então os sistemas devem ser construídos de forma a minimizar falhas técnicas.

Entre as diferentes baterias de Li-íon, a de  $\text{LiFePO}_4$ , parece ser a mais promissora para o armazenamento de energia de grande capacidade. Isto é devido à sua vida útil e segurança em comparação com outras baterias de íons de lítio.

Das tecnologias que foram apresentadas na Tabela 1, podemos ver que as baterias que apresentam menor variância de ciclo de vida em relação ao aumento de temperatura são as tecnologias de íons de lítio, sendo que a tecnologia lítio manganês, é encontrada mais na forma  $\text{Li-MnO}_2$ , contudo suas aplicações não são voltadas para o armazenamento de energia fotovoltaica, por a maioria de suas células serem de pequeno porte. As baterias de lítio cobalto, mostradas na Tabela 1, não são utilizadas em aplicações solares. A tecnologia de íon de lítio mais difundida comercialmente no mundo todo para aplicações solares, são as baterias de Fosfato de Ferro de Lítio, por esse motivo foram utilizadas no estudo de Caso 2. E se mostram mais adequadas para aplicações solares do que as baterias de chumbo ácido, por possuírem maior resistência a variação de temperatura, maior ciclo de vida útil e menor peso, o que reduz o tamanho dos bancos de baterias. Além disso deve-se levar em conta o fator toxicidade, que das baterias de  $\text{LiFePO}_4$  é baixo, desta forma se mostram adequadas para aplicações fotovoltaicas isoladas, como esta apresentada na presente monografia.

O PVsyst é um programa rápido que permite, uma versão rápida do sistema fotovoltaico isolado e sistema conectado a rede. Contudo, trata-se de um programa pago e por isso não está acessível a todos. Existem outros programas, como o Homer, RETScreen e TRNSYS que permitem estimar a geração de energia de um sistema fotovoltaico.

Foram realizadas simulações com baterias de chumbo ácido, no Caso 1 e baterias de Fosfato de Ferro de Lítio no Caso 2. Apesar dos resultados do PVsyst estarem corretos o software apresenta limitações, pois não permite visualizar em análise econômica a capacidade correta da bateria de  $\text{LiFePO}_4$  mesmo para diferentes capacidades. O software também não mostra a opção de escolha de inversor em sistema isolados, apenas em sistemas conectados a rede elétrica.

Conclui-se que, além de reduzir custos e de apresentar viabilidade econômica financeira para a unidade rural analisada, a energia solar, é uma das mais importantes dentre as fontes de energias renováveis, pois gerará benefícios inestimáveis também ao meio ambiente, vimos nas simulações que as quantidades de  $\text{CO}_2$  salvas, ou seja emissões reduzida com a utilização do

SFI, com a instalação do projeto no Caso 1, é de 0.7tCO<sub>2</sub>, e no Caso 2 é de 0.9tCO<sub>2</sub>, no decorrer de 30 anos de projeto, tempo estimado automaticamente pelo software.

#### 4.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Tendo em conta todas as abordagens que foram feitas nesta monografia, conclui-se também quais podem ser sugestões de futuros trabalhos a realizar, não só na unidade residencial isolada de Tabatinga, mas também, em outros projetos, com o software PVsyst ou outros programas. Sendo assim as sugestões são:

Análise da distribuição dos cabos e conseqüente dimensionamento dos mesmos para uma unidade residencial;

Proposta de alteração da inclinação dos painéis consoante duas épocas do ano, tendo como objetivo um melhor aproveitamento da incidência solar, no sistema e conseqüente aumento de geração de energia elétrica;

Estudo e comparação de resultados com outro programa além do PVsyst.

Avaliação de outras centrais fotovoltaicas com o programa PVsyst, centrais com maior ou menor potência instalada para se verificar o comportamento do programa em diversas situações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMAND, M.; TARASCON, J.-M. **Building better batteries.** *nature*, Nature Publishing Group, v. 451, n. 7179, p. 652, 2008.

ADELMANN, P. **Existing Markets for Storage Systems in Off-Grid Applications.** *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing.* Elsevier, 2015.p. 53-60.

BATTERY FACTS. **Battery History.** Disponível em:

< <http://www.batteryfacts.co.uk/BatteryHistory/Plante.html>> Acessado em: 10 de Set. 2017.

BATTERIES – TYPES & WORKING. Disponível em:

< <https://www.elprocus.com/batteries-types-working/>> Acessado em: 10 de Set. 2017.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Disponível em:

< <http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdiarios.asp>> Acessado em: 10 de Jun. 2018.

BAYOD-RUJULA, A. A.; HARO-LARRODE, M. E.; MARTINEZ-GRACIA, A. **Sizing criteria of hybrid photovoltaic–wind systems with battery storage and self-consumption considering interaction with the grid.** *Solar Energy*, Elsevier, v. 98, p. 582–591, 2013.

BENEDITO, Ricardo da Silva. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório.** 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia Econômica.** 6 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

BOYLE, Godfrey et al. **Renewable energy: power for a sustainable future.** Oxford University Press, 1996.

BP Statistical Review of World Energy June 2017. Disponível em:

<<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review->

2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf> Acessado em: 27 de Abril de 2018.

BRASIL, C. F; MELO, C. L. S. **A comparative study of lead-acid batteries and lithium iron phosphate batteries used in microgrid systems**. In: Brazilian Power Electronics Conference (COBEP), 2017. IEEE, 2017. p. 1-7.

BRENNI, Paolo, et al. **From Volta onwards: A variety of electrical batteries in the Pavia Museum of Electrical Technology**. In: History of Electrical Technology. HISTory of ELECTro-technology CONFerence (HISTELCON), 2012 Third IEEE. IEEE, 2012. p. 1-6.

BRITO, P. **Análise e Viabilidade de Projetos de Investimentos**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2011.

BROM, L.; BALIAN, J. **Análise de Investimentos e Capital de Giro: conceitos e aplicações**. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

CALGARO, Camila Ottonelli et al. **Recuperação de cobalto de baterias íon-lítio através de lixiviação ácida e eletro-obtenção**. Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET), v. 5, n. 5, p. 867-874, 2012.

CAMARGOS, M. **Matemática Financeira: aplicada a produtos financeiros e à análise de investimentos**. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2014.

CAMLOFFSKI, R. **Análise de investimentos e viabilidade financeira das empresas**. São Paulo: Atlas, 2014.

CHALKIAS, Christos; FAKA, Antigoni; KALOGEROPOULOS, Kleomenis. **Assessment of the Direct Sun-Light on Rural Road Network through Solar Radiation Analysis Using GIS**. Open Journal of Applied Sciences, v. 3, n. 02, p. 224, 2013.

