

# **IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: análise da viabilidade econômica em supermercado de porte médio**

**Autor:** Jaciel Franco Alves

**Orientadora:** Laisa Cristina Carvalho

## **RESUMO**

A energia solar fotovoltaica é uma das tecnologias mais aceitas para a geração de energia, pois é uma fonte energética não poluente, sustentável e de baixo custo a longo prazo. O conhecimento da estrutura do sistema de geração de energia fotovoltaica é necessário para controlar e determinar a qualidade do processo, além de garantir a geração de energia de baixo custo. Este estudo teve como objetivo analisar o potencial, eficiência e viabilidade econômica do uso da energia solar fotovoltaica em substituição à energia elétrica, em supermercado e padaria de porte médio, além de abordar questões técnicas e um panorama geral desta tecnologia. Após um estudo foi instalada a usina fotovoltaica no Supermercado Franco e mensalmente foi realizado uma análise da energia produzida pelo novo sistema. Com os dados coletados foi possível calcular o tempo real de retorno do investimento, de foi de 8.98 anos e fazer a comparação com o tempo estimado em projeto.

**Palavra chave:** Energia solar fotovoltaica, viabilidade econômica.

## **1 INTRODUÇÃO**

Nos últimos 40 anos foram notáveis as preocupações com as questões ambientais, inclusive estudos sobre esses problemas estão crescendo mundialmente. As diferentes fontes de energia não renováveis causam dependência de condições climáticas, emissão de gases poluentes, elevado custo de implantação, produção e conseqüentemente elevam o custo do consumidor (PANG et al., 2019).

No contexto nacional e internacional, na tentativa de minimizar esses problemas, foram desenvolvidas fontes de energéticas renováveis, com o intuito de limitar, reduzir os danos ao meio ambiente e principalmente diminuir os custos de produção, comparado com a energia convencional (CARSTENS & CUNHA, 2019). Destacando-se a tecnologia da energia solar

Autor: Jaciel Franco Alves. Email: [jaciel francoalves@hotmail.com](mailto:jaciel francoalves@hotmail.com) - Formação Acadêmica Engenharia Civil- Unis Centro Universitário Sul de Minas.

fotovoltaica que foi uma das mais aceitas para a geração de energia, pois é uma fonte energética não poluente, sustentável e de baixo custo a longo prazo.

A energia solar fotovoltaica é uma fonte adquirida a partir da transformação direta da luz do sol em eletricidade, através de células fotovoltaicas e constituiu numa inesgotável fonte energética com enorme potencial para geração de energia térmica e elétrica (RUTHER, 2004). Na atual situação econômica do nosso país, com os elevados índices de radiação solar, a energia fotovoltaica vem cada vez mais ganhando espaço na matriz energética nacional e adquiriu elevado potencial para substituição das hidrelétricas e termelétricas (KONZEN, 2014).

Dentro desse contexto, sobre a energia solar fotovoltaica, o objetivo é analisar a viabilidade econômica da implantação, eficiência em substituição a energia elétrica convencional, além de abordar questões técnicas e um panorama geral dessa tecnologia instalada em supermercado de porte médio na região.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Energia solar fotovoltaica**

A energia fotovoltaica é uma fonte limpa e renovável que produz eletricidade a partir da luz do sol. “Essa produção de energia é obtida através da transformação direta da radiação solar em energia elétrica através de materiais semicondutores, que também são conhecidos como células fotovoltaicas, e que utilizam o efeito fotoelétrico ou fotovoltaico” (IMHOFF, 2007, p, 121).

As células solares convertem a energia solar diretamente em fonte de energia elétrica renovável, sendo que, atualmente, esse tipo de energia é considerado uma tecnologia energética eficiente e promissora (CRESESB, 2006). De acordo com Braga (2008), o processo de geração, que é executado por dispositivo semicondutores, não produz resíduos, não libera calor residual e não altera o equilíbrio do meio ambiente, sendo considerada sustentável.

A aumento da potência da energia é obtida pela simples adição de módulos, visto que os sistemas são modulares. Em países em desenvolvimento, o uso desse tipo de energia se dá em sistemas de bombeamento de água, processamento de alimentos, sistemas de refrigeração, dentre outros. Já em países desenvolvidos, a aplicação é feita em sistemas de telecomunicações (BRAGA, 2008; TOMALSQUIM, 2003).

