

REDIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID PARA ÁREA DE VIVÊNCIA RURAL

Isadora Gonçalves Franklin de Freitas¹, Leandro Tomaz de Oliveira Silva², Olavo Antônio de Oliveira Reis³, Elivânia Maria Sousa Nascimento³, Diego Almeida de Oliveira², Agaone Donizete Silva³

¹Discente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil
(isagffreitas@gmail.com)

²Bacharel em Engenharia Elétrica. Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

³Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

Resumo: O sistema fotovoltaico off-grid é um sistema autônomo, não dependente da rede elétrica convencional, utilizado em áreas remotas onde não há acesso à energia elétrica, utilizando a luz do sol através de painéis para armazenar a energia solar e convertê-la em eletricidade, sendo contida em um banco de baterias e podendo ser utilizada no período sem sol. O dimensionamento consiste em levantar dados de consumo, potência e tempo de uso, garantindo fornecimento contínuo e eficiente.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico; Redimensionamento off-grid; Vivência rural.

INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica é crucial para a sustentabilidade do planeta, sendo ela uma fonte limpa e renovável. No país, é uma fonte de energia que vem crescendo durante os últimos anos, por utilizar a luz solar, tecnologia essa que é bastante favorável e eficiente. Ela utiliza painéis solares para a captação da luz do sol e transformá-la em energia.

O presente trabalho aborda sobre uma área de vivência rural na empresa BPBIOENERGY, localizada na Fazenda Recanto S/N, onde por ser uma área remota, sem acesso à rede elétrica, a aplicação deste tipo de energia é essencial. A área de vivência garante o conforto dos colaboradores desta empresa citada, certificando melhores resultados de trabalho.

Para a comunicação via rádio, registro de jornada de trabalho e as demais situações que os trabalhadores estão expostos, essa vivência utiliza-se um sistema chamado off-grid, fundamental para áreas isoladas e sem acesso à rede. Sendo composta por painel solar, bateria, controlador de carga, rádio de comunicação, relógio de ponto, luminárias e farol.

O painel existente é posicionado para receber o máximo de raios solares durante o dia, captando a luz solar e armazenando em bateria para alimentar os materiais citados no parágrafo acima, possibilitando a utilização deles durante o período noturno ou em dias chuvosos e nublados. O agrupamento dos equipamentos favorece a redução do consumo de energia preservando assim o meio.

O atual trabalho tem como principal objetivo o redimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid voltado ao suprimento da melhoria do espaço dos trabalhadores na área de vivência rural, usadas nas fertirrigações de cana-de-açúcar. A proposta visa substituir um sistema existente, analisando critérios técnicos e de segurança para a escolha apropriada dos materiais a se utilizar. Busca-se, assim, desenvolver uma solução eficiente, visto que o sistema atual seja inadequado.

MATERIAL E MÉTODOS

Este artigo está baseado em um outro artigo dentre os que citamos no tópico Estudo do caso, que tem como título “Dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaico OFF-GRID para torres de iluminação” (Silva e Freitas, 2023). As análises e estudos feitos foram de extrema importância para que fosse possível o desenvolvimento do redimensionamento do sistema de forma exata e assertiva.

O artigo estudado apresenta de forma detalhada todos os passos a serem considerados no dimensionamento de uma vivência rural, trazendo a o melhor custo benefício e eficiência do sistema, podendo utilizar um sistema que atenda os trabalhadores e prestadores de serviços de uma forma constante e sem problemas.

Todo o sistema foi calculado dentro das normas e observando as necessidades tanto da empresa quanto dos usuários que necessitam do local em perfeito funcionamento para que seu trabalho seja feito com segurança.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Vivência Rural

Áreas de suma importância para a realização de fertirrigação em campo, atuando para que os colaboradores do local possam, de forma fácil, se comunicarem um com os outros via rádio, registrar sua jornada de trabalho via ponto e realizar suas refeições e descanso em seus respectivos horários, garantindo o conforto e segurança aos demais empregados.

As vivências contam com sanitários e lugares para acomodações de seis ou mais colaboradores simultaneamente. Tendo como uma das principais importâncias, as vivências rurais em uma empresa, garante melhores resultados de trabalho.



Figura 1. Vivência Rural.