CROMPTON, T. R. **Battery reference book**. Third Edition. In Fuel and Energy Abstracts. Elsevier, 2000.

COPPEZ, G.; CHOWDHURY, S.; CHOWDHURY, S. P. **The importance of energy storage in renewable power generation: a review**. In: Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2010 45th International. IEEE, 2010. p. 1-5.

CASAROTTO, N.; KOPITTKE, B. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial**. 11 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

DAHAN, J. et al. **The electrochemical society interface**. Winter, v. 27, p. 2005, 2005.

DALE, S. **BP Statistical Review of World Energy June 2017**. [S.l.]: BP, 2017.

DE ENERGIA SOLAR, Grupo de Trabalho. GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPREL-CRESESB, 2014.

DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE Empresa. **Balço Energético Nacional, séries completas**. Disponível: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/>. Acessado em: 27 de Abril de 2018.

DIOUF, B.; PODE, R.; OSEI, R. **Initiative for 100% rural electrification in developing countries: Case study of Senegal**. Elsevier, v. 59, p. 926–930, 2013.

DIOUF, B; PODE, R. Potential of lithium-ion batteries in renewable energy. **Renewable Energy**, v. 76, p. 375-380, 2015.

DUNN. B.; KAMATH, H.; TARASCON, JM. **Science**, v. 334, n. 6058, p. 928-935, 2011.

EDISON ELECTRIC INSTITUTE, **Distributed Generation and Net Metering Policies**. Disponível em: <http://www.eei.org/issuesandpolicy/generation/NetMetering/Pages/default.aspx> > Acessado em: 26 de Nov. 2017.

EHRlich, P.; MORAES, E. **Engenharia Econômica: avaliação e seleção de projetos de investimentos**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2013.

ELTAWIL, M. A.; ZHAO, Z. **Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—a review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 14, n. 1, p. 112–129, 2010.

FERREIRA, R. **Matemática Financeira Aplicada: mercado de capitais, análise de investimentos, finanças pessoais e tesouro direto.** 8 ed. São Paulo: Atlas, 2014.

FREZATTI, F. **Gestão da viabilidade econô mico-financeira dos projetos de investimento.** 1 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GETH, Freferik et al. **Techno-economical and life expectancy modeling of battery energy storage systems.** In: 21ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, 2011, Frankfurt. CIRED. Bélgica: Cired, 2011. p. 1 – 4.

GODFREY, Boyle et al. **Renewable energy: power for a sustainable future.** The Open University Oxford, UK, 2004.

GOMES, J. **Elaboração e análise de viabilidade econômica de projetos: tópicos práticos de finanças para gestores não financeiros.** São Paulo: Atlas, 2013.

GÓMEZ, J. M. et al. **Solar Irradiance: basic concepts.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 3, 2018.

GONZÁLEZ.D.- F., et al. **A review of energy storage technologies for wind power applications.** *Renewable and sustainable energy reviews.* Elsevier p. 2154-2171, 2012.

HESS, G. et al. **Engenharia Econômica.** 21 ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1992.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos: aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimento e administradores.** 7 ed. São Paulo: Atlas, 2016.

INAGE, S. I. **Prospects for large-scale energy storage in decarbonised power grids.** International Energy Agency. IEA, 2009.

IRENA (2016). **The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025.**

<http://www.irena.org/->

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_Power\\_to\\_Change\\_2016.pdf](http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf)

JARDIM, Carolina da Silva et al. **O potencial dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em áreas urbanas: dois estudos de caso.** Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2004. 12 p.

KASSAI, José Roberto et al. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial.** São Paulo: Atlas, v. 2, 2000.

LASCIO, M. A. D.; BARRETO, E. J. F. **Energia e desenvolvimento sustentável para a Amazônia rural brasileira: eletrificação de comunidades isoladas.** [S.l.]: Ministério de Minas e Energia, 2009.

LINDEN, D; REDDY, T. B. **Handbook of Batteries.** McGraw-Hill Third Edition. 2002.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia Solar.** São Paulo: Artiber, 2002.

LUZ PARA TODOS. 2018. Disponível em:<<http://eletrobras.com/pt/Paginas/Luz-para-Todos.aspx>>.

MAGNET ACADEMY. **Planté Battery.** Disponível em:

<<https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/plante-battery>> Acessado em: 17 de Set. 2017.

MCEVOY, Augustin et al. (Ed.). **Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications.** Elsevier, 2003.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no brasil: situação e perspectivas.** Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa, 2017. 1

NEWNAN, D.; LAVELLE, J. **Fundamentos de Engenharia Econômica.** 1 ed. Rio de Janeiro: JC, 2000.

PARK, M. et al. **A review of conduction phenomena in Li-ion batteries**. Journal of Power Sources, v. 195, n. 24, p. 7904-7929, 2010.

PODE, R.; DIOUF, B. **Solar lighting**. Springer Science & Business Media, 2011.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Pilha de Daniel**. Disponível em:

<<http://www.portalsaofrancisco.com.br/quimica/pilha-de-daniell>> Acessado em: 10 de Set. 2017.

PVSYST. **About us**. Disponível em:

<<http://www.pvsyst.com/en/about-us>> Acessado em: 29 Abril de 2018.

PVSYST 6 HELP. **Carbon Balance Tool**. Disponível em:

<[http://files.pvsyst.com/help/carbon\\_balance\\_tool.htm](http://files.pvsyst.com/help/carbon_balance_tool.htm)> Acessado em: 29 Abril de 2018.

RAMPINELLI, Giuliano Arns; KREZINGER, Arno; ROMERO, Faustino Chenlo.

**Desenvolvimento de modelo matemático para descrição da eficiência CC/CA de inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Revista Brasileira de Energia Solar, v. IV , n. I , p.25-32, jul. 2013.

RODRÍGUEZ, Carlos Roberto Cervantes. **Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: O caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ROSEMBACK, R. H. **Conversor CC-CC bidirecional buck-boost atuando como controlador de carga de baterias em um sistema fotovoltaico**.Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais. 2004.

RÜTTER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos:: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e integradas à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Ufsc/labsolar, 2004. 118 p.

RYDH, Carl Johan; SANDÉN, Björn A. **Energy analysis of batteries in photovoltaic systems. Part I: Performance and energy requirements.** Energy conversion and management, v. 46, n. 11-12, p. 1957-1979, 2005.

SAWIN, J. L. et al. **Renewables 2017 global status report.** 2017.

SEGUEL, Julio Igor López. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital.** 2009. 222 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SILVA, Alex de Lima e. **Protótipo de um sistema fotovoltaico auxiliar com armazenamento de energia elétrica.** 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia Para O Desenvolvimento, Curitiba, 2014.