## 2.2 Efeito Fotovoltaico

O surgimento de uma tensão elétrica em materiais semi condutores quando exposto à luz visível é um efeito denominado fotovoltaico. “O efeito fotovoltaico ocorre em materiais que conduzem eletricidade de forma mais efetiva que os isolantes e menos efetiva que os materiais condutores, gerado através de uma diferença de potencial na estrutura do material semiconductor que é ocasionado através da absorção da luz solar” (SEVERINO & OLIVEIRA, 2010).

O efeito fotovoltaico se caracteriza pela presença de 3 faixas de energia: faixa de valência, onde é permitido a presença de elétrons; faixa de condução, onde é totalmente vazia; na parte intermediária encontra a parte proibida, onde determina se o material é semiconductor. A figura 1 mostra materiais isolantes e semicondutores.

Figura 1 materiais isolante e semicondutores



Foto: Lisita Jr, 2004

A tensão elétrica surge quando os elétrons da faixa de valência recebem energia suficiente do fóton para pular a faixa proibida e passar para faixa de condução. Para que isso ocorra, a energia recebida do fóton de luz deve ser maior ou igual a energia de faixa proibida, que é a diferença entre mínima da faixa de condução e a máxima de faixa de valência, ou seja os elétrons precisam de energia para vencer a faixa proibida, caso o fóton incidente tenha energia maior. Com isso, ocorre a termalização, em que a sobra se transforma em calor aquecendo o material, ou seja, se os elétrons forem capturados antes de retornarem a seus orbitais atômicos, eles podem ser aproveitados na forma de corrente elétrica (COMETTA, 1978).

Atualmente no mercado existem vários materiais semicondutores, sendo o silício o mais utilizado, pois seus átomos possuem quatro elétrons na camada de valência, que se ligam aos

elétrons dos átomos vizinhos, formando assim o que é chamado de rede cristalina, onde são adicionados elementos com cinco ou três elétrons de ligação (BRAGA, 2008).

Os elementos com cinco elétrons de ligação possuem um elétron que está ligado fracamente ao seu átomo de origem, facilitando que ele se desligue do átomo ao utilizar pouca energia térmica (CRESESB, 2006 ). Já os elementos com três elétrons na camada de valência necessitam de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício e um elétron passa a ocupar essa posição com pouca energia térmica (CRESESB, 2006 ).

Esse movimento de elétrons gera uma diferença de potencial, onde o acúmulo de elétrons de um lado se torna negativo e do outro lado positivo e também, gera um campo elétrico que mantém os elétrons afastados. (CRESESB, 2006, p, 18 ).

### **2.3 Panorama no Brasil**

De acordo com a Resolução Normativa N° 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, a qual regulamenta a geração de energia através de placas solares fotovoltaicas, com uma gama de recursos e grande extensão territorial, o Brasil possui amplas oportunidades de diversificação de técnicas de produção de energia (ANEEL, 2012), além de uma alta incidência de radiação solar, que favorece a implantação de sistemas fotovoltaicos.

No Brasil, somando a produção de energia elétrica de todos os tipos de usinas chegam a ser 135 GigaWatts (GW), e dessa quantidade, apenas 0.00105% dessa energia é proveniente do sistema solar fotovoltaico (ANEEL,2015).

Nota-se que o Brasil, visto a alta incidência de radiação solar, o aproveitamento ruim do seu potencial de produção de energia solar, é o único no mundo, que recebe mais de 3000 horas de brilho solar por ano (SEVERINO & OLIVEIRA, 2010), em especial a região Nordeste, que é considerada uma região que contém privilégios acima do que é considerado na média nacional, pois possui uma média diária entre 4.5 q 6 kWh. A Empresa de Pesquisa Energética (2015) estima uma produção de 283,5 milhões de MW por ano de energia fotovoltaica em caso de utilização total do potencial solar do nosso país, sendo que a utilização da potência do país seria mais do que suficiente para atender o consumo doméstico.

O Brasil possui potencial para geração de energia fotovoltaica superior ao da Alemanha, por exemplo, que é considerada o país da Europa que mais produz energia fotovoltaica do

mundo (EPE, 2012; PEREIRA, 2006), e com isso, se conclui o potencial do Brasil em relação a outros países.

Existem desafios e oportunidades para o crescimento da energia fotovoltaica no Brasil, dentre os principais desafios, está a necessidade de estabelecer políticas específicas para tecnologias de energia fotovoltaica, incluindo metas claras de longo prazo e incentivos fiscais e financeiros. Pode ser observado também, a falta de desenvolvimento de novas tecnologias e a escassez de profissionais capacitados (JANUZZI, 2009).