Energia Solar Fotovoltaica

Produzida pela luz do sol, a energia solar fotovoltaica gera mais energia quanto maior for a irradiação solar. Sendo uma fonte de energia limpa, renovável e sustentável. Essa tecnologia fundamenta-se no efeito fotoelétrico, no qual alguns materiais absorvem a luz do sol e liberam elétrons, gerando assim uma corrente elétrica. Processo em que se ocorre dentro das células fotovoltaicas, podendo ser feitas de distintos tipos de silício.

A geração acontece no interior das células fotovoltaicas, feitas na maioria das vezes por silício, como citado anteriormente, ou por qualquer outro material que seja semicondutor. Essas células são agrupadas em painéis solares, que quando captados os raios solares, produzem energia, tendo sua corrente contínua (CC) gerada. A corrente contínua (CC) é transformada em corrente alternada (CA), pelo inversor, pronta para ser utilizada.

As instalações isoladas funcionam de maneira independente da rede elétrica, sendo uma ótima opção para lugares afastados, áreas rurais ou tarefas específicas, como bombeamento de água. Elas usam baterias para guardar a energia que sobra, assim podendo ser utilizada depois. Além disso, contam

com reguladores que protegem as baterias sobrecarregadas e ajudam a aumentar sua durabilidade, conseguindo fornecer energia de forma autônoma, mesmo quando a geração solar está baixa.

Entre as suas principais vantagens, estão sua natureza renovável e limpa, por não usar combustíveis fósseis e muito menos gerar poluentes. Visto que esta tecnologia além de versátil é uma solução customizável, que se adapta a sua necessidade, tendo sua vida útil excelente, representando assim uma ótima economia.



Figura 2. Funcionamento da energia solar fotovoltaica.

Radiação Solar

Emitida pelo sol através de ondas eletromagnéticas, a radiação solar é responsável por determinadas situações no dia a dia do ser humano. Como as distintas situações, podemos citar a formação de vento, essencial para a geração de energia.

Essa radiação é medida em superfície horizontal, por meio de um sensor. Segundo o artigo de Silva e Freitas (2023): “O Brasil possui uma localização geográfica privilegiada, com extensas áreas de níveis de radiação e também, por sua posição estratégica próxima à linha do Equador. Essa irradiação abundante e constante oferece uma fonte valiosa de energia renovável, capaz de impulsionar o setor energético.”

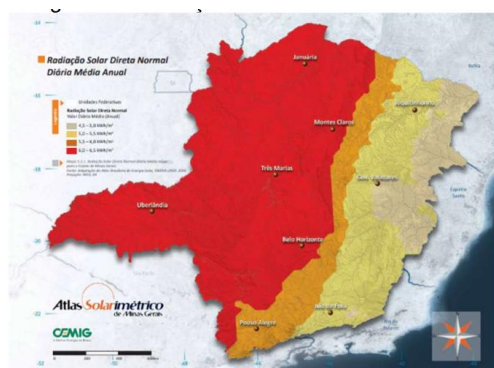


Figura 3. Radiação Solar Diária Média Anual.

Sistema OFF-GRID

O sistema isolado, conhecido como Off-Grid, nada mais é que uma geração de energia autônoma, na qual sua instalação é independente da rede de distribuição de energia elétrica, que no caso da cidade citada no tópico acima, Ituiutaba – MG, a concessionária responsável é a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais).

O sistema Off-Grid é composto por alguns materiais, como os painéis fotovoltaicos, banco de baterias, controlador de carga e inversor, que converte corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Nos dias nublados ou chuvosos, onde os painéis não produzem energia suficiente, o controlador de carga faz com que a bateria gere energia, regulando o fluxo de energia.



Figura 4. Sistema fotovoltaico isolados à rede (off-grid).

Componentes do Sistema Fotovoltaico

Para Silva e Freitas (2023) “No processo de geração de energia, apenas o módulo fotovoltaico não garante o aproveitamento da energia solar. Logo, um sistema fotovoltaico é composto por três componentes principais: gerador fotovoltaico, controle e condicionamento de energia e, se necessário, um bloco de armazenamento ou inversão.”

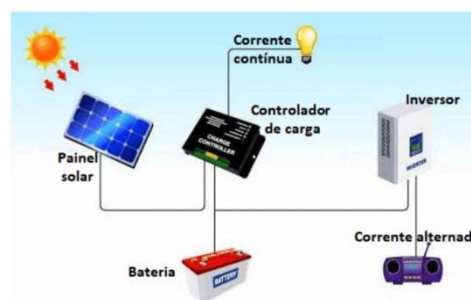


Figura 5. Visão geral de componentes do sistema fotovoltaico.