SILVEIRA, Miguel Francisco da. **Análise do impacto da geração distribuída sobre a rede elétrica de distribuição devido á utilização de geradores fotovoltaicos.** 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

SISTEMA e TECNOLOGIA APLICADA. **Tipos de Baterias de Li-Ion.** Disponível em: < <http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/tipos-de-baterias-de-li-ion> > Acessado em: 26 de Nov. 2017.

SISTEMA e TECNOLOGIA APLICADA. **Vantagens e Limitações das Baterias Seladas de Chumbo-Ácido.** Disponível em: <<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-seladas-de-chumbo-acido>> Acessado em: 26 de Nov. 2017.

SOUZA, R. **Introdução de energia solar fotovoltaica.** Blue Sol Energia Solar. [s.d.]

STEELE, Robert V. **The story of a new light source.** Nature photonics. Nature Publishing Group, v. 1, n. 1, p. 25-26, 2007.

TABATINGA (Amazonas), 2018. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Tabatinga\\_\(Amazonas\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tabatinga_(Amazonas))>.

TAO, H. et al. Reality and future of rechargeable lithium batteries. **Open Mater. Sci. J**, v. 5, n. 1, p. 204-214, 2011.

TAVARES, João Pinho; GAUDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel – Cresesb, 2014. 530

THACKERAY, M. M.; WOLVERTON, C.; ISAACS, E. D. **Electrical energy storage for transportation-approaching the limits of, and going beyond, lithium-ion batteries**. Energy & Environmental Science, Royal Society of Chemistry, v. 5, n. 7, p. 7854–7863, 2012.

VERA, Luis Horacio. **Análise do impacto do comportamento de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2009. 269 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

WEINERT, J. X.; BURKE, A. F.; WEI, X. **Lead-acid and lithium-ion batteries for the chinese electric bike market and implications on future technology advancement**. Journal of Power Sources, Elsevier, v. 172, n. 2, p. 938–945, 2007.

WEN, J.; YU, Y.; CHEN, C. **A review on lithium-ion batteries safety issues: existing problems and possible solutions**. Materials express, American Scientific Publishers, v. 2, n. 3, p. 197–212, 2012.

YOUM, I. et al. Renewable energy activities in Senegal: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 4, n. 1, p. 75-89, 2000.

## ANEXO 1

PVSYST V6.72		18/06/18	Page 1/5
<b>Stand Alone System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>SFI Tabatinga Bateria de Chumbo</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Tabatinga</b>	<b>Country</b>	<b>Brazil</b>
<b>Situation</b>	<b>Latitude</b>	<b>-4.21° S</b>	<b>Longitude</b> <b>-69.91° W</b>
<b>Time defined as</b>	<b>Legal Time</b>	<b>Time zone UT-4</b>	<b>Altitude</b> <b>83 m</b>
	<b>Albedo</b>	<b>0.20</b>	
<b>Meteo data:</b>	<b>Tabatinga</b>	<b>Meteonorm 7.1, Sat=100% - Synthetic</b>	
<b>Simulation variant :</b>	<b>SFI Tabatinga com bateria de chumbo ácido.3</b>		
	<b>Simulation date</b>	<b>18/06/18 02h37</b>	
<b>Simulation parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Stand-alone system</b>	
<b>Collector Plane Orientation</b>	<b>Tilt</b>	<b>25°</b>	<b>Azimuth</b> <b>3°</b>
<b>Models used</b>	<b>Transposition</b>	<b>Perez</b>	<b>Diffuse</b> <b>Perez, Meteonorm</b>
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	<b>Si-poly</b>	<b>Model</b>	<b>CS5A - 145</b>
<b>Original PVsyst database</b>	<b>Manufacturer</b>	<b>Canadian Solar Inc.</b>	
<b>Number of PV modules</b>	<b>In series</b>	<b>1 modules</b>	<b>In parallel</b> <b>6 strings</b>
<b>Total number of PV modules</b>	<b>Nb. modules</b>	<b>6</b>	<b>Unit Nom. Power</b> <b>145 Wp</b>
<b>Array global power</b>	<b>Nominal (STC)</b>	<b>870 Wp</b>	<b>At operating cond.</b> <b>774 Wp (50°C)</b>
<b>Array operating characteristics (50°C)</b>	<b>U mpp</b>	<b>30 V</b>	<b>I mpp</b> <b>26 A</b>
<b>Total area</b>	<b>Module area</b>	<b>7.7 m²</b>	
<b>PV Array loss factors</b>			
<b>Thermal Loss factor</b>	<b>Uc (const)</b>	<b>20.0 W/m²K</b>	<b>Uv (wind)</b> <b>0.0 W/m²K / m/s</b>
<b>Wiring Ohmic Loss</b>	<b>Global array res.</b>	<b>20 mOhm</b>	<b>Loss Fraction</b> <b>1.5 % at STC</b>
<b>Series Diode Loss</b>	<b>Voltage Drop</b>	<b>0.7 V</b>	<b>Loss Fraction</b> <b>2.1 % at STC</b>
<b>Module Quality Loss</b>			<b>Loss Fraction</b> <b>-0.8 %</b>
<b>Module Mismatch Losses</b>			<b>Loss Fraction</b> <b>2.5 % (fixed voltage)</b>
<b>Strings Mismatch loss</b>			<b>Loss Fraction</b> <b>0.10 %</b>
<b>Incidence effect, ASHRAE parametrization</b>	<b>IAM =</b>	<b>1 - bo (1/cos i - 1)</b>	<b>bo Param.</b> <b>0.05</b>
<b>System Parameter</b>	<b>System type</b>	<b>Stand Alone System</b>	
<b>Battery</b>	<b>Model</b>	<b>Dural 3C</b>	
	<b>Manufacturer</b>	<b>Electrona</b>	
<b>Battery Pack Characteristics</b>	<b>Voltage</b>	<b>24 V</b>	<b>Nominal Capacity</b> <b>600 Ah</b>
	<b>Nb. of units</b>	<b>2 in series x 4 in parallel</b>	
	<b>Temperature</b>	<b>Fixed (30°C)</b>	
<b>Controller</b>	<b>Model</b>	<b>EcoPulse EC-30M</b>	
	<b>Manufacturer</b>	<b>Morningstar</b>	
	<b>Technology</b>	<b>uP, Series transistor</b>	<b>Temp coeff.</b> <b>-5.0 mV/°C/elem.</b>
<b>Battery Management control</b>	<b>Threshold commands as</b>	<b>Battery voltage</b>	
	<b>Charging</b>	<b>23.2 / 22.0 V</b>	<b>Corresp. SOC</b> <b>0.00 / 0.00</b>
	<b>Discharging</b>	<b>20.9 / 22.0 V</b>	<b>Corresp. SOC</b> <b>0.00 / 0.00</b>
<b>User's needs :</b>	<b>Daily household consumers average</b>	<b>Constant over the year</b> <b>2.7 kWh/Day</b>	

