



# ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01 de dezembro 2023

## As Vantagens do Sistema Fotovoltaico na Redução de Consumo de Energia Elétrica através da Aplicação das Ferramentas de Gestão da Qualidade

Allan Teixeira Dos Santos  
Centro Universitário Facol - UNIFACOL  
Danilo de Oliveira Santos Costa  
Centro Universitário Facol - UNIFACOL

**Resumo:** Nos últimos anos, o Brasil vem enfrentando crises de abastecimento dos seus reservatórios de geração elétrica. Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a seca fez com que os reservatórios do Centro-Oeste e Sudoeste ficassem com menos de 20% da capacidade em setembro de 2022, resultando na crise de energia e prejudicando os consumidores com os aumentos sucessivos na conta de luz e riscos de racionamentos. Diante disso, esta situação fez com que as empresas adquirissem geradores com custos mais elevados e mais agressivos ao ambiente. Essa realidade afeta diretamente o gasto do consumidor ao proporcionar o acionamento das bandeiras tarifárias na conta de luz. O objetivo deste estudo é analisar as condições elétricas na cidade de Vitória de Santo Antão, e apresentar ao público os benefícios do sistema fotovoltaico para diminuir a conta de energia sem reduzir seu consumo ou garantir um abastecimento de eletricidade em determinados aparelhos, em ocorrências de apagões ou racionamento de energia. Para o alcance deste objetivo foi necessário a aplicação das ferramentas de gestão da qualidade ramificada em 3 fases, sendo elas: fase 1, organizar materiais didáticos; fase 2, utilizar a estratificação, gráfico de Pareto e folha de verificação para entender o perfil dos interessados, avaliar os aparelhos a entrarem no sistema e como organizar as sequencias e interações das atividades através de um formulário de pesquisa; fase 3, apresentar o retorno de pequenos projetos e ganhos futuros utilizando o sistema *Off-Grid*.

**Palavras-chave:** Estratificação, Pareto, Fotovoltaico, Off-Grid.

## The Advantages of the Photovoltaic System in Reducing Electricity Consumption through the Application of Quality Management Tools

**Abstract:** In recent years, Brazil has been facing supply crises for its electricity generation reservoirs. According to the National Electric System Operator (ONS), the drought caused the reservoirs in the Center-West and Southwest to have less than 20% of capacity in September 2022, resulting in the energy crisis and harming consumers with successive increases on the electricity bill and risks of rationing. Therefore, this situation has led companies to purchase generators with higher

costs and more environmentally harmful effects. This reality directly affects consumer spending by triggering tariff flags on the electricity bill. The objective of this study is to analyze electrical conditions in the city of Vitória de Santo Antão, and present to the public the benefits of the photovoltaic system to reduce energy bills without reducing consumption or guaranteeing a supply of electricity to certain devices, in the event of blackouts or energy rationing. To achieve this objective, it was necessary to apply quality management tools divided into 3 phases, namely: phase 1, organize teaching materials; phase 2, use stratification, Pareto chart and verification sheet to understand the profile of interested parties, evaluate the devices to enter the system and how to organize the sequences and interactions of activities through a search form; phase 3, present the return on small projects and future gains using the Off-Grid system.

**Keywords:** Stratification, Pareto, System, Photovoltaic, Off-Grid.

## 1 Introdução

Nos últimos anos, o Brasil vem enfrentando crises de abastecimento de seus reservatórios para geração elétrica, situação que obriga as empresas usarem geradores com custos mais elevados e mais agressivos ao ambiente. Essa realidade afeta diretamente o gasto do consumidor ao proporcionar o acionamento das bandeiras tarifárias na conta de luz. (ANEEL, 2021)

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2021) anunciou, no fim de maio, a vigência da bandeira vermelha nível 2 ao longo deste mês de junho. Isso significa que será cobrado nas contas de luz de todos os consumidores do país um valor adicional de R\$ 14,20 para cada 100 kWh de energia consumidos

A bandeira vermelha 2 se tornou necessária diante do baixo nível dos reservatórios e do acionamento das térmicas. Somado a isso, na era dita como a quarta revolução industrial, a necessidade de consumo por parte da população de energia tem se elevado. Os motivos são diversos e estão relacionados com as mudanças no hábito e de consumo vida da população.