Baterias

As baterias têm por sua função desenvolver o fornecimento de energia elétrica para alguma instalação, porém, de acordo com Villalva (2015), em sistemas fotovoltaicos são aplicadas apenas as baterias do tipo estacionárias, projetadas para aplicações que necessitam do fornecimento de corrente elétrica constante, podendo ser descarregadas inúmeras vezes, descartando o uso de baterias comuns para este sistema, como as automotivas.

Elas são armazenadas pelos painéis solares, podendo ser utilizada no período em que não haja raios solares, como a noite ou em dias chuvosos e nublados. “A capacidade de uma bateria é a quantidade de carga elétrica, expressa em Ampère-hora (Ah)” (Seguel, 2009, p. 23).



Figura 6. Bateria Estacionária.

Controlador de carga

Segundo Villalva (2015), o controlador monitora o carregamento da bateria, impedindo que continue a ser carregada quando atinge a tensão de operação; na descarga o controlador interrompe o consumo quando a bateria atinge um nível crítico.

O controlador de carga realiza a junção entre baterias e os módulos fotovoltaicos (painéis solares), fazendo com que a bateria descarregue um excesso de carga, monitorando assim seu carregamento e evitando danos. Em concordância com Silva e Freitas (2023),

o controlador é responsável por monitorar o valor da tensão nos terminais da bateria e impedir que continue sendo carregada quando a tensão de carga é atingida. Para evitar a sobrecarga, o controlador de carga desconecta o painel solar do sistema quando a bateria atinge seu nível máximo.



Figura 7. Controlador de Cargas.

Inversor

Conforme Alves (2024), a corrente gerada pelos painéis fotovoltaicos é uma corrente contínua portanto, dependendo da aplicação, faz-se necessário a conversão do sinal em corrente contínua (CC) para um sinal de corrente alternada (CA).

O inversor off-grid é projetado em específico para sistemas autônomos, não conectados à rede, desempenhando a conversão de energia, a compatibilidade elétrica e a proteção do sistema.



Figura 8. Inversor off-grid.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de consumo

Para dimensionar um sistema fotovoltaico para uma vivência rural é necessário apurar o consumo diário e mensal afim da realização dos cálculos necessários para que esse sistema tenha a melhor eficiência possível. Os equipamentos utilizados no projeto são todos em CC (Corrente contínua), dispensando assim um inversor.

Alguns componentes instalados atualmente na vivência se manterão instalados como por exemplo o relógio de ponto e o rádio de comunicação. O

restante será redimensionado e tratado no novo projeto.

O sistema contará com um relógio de ponto que permanecerá ligado 24 horas para que os colaboradores registrem sua jornada, e o rádio também ligado 24 horas para que haja comunicação entre os trabalhadores, enquanto os faróis externos e as luminárias atenderão ao período noturno com a ausência solar.

Os faróis externos projetados possuem certificado IP67 a prova d'água e poeira atendendo de forma efetiva às necessidades noturnas mesmo em noites chuvosas.

O quadro 1 da figura mostra os dados dos equipamentos para cálculo do consumo diário e mensal.

Consumo dos equipamentos

Item	Quantidade	Potência (W)	Horas	Dias/Mês
Farol Externo	2	42	12	30
Luminárias	3	12	12	30
Rádio de comunicação	1	45	24	30
Relógio de ponto	1	5	24	30
Consumo diário (W)	2.6			
Consumo mensal (kWh)	79.2			

Figura 9. Dados dos equipamentos para cálculo do consumo diário e mensal.



Figura 10. Relógio de ponto.



Figura 11. Rádio de comunicação.



Figura 12. Luminária interna.



Figura 13. Faróis externos.

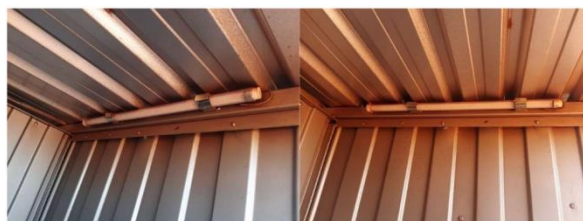


Figura 14. Luminárias banheiros feminino/masculino.

