



Technical and economic viability analysis in the implantation of solar energy in the community called "Catalan Floating City", located in the municipality of Iranduba-AM

Carlos Gomes Fontinelle¹, Elton de Jesus Correa da Silva¹, Marco Lourenço Silva¹, Rosalice Chaves Mello¹, Telma do Socorro da Silva Lopes¹, Davi do Socorro Barros Brasil², Petrus Alcântara Júnior²

¹Instituto de Tecnologia Galileo da Amazônia (ITEGAM). Av. Joaquim Nabuco, 1950 - Centro. Manaus - Amazonas - Brasil. CEP: 69.005-080. Fones: +55(92)3584-6145 ou +55(92)3248-2646.

²Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Correa, 01 - Guamá. Belém - Pará - Brasil. CEP: 66.075-110. Fone: +55(91)3201-7103.

Email: carlos_fontinelle@yahoo.com.br, elton_correa40@hotmail.com, marcolourencosilva@yahoo.com.br, rosalicemello@gmail.com, lopesrtj@uol.com.br, davibb@ufpa.br, petrus@ufpa.br

Received: January 27th, 2017

Accepted: February 14th, 2017

Published: March 22th, 2017

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

In recent years we have heard a lot about sustainability, effects of Global warming, scarcity of fossil fuels, etc. Brazil has most of its energy matrix supplied by hydroelectric plants. However, due to its geographical location, the Brazilian territory is practically sunny all year round. Solar energy can be harnessed as a source of heat for heating or for the production of electricity. The present work aims to evaluate the technical and economical viability of the implementation of an Autonomous Photovoltaic System in the community "Catalão Floating City", located in the municipality of Iranduba, in the state of Amazonas.

Keywords: Sustainability, Renewable energy, Solar Power.

Análise da viabilidade técnica e econômica na implantação de energia solar na comunidade denominada "Cidade Flutuante do Catalão", situada no município de Iranduba-AM

RESUMO

Nos últimos anos tem-se ouvido falar muito em sustentabilidade, efeitos do aquecimento global, escassez de combustíveis fósseis, etc. O Brasil tem a maior parte de sua matriz energética suprida por usinas hidrelétricas. No entanto, devido a sua localização geográfica, o território brasileiro é praticamente ensolarado o ano inteiro. A energia solar pode ser aproveitada como fonte de calor para aquecimento ou para produção de eletricidade. O presente trabalho visa avaliar a viabilidade técnico-econômica da implantação de um Sistema Fotovoltaico Autônomo na comunidade "Cidade Flutuante do Catalão", localizada no município de Iranduba, no Amazonas

Palavras Chaves: Sustentabilidade, Energia renovável, Energia solar.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento humano atual está intimamente relacionado à energia elétrica. Comunidades situadas em localidades remotas que apresentam dificuldades de acesso à rede

de energia elétrica e mesmo aquelas que possuem acesso, sofrem com a precariedade de manutenção dessa rede. Os moradores dessas comunidades dependem da energia elétrica para satisfazer

suas necessidades e melhorar o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município.

O Amazonas é o maior Estado do Brasil com área geográfica de 1.559.159,148 km², população de 4.001.667 habitantes, 2,57 hab/m² e que enfrenta enormes dificuldades de acesso à energia elétrica por parte da sua população interiorana, devido ao seu isolamento em relação a sua capital, a cidade de Manaus [1].

O município de Iranduba localizado a 27 km de Manaus, compõe a região metropolitana, situado à margem esquerda do Solimões na latitude Sul a 03°09'e a Oeste de Greenwich a 59°15'3" de longitude, é banhado pelos rios Negro e Solimões [1].

A Comunidade em estudo é conhecida como "Cidade Flutuante do Catalão" faz parte do município de Iranduba e está localizada a 25 km de Manaus, no lago do Catalão, por via fluvial [2].

De acordo com [3]: "as casas flutuantes são feitas em madeira com poucas divisões internas e suspensas por grandes troncos de madeira que permitem a flutuação das mesmas, as habitações são presas por cordas em árvores para que a força do rio não as carregue conforme sua correnteza. Essa é uma alternativa muito funcional para a região, pois a habitação flutuante se adequa automaticamente as constantes cheias e vazantes do rio, indo de acordo com o ritmo das águas: se ela sobe, a habitação acompanha esse movimento, o mesmo ocorrendo quando chega a vazante, esse fenômeno é chamado de ciclos das marés. Além disso, não são somente as habitações que são flutuantes, comunidades inteiras possuem essas características, com igrejas, escolas, restaurantes, feiras, tudo sobre troncos gigantes flutuando no rio."

O fornecimento inadequado de energia elétrica às famílias da Comunidade do Catalão, por conta de inúmeras interrupções ocasionadas por quedas de árvores e galhos, a interrupção constante de energia que abastece o Município de Iranduba, a necessidade de criar infraestrutura adequada para distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras por meio de cabos interligados aos postes são fatores que justificaram a elaboração desse trabalho.

As constantes quedas de energia causam danos econômicos, financeiros e sociais aos moradores e comerciantes pelas perdas de gêneros alimentícios e avaria dos eletrodomésticos. Existe, ainda, o prejuízo no que tange à educação com a interrupção de aulas na única escola da comunidade.

A energia solar além de ser limpa, inesgotável e não agride o meio ambiente, é ideal para localidades que têm dificuldades de acesso à energia elétrica convencional como é o caso da Comunidade do Catalão que possui fornecimento precário de energia elétrica pela concessionária, sofre com a dificuldade de manutenção na rede de energia elétrica e com o deslocamento constante dos flutuantes devido à enchente e a vazante do rio.