Para maior exploração do potencial fotovoltaico no Brasil, deveriam ser realizados incentivos de natureza fiscal, através de disponibilidade de verbas, redução de custos fiscais e taxas mais baixas (SILVA, 2015).

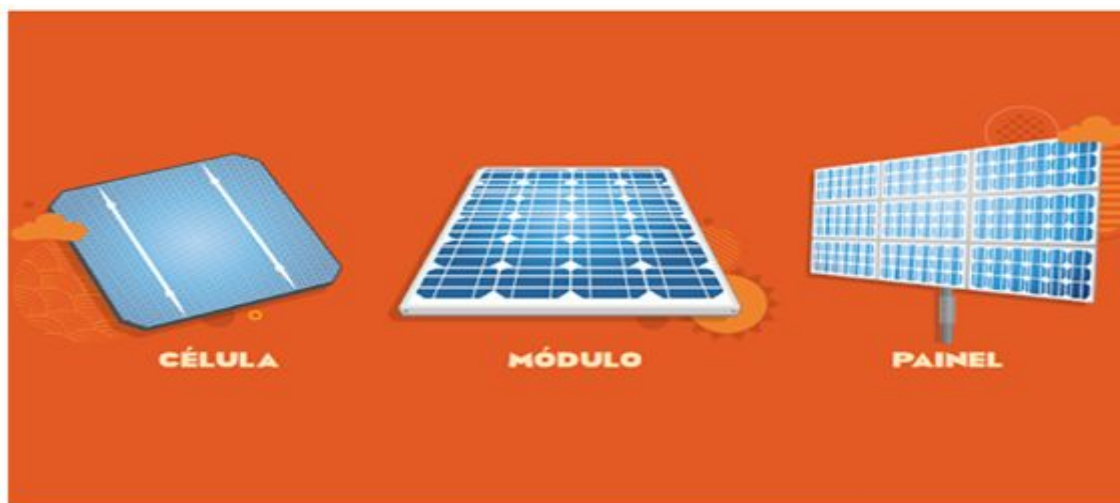
## 2.4 Células Fotovoltaica, módulo e painéis

A célula fotovoltaica é um dispositivo básico, que aciona todo o sistema, para realizar a transformação direta de energia solar em elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 78).

O módulo é a unidade formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar eletricidade (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 78).

Os painéis são os principais componentes do sistema fotovoltaico para geração de energia. São formados por um conjunto de células fotovoltaicas associadas, eletricamente, em série e/ou paralelo, dependendo das tensões e/ou correntes determinadas em projeto (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 78). A figura 4 mostra a célula, módulo e o painel.

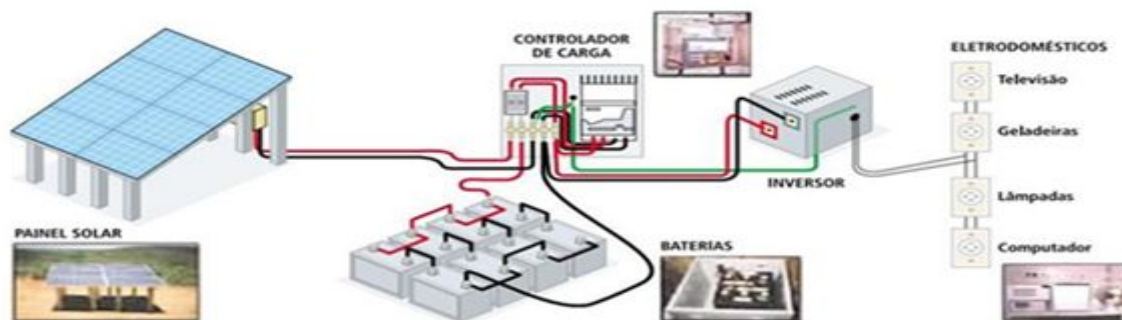
Figura 2: célula, módulo e painel.



Fonte: ( Swera, 2006)

O conjunto destes módulos é chamado de gerador fotovoltaico e constituem a primeira parte do sistema, ou seja, são os responsáveis no processo de captação da irradiação solar e a sua posterior transformação em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 78). A figura 3 representa um diagrama elétrico de um sistema fotovoltaico.

Figura 3. Diagrama elétrico fotovoltaico.



Fonte: (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011)

Um mecanismo comum de limpeza dos painéis solares é a chuva, porém ela não é eficiente, principalmente quando os painéis tiverem inclinação menor do que 15%, que não é suficiente para que os resíduos sejam levados e o acúmulo de resíduos leva a redução na produção de energia (ANEEL, 2012).