Diante deste contexto, comerciantes e indústrias estão implantando sistemas fotovoltaicos, para manter um maior controle da conta de luz. Felizmente, pequenos consumidores também podem se beneficiar dessa estratégia, podendo ter seu sistema de geração solar. Porém essa possibilidade é pouco aproveitada pela sociedade, no geral, devido ao pouco conhecimento sobre o tema e muitas vezes pelo valor de investimento.

Com relação a cidade de Vitória de Santo Antão-Pernambuco, os dados mostram que a média de consumo residencial, foi de 80.825 Mwh, referente ao ano de 2022. Com seus, estimados, 130.000 habitantes, a cidade ocupa a 11ª posição das 185 cidades que mais consumiram energia residencial (BDE, 2020).

Diante disso, este estudo se justifica na possibilidade de apresentar maneiras de se reduzir a conta de luz sem renunciar ao consumo. O sistema fotovoltaico é uma das possibilidades para garantir uma redução do valor pago além de ser um meio de garantia de geração em possíveis apagões ou racionamento.

O objetivo do trabalho é apresentar à população os benefícios do sistema fotovoltaico para diminuir a conta de energia sem reduzir seu consumo e garantir um abastecimento de eletricidade em determinados aparelhos, em ocorrências de apagões ou racionamento de energia pelo sistema *Off-Grid*.

Conforme explica Zani (2021), para escolher os equipamentos que montarão o sistema deve se realizar alguns cálculos de modo a dimensionar a potência necessária e a carga e descarga máxima para as baterias, como exemplos. Um dos primeiros passos é fazer o levantamento do consumo de energia, que segundo Procelinfo - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (2023), para ter o consumo de um equipamento deve-se verificar a potência do aparelho no manual, multiplicando pelas horas usadas vezes trinta dias referente ao mês. Entretanto esses valores podem ter variações devido o funcionamento de “ligam e desligam” ou *standby* (espera).

O autor frisa em definir a capacidade útil, referente a quantos dias as baterias poderão ficar sem carga, sendo indicado pelos fabricantes. A capacidade real da bateria, para se definir o nível de segurança para eventuais descargas de modo a prolongar a vida útil do equipamento, sendo este ponto a autonomia da bateria, dado também informado pelo fabricante.

## 2 Metodologia

O proposto projeto tem o caráter de pesquisa descritiva. Segundo Gil (2022), essas pesquisas têm como objetivo a descrição das características de determinada população ou fenômeno. O autor aborda que um de seus atributos é usufruir de técnicas padronizadas de coleta de dados, como o questionário. Nessas pesquisas, o escritor destaca que o objetivo é analisar as características de um grupo: faixa etária, sexo, escolaridade, renda, moradia como exemplos.

Já os dados levantados na estratificação, nesse projeto, serão utilizados de forma qualitativa, que segundo Zanella (2023) o método “preocupa-se em conhecer a realidade segundo a perspectiva dos sujeitos participantes da pesquisa, sem medir ou utilizar elementos estatísticos para análise dos dados”. Porém há elementos quantitativos, que segundo o mesmo autor é um método de pesquisa social que utiliza a quantificação nas modalidades de coleta de informações e no seu tratamento, mediante técnicas estatísticas.

Para conseguir esses dados, foi elaborado um questionário na ferramenta do *Google* formulário. Essa ferramenta foi escolhida pelo alcance que ela pode proporcionar por ser um questionário *online* e de fácil compartilhamento entre os internautas.

Embora, essa ferramenta tenha um alcance para várias regiões, o proposto projeto salientou uma pergunta para saber quantas pessoas na cidade de Vitória de Santo Antão responderam essa pesquisa, além de identificar a quantidade de moradores. Com o intuito de dar mais força para a elaboração desta pesquisa, a terceira parte do questionário tem o objetivo de identificar o conhecimento sobre o tema para a população local, sobre o funcionamento e benefícios do sistema.

Como o sistema proposto tentara ser o mais simples o possível, foi buscado entender qual seria a prioridade de escolha para um eletrodoméstico. A última pergunta visa entender, dos quais equipamentos listados, o indivíduo optaria por manter funcionando num possível apagão ou racionamento de energia.