Este tipo de energia requer um baixo custo de manutenção, além de ser totalmente modularizável, ou seja, o sistema gerador fotovoltaico pode ser projetado de acordo com a demanda e a necessidade do cliente, de forma a facilitar a instalação e não comprometer todo o sistema, garantido assim maior confiabilidade.

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma avaliação técnico-econômica de implantação de um sistema fotovoltaico isolado (autônomo) na referida Comunidade.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo [4], os sistemas fotovoltaicos classificam-se em isolados e conectados à rede.

De acordo com [5], os Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFIs) são utilizados para fornecimento de eletricidade em locais não atendidos pelas redes de distribuição de empresa concessionária.

Os SFIs podem atender qualquer localidade que apresente ausência ou precariedade de geração de energia elétrica, tais como residências em zonas rurais, ilhas, praias e outras aplicações.

Em geral, os Sistemas Fotovoltaicos isolados (SFI) necessitam de armazenamento por meio de baterias. Foram regulamentados pela Resolução Normativa (RN) 493/2012 da Aneel [6].

Um SFI, de acordo com [4], é composto por um bloco gerador fotovoltaico, um bloco de condicionamento de potência e por um bloco de armazenamento, sendo este último opcional.

Nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR), a potência produzida pelos painéis fotovoltaicos é entregue diretamente à rede elétrica. Esses sistemas foram incluídos pela regulamentação da Aneel por meio da [7] e alterada, a partir de novembro de 2015 [8].

II.1 DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO

De acordo com [9], nos últimos dez anos, discute-se a diversificação da matriz energética mundial com inclusão de fontes de energias renováveis. Essas alternativas de fontes energéticas são analisadas como uma necessidade para preservação do meio ambiente. Essa necessidade motivam os países desenvolvidos a investir nessas fontes de energia alternativas e propor metas de redução de emissão de gases de efeito estufa e a política de crédito de carbono. Nessa discussão, a energia solar fotovoltaica destaca-se e assume um papel de grande relevância, pois é a alternativa energética que mais cresce no mundo atualmente.

A capacidade de instalação desse tipo de energia também vem aumentando de maneira acelerada no âmbito mundial.

A [10] observou que, desde 2010, a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no cenário mundial cresceu mais do que nas quatro décadas anteriores.

Segundo [9], países como Alemanha, China, Japão, Itália e EUA são responsáveis por 70% da geração de energia solar mundial.

A capacidade total instalada desse tipo de energia no mundo, até o final de 2015, superou 227GW. Com esse valor, poderia se produzir 261TWh de eletricidade por ano, o que corresponderia ao consumo de energia de 73 milhões de casas europeias. Países como China, Alemanha, Japão e Estados Unidos são líderes em capacidade de instalação de sistemas fotovoltaicos.

II.2 DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

De acordo com o [11], elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) ligada ao Ministério das Minas e

Energia (MME), a evolução da capacidade instalada e a respectiva energia solar fotovoltaica gerada no Brasil no período de 2014 a 2024 são apresentadas na Figura 1.

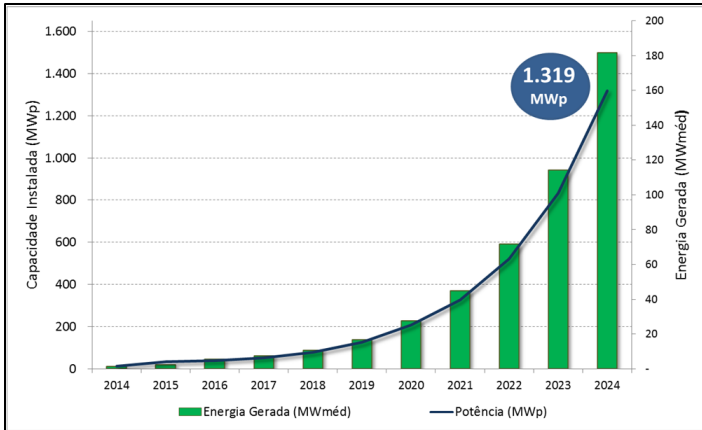


Figura 1: Evolução de capacidade instalada e energia solar gerada. Fonte: [11].

Observa-se que, conforme Figura 1, a estimativa de energia solar fotovoltaica gerada para a matriz energética brasileira pode alcançar 1.319MWp.

Estima-se, ainda, que em 2018 o Brasil deve estar entre os 20 países com maior geração deste tipo de energia, caso levado a contento o investimento nesta modalidade de energia.

De acordo com o [12], esse setor de energia deve movimentar cerca de R\$ 100 bilhões e abastecer 2,7 milhões de pessoas com sistema fotovoltaico.

A Figura 2 apresenta a projeção de expansão da energia solar fotovoltaica para os próximos oito anos. A capacidade que em 2016 é de 23MW (0,02% da matriz energética brasileira) deve alcançar 7.000MW (3% da matriz energética brasileira) em 2024, com aumento estimado de 104,4% ao ano durante este período.