Com isso, recomenda-se a limpeza periódica dos painéis com pano úmido e detergente neutro e revisão da fiação elétrica, certificando-se de que não haja fios soltos ou oxidados (TREVELIN, 2014).

## 2.5 Sistema fotovoltaico

### 2.5.1 Sistemas autônomos ou isolados (OFF GRID)

Esses sistemas não dependem da rede elétrica convencional para o seu funcionamento, sendo altamente vantajosos tecnicamente e financeiramente em áreas afastadas do sistema elétrico tradicional, como é o caso de zonas rurais (VILLALVA & GAZOLI, 2012). Podem ou não possuir um sistema de armazenamento de energia e se houver a necessidade de corrente alternada deve-se fazer o uso de um inversor.

Se houver o sistema de armazenamento, pode ser utilizado para carregar bateria de automóveis e até para a iluminação pública, mas caso não haja esse sistema de armazenamento, pode ser utilizado em bombeamento de água, apresentando uma grande economia já que não utiliza instrumentos para o armazenamento de energia (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011). Para êxito na instalação do sistema, o local deve possuir condições climáticas favoráveis, como alta incidência de radiação solar e poucas nuvens.” As aplicações mais comuns são: equipamentos de bombeamento de água, rádios de observação do tempo, sistemas de luzes em estradas, portos e aeroportos, abastecimento de campos, anúncios, lugares de alta altitude”(PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 82).

### 2.5.2 Sistemas ligados à rede (ON GRID)

Esses sistemas são ligados diretamente à rede elétrica, sendo que o sistema fotovoltaico opera em conjunto com a rede elétrica convencional, de forma que quando o gerador fotovoltaico não consegue produzir energia suficiente, a rede supre a demanda, e caso ocorra o contrário, se o sistema fotovoltaico produzir em excedente, essa energia é injetada na rede. Essa conversão se dá pela utilização do inversor, que realiza a interface entre o painel e a rede elétrica. (PEREIRA & OLIVEIRA, 2013).

Uma vantagem é a redução do custo de instalação em até 30%, devido a esse sistema não precisar de bateria (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Esse sistema foi definido 2015 pela ANEEL, a partir da publicação da Resolução Normativa Nº 482/2012, que trata da micro minigeração geração de energia.

#### 2.5.2.1 Inversor

Os inversores são equipamentos eletrônicos que transforma a corrente contínua em corrente alternada, além de controlar a qualidade da potência de saída, possibilitando a conexão do sistema com a rede elétrica pública (PINHO & GALDINO, 2014, p, 34).

No Brasil o inversor para conexão à rede elétrica convencional deve atender à norma ABNT NBR 16.149/ 2013 ( ABNT, 2013b) que estabelece parâmetro como : faixa de variações de tensão e frequência, THD, proteção contra ilhamento, fator de potência, etc.

Os inversores são formados por capacitores, indutores e um transistor que controla a abertura e o fechamento de cada sinal, transformando a corrente contínua em pulsos, obtendo assim na saída, uma forma de onda quadrada através da tecnologia PWM (modulação da largura de pulso) fazendo com que a frequência e o valor rms da saída se estabilizem (SEGUNDO & RODRIGUES, 2015).

Um inversor para o sistema fotovoltaico deve possuir as seguintes características:

- Alta eficiência de conversão, tanto na carga nominal quanto na carga parcial.
- Alta confiabilidade e baixa manutenção.
- Operação em uma faixa ampla de tensão de entrada
- Boa regulação na tensão de saída
- Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico
- Baixa emissão de conteúdo audível
- Baixa emissão de interferência eletromagnética
- Tolerância aos sustos de partida de carga a serem alimentados
- Segurança tanto para as pessoas quanto para a instalação
- Grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação
- Garantia de fábrica de pelo menos 2 anos

### 2.5.3 Sistemas híbridos

São uma combinação do sistema fotovoltaico com outro sistema de geração de energia, como geradores eólicos ou a diesel. Possui benefício de continuar gerando energia mesmo na ausência do sol, mas apesar disso, é apontado como um sistema de alta complexidade, visto que necessita interligar diferentes fontes de geração de energia (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

De forma geral, esse tipo de sistema é empregado para sistemas de médio à grande porte visando atender um número maior de usuários. “O sistema híbrido também apresenta um inversor por trabalhar com cargas de corrente contínua e devido a grande complexidade de arranjos e opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular para cada caso” (BRAGA, 2008, p, 13).



