

Sistema Fotovoltaico Off Grid para comunidade ribeirinha na Região Insular de Belém - Pará

O acesso à energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento econômico e social de uma comunidade. Apesar de ser considerado um serviço público essencial, algumas regiões do Brasil encontram-se excluídas eletricamente. A região Norte do país, principalmente em comunidades rurais, é afetada por este problema, devido aos maiores obstáculos econômicos e estruturais para integração dos sistemas de transmissão e distribuição de energia. As energias renováveis estão sendo cada vez mais evidenciadas como alternativa para mitigar ou solucionar tais problemas. Desse modo, este trabalho teve como objetivo dimensionar um sistema fotovoltaico não conectado à rede (off grid) para residências unifamiliares de uma comunidade rural na região insular de Belém, no Pará, a qual utiliza comumente de fontes de combustíveis fósseis para eletrificação, ou vivem sem qualquer acesso à energia elétrica. Foram realizados cálculos matemáticos, de acordo com informações acerca do consumo de energia das residências, bem como segundo dados de irradiação solar incidente, disponibilizados pelo banco de dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito, considerando o método do mês crítico, para dimensionamento do sistema e dos custos de implantação. Os resultados mostraram que uma unidade de sistema para uma residência unifamiliar teria custo atual médio de aproximadamente R\$ 28.382,00, contando com um período de 25 anos de vida útil da tecnologia. Por meio das análises elaboradas por este estudo, sugere-se a energia solar fotovoltaica off grid como uma alternativa viável para o abastecimento elétrico da comunidade avaliada.

Palavras-chave: Tecnologias Sociais; Abastecimento Elétrico; Dimensionamento de Sistemas.

Off Grid Photovoltaic System for riverside community in the Island Region of Belém – Pará

Access to electricity is fundamental for the economic and social development of a community. In spite of being considered an essential public service, some regions of Brazil are electrically excluded. The northern region of the country, mainly in rural communities, is affected by this problem due to the greater economic and structural obstacles to the integration of energy transmission and distribution systems. Renewable energies are increasingly being highlighted as an alternative to mitigate or solve such problems. Therefore, this work aimed to dimension a photovoltaic system not connected to the grid (off grid) for single-family homes in a rural community in the insular region of Belém, Pará, which commonly uses fossil fuel sources for electrification, or live without any access to electricity. Mathematical calculations were performed, according to information about the energy consumption of the homes, as well as according to incident solar irradiation data, made available by the database of the Reference Center for Solar and Wind Energy Sérgio Brito, considering the critical month method, for sizing the system and implementation costs. The results showed that a system unit for a single-family residence would have an average current cost of approximately R\$28,382.00, with a 25-year period of the technology's useful life. Through the analyzes carried out in this study, off grid photovoltaic solar energy is suggested as a viable alternative for the electrical supply of the evaluated community.

Keywords: Social Technologies; Electric Supply; Systems Dimensioning.

Topic: **Sistemas de Energia Sustentável**

Received: **14/08/2021**

Approved: **15/09/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Marina Costa de Sousa 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1230585508310098>
<http://orcid.org/0000-0002-9063-6496>
costamarina.mcs@gmail.com

Lucas Mota Batista 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5910833811483129>
<http://orcid.org/0000-0002-0788-2021>
lucasmotab4@gmail.com

Luciane Gomes Fiel 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8067274489884326>
<http://orcid.org/0000-0002-9788-2331>
lucianefiel@gmail.com

Albertino Monteiro Neto 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0967056836314961>
<http://orcid.org/0000-0001-7318-2413>
albertino.monteiro.neto@gmail.com

Kemuel Maciel Freitas 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9040543512187322>
<http://orcid.org/0000-0002-8580-8951>
kemuel.macielf@gmail.com

Ricardo da Silva Pereira 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6309534003186831>
<http://orcid.org/0000-0002-2696-0283>
ricardo.pereira@ufra.edu.br

Glauber Tadaiesky Marques 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8415525895204561>
<http://orcid.org/0000-0003-3735-8455>
glauber.marques@ufra.edu.br

Otávio Andre Chase 
Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/623695377548570>
<http://orcid.org/0000-0003-0246-8339>
otavio.chase@ufra.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0024

Referencing this:

SOUSA, M. C.; BATISTA, L. M.; FIEL, L. G.; MONTEIRO NETO, A.; FREITAS, K. M.; PEREIRA, R. S.; MARQUES, G. T.; CHASE, O. A.. Sistema Fotovoltaico Off Grid para comunidade ribeirinha na Região Insular de Belém – Pará. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.9, p.312-324, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0024>

INTRODUÇÃO

A matriz energética elétrica brasileira ainda apresenta alta dependência em relação à energia gerada por usinas hidrelétricas, correspondendo a aproximadamente 68% do total, alimentando assim a maior parte da demanda do país (EPE, 2017). No entanto, essa geração ainda não é suficiente, ao passo de determinadas regiões, como a Amazônia, ainda não possuem atendimento, ou contarem com um fornecimento precário e não regular.