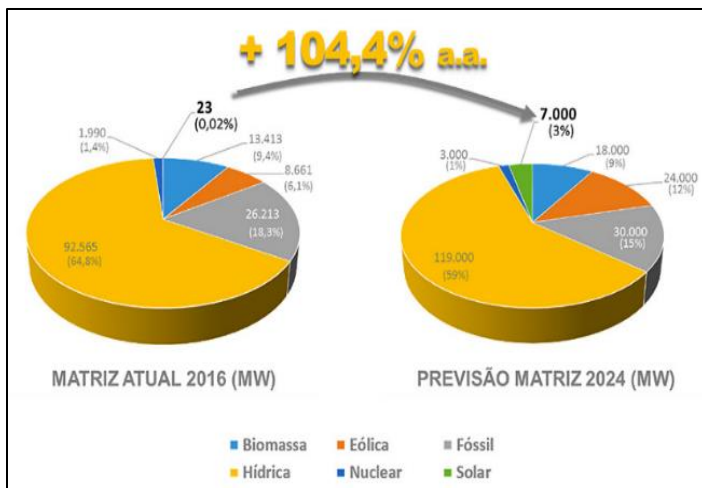


Figura 2: Projeção de expansão da energia solar na matriz energética brasileira. Fonte: [9].

O setor de energia solar fotovoltaica no Brasil foi impulsionado a partir de 2012, quando a Aneel publicou a RN

482/2012 que regulamentou a conexão e compensação de geradores distribuídos.

A partir daí, esse setor energético vem se destacando dentro de dois grandes segmentos: a geração distribuída e a geração centralizada.

A geração distribuída abrange a instalação de sistemas solares fotovoltaicos em telhados e fachadas de edifícios residenciais, comerciais, industriais e públicos.

A geração centralizada ganha impulso a partir de leilões centralizados. Nesta modalidade, grandes centrais de geração são contratadas para atender a demanda energética nacional.

A Figura 3 apresenta o número de instalação de sistemas fotovoltaicos em Geração Distribuída no Brasil. Verifica-se que no período de 2014 a 2015, as instalações passaram de 332 para 1604, ou seja, um aumento de 383%. No período de 2015 a junho de 2016, essa capacidade aumentou para 3.811, o que representa um aumento de 138%.

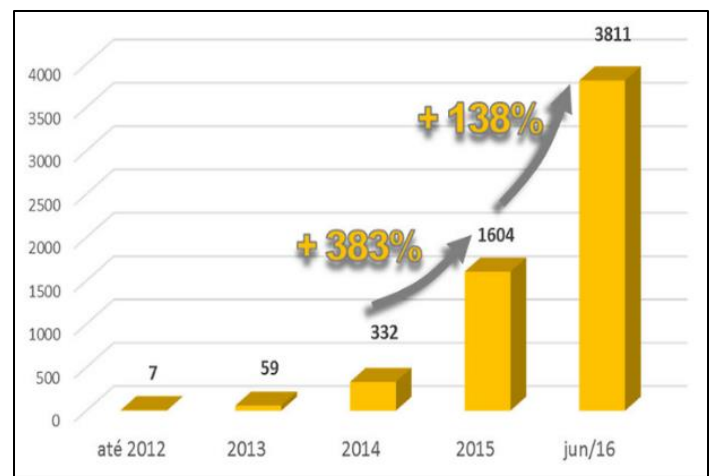


Figura 3: Número de instalação FV em GD no Brasil. Fonte: [9].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para alcançar os objetivos específicos foi a realização de uma visita na “Cidade Flutuante do Catalão” no dia 23 de outubro de 2016 para efetuar um levantamento de campo. A figura 4 ilustra as etapas que nortearam o desenvolvimento deste trabalho.

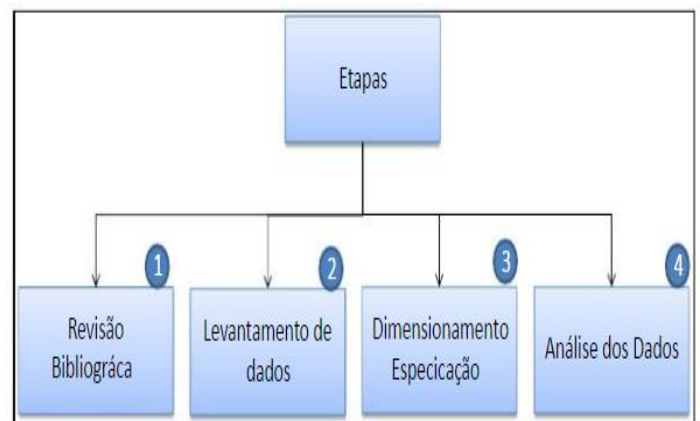


Figura 4: Fluxograma de desenvolvimento do projeto. Fonte: Autores, (2016).

Etapa 1: Nesta etapa foi realizada a revisão bibliográfica por meio de normas técnicas vigentes, a saber:

- a) Norma Regulamentadora Nº 493 de 05 de julho de 2012 da Aneel: Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente (SIGFI) [6];
- b) ABNT NBR 5410: Estipula as condições adequadas para o funcionamento usual e seguro das instalações elétricas, ou seja, até 1.000V em tensão alternada e 1.500V em tensão contínua. Esta norma é aplicada principalmente em instalações residenciais e prediais [13];
- c) NR-10: Esta Norma Regulamentadora - NR fixa as condições mínimas exigíveis para garantir a segurança dos empregados que trabalha em instalações elétricas, em suas diversas etapas, incluindo projeto, execução, operação, manutenção, reforma e ampliação e, ainda, a segurança de usuários e terceiros [14].