## **2.6 Instalação do sistema fotovoltaico**

Os sistemas fotovoltaicos podem ser instalados de três formas diferentes: A) integradas, B) parcialmente integradas e C) não integradas.

- Sistemas não integrados são utilizados de maneira centralizada, como uma usina geradora convencional, normalmente a certa distância do ponto de consumo, sendo que seus módulos são montados no chão ( PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 89);
- Sistemas parcialmente integrados é instalado em parte construção, geralmente partes dos telhados;
- Sistemas integrados substituem todo o material, como por exemplo, todo o telhado é substituído por módulos fotovoltaicos, apresentando a vantagem de não necessitar de uma área extra, facilitando sua implantação em centros urbanos. ( PEREIRA & OLIVEIRA, 2011, p, 89).

## **2.7 Viabilidade econômica do investimento**

O Brasil é um dos países que atingiram o “grid parity”, ou seja, a paridade de rede, o que significa que em alguns casos a instalação de módulos solares em substituição a compra de eletricidade da rede convencional já é um investimento vantajoso (BLOOMBERG, 2012).

Durante os últimos 10 anos, alguns países desenvolvidos, como por exemplo a Alemanha, desenvolveram tarifas de incentivo para utilização de sistemas fotovoltaicos e de uso de outras fontes de energia renováveis. “Essa tarifa consiste na remuneração da energia produzida pelo sistema fotovoltaico, em um período de 20 anos, trazendo vantagens econômicas pela entrega de potência para a rede, sendo que a energia produzida pode ser utilizada para o próprio consumo ou pode ser vendida para o mercado de energia” (SHAYANI, 2006, p, 12).

Caso a energia produzida seja utilizada para o próprio consumo, o produtor receberá uma diminuição na sua conta de energia, mas se esta for utilizada para a venda, o sistema se torna uma fonte extra de renda. (SALAMONI & RUTHER, 2007).

## **2.8 Vantagens e Desvantagens da energia solar fotovoltaica**

São apontadas diversas vantagens ao uso do sistema fotovoltaico, pois trata-se de uma energia limpa que não gera nenhum tipo de poluição. A vida útil dos módulos é superior a 25

anos e não possui peças móveis, portanto requer o mínimo de manutenção, somente limpeza dos painéis. A instalação é simples, não há consumo algum de combustível, é resistente a condições climáticas externas (granizo, vento, temperaturas e umidade), não causa impacto ambiental, permite aumentar a potência instalada através de incorporação de módulos adicionais, gera energia mesmo em dias nublados (NARUTO, 2017).

Além das vantagens já apresentada, também o fato da energia produzida pela a usina, podem ser usado em local diferente, desde que possui o mesmo CNPJ ou mesmo CPF. Isso faz com que uma rede de supermercado ou padaria podem produzir energia em único local e utilizar em todas a rede.

Firmino & Souza (2015) enfatizam que além de redução de perdas por transmissão e distribuição de energia, já que a eletricidade é consumida onde é produzida, ocorre também a redução de investimentos em linhas de transmissão e distribuição e fornece maior quantidade de eletricidade nos momentos de maior demanda (exemplo: uso de ar condicionado é maior ao meio dia, e a produção de energia também é maior neste momento), não exige uma área física dedicada.

As desvantagens é que as células fotovoltaicas necessitam de tecnologia sofisticadas para a sua fabricação, o custo do investimento ainda é elevado e o rendimento real de conversão de um módulo é reduzido, face ao custo de investimento (NARUTO, 2017).

O custo de rendimento é atrelado ao índice de radiação, temperatura, quantidade de nuvens, dentre outros e um painel solar consome uma quantidade enorme de energia para ser fabricado, sendo que a energia para a fabricação de um painel solar pode ser maior do que a energia gerado por ele (SHAYANI, 2006).

Além disso "as formas de armazenamento da energia solar são pouco eficientes quando comparadas, por exemplo, aos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) a energia hidrelétrica (água) e a biomassa (bagaço da cana ou bagaço da laranja)" (TORRES, 2012, p, 12).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Cenário**

O local escolhido para a realização deste estudo foi o Supermercado Franco Ltda, localizados em Elói Mendes, Minas Gerais, cidade com aproximadamente 28 mil habitantes

(IBGE, 2018) e um PIB per capita de aproximadamente 21 mil reais (IBGE, 2016), cidade com as seguintes coordenadas; latitude 21°30'34.67"S, longitude 45°34'12.44", elevação 880m.