O cálculo do consumo será baseado nas potências das cargas do sistema. O cálculo do consumo diário de energia é realizado através da equação:

$$ECD = P \times t \quad (1)$$

Sendo:

ECD = Energia consumida diariamente (Wh)

P = Potência do equipamento (W)

t = tempo de utilização (h)

O consumo diário de todos os equipamentos é de 2640 kw/h através da equação 1.

Já o consumo mensal é calculado multiplicando o consumo diário por 30 dias no mês, resultando em um total de 79,2 kWh/mês.

Irradiação Solar local

O quadro da figura mostra os dados da irradiação solar diária para a cidade de Ituiutaba – MG, considerando a latitude de 19° sul e a longitude

49,649° oeste no banco de dados consultado no portal CRESESB (2025).

Localidades próximas

Latitude: 19° S

Longitude: 49,649° O

#	Estação	Município/UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]												Média Diária	
				Latitude [°S]	Longitude [°O]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep		Out
1	Ituiutaba	Ituiutaba	MG/BRASIL	19° S	49,649° O	0,0	20,755,795,265,034,307	4,26	4,485,385,345,805,84	5,95	5,26	1,88					
2	Guirinhata	Guirinhata	MG/BRASIL	19° S	49,749° O	10,55,795,805,275,064,50	4,26	4,475,405,285,625,86	5,96	5,27	1,71						
3	Ituiutaba	Ituiutaba	MG/BRASIL	19° S	49,549° O	10,55,745,755,295,034,48	4,24	4,495,415,295,615,82	5,97	5,28	1,72						

Figura 15. Dados de irradiação solar para Ituiutaba – MG e ao redor.

Citado no estudo de Silva e Freitas (2023) e de acordo com dados do CRESESB (2025) quando selecionado a localidade, são fornecidos os valores de irradiação do plano horizontal e planos inclinados.

☐ Ângulo igual à latitude: o valor da latitude é usado como ângulo de inclinação dos painéis solares.

☐ Maior média anual: costuma ser usado quando se deseja a maior geração anual de energia, utilizado especialmente em sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de energia;

☐ Maior mínimo mensal: é utilizado quando se busca uma medida conservadora, e onde possui um crítico fornecimento contínuo de energia elétrica para a atividade fim por isso procura-se minimizar o risco de falta de energia.



Figura 16. Irradiação Solar no Plano Horizontal.

Como na cidade de Ituiutaba – MG o ângulo é de 19° em sua latitude, os painéis devem ser instalados no mesmo ângulo, pois não é sábio e muito menos recomendado instalar os painéis em um ângulo inferior a 10°, devido ao acúmulo de sujeira, caso o ângulo for superior ao citado anteriormente, atrapalhando garantir uma boa otimização de energia.

Para garantir que o sistema solar funcione mesmo nos meses com menor radiação, define-se o ângulo dos painéis igual à latitude local e considera-se o pior mês de irradiação. Em Ituiutaba–MG, janeiro apresentou o menor valor, 5,25 kWh/m².dia, sendo adotado como referência para o dimensionamento do sistema.

Dimensionamento do banco de baterias



As baterias são responsáveis por armazenar e fornecer energia através dos painéis solares que recebem a incidência solar, conectadas com o controlador de carga que é responsável por controlar a energia que entra e sai do banco de baterias.

Para calcular a energia consumida em 12 horas de armazenamento, é necessário considerar o consumo diário e multiplicá-lo pela quantidade de dias de autonomia. A equação 2 trata a energia consumida.

$$EC = ECD \times \text{Nautonomia} \quad (2)$$

Onde:

EC = Energia consumida (Wh/dia)

ECD = Energia consumida diariamente (kWh)

Nautonomia = quantidade de dias de autonomia

A fórmula para a energia armazenada nas baterias tem como razão a energia consumida e a profundidade descarga, que é a quantidade de descarga da bateria sem que seja carregada novamente. Para isso segue a fórmula 3 para o cálculo da energia armazenada.

$$EA = ECPd \quad (3)$$

Sendo:

EA = Energia armazenada no banco de baterias (Wh)

Pd = Profundidade de descarga da bateria

Para calcular a capacidade do banco de baterias é necessário dividir a energia armazenada no banco pela tensão de 12Vcc das baterias que serão ligadas em paralelo, onde a tensão se mantém enquanto a corrente das duas baterias se soma. A fórmula 4 traz o cálculo mencionado.

$$CBB = EAVBB \quad (4)$$

Onde:

CBB = capacidade do banco de baterias (Ah)

VBB = tensão no banco de baterias (Vcc)

A fórmula 5 abaixo traz o cálculo do número de baterias ligadas em paralelo.

$$NBP = CBB / CB \quad (5)$$

Onde:

NBP = número de baterias em paralelo

CB = capacidade de baterias (Ah)

No dimensionamento estudado foram consideradas dois tipos de baterias: Baterias de lítio e baterias estacionárias levando em consideração a bateria de lítio da marca Jhpower tendo uma capacidade de 280Ah, enquanto a bateria estacionária é da marca Stroke Power com a capacidade de 400Ah.