Assim, novas fontes de energias alternativas têm sido amplamente investigadas nas últimas décadas, como solução complementar a matriz energética atual, que se baseia majoritariamente em hidráulica e biomassa (CINTRA JÚNIOR et al., 2018). Fontes que sejam menos poluentes, com potencial de renovação e, de baixos impactos para o meio ambiente, como a energia solar, por exemplo, (SILVA, 2019).

O Brasil apresenta grande potencial de exploração desse recurso em todo o território, com irradiação média de 1200 e 2400 kWh/m²/ano (SILVA et al., 2017). Tal condição possibilita uma maior geração de energia utilizando módulos solares (TSOUTSOSA et al., 2006; MIRANDA et al., 2019). Além de ser um modelo de produção de energia renovável, tem uma condição logística que beneficia regiões equatoriais e possibilita o consumo de energia no próprio local de produção, atalhando despesas com a transmissão e distribuição (VENTURA, 2020). Somado a isso, a ONU (2015) criou um plano de ação para os países do mundo, no qual o Brasil de fato consiga atingir a meta de 100% da universalização de energia antes de 2030, conforme o objetivo 7 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): “Energia limpa e acessível para todos”.

O Brasil, embora tenha apresentado êxito com o programa de eletrificação rural “Luz para todos”, cerca de 1,27 % dos brasileiros ainda não possuem acesso a sistemas convencionais de abastecimento de energia elétrica, o que corresponde 2,5 milhões de domicílios brasileiros – cerca de 11 milhões de habitantes (ANEEL, 2016). Isso se dá devido às dificuldades de integração do setor elétrico em áreas mais afastadas e pelo fato de os custos para realizar essa integração seguindo o modelo de geração centralizada não trariam retorno econômico às concessionárias de energia. Assim, as populações mais afetadas pela falta de eletricidade são as comunidades rurais isoladas (MACIEL, 2019), as quais vivem reféns de lenha e dos altos preços de combustíveis fósseis como opção convencional de geração elétrica por meio do gerador a diesel, que não se mostra uma solução adequada em virtude de apresentar dificuldade relacionada ao transporte recorrente de combustível, a complexidade na manutenção do gerador e as emissões nocivas ao meio ambiente (JAVED et al., 2019).

Nesse contexto, opção pela geração distribuída em zonas rurais, que se caracteriza por permitir que a geração elétrica ocorra próxima ao consumidor, podendo atuar de forma autônoma, dispensando a necessidade das linhas de transmissão, bem como do restante do sistema de distribuição (JAVED et al., 2019). No Brasil, isso já vem sendo executado em comunidades isoladas, por geração fotovoltaica, através do sistema chamado *off grid*, aquele que não está conectado à rede elétrica convencional (WWF, 2020). Uma vez que, a oferta de eletricidade a uma comunidade rural permite não só seu desenvolvimento socioeconômico, mas uma melhora significativa na qualidade de vida de seus moradores, pois antes de ser

uma questão técnica, se trata de justiça social (INCARNAÇÃO, 2012).

Desse modo, o presente artigo, por meio de um dimensionamento, tendo como referência o abastecimento da demanda de consumo básica familiar, apresenta uma alternativa à simples implantação de um sistema elétrico para comunidades afastadas dos centros urbanos, no sentido de promover a geração distribuída em modelo *off grid*, para residências unifamiliares da comunidade ribeirinha do Furo Grande, Ilha das Onças, região insular de Belém, estado do Pará.

METODOLOGIA

Localização da Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na comunidade ribeirinha do Canal Furo Grande (Figura 1), Ilha das Onças, município de Barcarena (PA), com localização em latitude 1°25'01.2"S e longitude 48°32'01.1" (Figura 1). A ilha em questão se encontra às margens da Baía do Guajará, sendo drenada por diversos rios e canais. O Canal Furo Grande, especificamente, é longo e estreito, e a população ribeirinha se distribui de forma dispersa, com pouco tráfego de embarcações e, habitualmente, residem em casas de madeira (NEU et al., 2018).

A região apresenta clima quente e úmido, com sazonalidade pluviométrica marcada por um período mais chuvoso de dezembro a fevereiro, e menos chuvoso de junho a agosto (INMET, 2018). A comunidade tem características rurais, porém, tem grandes influências da zona urbana, devido à proximidade do centro de Barcarena e da capital do estado, Belém (em ambos aproximadamente 30 minutos de distância, utilizando embarcação regional). A vegetação é coberta por "mata de várzea", com cobertura florestal diversificada e constante, com espécie vegetal predominante sendo o açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) – base de subsistência e sustentação econômica da comunidade (NEU et al., 2016). Segundo Neu et al. (2015), as residências unifamiliares são rústicas, cobertas com telhas de amianto ou barro, com piso e paredes de madeira. Sendo que 63% dessas residências têm energia elétrica gerada por motores a diesel e 37% não possuem qualquer acesso à energia elétrica.