A sua principal e única distribuidora de energia elétrica é a Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG. A radiação solar média ao longo do ano em Elói Mendes é de 375,6 Wh/m<sup>2</sup>, dados apresentado pela CRESEB - Centro Referência para Energia Solar e Eólica ([www.creseb.cepel.br](http://www.creseb.cepel.br)).

O prédio onde o Supermercado Franco está instalado, possui característica necessária para a implantação da usina fotovoltaico. Pois a parte superior do imóvel possui um telhado de aproximadamente de 160m<sup>2</sup> e não possui obstáculos para a incidência da radiação solar. Após analisar o panorama nacional, necessidade de gerar economia e a estrutura física do local, o proprietário do supermercado decidiu contratar a empresa ENERGIZAR ( Engenharia de construções elétricas Ltda) para projetar e realizar os trabalhos.

### **3.2 Planejamento de instalação e Cálculos dos módulos**

Para definir o dimensionamento da potência nominal (em kWp) do gerador fotovoltaico, de acordo com Almonacid (2004) pode-se utilizar três formas:

- A) Geração máxima de energia fotovoltaica.
- B) Geração de energia equivalente ao espaço para a instalação, ao qual o gerador será conectado.
- C) Geração de energia fotovoltaica para um determinado consumo.

No estudo de caso, para realização do sistema e a definição da potência nominal foi em função da área física disponível para a instalação dos módulos.

O módulo definido para a montagem do sistema foi o de Marca Kript, monocristalino, potência 360 Wp e área de ocupação por painel 1,94 m<sup>2</sup>. Esse tipo material apresenta elevada eficiência, baixo custo e classificação “A” pelo INMETRO. São resistentes à corrosão causadas pela chuva, poluição atmosférica, além de suportar variações bruscas de temperatura e granizo.

O espaço disponível do telhado para instalação da usina foi de 160 m<sup>2</sup>. Por isso foi estabelecido 82 módulos de 1.94 m<sup>2</sup>, totalizando uma área de 159,08 m<sup>2</sup>. A escolha por esse modelo de módulos foi em razão econômica e do consumo de energia consumido pelo Supermercado Franco. Os 82 módulos de 360 Wp, estima produzir juntos 29,52 kWp.

### 3.3 Instalação e infraestrutura

Os materiais de infraestrutura e elétrico foram empregados de modo que o resultado final tenha perfeito acabamento visual e técnico. Os módulos foram conectados em 4 arranjos, ligados em paralelos, sendo dois arranjos com 21 módulos cada e dois com 20 módulos cada, ligados em série.

Os arranjos em paralelos foram ligados da seguintes maneiras: polo positivo de um módulo com o polo positivo do outro e a saída foi feito tomando o polo positivo e pólo negativo do último módulo do conjunto em paralelo. Nesse tipo de associação modular, a corrente final do conjunto é igual a soma das correntes de cada módulos.

$$I_{total} = I_a + I_b + I_n \quad V_{total} = V_a + V_b + V_n$$

A potência do sistema fotovoltaica foi determinado pelo arranjo dos módulos conectados em paralelo, ou seja, quanto maior o número de arranjo em paralelo, maior será a potência do sistema.

### 3.4 Estrutura de suporte

O material definido para colocação dos painéis, foi o alumínio, pois, como a instalação ficaria em local de difícil acesso e exposto diretamente às condições meteorológicas, por isso necessitou de um material que não sofresse danos com a ação da chuva e do sol. Assim toda a estruturas longitudinal foi em perfis de alumínio de 1 ¼” x 1 ½” x 1/8” e fixados em suporte tipo “L” de 5”x 4”.

### 3.5 Especificação dos inversores

Como a instalação tem 82 módulos de potência de 360 Wp e a potência nominal instalada de 29,52 kWp, foram instalados dois inversores de 15,00 kWp cada, da marca Solax, modelo Symo BR, com tensão de entrada máxima de 550 VCC, corrente de entrada máxima de 13 A/CC, duas ligações, corrente de saída 7,8 A/CA e fator de potência nominal de 0,99.

O inversor possui uma eficiência máxima de 97,8 %, com isolamento galvânico, adequado para módulos de todas as tecnologias, com componentes de alta qualidade, design robusto, proteção nível IP65, que permite instalação externa e design térmico inteligente.

A instalação dos inversores foi em estrutura de ferro, possibilitando que o sistema com corrente contínua (cc) fique reduzido ao próprio sistema fotovoltaico, diminuindo os riscos de acidente com esse tipo de corrente elétrica, que são mais difíceis de serem controlado.