Etapa 2: Durante o levantamento de campo, foram coletados os dados necessários para a elaboração do projeto do sistema fotovoltaico, tais como: localização geográfica da Comunidade, levantamento de carga e consumo energético de uma residência típica e quantificação da radiação solar global incidente. Verificou-se que a Comunidade é composta por 106 casas com 110 famílias. Para o levantamento de dados da localização geográfica da Comunidade do Catalão foi utilizado um GPS. As coordenadas geográficas dessa localidade são: 03° 09' 32,47" S e 59° 54' 47,36" W.

A vista aérea dessa Comunidade pode ser visualizada por meio da Figura 5.



Figura 5: Vista Aérea da Comunidade do Catalão.
Fonte: [15].

A Figura 6 ilustra a vista parcial da entrada lago do Catalão, onde fica localizada a Comunidade denominada “Cidade Flutuante”.



Figura 6: Vista parcial da entrada do lago do Catalão.
Fonte: Autores, (2016).

A Figura 7 apresenta uma vista panorâmica da Comunidade do Catalão.



Figura 7: Vista panorâmica da Comunidade.
Fonte: Autores, (2016).

A Figura 8 apresenta uma residência típica da Comunidade que apresenta cobertura adequada para instalação de um sistema fotovoltaico.

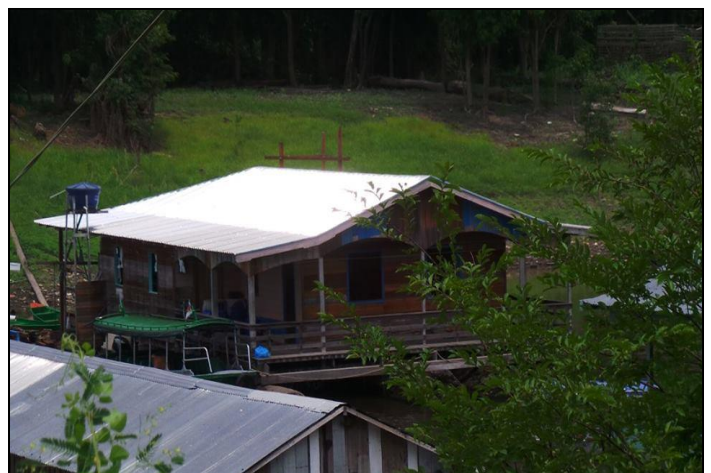


Figura 8: Residência típica da Comunidade.
Fonte: Autores, (2016).

A Figura 9 mostra a única escola da comunidade.



Figura 9: Escola da Comunidade.

Fonte: Autores, (2016).

Para levantamento da irradiação solar da localidade foi utilizado o programa solarimétrico SunData.

A Tabela 1 apresenta os dados contendo as insolações diárias médias mensais para os doze meses do ano coletadas pela Estação Meteorológica de Superfície (EMS), localizada na cidade de Manaus, que está distante 3,7km da Comunidade do Catalão.

Tabela 1: Recurso solar disponível.

Cálculo no Plano Inclinado																
Estação: Manaus																
Município: Manaus, AM - BRA																
Latitude: 3,1019° S																
Longitude: 60,025° O																
Distância do ponto de ref. (3,08° S; 60° O) :3,7 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Plano Horizontal	0° N	4,45	4,51	4,52	4,50	4,44	4,73	5,12	5,84	5,84	5,48	5,25	4,75	4,92	1,20
☑	Ângulo igual a latitude	0° N	4,38	4,47	4,51	4,54	4,52	4,84	5,24	5,72	5,66	5,44	5,17	4,70	4,93	1,35
☑	Maior média anual	4° N	4,35	4,45	4,51	4,55	4,54	4,88	5,27	5,75	5,66	5,42	5,14	4,66	4,93	1,40
☑	Maior mínimo mensal	0° N	4,45	4,51	4,52	4,50	4,44	4,73	5,12	5,84	5,84	5,48	5,25	4,75	4,92	1,20

Fonte: Adaptado de [16].

De acordo com os dados de irradiação levantados apresentados na Tabela 1, verificou-se que os meses de janeiro e maio apresentam os menores níveis de irradiação solar diária média mensal considerando o plano horizontal como referência. Para o plano inclinado igual à latitude temos que o mês de janeiro é o mês mais crítico, sendo HSP = 4,38 kWh/m².dia.

A grandeza HSP (Horas de Sol Pleno) corresponde ao valor acumulado de energia solar ao longo de um dia. O programa fornece também os dados de irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas para os doze meses do ano, conforme Figura 10.

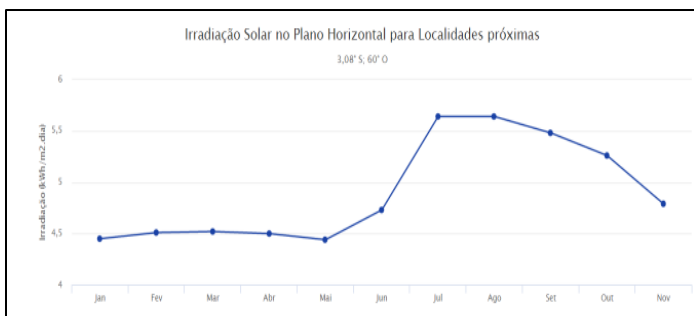


Figura 10: Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades Próximas.

Fonte: Adaptado de [16].