PVSYST V6.72		18/06/18	Page 2/5																																																				
<b>Stand Alone System: Detailed User's needs</b>																																																							
<b>Project :</b>		<b>SFI Tabatinga Bateria de Chumbo</b>																																																					
<b>Simulation variant :</b>		<b>SFI Tabatinga com bateria de chumbo ácido.3</b>																																																					
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Stand-alone system</b>																																																					
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 3°																																																				
PV modules	Model	CS5A - 145	Pnom 145 Wp																																																				
PV Array	Nb. of modules	6	Pnom total <b>870 Wp</b>																																																				
Battery	Model	Dural SC	Technology Lead-acid, vented, tubula																																																				
Battery Pack	Nb. of units	8	Voltage / Capacity <b>24 V / 600 Ah</b>																																																				
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 980 kWh/year																																																				
<b>Daily household consumers, Constant over the year, average = 2.7 kWh/day</b>																																																							
<b>Annual values</b>																																																							
	Number	Power	Use	Energy																																																			
Geladeira	1	200 W/lamp	10 h/day	2000 Wh/day																																																			
Ventilador	1	50 W/app	10 h/day	500 Wh/day																																																			
Lâmapada LED	3	9 W/app	6 h/day	162 Wh/day																																																			
Stand-by consumers			24 h/day	24 Wh/day																																																			
Total daily energy				2686 Wh/day																																																			
<b>Hourly profile</b>																																																							
<table border="1"> <caption>Hourly profile data (approximate values from chart)</caption> <thead> <tr> <th>Hour</th> <th>Fraction of daily energy (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>50</td></tr> <tr><td>1</td><td>50</td></tr> <tr><td>2</td><td>50</td></tr> <tr><td>3</td><td>50</td></tr> <tr><td>4</td><td>50</td></tr> <tr><td>5</td><td>50</td></tr> <tr><td>6</td><td>150</td></tr> <tr><td>7</td><td>100</td></tr> <tr><td>8</td><td>100</td></tr> <tr><td>9</td><td>100</td></tr> <tr><td>10</td><td>100</td></tr> <tr><td>11</td><td>100</td></tr> <tr><td>12</td><td>220</td></tr> <tr><td>13</td><td>100</td></tr> <tr><td>14</td><td>100</td></tr> <tr><td>15</td><td>100</td></tr> <tr><td>16</td><td>100</td></tr> <tr><td>17</td><td>100</td></tr> <tr><td>18</td><td>250</td></tr> <tr><td>19</td><td>100</td></tr> <tr><td>20</td><td>100</td></tr> <tr><td>21</td><td>100</td></tr> <tr><td>22</td><td>150</td></tr> <tr><td>23</td><td>100</td></tr> <tr><td>24</td><td>50</td></tr> </tbody> </table>				Hour	Fraction of daily energy (%)	0	50	1	50	2	50	3	50	4	50	5	50	6	150	7	100	8	100	9	100	10	100	11	100	12	220	13	100	14	100	15	100	16	100	17	100	18	250	19	100	20	100	21	100	22	150	23	100	24	50
Hour	Fraction of daily energy (%)																																																						
0	50																																																						
1	50																																																						
2	50																																																						
3	50																																																						
4	50																																																						
5	50																																																						
6	150																																																						
7	100																																																						
8	100																																																						
9	100																																																						
10	100																																																						
11	100																																																						
12	220																																																						
13	100																																																						
14	100																																																						
15	100																																																						
16	100																																																						
17	100																																																						
18	250																																																						
19	100																																																						
20	100																																																						
21	100																																																						
22	150																																																						
23	100																																																						
24	50																																																						

PVSYST V6.72		18/06/18	Page 3/5
<b>Stand Alone System: Main results</b>			
<b>Project :</b>		<b>SFI Tabatinga Bateria de Chumbo</b>	
<b>Simulation variant :</b>		<b>SFI Tabatinga com bateria de chumbo ácido.3</b>	
<b>Main system parameters</b>		<b>System type Stand-alone system</b>	
PV Field Orientation	System type	tilt	azimuth 3°
PV modules	Model	CS5A - 145	Pnom 145 Wp
PV Array	Nb. of modules	6	Pnom total <b>870 Wp</b>
Battery	Model	Dural SC	Technology Lead-acid, vented, tubular
Battery Pack	Nb. of units	8	Voltage / Capacity <b>24 V / 600 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 980 kWh/year
<b>Main simulation results</b>		<b>Available Energy 1071 kWh/year</b>	
System Production	Used Energy	906 kWh/year	Specific prod. 1232 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	56.30 %	Excess (unused) 115 kWh/year
Loss of Load	Time Fraction	9.2 %	Solar Fraction SF 92.41 %
			Missing Energy 74 kWh/year
Investment	Global incl. taxes	24705 Real	Specific 28.4 Real/Wp
Yearly cost	Annuities (Loan 5.0%, 20 years)	1982 Real/yr	Running Costs 0 Real/yr
Energy cost		<b>2.19 Real/kWh</b>	
Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 870 Wp		Performance Ratio PR and Solar Fraction SF	

### SFI Tabatinga com bateria de chumbo ácido.3

#### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
January	154.1	121.2	72.5	7.02	12.13	71.13	83.27	0.854
February	139.4	117.3	70.2	1.91	11.69	63.52	75.21	0.845
March	171.9	157.4	94.2	12.76	4.70	78.56	83.27	0.944
April	164.2	164.2	98.2	15.18	4.94	75.64	80.58	0.939
May	151.8	163.3	97.9	12.65	2.36	80.91	83.27	0.972
June	147.7	165.3	99.2	13.43	2.31	78.27	80.58	0.971
July	155.6	171.5	102.7	17.91	3.50	79.76	83.27	0.958
August	167.1	173.1	104.1	15.19	0.38	82.89	83.27	0.995
September	175.1	166.4	100.1	14.46	0.00	80.58	80.58	1.000
October	164.0	141.3	84.8	2.13	5.71	77.56	83.27	0.931
November	157.1	125.8	75.3	2.49	11.14	69.44	80.58	0.862
December	158.0	121.0	72.2	0.00	15.57	67.70	83.27	0.813
Year	1906.0	1787.7	1071.4	115.14	74.43	905.96	980.39	0.924