### **3.6 Escolha dos condutores**

Os condutores utilizado para a ligação em série dos módulos, em corrente contínua e ligação em paralelos dos arranjos, foram do tipo cabo flexível PP ( Policloreto de polivinila) 2 x 6mm e classe de tensão de 600 V. Esses cabos foram fixados nos próprios módulos e nos perfis do sistema de sustentação por meio de abraçadeira PVC.

A ligação de saída dos inversores, em corrente alternadas e os condutores foram do tipo cabo flexível PP ( Policloreto de polivinila) tripolar ( fase, neutro e terra) e classe de tensão 600 V, com seção nominal 6.0mm. Os inversores de 15 A e a distância módulos é aproximadamente de 10 metros, os cabos escolhidos não proporcionam queda de tensão superior a 1%.

### **3.7 Custo da Instalação**

Para a instalação da usina fotovoltaica no Supermercado Franco, ou seja a instalação de:

- 1) 82 Módulo Solar Fotovoltaica 32 Wp - KRIPT
- 2) 02 Inversores Solax 15,00 kWp
- 3) 02 String Box ( BS-2/1 CC 32A)
- 4) 160 mt de Cabo Flex Preto e Vermelho 6mm<sup>2</sup>
- 5) 82 Estrutura Fixação P/ Telha
- 6) 10 conjunto de conector macho e fêmea mc4

O Valor investimento foi de R\$ 163.428,00 ( cento, sessenta, três mil, quatrocentos, vinte e oito reais) a vista ou financiado em 57 parcelas de R\$ 3.154.87( Três mil, centos, cinquenta, quatro reais e oitenta e sete centavos), total pagamento parcelado R\$ 179.827,59.

### **3.8 Análise dos dados após a instalação do sistema fotovoltaico**

Após a instalação da usina fotovoltaica, a análise de consumo de energia elétrica do Supermercado Franco Ltda, em kWh, será realizado mensalmente, por alguns tempo, assim como a quantidade de energia gerados pelo sistema.

Logo, com os dados coletados, podemos calcular qual será a energia estimada que o sistema produz mês a mês e a energia passível de ser produzido em ano a ano e o tempo de retorno do investimento. Para cálculos da energia gerada, utiliza a equação:

$$Eg = P \times HSP \times Ncc/ca$$

$Eg$  = energia gerada pelo gerador fotovoltaica em kWh

$P$  = potência nominal do gerador fotovoltaica em kWh

$HSP$  = irradiação média diária, intensidade total diária incidente sobre a superfície gerado em kWh/m<sup>2</sup>.

$Ncc/ca$  = rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada. 80 %

## 4 RESULTADOS

A partir do número de módulos e a potência nominal de cada módulo, em  $Wp$ , foi calculado a potência nominal total ( $Wp$ ) estimada, da usina fotovoltaica, instalada no Supermercado.

$$Pt = Pp \times N \quad Pt = \text{Potência nominal total estimada da instalação em } Wp$$

$$Pt = 360 \times 82 \quad Pp = \text{Potência nominal estimada de cada painel escolhido em } Wp$$

$$Pt = 29.520,00 \text{ } Wp \quad N = \text{número de módulos necessários}$$

$$Pt = 29,52 \text{ kWp}$$

### 4.1 Cálculo médio estimado da energia gerado pelos painéis

A irradiação solar é determinado pela quantidade de radiação solar, dado pela unidade de área. Elói Mendes localizada na latitude 21°30'34.67", longitude 45°34'12.44", elevação 880m, através dos dados apresentados pelo site [www.creseb.cepel.br](http://www.creseb.cepel.br) podemos estimar a radiação diária média (  $wH/m^2.dia$ ), de acordo com a tabela II.

Logo, com os dados apresentados na tabela I, podemos calcular qual será a energia estimada que o sistema poderá produzir mês a mês e a energia passível de ser produzido em ano a ano utilizando equação:

$$Eg = Pt \times HSP \times Ncc/ca$$

$$Ex \text{ para mês janeiro: } Eg = 29.52 \times 3.94 \times 0.8 = 93.047 \times 31 \text{ dias} = 2.884,46 \text{ kWh}$$

Eg = energia gerada pelo gerador fotovoltaica em kWh

Pt = potência nominal total do gerador fotovoltaica em kWh

HSP= irradiação média diária,intensidade total diária incidente sobre a superfície gerado em kWh/m<sup>2</sup>.