Com a utilização de GPS foi verificado que a comunidade está na latitude 4° sul, portanto a inclinação que melhor se adequa a inclinação do arranjo fotovoltaico é de 10° na direção norte, conforme Figura 11. Este aumento de ângulo é para que não haja sobre os painéis o acúmulo de corpo estranho que venha comprometer a potência do gerador fotovoltaico.

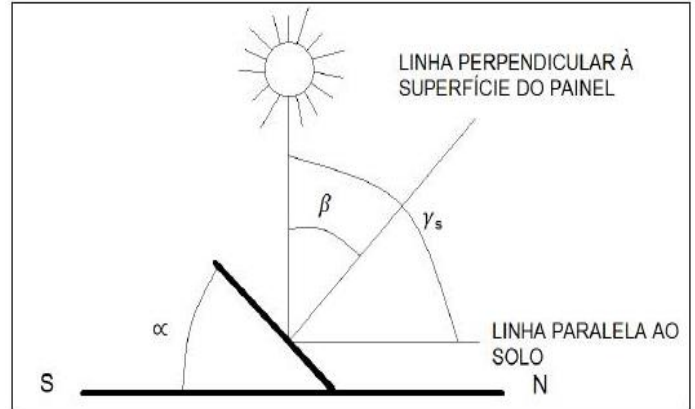


Figura 11: Ângulo de inclinação do módulo e ângulo de inclinação da incidência dos raios solares.

Fonte: Autores, (2016).

Para realizar o levantamento de carga e consumo de uma residência típica da Comunidade foram utilizadas as Equações (1) e (2).

O Levantamento de Carga (LC) corresponde ao somatório das potências nominais de todos os aparelhos elétricos em uma instalação elétrica, conforme a Equação (1):

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^i (Pe_i)}{1000} \quad (1)$$

Onde:

LC: Levantamento de carga [kW];

Pe: potência nominal do aparelho elétrico [W].

O Consumo Médio Diário (CMD) corresponde ao somatório da energia consumida diariamente por cada aparelho de uma instalação elétrica, conforme Equação (2):

$$CMD = \frac{Pe \cdot Nmd}{\eta_{inv} \cdot \eta_{bat}} \quad (2)$$

Onde:

CMD: consumo médio diário [W/d];

Pe: potência nominal do equipamento [W];

Nmd: número médio de horas diárias de utilização do equipamento [W/d];

η_{inv} : eficiência do inversor [%];

η_{bat} : eficiência global da bateria [%].

Para dimensionamento inicial do projeto, foi considerado o valor do consumo médio de energia dos aparelhos eletrodomésticos levando-se em consideração quantas horas por dia ele é utilizado.

Vale ressaltar que este valor é estimado, pois o uso do aparelho pode variar de um dia para outro ou pode ser diferente de acordo com a pessoa que o utiliza. Alguns desses dados foram consultados e obtidos no *site* do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica [17], ligado ao Ministério de Minas e Energia (MME).

A Tabela 2 resume o levantamento de carga efetuado e o consumo calculado.

Tabela 2 – Levantamento de carga e consumo.

LEVANTAMENTO DE CARGA E CONSUMO							
Item	Aparelho	Quantidade	Potência	Uso	Eficiência do inversor	Eficiência das baterias	Consumo
			(W)	(h/dia)			
01	Lâmpada	8	8,5	8	0,9	0,85	711,11
02	TV LED 20"	1	90	5	0,9	0,85	588,24
03	Geladeira 300l	1	200	10	0,9	0,85	2614,38
04	Ventilador	2	65	8	0,9	0,85	1359,48
05	Máquina de lavar roupas	1	1500	2	0,9	0,85	3921,57
06	Ferro de passar roupas	1	1000	1	0,9	0,85	1307,19
07	Aparelho de som	1	20	4	0,9	0,85	104,58
TOTAL			2.884				10.606

Fonte: Autores, (2016).

Etapa 3: Nesta etapa, foi realizado o dimensionamento de materiais e equipamentos que compõem o projeto do sistema fotovoltaico, pesquisas em catálogos de fabricantes para obtenção de especificações técnicas e consulta em *sites* de fornecedores para cotação de preços (orçamento).

As equações (3) a (11) calculam os componentes principais (módulos fotovoltaicos, baterias, controlador de carga e inversor) que compõem o sistema fotovoltaico projetado.

3.1 Dimensionamento de Gerador Fotovoltaico (GFV)

a) Potência do GFV

$$PGFV = 1,25 \cdot \frac{CMD}{HSP} \quad (3)$$

Onde:

PGFV: Potência do Gerador Fotovoltaico [Wp];
HSP: Hora de Sol Pleno no Plano do Pannel Fotovoltaico [h/d].

b) Número de painéis fotovoltaicos

$$NPFV = \frac{PGFV}{PPFV} \quad (4)$$

Onde:

NPFV: Número de painéis fotovoltaicos [painéis];
PPFV: Potência do Pannel Fotovoltaico [Wp].

3.2 Dimensionamento do banco de baterias

a) Capacidades de carga do banco de baterias

$$CB = \frac{CMD \cdot N}{PD_{max}} \quad (5)$$

$$CB = fe \cdot ft \cdot CB \quad (6)$$

$$CBI = \frac{CB}{VBB} \quad (7)$$

Onde:

CB: Capacidade do banco de baterias [Wh];
N: Número de dias de autonomia;
PDmax: Máxima profundidade de descarga da bateria;
fe: fator de envelhecimento da bateria;
ft: fator de temperatura da bateria;

CBI: Capacidade do banco de baterias [Ah];
VBB: Tensão do banco de baterias [V].

b) Número de baterias em série e em paralelo

$$NBS = \frac{VBB}{V_{bat}} \quad (8)$$

$$NBP = \frac{CBI}{C_{bat}} \quad (9)$$

Onde:

NBS: Número de baterias ligadas em série;
Vbat: Tensão da bateria utilizada [V];
NBP: Número de baterias ligadas em paralelo;
Cbat: Capacidade de carga de cada bateria [Ah].