-- Dados da bateria Jhpower

Tensão: 12 V

Capacidade: 280Ah

Energia: 3584 Wh

Tensão de operação: 12V - 14,6V

Tensão de carga: 14,4V - 14,6V

Corrente máxima de recarga: 140A

Corrente máxima de descarga contínua: 140A

Eficiência de carga: 98%

-- Dados da bateria Stroke Power

Capacidade nominal: 400Ah

Tensão nominal/voltagem: 12 volts

Capacidade de pico (CCA): 300Ah/pico

Capacidade de reserva: 900 minutos

A profundidade de descarga adotado no projeto é de 20% para as baterias de Lítio obtendo o valor de 6600 Wh como energia armazenada, tendo como base de cálculo a equação 3, enquanto a capacidade do banco de baterias foi calculada na equação 4 e obteve o valor de 550 Ah. Já na equação 5 foi calculado o número de baterias em paralelo tendo como resultado de 1,96 baterias, ou seja, 2 baterias para atender a demanda do sistema.

Foi considerado também as baterias estacionárias a título de comparação com as baterias de lítio, tendo a profundidade de descarga de 50%. Os valores apurados foram a energia armazenada em 10560 Wh, a capacidade do bando de baterias resultou em 880Ah e o número de baterias ligadas em paralelo foi de 2,2 baterias, ou seja, 3 baterias estacionárias ligadas em paralelo para atender a demanda do sistema.

Vale ressaltar que o preço dos dois modelos de baterias é significativamente diferentes e cabe uma análise aprofundada em relação ao tempo de vida útil de ambas, levando em consideração que a bateria de lítio tem uma duração maior enquanto deu preço também é maior.

A vida útil das baterias de lítio é mais longa em relação a bateria estacionária podendo chegar a 15 anos ou mais dependendo das condições de uso, enquanto a bateria estacionária tem sua vida útil de 5 a 10 anos em média.



Figura 17. Baterias de lítio em paralelo.

Dimensionamento do painel fotovoltaico

Os dados do modelo do painel fotovoltaico são de extrema importância para o dimensionamento do projeto e devem ser observados criteriosamente evitando um superdimensionamento, perdas ou até mesmo falhas no sistema acarretando na falta de energia no mesmo.

-- Dados do painel Solar

Potência máxima (Pmax): 340W

Tolerância (%): 0~3%

Tensão de máxima potência (Vmp): 38,65V

Corrente de máxima potência (Imp): 8,80A

Tensão em aberto (Voc): 45,2V

Corrente de curto circuito (Isc): 9,27A

Eficiência (%): 20,66%

Tipo de célula/tecnologia: silício monocristalino

Número de células: 68

O fator de correção de um painel fotovoltaico é parte fundamental na previsão de perdas e variações do ambiente como dias nublados por exemplo onde o impacto na geração de energia através dos painéis é considerável, também a sujeira nos painéis, entre outras condições. Deve-se considerar uma perda de eficiência de 20% nos cálculos do novo sistema.

Para determinar a quantidade de energia produzida pelos painéis, considerando o fator de correção, é utilizada a seguinte equação:

$$EPD = IS \times A \times \eta \times 0,8 \quad (6)$$

Sendo:

EPD = energia produzida diariamente (Wh)

IS = irradiação solar (kWh/m².dia)

A = área do painel (m²)

η = eficiência do painel

A fórmula que determina o número de painéis leva em consideração a energia consumida diariamente e a energia produzida pelos painéis.

$$NPF = ECDEPD \quad (7)$$

O valor encontrado na equação 6 em relação a energia produzida diariamente foi de 1431,7 Wh/dia, e considerando que o sistema terá dois painéis de 340W a energia total produzida é de 2863,4 Wh/dia.