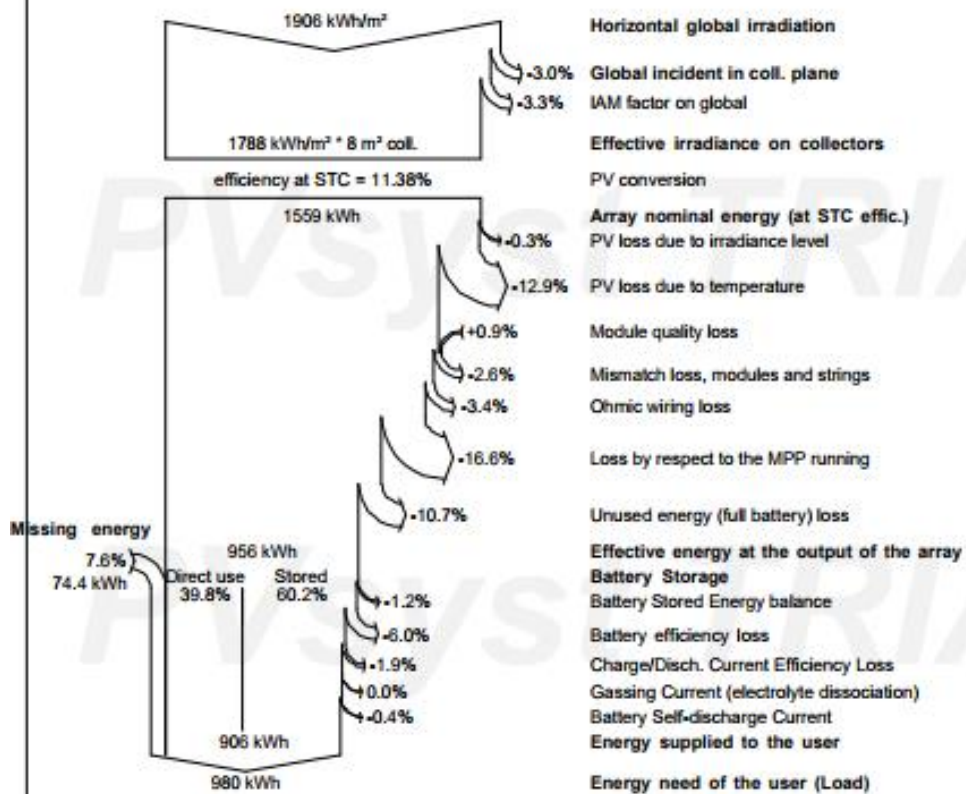
Legends: GlobHor Horizontal global irradiation E Miss Missing energy  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings E User Energy supplied to the user

### Stand Alone System: Loss diagram

**Project :** SFI Tabatinga Bateria de Chumbo  
**Simulation variant :** SFI Tabatinga com bateria de chumbo ácido.3

<b>Main system parameters</b>	System type	Stand-alone system		
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth	3°
PV modules	Model	CS5A - 145	Pnom	145 Wp
PV Array	Nb. of modules	6	Pnom total	870 Wp
Battery	Model	Dural SC	Technology	Lead-acid, vented, tubular
Battery Pack	Nb. of units	8	Voltage / Capacity	24 V / 600 Ah
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global	980 kWh/year

Loss diagram over the whole year



PVSYST V6.72		18/06/18	Page 5/5
<b>Stand Alone System: Economic evaluation</b>			
<b>Project :</b>		<b>SFI Tabatinga Bateria de Chumbo</b>	
<b>Simulation variant :</b>		<b>SFI Tabatinga com bateria de chumbo ácido.3</b>	
<b>Main system parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Stand-alone system</b>	
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 3°
PV modules	Model	CS5A - 145	Pnom 145 Wp
PV Array	Nb. of modules	6	Pnom total <b>870 Wp</b>
Battery	Model	Dural SC	Technology Lead-acid, vented, tubular
Battery Pack	Nb. of units	8	Voltage / Capacity <b>24 V / 600 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 980 kWh/year
<b>Investment</b>			
PV modules (Pnom = 145 Wp)	6 units	483 Real / unit	2900 Real
Supports / Integration		189 Real / module	1136 Real
Batteries ( 12 V / 150 Ah)	8 units	1347 Real / unit	10775 Real
controller			127 Real
Settings, wiring, ...			338 Real
Transporte fluvial de MAO a TB			1000 Real
Inversor Hayonik 8000w 12/127v			349 Real
Serviços de engenharia			5000 Real
Substitution underworth			0 Real
<b>Gross investment (without taxes)</b>			<b>21625 Real</b>
<b>Financing</b>			
Gross investment (without taxes)			21625 Real
Taxes on investment (VAT)	Rate 15.0 %		3244 Real
Gross investment (including VAT)			24869 Real
Subsidies			0 Real
<b>Net investment (all taxes included)</b>			<b>24869 Real</b>
Annuities	( Loan 5.0 % over 20 years)		1996 Real/year
Maintenance			0 Real/year
insurance, annual taxes			0 Real/year
Provision for battery replacement	(lifetime 5.0 years)		0 Real/year
<b>Total yearly cost</b>			<b>1996 Real/year</b>
<b>Energy cost</b>			
Used solar energy			906 kWh / year
Excess energy (battery full)			115 kWh / year
Used energy cost			2.20 Real / kWh

PVSYST V6.72	18/06/18	Page 6/6
<b>Stand Alone System: CO2 Balance</b>		
<b>Project :</b>	<b>SFI Tabatinga Bateria de Chumbo</b>	
<b>Simulation variant :</b>	<b>SFI Tabatinga com bateria de chumbo ácido.3</b>	
<b>Main system parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Stand-alone system</b>
PV Field Orientation	tilt	25° azimuth 3°
PV modules	Model	CS5A - 145 Pnom 145 Wp
PV Array	Nb. of modules	6 Pnom total <b>870 Wp</b>
Battery	Model	Dural SC Technology Lead-acid, vented, tubular
Battery Pack	Nb. of units	8 Voltage / Capacity <b>24 V / 600 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year Global 980 kWh/year
<b>Produced Emissions</b>	<b>Total:</b>	<b>1.52 tCO2</b>
	Source:	Detailed calculation from table below
<b>Replaced Emissions</b>	<b>Total:</b>	<b>2.6 tCO2</b>
	System production:	1071.45 kWh/yr Lifetime: 30 years
		Annual Degradation: 1.0 %
	Grid Lifecycle Emissions:	81 gCO2/kWh
	Source:	IEA List Country: Brazil
<b>CO2 Emission Balance</b>	<b>Total:</b>	<b>0.7 tCO2</b>
<b>System Lifecycle Emissions Details:</b>		
<b>Item</b>	<b>Modules</b>	<b>Supports</b>
LCE	1713 kgCO2/kWp	0.54 kgCO2/kg
Quantity	0.87 kWp	60.0 kg
Subtotal [kgCO2]	1490	32.4