3.3 Dimensionamento do controlador de carga

$$CG = 1,25 \cdot NPP \cdot I_{SC} \quad (10)$$

Onde:

CG: Corrente máxima do controlador de carga [A];
NPP: Número de painéis fotovoltaicos em paralelo;
Isc: Corrente de curto circuito do pannel fotovoltaico utilizado [A].

3.4 Dimensionamento do inversor

$$Pot. inv = carga instalada \quad (11)$$

As Tabelas 3 a 6 apresentam resultado do dimensionamento do gerador fotovoltaico, banco de baterias, controlador de carga e inversor, respectivamente.

Tabela 3: Dimensionamento do GV.

DIMENSIONAMENTO DE GERADOR FOTOVOLTAICO				
Consumo	HSP	Potência do GFV	Potência nominal do módulo	Qtd de módulos
(Wh/dia)	(kWh/m ² .dia)	(Wp)	(Wp)	
10606	4,4	3013	260	12

Fonte: Autores, (2016).

Tabela 4: Dimensionamento do Banco de baterias.

DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS						
Autonomia	Profundidade de descarga	Capacidade	Capacidade	Tensão de banco	Capacidade nominal	Quantidade de baterias do banco
(Dias)	(%)	(Wh)	(A.h)	(V)	(A.h)	
2	50	42.428	1.728	24	240	16
RN 493/2012					BAT. SÉRIE	BAT. PARALELO
					2	8
						TOTAL
						16

Fonte: Autores, (2016).

Tabela 5: Dimensionamento do Controlador de Carga.

DIMENSIONAMENTO DO CONTROLADOR DE CARGA						
Painéis em série	Painéis em paralelo	Voc	Isc	I - entrada	P - entrada	Corrente Nominal
Qtd	Qtd	(V)	(A)	(A)	(W)	(A)
3	4	38,1	8,98	26,94	646,56	40

Fonte: Autores, (2016).

Tabela 6: Dimensionamento do inversor.

DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR	
Carga instalada	Potência do inversor
(W)	(W)
2.884	3.000

Fonte: Autores, (2016).

A Tabela 7 apresenta o custo estimado do projeto.

Tabela 7: Orçamento do Projeto.

ORÇAMENTO						
Item	Material	Qtd	Capacidade	Preço Unit	Preço Total	Preço com frete
1	Módulo Solar	12	260W	R\$ 819,00	R\$ 9.828,00	R\$ 9.828,00
2	Bateria Estacionária	16	240Ah	R\$ 1.099,00	R\$ 17.584,00	R\$ 17.584,00
3	Controlador de Carga	1	45A	R\$ 999,00	R\$ 999,00	R\$ 999,00
4	Inversor	1	3000W	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
5	Materiais diversos	1	-	R\$ 500,00	R\$ 500,00	R\$ 500,00
6	Instalação	1	-	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
					TOTAL	R\$ 34.411,00

Fonte: Autores, (2016).

A Figura 12 apresenta o diagrama de blocos do projeto do Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI) dimensionado para uma residência típica da Comunidade do Catalão.

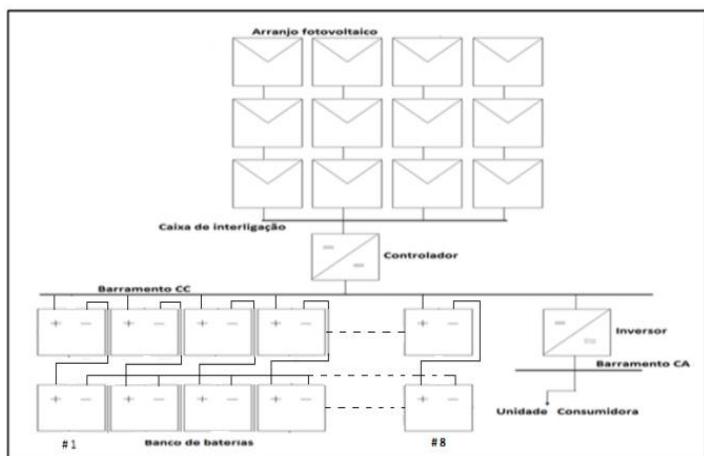


Figura 12: Projeto de SFI.

Fonte: Autores, (2016).

3.5 Características do sistema projetado:

3.5.1 Painel Fotovoltaico

- Tipo: silício policristalino;
- Quantidade células: 60 (6x10);
- Potência nominal unitária: 260Wp.

3.5.2 Banco de Baterias

- Capacidade unitária da bateria: 240A.h
- Tipo de bateria: chumbo ácido estacionária
- Profundidade máxima de descarga da bateria: 50%;
- Eficiência da bateria: 85%;
- Tensão de alimentação do banco: 24V.

3.5.3 Controlador de Carga

- Corrente nominal: 40A;
- Possui o recurso do MPPT.

3.5.4 Inversor

- Potência nominal de saída: 3kW;
- Eficiência: 90%.