Utilizando a equação 7 foi encontrada a necessidade de inserir 2 painéis de 340 Wp (Watt-pico) no sistema.

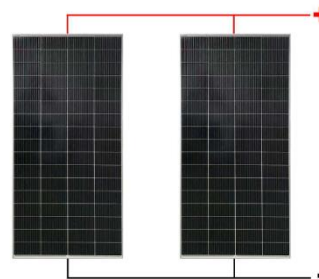


Figura 18. Painéis conectados em paralelo.

Dimensionamento do controlador de carga

O controlador de carga MPPT (Maximum power Point Tracking) é um dispositivo essencial em sistemas fotovoltaicos OFF-GRID. Ele é responsável por otimizar o aproveitamento da energia gerada pelos painéis solares, tendo a garantia que a bateria forneça energia de forma correta e eficiente.

Os controladores agem como gerenciadores das cargas e descargas, assegurando para a bateria uma maior longevidade útil por desligar a saída automaticamente, quando a bateria está com pouca carga, evitando que o usuário a descarregue totalmente, e mantendo a bateria dentro de condições ideais de funcionamento ao controlar a carga e a flutuação incidentes (Marinho et al. , 2016).

Para dimensionar o controlador, é preciso encontrar a corrente do controlador de carga através da quantidade de painéis em paralelo, da corrente de curto-circuito do painel e do fator de segurança.

A corrente máxima fornecida pelos módulos precisa ser ajustada por um fator mínimo de segurança de 30%. Esse fator assegura que a corrente máxima do controlador não seja excedida em nenhuma circunstância (Villalva; Gazoli, 2012).

Para determinar o cálculo da corrente do controlador de carga, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$IC = QPP \times ISC \times Fsc \quad (8)$$

Onde:

IC = Corrente do controlador de carga (A)

QPP = quantidade de painéis em paralelo

ISC = corrente de curto circuito do painel (A)

FSC = Fator de segurança controlador

Foi utilizado a equação 8 e obtido o valor de 24,52 A, e como o controlador utilizado suporta uma potência máxima de 390W, serão utilizados dois controladores de 30A, sendo um controlador para cada placa solar.

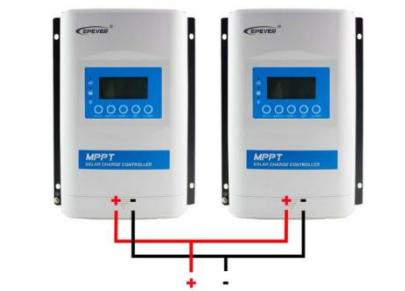


Figura 19. Controladores de carga MPPT ligados em paralelo.

-- Dados do controlador de carga

Tensão nominal do sistema: 12/24V (automático)

Corrente de carga: 30A

Corrente de descarga: 30A

Tensão máxima FV: 100V

Potência máxima FV: 390W/12V; 780W/24V

Eficiência de conversão: 98,6%

Dimensionamento dos cabos e sistema de proteção

O dimensionamento dos cabos elétricos é de extrema importância para garantir a segurança do sistema, reduzir perdas de energia, garantir a vida útil dos equipamentos e estar em conformidade com as normas técnicas. A equação 9 trata sobre a seção do cabo.

$$S = 2 \times l \times I \times 1,25 / \sigma \times V \times \Delta V\% \quad (9)$$

Sendo:

S = Seção do cabo (mm²)

l = comprimento do cabo (m)

I = corrente que passa no condutor (A)

σ = Condutividade do condutor

V = tensão de alimentação (V)

$\Delta V\%$ = Queda de tensão no condutor (%)

A fórmula adota uma margem de segurança de 25%, e os condutores utilizados são de cobre e possuem uma condutividade de 56 m/($\Omega \cdot \text{mm}^2$).

Equipamentos conectados	Comprimento (m)	I (A)	Tensão (V)	$\Delta V\%$	Seção dimensionada (mm ²)	Seção utilizada (mm ²)
Painel a controlador	2,5	20	40,5	0,21	0,26	4
Controlador ao barramento / banco de baterias	2,5	20	12	0,05	3,7	16
Controlador ao Farol frente	4	7	12	0,12	0,86	4
Controlador ao Farol fundo	2	7	12	0,06	0,86	4
Controlador a luminária interna	3	3	12	0,06	0,55	2,5
Controlador a luminária banheiro feminino	2	3	12	0,04	0,37	2,5
Controlador a luminária banheiro masculino	2	3	12	0,04	0,37	2,5
Controlador a rádio	4	3,75	12	0,10	0,55	2,5
Controlador a relógio de ponto	4	0,42	12	0,01	0,62	2,5

Figura 20. Dados para cálculo do cabeamento.