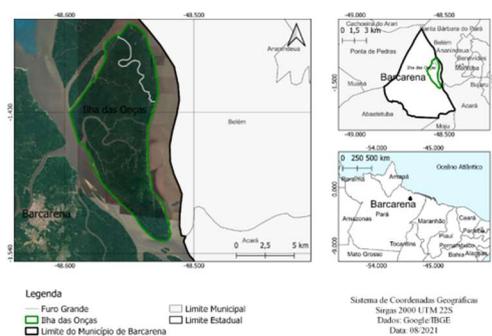


Figura 1: Localização da Área de Estudo, Ilha das Onças, Barcarena-PA.



Figura 2: Residências do Furo Grande, Ilha das Onças.

Dimensionamento

Este estudo considerou os diferentes elementos essenciais para a realização do dimensionamento

dos sistemas fotovoltaicos *off grid* para o abastecimento elétrico da comunidade do Furo Grande (figura 3): Avaliação do recurso solar disponível na região da aplicação; Levantamento de demanda e consumo de energia elétrica; Determinação da configuração do sistema; Dimensionamento da geração fotovoltaica; Dimensionamento do sistema de armazenamento; Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência: Controlador de Carga e Inversor.

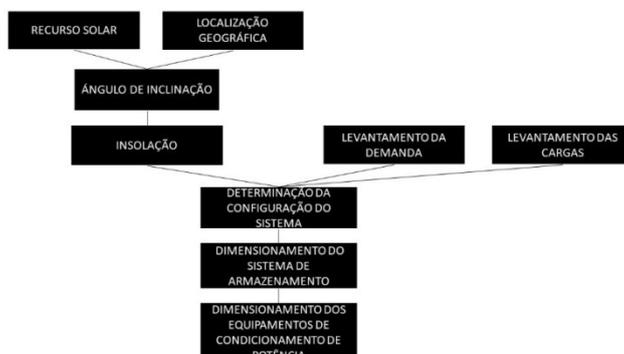


Figura 3: Fluxograma do Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico não conectado à rede.

Avaliação do Recurso Solar

Um painel solar fotovoltaico possui propriedades particulares que dependem da irradiância incidente e temperatura, sendo a primeira mais importante. Dessa forma, para estabelecer a energia gerada é essencial a quantificação da radiação solar incidente sobre o painel fotovoltaico, pois são diretamente proporcionais. Assim, para avaliar a produção de energia elétrica é importante desconsiderar a irradiação solar e atentar para a totalidade de energias nos intervalos de horários, para isso, aplica-se o número de Horas de Sol Pleno (HSP) que apresenta o valor acumulado de energia ao longo de um dia, refletindo o número de horas na quais a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1kW/m^2 , de maneira que a energia total seja compatível com a disponibilizada pelo sol no local (PINHO et al., 2014; LINS, 2018).

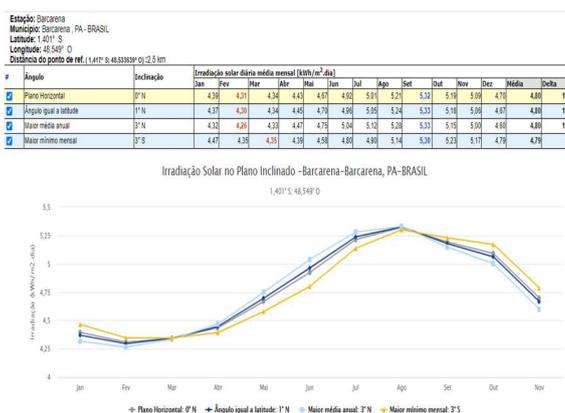


Figura 4: Horas de Sol a Pico em Barcarena-PA. Fonte: CRESESB (2021).

Levantamento da Demanda e do Consumo Elétrico

O sistema deve produzir mais eletricidade que o limite determinado pelo consumo. A média de consumo diário pode ser obtida com precisão por meio da soma da energia consumida por cada equipamento considerando demanda da unidade consumidora (LINS, 2018), conforme apresentado na

Tabela 2. Para fazer esta análise foi realizado levantamento bibliográfico (PINHO et al., 2014; OVELHA, 2017) e visita a área de estudo verificando, a título orientativo, para saber quais equipamentos utilizados e estimar uma média de horas de uso pelo número de cômodos das residências e uso de necessidade comum de cada aparelho.

Tabela 1: Levantamento de Cargas dos Equipamentos Instalados nas Residências Unifamiliares.