## Tabelas de análise econômica caso 1

Equipamentos	Modelo	Unidades	Vida Útil (anos)	Preço Unitário	Custo Total
Módulo Fotovoltaico	RSM36-6-150P	6	25	R\$ 340,00	R\$ 2.040,00
frete bertoline para painéis		1		R\$ 143,32	R\$ 143,32
Controlador de carga		1	15	R\$ 90,00	R\$ 90,00
frete PAC para controladores		1		R\$ 37,45	R\$ 37,45
Baterias de chumbo ácido	150Ah	8	5	R\$ 1.346,93	R\$ 10.775,44
Inversor	800w 12/127v	1	15	R\$ 349,92	R\$ 349,92
Suporte de fixação de painéis	...	1	25	R\$ 1.135,49	R\$ 1.135,49
Transporte fluvial de MAO a TBT	...	1	5	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Serviços de engenharia	...	1	25	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Suporte - Fiação - Proteção	...	1	25	R\$ 168,9	R\$ 337,80
					R\$ 20.908,92

Tributação	
Imposto	Impostos de Energia
PIS/PASEP	0,00%
COFINS	0,00%
ICMS	25%

Sistema	
Custo total Inicial	R\$ 20.908,92
Produção média anual (kWh)	4500
Queda de rendimento anual	1,00%
Vida útil (anos)	25

Rede de Distribuição	
Concessionária	AMAZONAS ENERGIA
Conexão com a rede/Padrão de entrada	Monofásico
Custo de Disponibilidade (kWh)	30



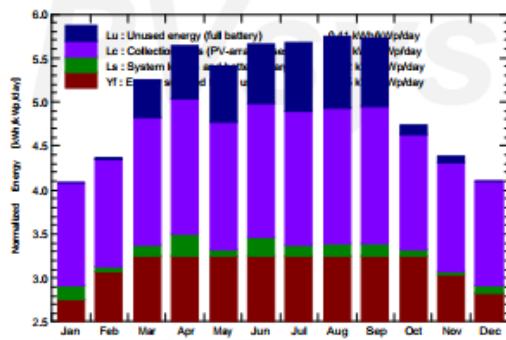
## ANEXO 2

PVSYS V6.72		18/06/18		Page 1/6	
<b>Stand Alone System: Simulation parameters</b>					
<b>Project :</b> SFI Tabatinga com baterias LiFePO4					
<b>Geographical Site</b>		Tabatinga		Country Brazil	
<b>Situation</b>		Latitude -4.21° S		Longitude -69.91° W	
Time defined as		Legal Time Time zone UT-4		Altitude 83 m	
		Albedo 0.20			
<b>Meteo data:</b>		Tabatinga		Meteonorm 7.1, Sat=100% - Synthetic	
<b>Simulation variant :</b> SFI Tabatinga com baterias LiFePO4_simulação12					
		Simulation date		18/06/18 05h26	
<b>Simulation parameters</b>		System type		Stand-alone system	
<b>Collector Plane Orientation</b>		Tilt		25°	
		Azimuth		3°	
<b>Models used</b>		Transposition		Perez	
		Diffuse		Perez, Meteonorm	
<b>PV Array Characteristics</b>					
<b>PV module</b>		Si-mono		Model CS5A - 165M	
Original Pvsyst database		Manufacturer		Canadian Solar Inc.	
Number of PV modules		In series		1 modules	
Total number of PV modules		Nb. modules		5	
Array global power		Nominal (STC)		825 Wp	
Array operating characteristics (50°C)		U mpp		31 V	
Total area		Module area		6.4 m²	
		In parallel		5 strings	
		Unit Nom. Power		165 Wp	
		At operating cond.		733 Wp (50°C)	
		I mpp		23 A	
		Cell area		5.3 m²	
<b>PV Array loss factors</b>					
Thermal Loss factor		Uc (const)		20.0 W/m²K	
		Uv (wind)		0.0 W/m²K / m/s	
Wiring Ohmic Loss		Global array res.		23 mOhm	
Serie Diode Loss		Voltage Drop		0.7 V	
Module Quality Loss				Loss Fraction 1.5 % at STC	
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 2.0 % at STC	
Strings Mismatch loss				Loss Fraction -0.8 %	
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM = $1 - b_0 (1/\cos i - 1)$		Loss Fraction 2.5 % (fixed voltage)	
		bo Param.		0.10 %	
				0.05	
<b>System Parameter</b>					
System type		Stand Alone System			
<b>Battery</b>		Model		LFP-CB 12.8V / 200Ah	
Battery Pack Characteristics		Manufacturer		Victron Energy	
		Voltage		26 V	
		Nominal Capacity		404 Ah	
		Nb. of units		2 in series x 2 in parallel	
		Temperature		Fixed (30°C)	
<b>Controller</b>		Model		Universal direct controller	
		Technology		Series	
		Temp coeff.		-5.0 mV/°C/elem.	
<b>Battery Management control</b>		Threshold commands as		SOC calculation	
		Charging		SOC = 0.90 / 0.75	
		Discharging		SOC = 0.20 / 0.45	
<b>User's needs :</b> Daily household consumers average					
		Constant over the year		2.7 kWh/Day	