O cálculo do sistema de proteção foi realizado de acordo com a norma e fórmula 10 abaixo citada. Um sistema de proteção é importante garantido a segurança das pessoas e a integridade do sistema.

$$I_n \leq I_d \leq I_{max} \quad (10)$$

Onde:

I_n = corrente nominal do circuito (A)

I_d = corrente nominal do disjuntor (A)

I_{max} = corrente máxima suportada pelo condutor (A)

Na tabela 1 estão dispostos os disjuntores que serão utilizados em cada trecho do sistema.

Tabela 1. Custos dos equipamentos para instalação do sistema.

Trechos	Disjuntor (A)
Painel a controlador	20
Controlador ao banco	20
Controlador a luminárias	5
Controlador a rádio	5
Controlador a faróis	10
Controlador a relógio de ponto	5

Custos da implantação do sistema fotovoltaico

Foram levantados os valores de cada componente utilizado no novo sistema fotovoltaico e disposto na tabela, considerando uma etapa importante para o projeto, levando em consideração que os custos são algo muito relevante a se considerar.

Tabela 2. Custos dos equipamentos para instalação do sistema.

Equipamento	Qtde	Valor total
Painéis 340Wp Ztroon	2	R\$ 858,00
Bateria 280Ah Jhpower 12V	2	R\$ 8977,50
Controlador MPPT Epever XTRA 3210N 30A	2	R\$ 1.198,00
Conectores MC4 2 pares	2	R\$ 22,50
Disjuntores cc 5A	3	R\$ 79,68
Disjuntores cc 10A	1	R\$ 58,94
Disjuntores cc 20A	3	R\$ 169,20
Cabeamento 4 mm ²	10	R\$ 166,68
Cabeamento 2,5 mm ²	15	R\$ 74,94
Cabeamento 2,5 mm ²	6	R\$ 327,60
Quadro de distribuição	1	R\$ 143,01
Total		R\$ 12076,05

As marcas dos equipamentos selecionados para o novo sistema foram escolhidas pensando no custo-benefício para o projeto, considerando que os mesmos são comprovadamente certificados pelo INMETRO e com sua eficiência comprovada.

Foi levantado o preço de dois tipos de baterias para comparação de preço, porém a bateria de lítio foi escolhida para o sistema devido ao seu tempo de vida útil ser consideravelmente maior.

Análise comparativa com um sistema já instalado

Analizando o sistema antigo da vivência rural de uma usina de cana de açúcar foi verificado a ineficiência desse sistema devido ao dimensionamento feito de forma incorreta, acarretando em falhas dos equipamentos instalados para servir ao trabalhador, como as iluminações, rádio e cartão de ponto.

O motivo desse novo redimensionamento foi justamente a resolução do problema de forma técnica e calculada, para que se tenha um sistema nivelado e funcionando de forma eficaz e constante.

A tabela traz os antigos componentes a suas respectivas quantidades, considerando que o rádio de comunicação e o relógio de ponto se mantiveram os mesmos. A figura mostra o antigo sistema instalado.

Tabela 3. Dados do sistema já existente.

Equipamento	Quantidade
Painel 150 Wp	1
Farol 42W	2
Bateria Moura automotiva 220 Ah	1
Controladores Unitron 10 A	1
Luminária 12W	3



Figura 21. Diagrama do sistema antigo instalado.

O sistema apresentava falhas operacionais devido a um dimensionamento inadequado, o que resultava em frequentes interrupções no fornecimento de energia na área de vivência. Observou-se que a bateria descarregava com frequência, indicando que o controlador de carga não estava desempenhando corretamente sua função, também em decorrência do seu dimensionamento incorreto. Além disso, o módulo fotovoltaico instalado possuía uma potência nominal de apenas 150 Wp, insuficiente para suprir a demanda energética do sistema, o que contribuía para a constante descarga da bateria.