Equipamento	Quantidade	Potência(W)	Tempo de Utilização (h)	Consumo Diário (Wh/Dia)
Lâmpada Fluorescente	3	15	6	270
Televisão	1	90	8	540
Ventilador	2	65	12	1560
Geladeira	1	90	24	2160
Total				4530

Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Isolado

De forma a quantificar o dimensionamento do sistema é importante entender a função de cada componente e sua correta especificação. O banco de baterias é o primeiro componente a ser dimensionado que deve ser satisfatório para armazenar toda a energia exigida aos equipamentos (LINS, 2018). Desse modo, as baterias devem armazenar a energia que garanta a autonomia diária de instalação sendo recarregada simultaneamente e mantendo os procedimentos por um período mínimo de 6 horas sem recarga, a qual é função dos painéis solares fotovoltaicos, considerando às 6 horas de funcionamento estipulado, sendo em médio 4,8h com sol suficiente para geração (LINS, 2018; CRESESB, 2021).

Segundo Lins (2018), o tempo de uso dos equipamentos e a potência devem ser aferidos para a instalação, e verificar que a definição (ou estimativa) do tempo de utilização destes, seja considerado no período de um dia. Como forma de garantir a produção suficiente para ser armazenada, primeiramente, são demandados os valores médios de irradiação solar mensais (Tabela 1) e a potência total demandada (Tabela 2), esses valores de carga são fixos para todos os meses de uso da residência, apenas os valores para o mês mais desfavorável é considerado, no caso fevereiro, conforme Tabela 1, pois se o sistema atender a demanda no mês de menor irradiação será capaz de atender nos meses de maior.

O cálculo da Potência Pico (P_{FV}) do Sistema Fotovoltaico, utilizando os dados da tabela, é calculada pelo valor do fator de segurança multiplicado pela carga sobre total de horas das cargas em funcionamento, estabelecido em 6 horas, multiplicado pelo HSP do mês crítico (equação 1) (PINHO et al., 2014).

$$P_{FV} = 1,25 \times \frac{L}{(HSP)_{\beta}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

P_{FV} = Potência do módulo fotovoltaico (W).;

1,25 = fator de segurança;

L = Carga;

$(HSP)_{\beta}$ = Horas de sol pico do menor mês(h)

De modo a determinar a quantidade de placas solares necessárias ao sistema, esta considera a quantidade de energia gerada diariamente e a quantidade de radiação solar média do local de instalação, das eficiências dos painéis, da tensão de sensibilização de componentes como controlador de carga,

inversor e a potência. Assim, para este cálculo foi utilizada a potência total do gerador fotovoltaico dividida pela potência do módulo fotovoltaico (PINHO et al., 2014; LINS, 2018).

$$N_{MÓDULOS} = \frac{P_{FV}}{P_{MÓDULO}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$N_{MÓDULOS}$ = Quantidade de módulos necessária.

P_{FV} = Potência do gerador fotovoltaico (W).

$P_{MÓDULO}$ = Potência do módulo fotovoltaico (W_P)

Dimensionamento do Banco de Baterias

O banco de baterias deve ter carga suficiente para a demanda de consumo total da residência por pelo menos 6h sem irradiação solar para recarregamento. Então, foi considerado um descarregamento de no máximo 40% da capacidade da bateria para evitar danos ou perda da capacidade de armazenamento. Para o projeto foram utilizadas baterias com as características indicadas na Tabela 2.

Tabela 2: Especificação Técnica - Bateria Moura Clean 12MP220.

Bateria Solar Moura Clean 12MF220(220AH)	
Tensão Nominal	12V
Capacidade a 25°C	220 A
Dimensões (CxLxA)mm	571x272x246
Peso	57,7
Tensão de Flutuação	13,2 - 13,38V - 25 °C
Tensão Equalização	14,16 a 14,4V - 25 °C

Fonte: Adaptado de NeoSolar (2021).

Segundo Simões (2017), a capacidade da bateria é definida como sendo a quantidade de eletricidade em ampères-hora (Ah), representada pelo resultado da corrente (A) e o tempo de descarga em (h) até a tensão final de descarga ser alcançada, ou seja, é a taxa de corrente que uma bateria fornece durante um período de uma hora de utilização.

$$N_{BATERIAS} = \frac{C_B}{I_{BAT}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

C_B * = Capacidade da bateria (Wh)

I_{BAT} = Capacidade nominal da Bateria (Ah)

Dimensionamento do Controlador de Carga

Para um sistema *off grid* é necessário um controlador de carga, componente que efetua a compatibilização da tensão fornecida pelo conjunto dos painéis fotovoltaicos e o banco de baterias. De acordo com a definição da quantidade de painéis fotovoltaicos é necessário definir o arranjo que se adequa ao controlador de carga definido para o projeto. O controlador de carga é indispensável para proteção das baterias em eventuais sobrecargas e em descargas excessivas (OVELHA, 2017).

O Controlador de carga estabelece a tensão dos arranjos de painéis e deve ser selecionado com a tensão de saída adequada ao arranjo de baterias. A capacidade do controlador deve ultrapassar a produção

de energia ou a potência de consumo. Procura-se definir a quantidade de painéis do sistema com base na tensão máxima do controlador de carga, os quais devem ser organizados em série no sistema para não superar a tensão máxima que o controlador suporta, e para verificar esta, multiplica-se a tensão unitária dos painéis pela quantidade em série, se necessário uma quantidade a mais de painéis, os novos devem ser ligados em paralelo ao arranjo estabelecido (LINS, 2018).