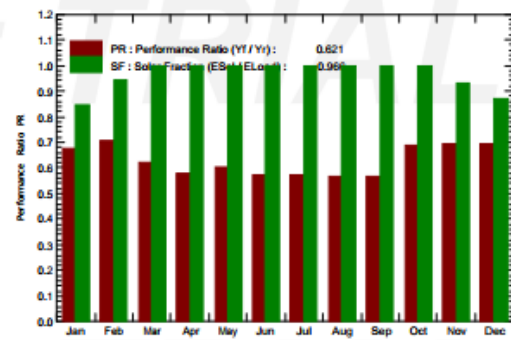
PVSYST V6.72		18/06/18	Page 2/6																																																				
<b>Stand Alone System: Detailed User's needs</b>																																																							
<b>Project :</b>	<b>SFI Tabatinga com baterias LiFePO4</b>																																																						
<b>Simulation variant :</b>	<b>SFI Tabatinga com baterias LiFePO4_simulação12</b>																																																						
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Stand-alone system</b>																																																					
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 3°																																																				
PV modules	Model	CS5A - 165M	Pnom 165 Wp																																																				
PV Array	Nb. of modules	5	Pnom total <b>825 Wp</b>																																																				
Battery	Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah	Technology Lithium-ion, LFP																																																				
Battery Pack	Nb. of units	4	Voltage / Capacity <b>26 V / 404 Ah</b>																																																				
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 980 kWh/year																																																				
<b>Daily household consumers, Constant over the year, average = 2.7 kWh/day</b>																																																							
<b>Annual values</b>																																																							
	Number	Power	Use	Energy																																																			
Lâmpada LED	3	9 W/lamp	6 h/day	162 Wh/day																																																			
Geladeira	1	200 W/app	10 h/day	2000 Wh/day																																																			
Ventilador	1	50 W/app	10 h/day	500 Wh/day																																																			
Stand-by consumers			24 h/day	24 Wh/day																																																			
Total daily energy				2686 Wh/day																																																			
<b>Hourly profile</b>																																																							
<table border="1"> <caption>Hourly Profile Data (Estimated)</caption> <thead> <tr> <th>Hour</th> <th>Fraction of daily energy [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>20</td></tr> <tr><td>4</td><td>20</td></tr> <tr><td>5</td><td>120</td></tr> <tr><td>6</td><td>220</td></tr> <tr><td>7</td><td>100</td></tr> <tr><td>8</td><td>100</td></tr> <tr><td>9</td><td>100</td></tr> <tr><td>10</td><td>220</td></tr> <tr><td>11</td><td>220</td></tr> <tr><td>12</td><td>220</td></tr> <tr><td>13</td><td>120</td></tr> <tr><td>14</td><td>220</td></tr> <tr><td>15</td><td>100</td></tr> <tr><td>16</td><td>120</td></tr> <tr><td>17</td><td>280</td></tr> <tr><td>18</td><td>280</td></tr> <tr><td>19</td><td>180</td></tr> <tr><td>20</td><td>180</td></tr> <tr><td>21</td><td>180</td></tr> <tr><td>22</td><td>80</td></tr> <tr><td>23</td><td>20</td></tr> <tr><td>24</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>				Hour	Fraction of daily energy [%]	0	0	1	0	2	0	3	20	4	20	5	120	6	220	7	100	8	100	9	100	10	220	11	220	12	220	13	120	14	220	15	100	16	120	17	280	18	280	19	180	20	180	21	180	22	80	23	20	24	0
Hour	Fraction of daily energy [%]																																																						
0	0																																																						
1	0																																																						
2	0																																																						
3	20																																																						
4	20																																																						
5	120																																																						
6	220																																																						
7	100																																																						
8	100																																																						
9	100																																																						
10	220																																																						
11	220																																																						
12	220																																																						
13	120																																																						
14	220																																																						
15	100																																																						
16	120																																																						
17	280																																																						
18	280																																																						
19	180																																																						
20	180																																																						
21	180																																																						
22	80																																																						
23	20																																																						
24	0																																																						

PVSYST V6.72		18/06/18	Page 3/6
<b>Stand Alone System: Main results</b>			
<b>Project :</b>		<b>SFI Tabatinga com baterias LiFePO4</b>	
<b>Simulation variant :</b>		<b>SFI Tabatinga com baterias LiFePO4_simulação12</b>	
<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Stand-alone system</b>
PV Field Orientation		tilt	25° azimuth 3°
PV modules		Model	CS5A - 165M Pnom 165 Wp
PV Array		Nb. of modules	5 Pnom total <b>825 Wp</b>
Battery		Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah Technology Lithium-ion, LFP
Battery Pack		Nb. of units	4 Voltage / Capacity <b>26 V / 404 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 980 kWh/year
<b>Main simulation results</b>		<b>Available Energy</b>	<b>1107 kWh/year</b>
System Production		Used Energy	947 kWh/year
		Performance Ratio PR	62.07 %
Loss of Load		Time Fraction	3.4 %
Investment		Global incl. taxes	26932 Real
Yearly cost		Annuities (Loan 5.0%, 10 years)	3488 Real/yr
Energy cost			<b>9.12 Real/kWh</b>
		Specific prod.	1341 kWh/kWp/year
		Excess (unused)	124 kWh/year
		Solar Fraction SF	96.61 %
		Missing Energy	33 kWh/year
		Specific	32.6 Real/Wp
		Running Costs	5154 Real/yr

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 825 Wp



Performance Ratio PR and Solar Fraction SF

**SFI Tabatinga com baterias LiFePO4\_simulação12****Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
January	154.1	121.2	74.6	0.00	12.71	70.56	83.27	0.847
February	139.4	117.3	72.4	0.17	4.22	70.99	75.21	0.944
March	171.9	157.4	97.3	10.81	0.00	83.27	83.27	1.000
April	164.2	164.2	101.6	15.04	0.00	80.58	80.58	1.000
May	151.8	163.3	101.3	16.38	0.00	83.27	83.27	1.000
June	147.7	165.3	102.6	16.79	0.00	80.58	80.58	1.000
July	155.6	171.5	106.2	19.84	0.00	83.27	83.27	1.000
August	167.1	173.1	107.5	20.77	0.00	83.27	83.27	1.000
September	175.1	166.4	103.4	19.40	0.00	80.58	80.58	1.000
October	164.0	141.3	87.5	2.70	0.00	83.27	83.27	1.000
November	157.1	125.8	77.7	1.72	5.54	75.04	80.58	0.931
December	158.0	121.0	74.4	0.00	10.78	72.49	83.27	0.871
Year	1906.0	1787.7	1106.6	123.62	33.25	947.14	980.39	0.966

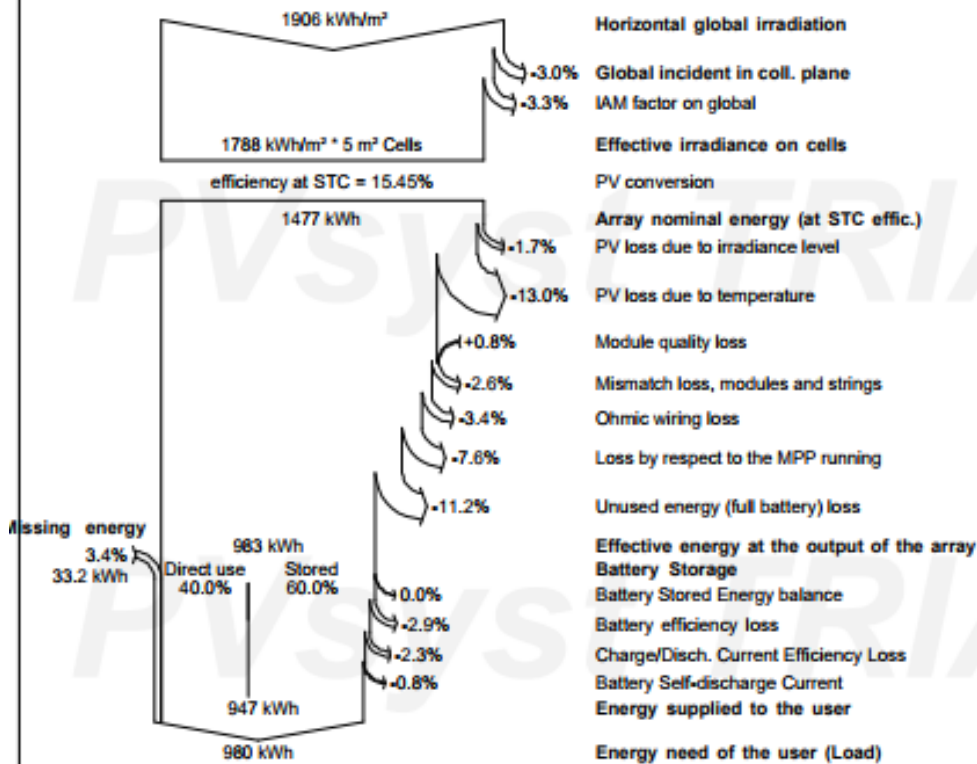
Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	E Miss	Missing energy
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E User	Energy supplied to the user
	E Avail	Available Solar Energy	E Load	Energy need of the user (Load)
	EUnused	Unused energy (full battery) loss	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)