O consumo mensal definido para os dois sistemas é para 79,2 kWh/mês. A tabela da imagem abaixo mostra os dados de geração do sistema atual em um plano horizontal e os dados do sistema redimensionado em um ângulo igual à latitude, identificando de acordo com a tabela citada, que o sistema já existente está mal dimensionado, por essa razão o sistema não está produzindo energia suficiente. Já o redimensionamento apresentado, a capacidade estimada de geração de energia está em conformidade com os princípios técnicos, desta forma contribuindo para a eficiência energética do sistema.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Sistema existente	40,44	42,60	41,28	42,82	41,28	40,82	42,21	47,76	42,36	41,98	41,52	41,36
Sistema redimensionado	85,90	90,48	87,70	90,97	87,70	86,72	89,66	101,45	89,99	89,17	88,19	87,86

Figura 22. Comparação de geração mensal dos sistemas.



Além disso, constatou-se que o sistema em uso está operando com baterias automotivas. Esse tipo de bateria não é apropriado para sistemas fotovoltaicos, pois não foi desenvolvido para suportar ciclos profundos de carga e descarga. Diferente das baterias estacionárias, as automotivas podem sofrer danos quando descarregadas completamente. O ideal seria utilizar ao menos uma bateria estacionária ou de lítio, mais adequadas para esse tipo de aplicação.

CONCLUSÃO

Segundo esta análise nas etapas desenvolvidas ao longo deste trabalho, é possível afirmar que o redimensionamento do sistema fotovoltaico off-grid proposto para a área de vivência rural foi conduzido de maneira cautelosa. O estudo demonstrou a importância de se considerar fatores como o consumo real dos equipamentos, a irradiação solar local, a escolha adequada de componentes e o dimensionamento correto das baterias e painéis. Esse conjunto garante que o sistema funcione com eficiência, proporcionando maior autonomia energética para o local.

A comparação entre o sistema antigo e o sistema redimensionado evidenciou falhas críticas no sistema anterior, como a utilização de baterias automotivas inadequadas, controladores de carga subdimensionados e painéis solares insuficientes para a demanda energética. Esses erros comprometiam o fornecimento contínuo de energia, afetando diretamente as condições de trabalho dos colaboradores. A nova proposta corrige essas deficiências, garantindo um suprimento energético estável e compatível com a instalação.

O estudo também se mostrou viável do ponto de vista econômico, uma vez que foram escolhidos equipamentos com bom custo-benefício, certificados e com vida útil aceitável. A opção pelas baterias de lítio, embora mais caras, se justifica pela sua durabilidade e eficiência maior em comparação às baterias estacionárias. Essas características agregam valor ao investimento, reduzindo custos de manutenção e reposição a longo prazo.

Por fim, este artigo aumenta a importância dos sistemas fotovoltaicos off-grid como uma solução energética sustentável, principalmente em regiões remotas e de difícil acesso à rede elétrica. O redimensionamento apresentado pode servir como referência para outras aplicações semelhantes, contribuindo para a propagação de tecnologias limpas e para a melhoria das condições de trabalho no campo, impactando positivamente o meio.

REFERÊNCIAS

Abnt. (2018). NBR 16612: Sistemas fotovoltaicos - Requisitos mínimos para sistemas conectados à

rede. Rio de Janeiro, Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Abnt. (2022). NBR 16690: Sistemas fotovoltaicos - Sistemas isolados - Requisitos mínimos para sistemas de geração solar fotovoltaica em áreas remotas. Rio de Janeiro, Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

ALVES, Stefany Maximo. Estudo entre o dimensionamento em um sistema fotovoltaico on-grid e off-grid para uma instalação comercial. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/1f986ff7-7f1b-4864-b06e-dcfd04bd06fc/content>. Acesso em: jun. 2025.

Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br>. Acesso em: mai. 2025.

Cemig (Companhia Energética de Minas Gerais). Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, 2012. Disponível em: <https://www.cemig.com.br>. Acesso em: 15 de maio 2025.

Cresesb (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito). Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 28 de mai. 2025.

Freedon Baterias. Site do Fabricante. Disponível em: <https://www.freedomestacionaria.com.br/>. Acesso em: 01 jun. 2025.

Jinko Solar. Site do Fabricante. Disponível em: <https://www.jinkosolar.com/en/>. Acesso em: 02 jun. 2025.

Villalva, M.; Gazoli, J. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Erica, 2012.

Silva, Bruno Batista Teodoro da; Freitas, Thais Rodrigues de. Dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaico off-grid para torres de iluminação. Orientadora: Kátia Lopes Silva. 2023. Artigo de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) — Universidade do Estado de Minas Gerais, Ituiutaba, 2023.