O MPPT (*Maximum Power Point Tracking* – Rastreamento do Ponto de Máxima Potência) é um recurso do controlador de carga que tem a função de maximizar a produção de energia do painel fotovoltaico, proporcionando o maior rendimento possível do sistema.

No projeto proposto, para o cálculo da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, foi usado o método da insolação. Para este tipo de método, deve ser usado um controlador de carga com recurso de MPPT.

A tensão de alimentação da instalação dos aparelhos eletrodomésticos é de 127Vca.

Etapa 4: Nesta última etapa, foi realizada a análise da viabilidade técnica e econômica do projeto.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a visita de campo, foram evidenciadas as seguintes características da Comunidade do Catalão:

- As casas são de madeira, possuem poucos cômodos e foram construídas sobre toras de madeira flutuantes de açacu;
- O açacu dura décadas;
- Os moradores possuem, em sua maioria, os seguintes eletrodomésticos: seguintes materiais eletrodomésticos: lâmpadas fluorescentes, televisão, ventilador, máquina de lavar roupas, geladeira, aparelho de som e ferro elétrico;
- As instalações elétricas dos postes até as residências não obedecem às normas técnicas vigentes no tocante à prevenção de riscos de acidentes por choques elétricos e por descargas elétricas.

A Figura 13 apresenta suporte de madeira inadequado para sustentação dos cabos elétricos que faz parte das instalações elétricas das moradias. O ideal seria postes de madeira.



Figura 13: Forquilha de madeira que sustenta a cabeção elétrica.

Fonte: Autores, (2016).

Pode-se observar, por meio da Figura 14, que a cabeção elétrica que interliga os postes às residências fica lançada e exposta na superfície do solo. O ideal que esses cabos elétricos ficassem enterrados no solo. Isso evitaria o risco de choques elétricos.



Figura 14: Cabeção elétrica lançada no solo.

Fonte: Autores, (2016).

Na figura 15, pode-se observar uma escada improvisada para subir no poste. O poste já está comprometido devido a ação de cupins. Não é aconselhável realizar os trabalhos em altura devido às condições inseguras e precárias desse poste e da proximidade à rede de energia elétrica.



Figura 15: Escada improvisada para subir no poste.

Fonte: Autores, (2016).

IV.1 ANÁLISE TÉCNICA DO PROJETO

Durante o levantamento do recurso solar da Comunidade do Catalão foi usada uma EMS da cidade de Manaus, pois o programa SunData não localizou uma EMS na cidade de Iranduba. Essa opção não compromete o levantamento de dados de insolação, pois a EMS de Manaus fica a 3,7km da Comunidade.

A presença de uma bateria ou de um banco de baterias num projeto de sistema fotovoltaico autônomo é necessária pelos seguintes motivos, segundo [18]:

- Proporciona fornecimento constante de energia para o consumidor;
- Evita desperdício de energia gerada quando o consumo é baixo, permitindo seu armazenamento para uso posterior, nos momentos

em que houver pouca ou nenhuma radiação, como no período da noite e nos dias nublados e chuvosos;

- O banco de baterias é necessário para estabilizar a tensão fornecida aos equipamentos ou ao inversor eletrônico.

Em qualquer projeto de sistema fotovoltaico não é recomendável o uso de baterias automotivas convencionais. Aplicações fotovoltaicas exigem o uso de baterias estacionárias.

O quadro 1 apresenta as diferenças técnicas entre esses dois tipos de baterias referentes às aplicações fotovoltaicas.

Quadro 1: Diferenças técnicas entre as baterias estacionária e automotiva com ênfase em aplicações fotovoltaicas.

Bateria		Aplicações fotovoltaicas
Estacionária	Automotiva	
Fornecer corrente elétrica por períodos prolongados.	Fornecer corrente elétrica por um curto período de tempo.	Necessitam de corrente elétrica por períodos prolongados.
Possui descarga rápida.	Possui descarga lenta.	Necessitam de baterias com descarga lenta.
Possui taxa de descarga menor.	Possui taxa de descarga maior.	Necessitam de taxas de descargas menores de baterias.
Possui capacidade de reserva maior.	Possui capacidade de reserva menor.	Necessitam de baterias com capacidade de reserva maior.
Pode suportar centenas de ciclos de descarga e recarga	Não suporta uma descarga completa.	Necessitam de baterias que suportam vários ciclos de descarga e recarga.

Fonte: Autores, (2016).

No projeto foi indicada a bateria de chumbo ácido estacionária com eletrólito líquido, pois este tipo é muito difundido no mercado devido ao seu custo reduzido e é o mais empregado nos sistemas fotovoltaicos autônomos.

O banco de baterias foi dimensionado para alimentar o consumo durante dois dias, caso não haja produção de energia em dias chuvosos ou nublados, de acordo com a [6]. Para uma quantidade de dias maiores, o custo do sistema fica elevado.

Os fatores de envelhecimento (fe) e temperatura (ft) das baterias não foram considerados nos cálculos projeto, pois encarecia demais o projeto

Como a localidade possui boas condições de insolação e a falta de energia elétrica dura, em média, dois dias, o dimensionamento do banco de baterias atende à demanda da unidade consumidora.

IV.2 ANÁLISE ECONÔMICA DO PROJETO

Verificou-se que o custo da energia solar se torna viável para esta comunidade por ser uma energia sustentável de menor impacto ambiental, limpa e de fácil manutenção. Segundo [19], “O sistema é de simples operação e baixo custo de manutenção, já que não demanda grande quantidade de material. Praticamente limita-se à troca de baterias a cada três anos, além do prazo de garantia dos módulos solares ser entre 20 e 25 anos”.