### Stand Alone System: Loss diagram

**Project :** SFI Tabatinga com baterias LiFePO4  
**Simulation variant :** SFI Tabatinga com baterias LiFePO4\_simulação12

<b>Main system parameters</b>	System type	Stand-alone system	
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 3°
PV modules	Model	CS5A - 165M	Pnom 165 Wp
PV Array	Nb. of modules	5	Pnom total 825 Wp
Battery	Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah Technology	
Battery Pack	Nb. of units	4	Voltage / Capacity 26 V / 404 Ah
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 980 kWh/year

Loss diagram over the whole year



PVSYST V6.72		18/06/18	Page 5/6
<b>Stand Alone System: Economic evaluation</b>			
<b>Project :</b>		<b>SFI Tabatinga com baterias LiFePO4</b>	
<b>Simulation variant :</b>		<b>SFI Tabatinga com baterias LiFePO4_simulação12</b>	
<b>Main system parameters</b>			
	System type	Stand-alone system	
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 3°
PV modules	Model	CS5A - 165M	Pnom 165 Wp
PV Array	Nb. of modules	5	Pnom total <b>825 Wp</b>
Battery	Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah Technology	Lithium-ion, LFP
Battery Pack	Nb. of units	4	Voltage / Capacity <b>26 V / 404 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 980 kWh/year
<b>Investment</b>			
PV modules (Pnom = 165 Wp)	5 units	409 Real / unit	2045 Real
Supports / Integration		227 Real / module	1135 Real
Batteries ( 13 V / 3 Ah)	4 units	3222 Real / unit	12886 Real
controller			665 Real
Settings, wiring, ...			338 Real
Inversor Hayonik 800w 12/127v			349 Real
Transporte fluvial de MAO a TB			1000 Real
Serviços de engenharia			5000 Real
Substitution underworth			0 Real
<b>Gross investment (without taxes)</b>			<b>23419 Real</b>
<b>Financing</b>			
Gross investment (without taxes)			23419 Real
Taxes on investment (VAT)	Rate 15.0 %		3513 Real
Gross investment (including VAT)			26932 Real
Subsidies			0 Real
<b>Net investment (all taxes included)</b>			<b>26932 Real</b>
Annuities	( Loan 5.0 % over 10 years)		3488 Real/year
Maintenance			0 Real/year
insurance, annual taxes			0 Real/year
Provision for battery replacement	(lifetime 2.5 years)		5154 Real/year
<b>Total yearly cost</b>			<b>8641 Real/year</b>
<b>Energy cost</b>			
Used solar energy			947 kWh / year
Excess energy (battery full)			124 kWh / year
Used energy cost			9.12 Real / kWh

PVSYST V6.72		18/06/18	Page 6/6
<b>Stand Alone System: CO2 Balance</b>			
<b>Project :</b>	<b>SFI Tabatinga com baterias LiFePO4</b>		
<b>Simulation variant :</b>	<b>SFI Tabatinga com baterias LiFePO4_simulação12</b>		
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Stand-alone system</b>	
PV Field Orientation	tilt	25°	azimuth 3°
PV modules	Model	CS5A - 165M	Pnom 165 Wp
PV Array	Nb. of modules	5	Pnom total <b>825 Wp</b>
Battery	Model	LFP-CB 12.8V / 200Ah	Technology Lithium-ion, LFP
Battery Pack	Nb. of units	4	Voltage / Capacity <b>26 V / 404 Ah</b>
User's needs	Daily household consumers	Constant over the year	Global 980 kWh/year
<b>Produced Emissions</b>	<b>Total:</b>	<b>1.44 tCO2</b>	
	Source:	Detailed calculation from table below	
<b>Replaced Emissions</b>	<b>Total:</b>	<b>2.7 tCO2</b>	
	System production:	1106.64 kWh/yr	Lifetime: 30 years
			Annual Degradation: 1.0 %
	Grid Lifecycle Emissions:	81 gCO2/kWh	
	Source:	IEA List	Country: Brazil
<b>CO2 Emission Balance</b>	<b>Total:</b>	<b>0.9 tCO2</b>	
<b>System Lifecycle Emissions Details:</b>			
Item	Modules	Supports	
LCE	1713 kgCO2/kWp	0.54 kgCO2/kg	
Quantity	0.82 kWp	50.0 kg	
Subtotal [kgCO2]	1413	27.0	
<p>Balance [tCO2]</p> <p>Year</p>			

## Tabelas de análise econômica caso 2

Equipamentos	Modelo	Unidades	Vida Útil (anos)	Preço Unitário	Custo Total
Módulo Fotovoltaico	165Wp	5	25	R\$ 409,00	R\$ 2.045,00
Controlador de carga		1	15	R\$ 665,00	R\$ 665,00
Baterias Fosfato de Ferro de Lítio		4	10	R\$ 3.221,52	R\$ 12.886,08
Inversor		1	15	R\$ 349,42	R\$ 349,42
Suporte de fixação de painéis	202Ah	1	25	R\$ 1.135,49	R\$ 1.135,49
Transporte fluvial de MAO a TBT	800w 12/127v	1	5	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Serviços de engenharia	...	1	25	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
Suporte - Fiação - Proteção	...	2	25	R\$ 168,90	R\$ 337,80
					R\$ 23.418,79

Tributação	
Imposto	Impostos de Energia
PIS/PASEP	0,00%
COFINS	0,00%
ICMS	25%

Sistema	
Custo total Inicial	R\$ 23.418,79
Produção média anual (kWh)	4125
Queda de rendimento anual	1,00%
Vida útil (anos)	10

Rede de Distribuição	
Concessionária	AMAZONAS ENERGIA
Conexão com a rede/Padrão de entrada	Monofásico
Custo de Disponibilidade (kWh)	30