Tabela 3: Especificações do Controlador de Carga.

Controlador de Carga MPPT 100A 12/24/48V - Epever Tracer 10415AN	
Tipo de Algoritmo de Carga:	MPPT
Modelo:	Tracer 10415AN
Tensão Nominal do Sistema:	12/24/48 V (automático)
Corrente de Carga:	100 A
Corrente de Descarga:	100 A
Máxima Tensão da Bateria:	68 V
Tensão Máxima do Sistema*:	150 V
Tipos de Bateria:	Selada, Gel, Ventilada
Visor:	Sim
Programável:	Sim
Entrada USB:	Não
Bitola Máxima do Cabo:	35 mm ²
Aterramento:	Comum Negativo
Código IP:	IP 20
Dimensões (CxLxA) mm	394 x 242 x 143 mm
Peso:	7,4 kg
Temperatura de Operação:	-25°C ~ +60°C

Fonte: Adaptado de NeoSolar (2021).

Segundo Simões (2017), o controlador de carga baseia-se no monitoramento da tensão da bateria e é instalado entre os módulos fotovoltaicos e as baterias. Para este cálculo, levou-se em consideração a potência total requerida pelo sistema (P_{FV}) e a tensão fornecida pela bateria (N_{BAT}), de acordo com a equação 4.

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_{bat}\eta_{inv}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

L_{cc} = Quantidade de energia consumida diariamente (Wh/dia);

η_{bat} = Eficiência da bateria;

η_{inv} = Eficiência do inversor.

Dimensionamento do Inversor

Os inversores são dispositivos indispensável para interligação do sistema e fornecimento da energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua, vale salientar que a potência do inversor deve ser igual ou superior à potência máxima da curva de carga (Equação 5) (PINHO et al., 2014).

Tabela 4: Especificações do Inversor Energia Senoidal de 3000W Hayonik - 12V/127.

Inversor de Energia Senoidal de 3000W Hayonik - PW-HAY3000 12V/127V	
Potência máxima CA	3500 watts
Forma de onda: Onda senoidal pura	Onda senoidal modificada
3 tomada padrão NBR 14136	NBR 14136
Tensão de entrada (faixa):	10.5 a 15 Vcc
Frequência de saída CA:	60 Hz
Tensão de saída CA	127Vca +/-10% RMS

2-Saída USB:	5V / 2A
Eficiência:	80%
Dimensões: (CxLxA) mm	192 x 110 x 68mm

Fonte: Manual Hayonik (2021).

O fator de dimensionamento de inversores (eficiência energética) representa a relação entre a potência nominal do gerador fotovoltaico e capacidade do inversor, que deve ser avaliado de acordo com o local de operação do sistema. Conforme, Pinho et al. (2014), a eficiência energética deve ser um valor entre 0,75 e 0,85. Sendo 0,75 para um projeto em que as perdas consideradas são menores e o inversor se encontra em local bastante arejado e 0,85 para um projeto mais conservador. Neste projeto foi adotado 0,75, conforme equação 5.

$$P_{INVERSOR} = P_{FV} \times \text{Eficiência Energética} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$P_{INVERSOR}$ = Potência nominal do inversor solar (W).

P_{FV} = Potência do módulo fotovoltaico (W_p).

Eficiência energética = Fator de dimensionamento de inversores = 0,75

Análise dos Custos do Sistema Fotovoltaico

Conforme o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico *off grid*, foram calculados todos os equipamentos necessários e suas quantidades para a geração de uma lista de materiais, apresentada na Tabela 8. Nesta tabela, são detalhados os equipamentos necessários para a instalação do sistema, após cotação de mercado no site das *americanas.com.br* em 2021.

Análise Da Evitação de CO₂

Neste estudo, a comunidade ribeirinha não é assistida pela distribuição de energia da companhia elétrica atuante no Estado. Assim, os moradores recorrem a formas alternativas de produção elétrica, e quase que culturalmente, se dá pela utilização de geradores a diesel (NEU et al., 2015). O gerador a Diesel é um recurso não renovável de geração de energia, haja vista, que o combustível utilizado não pode ser reciclado ou reutilizado. Ademais, a utilização de combustíveis fósseis, como o Diesel, produz gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos (SCHNEIDER, 2019).

Assim, para verificar a quantidade de evitação de CO₂ com a substituição do gerador a Diesel pelo Sistema Fotovoltaico *off grid*, foi considerado a média de potência utilizada por residência (Tabela 1), o gerador a Diesel 10 KVA Bivolt Partida Manual TDG4000BX TOYAMA, o qual consome de 0,404 litros de Diesel por kWh de funcionamento (SCHNEIDER, 2019) ,e adotado para cálculo a metodologia de KUREK (2018), que considera o cálculo de Naji (2013), o qual determinou a proporção por meio de medições de dois tratores com motores a óleo diesel e parados, assim estimou que 1 L de Óleo diesel comum emite 2,31Kg de CO₂.