O custo de implantação do sistema convencional de rede elétrica do Programa LUZ PARA TODOS do Governo Federal [21], torna-se mais caro e agride o meio ambiente com abertura de ramais e com a sua manutenção deficitária.

Segundo a [20], em sua Nota Técnica nº 032 de 12/12/2012, a concessionária Amazonas Distribuidora de Energia S.A. propôs em sua revisão do Plano de Universalização da área rural do Amazonas, o atendimento a 90.643 ligações, num montante de investimentos de R\$ 3,7 bilhões, tendo como ano de universalização o ano de 2021.

Verifica-se que o valor do investimento do serviço elétrico tradicional dividido pela quantidade de ligações chega ao valor de R\$ 40.819,47 por residência, sendo superior aproximadamente 18,62% (R\$ 6.408,47) em relação ao valor do projeto da Comunidade do Catalão que é de R\$ 34.411,00. Além disso, o sistema de energia solar proporciona menor impacto ambiental e baixo custo de manutenção, assim como possui uma vida útil dos painéis fotovoltaicos de aproximadamente vinte e cinco anos.

Esse projeto pode ser pago em 18 anos por meio de parcelas mensais ficando assim um ganho de 7 anos, sem levar em conta os acréscimos que poderão ocorrer na fatura de energia elétrica convencional, aumentando a economicidade no referido período.

Vale ressaltar, ainda, a praticidade, a mobilidade e a redução de acidentes durante os períodos de cheias e vazantes do rio com a implantação desse sistema.

V. CONCLUSÕES

Verificou-se que é possível, conforme os procedimentos e as condições de fornecimento de energia elétrica descritos na RN nº 493/2012, o projeto de um sistema fotovoltaico tipo SIGFI como alternativa para fornecimento de energia elétrica para localidades isoladas.

Para exemplificar o estudo de viabilidade de implantação de energia solar na Comunidade do Catalão, no interior do Amazonas, optou-se por um projeto que contém o dimensionamento e as especificações técnicas de componentes de um SIGFI destinado ao atendimento de uma Unidade Consumidora (residência) dessa Comunidade e que teve o seu objetivo alcançado de acordo com o método proposto.

Neste contexto, a utilização de energia solar fotovoltaica na referida Comunidade mostrou-se técnica e economicamente viável, o que reduziria os impactos ambientais e os valores das faturas de energia elétrica dos consumidores locais.

VI. AGRADECIMENTOS

À Comunidade do Catalão pelas informações prestadas. À Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM-CMDI) pela oportunidade de pesquisa.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Levantamento divulgado em 28 de agosto de 2015. Acesso em: 22 out. 2016.
- [2] INSTITUTO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO AMAZONAS. Disponível em: <<http://www.ipaam.am.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2016.
- [3] Espaço Visa Mais. Disponível em: <<http://www.espacovamais.com.br/estilo-de-vida/na-amazonia-familias-vivem-em-casas-flutuantes.htm>> Acesso em: 02 nov.2016.
- [4] Pinho, João Tavares (Org.); Galdino, Marco Antônio (Org.). **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2. ed. rev. e aum. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014.
- [5] Ramos, M.P. **Dimensionamento e Especificação Técnica de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica de Usina Fotovoltaica com Simulação Computacional**. 2015. 77p. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia Elétrica. Escola Superior de Tecnologia. Universidade Estadual do Amazonas.
- [6] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 493**. Brasília: 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012493.pdf>. Acesso em: 03 out.2016.
- [7] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 482**. Brasília: 2012. Disponível em: www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf. Acesso em: 03 out.2016.
- [8] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 687**. Brasília: 2012. Disponível em: www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf. Acesso em: 03 out.2016.
- [9] Portal Solar. Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica-a-revolucao-energetica-ja-comecou-no-brasil.html>. Acesso em: 07 dez.2016.
- [10] IEA – International Energy Agency. Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy. 2014.
- [11] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Energia – PDE 2024**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Relatório%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>>. Brasília, 2015. Acesso em: 30 dez. 2016.
- [12] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 10 nov. 2016.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro:2004.
- [14] MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR-10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Portaria MTE 598/2004. Publicado no D.O.U em 08/12/2004. Brasília:2004.
- [15] Google Maps. Disponível em <https://www.google.com/maps/place/Lago+Do+Catalao/@-3.1516329,-59.9198258,760m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x926c03933f6f835f:0x96d52b4184158171!8m2!3d-3.1516329!4d-59.9176371>. Acesso em: 04 out. 2016.

[16] **SUNDATA**. Potencial Solar. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

[17] **Programa de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL INFO**. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>. Acesso em: 30 dez. 2016.

[18] Villalva, M.; Gazoli, J. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

[19] **Guascor Solar do Brasil**. Disponível em: <<http://www.guascor.com.br/?p=368>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

[20] **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/NT-032-%20Eletrobras%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20Amazonas%20-%20Revis%C3%A3o%20Plano%20Unv%20Rural%20\(REN%20488%202012\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/NT-032-%20Eletrobras%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20Amazonas%20-%20Revis%C3%A3o%20Plano%20Unv%20Rural%20(REN%20488%202012).pdf).

[21] **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2016/009/documento/nota_tecnica_0003_henrique_eletrobras_amazonas_energia.pdf> Acesso em: 04 nov.2016.