Para o desenvolver deste trabalho, serão utilizadas ferramentas básicas da qualidade, que segundo Silva (2023) possuem uma grande importância e vantagens de organizar os dados e, com isso, ajudaram na toda de decisão nas escolhas dos eletrodomésticos além de compreender o perfil dos entrevistados. Sendo as ferramentas aplicadas: estratificação, folha de verificação e gráfico de Pareto.

Para a estratificação será usada levantar dados em determinados grupos e subgrupos, a folha de verificação para juntar, registrar e analisar informações e por fim o gráfico de Pareto para a priorização dos eletrodomésticos a serem priorizados com a metodologia 80/20.

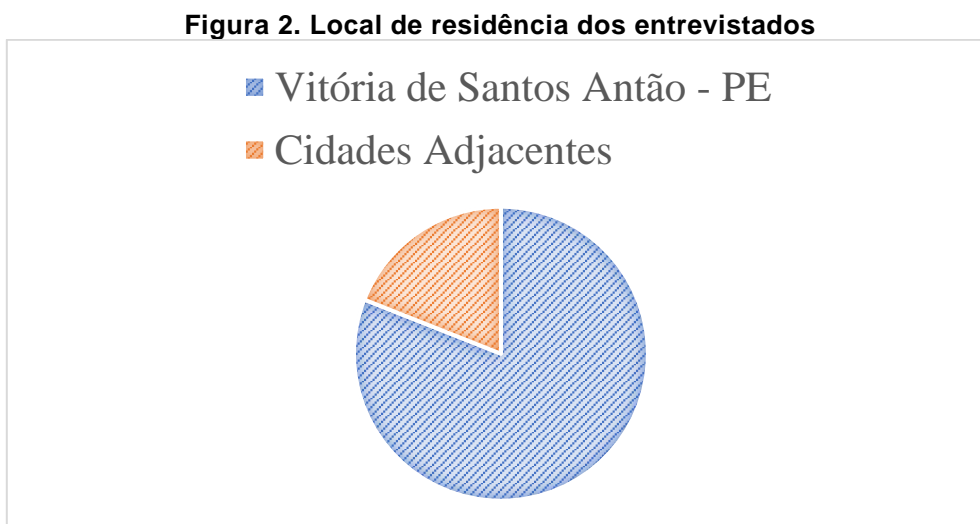
Por fim serão apresentados os aparelhos com maiores importâncias, segundo os entrevistados, onde será montado o sistema *Off-Grid*, apresentando a quantidade de placas solares, baterias e inversores necessários.



Fonte: RIBEIRO, p.57 (2006)

### 3 Resultados

Ao atingir 100 respostas que durou um período de 5 dias foi possível a aplicação das ferramentas básicas da qualidade listadas anteriormente. Ao todo tivemos 81 moradores da cidade de Vitória de Santo Antão e os demais de cidades adjacentes.



Fonte: Este Projeto (2022)

Para organizar os dados levantados durante a estratificação, o projeto utilizou a folha de verificação. Esta ferramenta proporciona mais organização dos dados coletados e estrutura de modo simplificado as informações específicas, o que permite uma análise mais clara, como mostrado no Quadro 1 a seguir.