Tabela 5: Especificações do Gerador Diesel 10KVA Bivolt Partida Manual Tdg4000bx Toyama.

Diesel 10KVA Bivolt Partida Manual Tdg4000bx Toyama	
Refrigeração	Refrigerado a água
Cilindros	2

Tipo do motor	4 Tempos
Cilindrada	794 cm ³
Rotação máxima	3600 RPM
Capacidade do tanque	25 Litros
Capacidade do óleo	2,27 Litros
Óleo recomendado	15W40
Potência máxima	14,5 kW/kVA
Potência nominal	14,5 kW/kVA
Tensão principal	Monofásico- 115v e 230v
Tomadas	2

Fonte: Manual Toyama (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados do Dimensionamento

Com a aplicação da metodologia apresentada obtém-se, para o sistema dimensionado, as suas particularidades. Por meio do método do mês crítico foi indicado que a geração diária do sistema será de no mínimo 1762,4Wp, conforme apontado na Tabela 6.

Tabela 6: Cálculo da Geração Mínima Necessária pelo Sistema, baseado no mês crítico em irradiação solar.

	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Horas de Sol a Pico 0 ^o	4,39	4,31	4,34	4,43	4,67	4,92	5,01	5,21	5,32	5,19	5,09	4,7
Demanda (W)- TV	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
Demanda (W)- Lâmpada	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
Demanda (W)- Ventilador	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560	1560
Demanda (W)- Geladeira	2160	2160	2160	2160	2160	2160	2160	2160	2160	2160	2160	2160
Potência produzida (W)	1730,3	1762,4	1750,2	1714,7	1626,6	1543,9	1516,2	1458,0	1427,8	1463,6	1492,3	1616,2

Dessa forma, o sistema necessita de no mínimo 5 módulos de 500 Wp de potência, resultando em uma potência total de 2500 Wp. O controlador de carga escolhido define a tensão de saída dos arranjos de painéis fotovoltaicos (150V), além de ser escolhido com a tensão de saída adequada do arranjo de baterias (12V). A partir disso verificou que, quando dividido o valor da potência de consumo 1762,4 Wp pela operação do sistema, 24V, obtém-se um controlador de carga que opera com saída máxima, de aproximadamente 74A, sendo o controlador selecionado de 100A.

Os módulos dos painéis possuem tensão máxima de 51.23V, devem ter no máximo 2 unidades em série, resultando em 102,46 Volts. Quando necessário uma quantidade maior, os outros devem ser ligados em paralelo a este arranjo. Desse modo, os 5 painéis necessários para atendimento da potência do sistema foram interligados em 3 arranjos, em paralelo ao controlador de carga, organizados de tal modo que 1 arranjo esteja junto a 1 módulo em série, e outro com 2 arranjos com 2 módulos cada, em paralelo.

Na determinação do inversor necessário para suporte do arranjo selecionado será considerado em eficiência energética de 75% e 14% de ineficiência do módulo solar, devido à temperatura e outros fatores.

Com isso, para a potência da unidade geradora de 3000 Wp, a potência nominal do inversor deve ser de 2.250W, sendo selecionado o inversor com 3000W (Tabela 5). Assim, a quantidade de baterias recomendada é de 14 baterias, onde estarão associadas em arranjos paralelos, resultando numa tensão total equivalente a 24V.

Análise da Viabilidade Econômica

Foi realizada uma análise da viabilidade econômica para o sistema dimensionado, considerando apenas os equipamentos primordiais para os dois sistemas. Dessa forma, na Tabela 8 apresenta-se o valor dos equipamentos necessários para o sistema fotovoltaico, sendo este de R\$28.382,00, pelo período de 25 anos (garantia dada pelo fornecedor dos módulos fotovoltaicos).

Tabela 7: Custo Total de Instalação de Sistema Fotovoltaico Isolado para Residência Unifamiliar.

Sistema Fotovoltaico - Residência Unifamiliar				
Equipamentos	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total
Painel Solar Risen 500w Rsm150-8-500m Módulo Fotovoltaico	Und	5	1429	7145
Bateria Solar Moura Clean 12MF220(220^a)	Und	14	899	12586
Inversor de Energia Senoidal de 3000W Hayonik - Pw-Hay3000 12V/127V	Und	1	3.900	3.900
Controlador de Carga MPPT 100A 12/24/48V - Epever Tracer 10415AN	Und	1	4.751	4.751
				28.382

É importante ressaltar a minimização do custo de manutenção do sistema a ser instalado para que possibilite aos usuários a capacidade de dar continuidade ao uso eficiente do sistema. Em curto prazo haverá o acesso à energia elétrica pela comunidade, as quais se encontram distante da garantia desse direito. Por isso foram selecionados equipamentos com uma vida útil longa, a fim de fornecer em longo prazo a não existência de elevados custos, ao passo que tal recurso natural está disponível em abundância, sendo necessário apenas a manutenção, que pode ser realizada por membros da comunidade devidamente treinados.