#### 3.1 Folha de folha de verificação

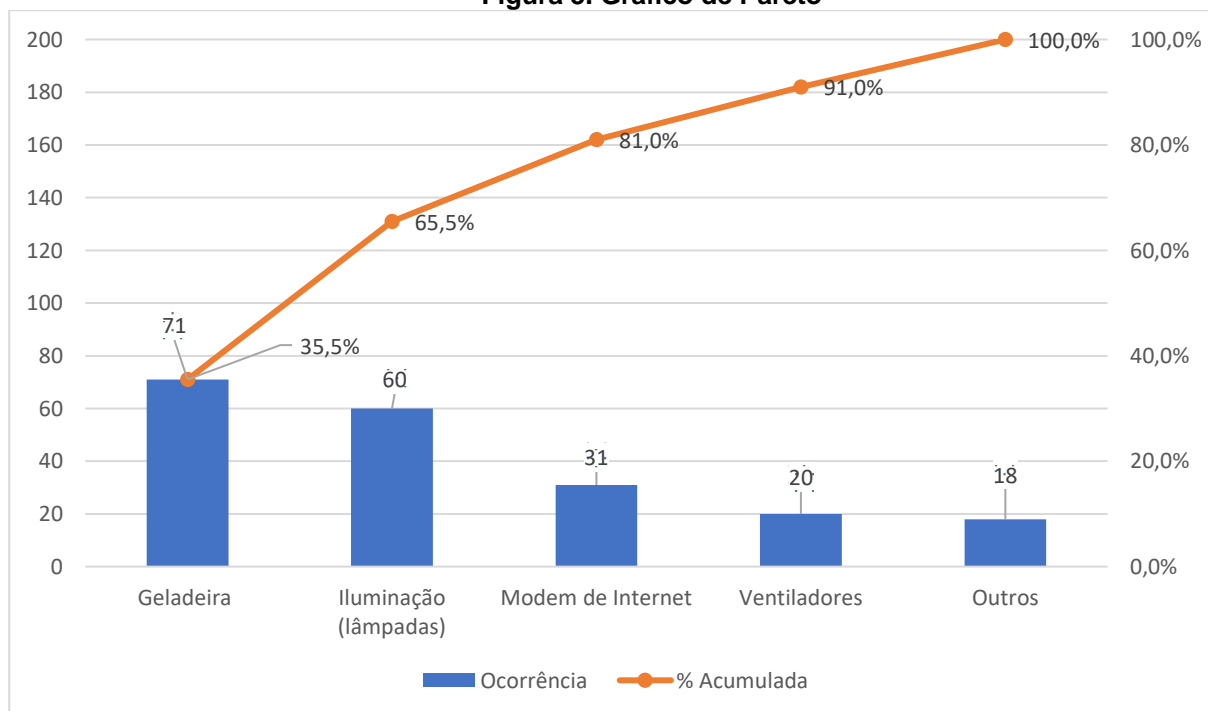
Quadro 1. Folha de verificação



Iluminação (lâmpadas)	60	30,0%	65,5%
Modem de Internet	31	15,5%	81,0%
Ventiladores	20	10,0%	91,0%
Outros	18	9,0%	100,0%
<b>Total</b>	<b>200</b>		

FONTE: Este Projeto (2022)

Figura 3. Gráfico de Pareto



Fonte: Este Projeto (2022)

Foram identificados que a geladeira, as lâmpadas para iluminação e o modem totalizam 81% de acumulado sendo estes os equipamentos a entrar no sistema.

### 3.3 Organização do sistema

Vamos levar em consideração a escolha do sistema *Off-Grid*, por se adequar melhor para a situação de racionamento ou falta de energia. Além do fato de não ser necessário, até o momento, autorização ou a necessidade da instalação por uma empresa, o que gera mais autonomia para o consumidor, de acordo com Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Para ter uma base melhor iremos utilizar a tabela do Procelinfo (2022) com a estimativa do consumo, para o modelo de geladeira de duas portas *frost free* (livre de congelamento), um modem de internet genérico e 10 lâmpadas fluorescentes.

Quadro 3. Tabela estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos de acordo com um uso hipotético

Aparelhos Elétricos	Consumo Médio Diário (kW)	Dias Estimados Uso/Mês	Média Utilização/Dia	Consumo Médio Mensal (kWh)
---------------------	---------------------------	------------------------	----------------------	----------------------------

Geladeira 2 portas frost free (1)	1,899	30	24 h	56,97
Modem de internet (1)	0.29	30	24 h	8,72
Lâmpada fluorescente (10)	0.23	30	5 h	34,5
Total	2.419	-	-	100.19

Fonte: Adaptado de PROCELINFO (2022)

Para garantir a vida útil da bateria selecionada, o proposto projeto irá elaborar o sistema de modo a evitar que o equipamento não descarregue mais de 40%, com isso, o menor valor de carga será de 60%. Porém, existe a possibilidade de dias chuvosos ou nublados que não proporcionam recarga para as baterias, sendo necessário definir a autonomia do sistema que para este caso será de dois dias.

Tendo um consumo diário de 2.42kw ou 2419w significar que o sistema *off-grid* deverá fornecer essa carga diariamente. Como todo equipamento, sempre haverá perdas, como medida de segurança esse projeto irá considerar que nosso sistema possui uma eficiência global de 75%. Dessa forma já é considerado 25% de perdas por fatores como aquecimento dos cabos ou variação na alimentação da radiação solar por nuvens.