Existem os impactos sociais quanto ao acesso de eletricidade para os residentes de comunidades rurais isoladas. Valer et al. (2014), em seu estudo, pontua que as vantagens que podem ser consideradas são: redução de gastos com outras fontes de iluminação, maior conforto para o horário noturno, como no aumento do horário de trabalho ou estudo, e até mesmo a valorização econômica das residências.

Programa Luz para todos

É importante salientar que a existência da Lei federal nº10438 de 2002 que estabeleceu o “Plano Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz para Todos”, junto com a Resolução 223/2003 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Segundo Camargo (2010) e Camargo et al. (2015), declaram que o Programa Luz para Todos propõe a garantia do acesso à energia elétrica aos domicílios até então excluídos do serviço de energia elétrica, sendo os custos das obras foram divididos entre diferentes setores. Desse modo, os governos estaduais devem participar com 10%, as concessionárias ficaram responsáveis por arcar com 15% desses custos, um fundo setorial financiou 35% das despesas e o

restante ficou a cargo do governo federal.

Porém, apesar do Programa Luz para Todos ter sido prorrogado por diversas vezes, e ficará em vigor até 2022 (CÂMARA, 2021), durante os anos foi passando por mudanças que deixaram o alcance cada vez mais limitado, perdendo seu caráter de universalização do serviço de energia elétrica. Sendo as energias renováveis uma alternativa, pois o setor de energia elétrica no Brasil é altamente dependente das grandes usinas hidrelétricas (MACIEL, 2019).

Análise da Evitação de CO₂

Devido ao aumento do crescimento da utilização da energia fotovoltaica no cenário mundial o resultado tem contribuído para a redução de emissões de CO₂ (DANTAS et al., 2019). Estima-se que essa fonte renovável de geração de energia reduza, mundialmente, de 200 a 300 milhões de toneladas anuais de CO₂ (SILVA, 2019), equivalente à quantidade de emissões anuais de países com a Polônia em 2015, a qual emitiu 294 milhões, 2015. Em comparação ao Brasil, a redução em sua maior faixa de emissão seria de 62% de toneladas de CO₂ (SILVA, 2019).

Com base nos dados dessa tabela podemos estimar que aproximadamente 1,13 toneladas de carbono deixariam de ser emitidas com a adoção do sistema. Conforme a calculadora do TJPR (2021), 1 tonelada de CO₂ corresponde a 7,14 árvores (TJPR, 2021), podemos notar que uma residência unifamiliar com sistema compensará o desmate de aproximadamente 13 árvores ao longo de um ano do seu funcionamento. Portanto, para o projeto em si deva trazer grandes benefícios tanto econômicos quanto socioambientais para a região e também para a sociedade como um todo (SILVA, 2019).

Tabela 8: Cálculo da Evitação de CO₂.

4,53 kWh	Economia de 1,8 L de Diesel
Evitação da liberação de CO₂ para a atmosfera:	
Diária	4,23
Mensal	126,83
Anual	1521,93

CONCLUSÃO

No novo cenário energético a descentralização dos recursos naturais é fundamental e este possui na energia solar fotovoltaica grandes expectativas. Os sistemas fotovoltaicos são uma alternativa de curto em médio prazo, permitindo resultados efetivos. Possibilitando, a mudança de cenário socioeconômico e ambiental, visto que os efeitos positivos se encontram no menor valor de contas como também nas aplicações de soluções para a sociedade.

Com o dimensionamento proposto neste estudo, é possível constatar que a falta ou a alternativa de utilização da geração de energia elétrica gerada por motores à diesel para obtenção de acesso à energia elétrica por comunidades ribeirinhas isoladas na Amazônia, pode ser moderada por meio da utilização de recursos naturais disponíveis localmente, contribuindo para a garantia do direito à energia elétrica a toda e qualquer pessoa, bem como uma geração de energia limpa através da utilização de recursos naturais e a possibilidade de diversificação da matriz energética, diminuindo a necessidade e dependência de geração a

partir de fontes esgotáveis.

O dimensionamento do sistema demonstrou a potencialidade de desenvolvimento e aplicação, os quais são cada vez mais capazes de garantir a geração de energia elétrica para locais isolados, como a comunidade rural estudada. Garantindo o fornecimento de energia limpa e por meio do aproveitamento da posição geográfica e favoráveis níveis de radiação solar. Além disso, o custo de implementação de sistemas fotovoltaicos em comunidades rurais isoladas apresenta-se como solução em comparação aos entraves do sistema centralizado que requerem grandes extensões da rede elétrica.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, T. H. A.. **Energia fotovoltaica em comunidades isoladas no Amazonas com abordagens da economia e sustentabilidade**. Monografia (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa n.223 de 29 de abril de 2003**. Estabelece as condições gerais para elaboração dos Planos de Universalização de Energia Elétrica. ANEE, 2003.

BRASIL. **Lei n.10.438 de 26 de abril de 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica. Brasília: DOU, 2002.

CAMARGO, E. J. S.; RIBEIRO, F. S.. Programa Luz para Todos: avanços e retrocessos: um novo estoque de excluídos. In: CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 10. **Anais**. São Paulo, 2015.

CINTRA JÚNIOR, A.; SOUZA, I. M.. **Células fotovoltaicas: o futuro da energia alternativa**. Monografia (Graduação Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2018.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Potencial Solar**: Sundata. 2021.

DANTAS, O. L.; APOLONIO, R.; ARRUDA JUNIOR, A.. Potencial da geração distribuída e seu impacto na redução de emissões de CO₂: estudo de uma micro usina fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica. **Engevista**, v.21, n.2, p.329-340, 2019.

MIRANDA, A. L. G.; SANTESSO, C. A.; GARCIA, M. L.; MORAES, C. S. B.. Desenvolvimento de Programa para Simulações do Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos para os Municípios do Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.8, n.1, 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2016**. População, consumo e consumo per capita (kWh/hab). Rio de Janeiro: EPE, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese de Indicadores Sociais**: uma análise das condições de vida da população Brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

INCARNAÇÃO, D. D.. **Um sistema fotovoltaico para a**

comunidade de Santo Antônio das Varejas. 2012.

JAVED, M. S.; SONG, A.; MA, T.. Techno-economic assessment of a stand-alone hybrid solar-wind-battery system for a remote island using genetic algorithm. **Energy**, v.176, p.704-717, 2019.

KUREK, R.. **Diagnóstico do uso de grupos geradores estacionários a óleo Diesel na região central de Ribeirão Preto** – Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2018.

LINS, L. R. P.. **Dimensionamento de sistema fotovoltaico off grid para escritório móvel**. Monografia (Graduação Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MACIEL, I. A.. **Avaliação do uso de energia solar fotovoltaica para a eletrificação rural brasileira**. Monografia (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

NAJI, A. A.. **A comparison of measured diesel emissions in agriculture and Australian National Standard Emission Factors**. Dissertação (Master of Engineering) – University of Southern Queensland, 2013.

GUEDES, V. M.; ARAÚJO, M. G. S.. **Sustentabilidade e Sociobiodiversidade na Amazônia**: integrando ensino, pesquisa e extensão na Região Insular de Belém. Belém: Edufra, 2016.

NEU, V.; GUEDES, V. M.; ARAUJO, M. G. S.; MEYER, L. F. F.; BRITO, I. R.; BATISTA, L. M.. Água da chuva para consumo humano: estudo de caso na Amazônia Oriental. **Inclusão Social**, v.12, n.1, p.183-198, 2018.

NEU, V.; SANTOS, M. A. S.; MEYER, L. F. F.. Banheiro ecológico ribeirinho: saneamento descentralizado para comunidades de várzea na Amazônia. **Revista em Extensão**, v.15, p.28-44, 2016.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo**: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, 2015.

OVELHA, R. M. R. V.. **Projeto, Dimensionamento e Instalação de Solução Fotovoltaica numa moradia offgrid**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A.. **Manual de engenharia para**

sistemas fotovoltaicos. 2014.

SCHNEIDER, F. P.. **Comparação de sistemas de geração de energia utilizando gerador a Diesel e painéis fotovoltaicos para áreas rurais isoladas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

SILVA, A. S. P.. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI) e/ou conectado a rede elétrica (SFCR) para um trailer de conveniência da Universidade Federal Rural da Amazônia.** Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, 2019.

SILVA, G. D. P.; SOUZA, M. J. R.. Estimativa de geração de energia através de um sistema fotovoltaico: implicações para um sistema flutuante no lago Bolonha, Belém-Pará. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.2, p.149-164, 2017.

SIMÕES, M. C. S.. **Dimensionamento de um sistema**

fotovoltaico para alimentar um sistema de produção de hidrogênio eletrolítico. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V.. Environmental impacts from the solar energy technologies. **Energy Policy**, v. 33, n.3, p.289-296, 2005.

VALER, R.; RIBEIRO, T. S.; MOCELIN, A. R.; ZILLES, R.. Lições aprendidas no processo de implantação de sistemas fotovoltaicos domiciliares em duas comunidades rurais. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.5, n.1, 2014.

VENTURA, L. M.. **A Energia solar e seus benefícios: análise e medição de resultados.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente Ariquemes, 2020.

WWF. World Wide Fund for Nature. **Acesso à Energia com Fontes Renováveis em Regiões Remotas no Brasil: lições aprendidas e recomendações.** 2020.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.