Dessa forma para se ter um melhor resultado dividimos 2.42kw por 75%, totalizando o valor aproximado de 3.23kw de consumo. Esse valor é o que será fornecido por dia, sendo uma quantidade extra para compensar possíveis perdas, com isso iremos escolher o modelo da bateria estacionária.

### 3.4 Bateria

Para este exemplo usaremos a bateria estacionária de capacidade de 220ah (amperes) e tensão de 12 v (voltes) da marca *FreeDom*, por ser uma das marcas mais indicadas para este tipo de atribuição solar pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSolar).

Segundo Zani (2021) devemos calcular a carga útil da bateria, ou seja, vamos levar em consideração a autonomia de dois dias não considerando o valor máximo de descarga que a bateria pode usar. Capacidade Útil = Carga fornecida por dia \* Dias autonomia / Tensão da bateria. Capacidade Útil =  $3.23kW * 2 / 12 = 538 \text{ Ah}$

Agora vamos verificar a capacidade real levando em conta o valor de descarga máxima que a bateria pode alcançar. Para este modelo o ideal é que não tenha uma descarga de mais de 40% dessa forma temos o valor da capacidade real de 1345 Ah de forma a prolongar a vida útil da bateria, ou seja, capacidade real= $538/0,4$ .

Com isso será apresentado a forma de se calcular o número de baterias a serem utilizadas. Basta apenas dividir a capacidade total pela capacidade da bateria escolhida, ou seja,  $1345/220$ , totalizando aproximadamente 7 baterias, arredondando o valor para cima.

### 3.5 Placas solares

Sabendo que nossas placas devem gerar no mínimo 3.23kw, sendo a irradiação solar média do estado de Pernambuco de 5.30 segundo o CEPEL.

a)  $\text{Placas} = 3.23\text{kw} / 5.30 = 609,43 \text{ w/h}$

Ou seja, são necessários 609,43w a cada hora para gerar os 100.19kw no mês de consumo. Porém ainda devemos considerar as perdas que já foi definida em torno de 25%.

b)  $\text{Placas} = 609,43 \text{ w/h} + 25\% = 761,75$

Agora vamos escolher qual a potência da placa que fica a critério do consumidor, para este projeto iremos selecionar a placa de 280 w.

c)  $\text{Placas} = 761,75 \text{ w/h} / 280 = 2,72$

Analisando o valor de 2,72 entende-se a necessidades de 3 painéis solares de 280W.

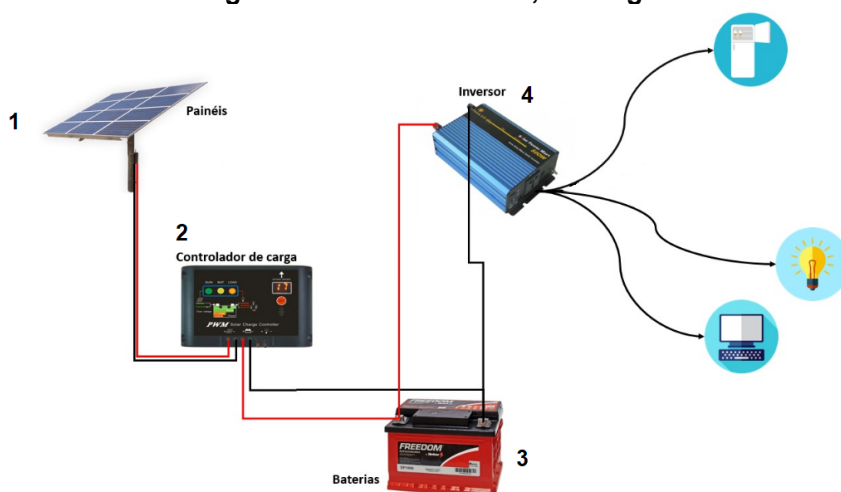
### 3.5 Controlador

Nesta pesquisa será optado pelo controlador de carga com a tecnologia MPPT devido ao fato da eficiência desse equipamento na garantia da vida útil das baterias também recomendada pela ABSolar. Para a escolha devemos dividir o valor entregue pelo módulo pelo valor do sistema da bateria para se ter a carga que ele deve suportar, sendo:  
 $\text{Controlador} = \text{placa solar } 280\text{w} / 12 = 33,6 \text{ A}$ , a carga que o controlador devera suportar é de 33,6 A.

### 3.6 Inversor

Geladeira mais tradicionais tem potência que podem chegar a 10 vezes mais no seu consumo na hora da partida (pico). Por questão de segurança iremos adotar um inversor que supra essa possibilidade. Dessa forma iremos selecionar um inversor que de 3000w para um sistema de baterias de 12v.

Figura 4. Sistema Off-Grid, montagem



FONTE: Este projeto (2022)

Quadro 4. Listagem dos preços estimados

EQUIPAMENTOS	VALOR ESTIMADO DE CADA UNIDADE
--------------	--------------------------------



PLACA SOLAR ~ 280 w	520,00
CONTROLADOR	150,00
BATERIA	800,00
INVERSOR	600,00

Fonte: Este Projeto, 2021

Neste tipo de sistema o investimento costuma ser mais elevado devido a necessidade das baterias de preferência estacionarias. Os valores dessa tabela são estimados de pesquisas de algumas páginas de vendas como a Neoenergia. Para este projeto demos importância as regras que podem prolongar a vida útil dos equipamentos, considerando imprevistos como dias nublados e descargas que podem proporcionar e a necessidade de uma quantidade maior de unidades.

## 4 CONCLUSÃO

Com os dados estruturados e organizados pela folha de verificação, observa-se que a distribuição de pessoas que possuem conhecimento sobre o tema é de 50%. Desse modo identifica-se uma pequena carência de informação sobre o tema. Também vale notar que 52% do total de entrevistados compartilha a moradia com pelo menos mais 3 pessoas, o que proporciona um maior consumo residencial de energia. Com um consumo mensal estimado de 100.19kw sendo convertido em valor monetário ao mês considerando o valor extra da bandeira vigente atual vermelha patamar 2 um total de 55,70 reais economizados. Embora o foco seja um sistema que supra um eventual apagão ou racionamento da energia, esse sistema ainda é uma economia na conta de luz, visto não ter mais a necessidade de usar a rede de distribuição, sendo considerado neste cálculo apenas os eletrodomésticos selecionados pela pesquisa.

## Referências

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Bandeiras Tarifárias**. Disponível em: < <https://aneel.gov.br> > Acesso em: 07 de setembro 2022

BDE – BASE DE DADOS DO ESTADO. **Consumo de energia elétrica no ano de 2020**. Disponível em < <https://bde.pe.gov.br>> Acesso em 22 de setembro de 2022

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo S.A; 2022

PROCELINFO – CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Dicas de economia de energia**. Disponível: < <https://procelinfo.com> > Acesso em 27 de setembro de 2022.

RIBEIRO, A. C. **SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA E CONTROLADO POR SISTEMA FUZZY**. São Paulo: Universidade de Taubaté, 2006

Silva, R. S. **As ferramentas da qualidade como uma ferramenta para a tomada de decisões**. Revista Gestão & Tecnologia, 2023

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. 3. ed. Florianópolis: 2023

ZANI. V. **O que eu preciso para ligar uma geladeira no off-grid?** < <https://engehallrenovaveis.com.br> > Acesso em 04 de outubro de 2022.

## ANEXO

Este questionário faz parte de uma pesquisa desenvolvida pelo centro universitário UNIFICOL. Os RESULTADOS desta pesquisa serão CONFIDENCIAIS. Por favor, leia atentamente o questionário e responda às perguntas.

Você é morador da cidade de Vitória de Santo Antão - PE ?

Sim

Outro:\_\_\_\_\_

Quantas pessoas moram na sua residência contando com você?

1 - 2

3 - 4

+ 4

Você tem conhecimentos sobre o funcionamento e benefícios de um sistema de energia solar?

Sim

Não

Quais equipamentos você considera indispensável para o consumo no caso de apagão ou de racionamento de energia? ESCOLHER NO MÁXIMO 2

Iluminação (Lâmpadas)

Geladeira

Ventiladores

Televisão

Modem de internet

Computadores

Outro:\_\_\_\_\_