Ncc/ca = rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada. 80 %

Tabela I

Dias	Irradiação média Diária	Mês	Irradiação Média Mensal	Energia Média Gerada (kWh)	Dados do Gerador	
31	3,94	janeiro	122,14	2.884,46	P. módulos (Wp)	360
28	5,28	fevereiro	148,12	3.498,00	Total de módulos	82
31	4,11	março	127,41	3.008,91	Área gerador m <sup>2</sup>	158,26
30	4,73	abril	141,90	3.351,11.	Pot. Gerador(kwp)	29,52
31	4,40	maio	136,40	3.221,22	Total de inversores	2
30	4,67	junho	140,10	3.308,60	P inversores(kW)	15,00
31	4,91	julho	152,21	3.594,59	String/inversor	2
31	5,01	agosto	155,31	3.667,80	Total de String	4
30	4,93	setembro	147,90	3.492,81	Módulos/string	20
31	4,32	outubro	133,02	3.162,65		
30	4,44	novembro	133,20	3.145,65		
31	3,94	dezembro	122,14	2.884,46		
Total	4,56		1.660,75	39.220,27	Energia média gerada mensal (kWh)	
					<b>3.268,36</b>	

Fonte:autor

## 4.2 Análise Estimada anual de Economia de Energia

Uma tecnologia moderna, requer um alto custo de investimento. Torna-se necessário se fazer uma análise econômica do sistema que propicia a geração de energia.

Analisando as últimas faturas geradas pela distribuidora local, CEMIG, constatou que o custo de cada Kwh de energia consumida, incluindo todos os encargos que incide sobre o produto, ICMS (imposto sobre circulação de mercadoria), PIS/COFINS (Programa de integração social/ contribuição para o financiamento de seguridade social) e ECE ( encargos sobre comercialização de energia), foi no valor R\$ 0.82 kwh ( oitenta e dois centavos).

A produção estimada de energia gerada, relatado na tabela II e o investimento inicial, foi possível calcular o período estimado de retorno simples (PRS), que nos fornece o prazo necessário para recuperar o investimento.

$PRS(\text{período retorno simples}) = \text{Custo investimento inicial R\$} / \text{economia por ano}$

$PRS = 179.827,59 / 32.160,62 = 5.59 \text{ anos ( tempo estimado de retorno do investimento)}$

Tabela II

Mês	Energia média gerada mensal ( kWh) Estimada- Calculado Tabela II	Custo kWh R\$	Total R\$
Janeiro	<b>2.884,46</b>	R\$ 0.82	2.365,26
Fevereiro	<b>3.498,00</b>	R\$ 0.82	2.868,36
Março	<b>3.008,91</b>	R\$ 0.82	2.467,30
Abril	<b>3.351,11</b>	R\$ 0.82	2.747,91
Maio	<b>3.221,22</b>	R\$ 0.82	2.641,40
Junho	<b>3.306,60</b>	R\$ 0.82	2.711,41
Julho	<b>3.694,59</b>	R\$ 0.82	3.029,56
Agosto	<b>3.667,80</b>	R\$ 0.82	3.007,59
Setembro	<b>3.492,81</b>	R\$ 0.82	2.864,10



Outubro	<b>3.162,65</b>	R\$ 0.82	2.593,37
Novembro	<b>3.145,65</b>	R\$ 0.82	2.579,43
Dezembro	<b>2.884,46</b>	R\$ 0.82	2.365,25
<b>TOTAL</b>	<b>39.220,27</b>		<b>R\$32.160,62</b>

Fonte: autor

### 4.3 Resultado real do sistema instalado

O sistema fotovoltaico, descrito no artigo, começou a operar em 01 de abril de 2019. A partir desse período foram coletados mensalmente, por meio da leitura do medidor trifásico analógico, a produção real da energia fornecida pela usina fotovoltaica instalada.

Com esses dados, foi possível calcular a real produtividade mensal da energia elétrica produzida pela potência instalada e fazer a comparação com os valores estimado. Tabela III.

Tabela III

	Energia média gerada mensal – kWh <b>-Estimada</b>	Energia média gerada mensal – kWh <b>Real</b>	Diferença kWh	Diferença %
Abril	3.351,11	1.946,21	1.404,90	42
Mai	3.221,12	1.984,12	1.237,00	38
Junho	3.306,60	1.812,14	1.494,46	45
Julho	3.694,54	2.017,20	1.677,34	45
Agosto	3.667,80	1.992,12	1.675,68	45
Setembro	3.492,81	2.456,19	1.036,62	29
Total prod 6 mês		<b>12.207,98</b>	Média %6 mês	<b>40,66</b>

Fonte: Autor

Na estimativa inicial, foi calculada a produção de energia elétrica que um sistema de 29,52 kWh poderia produzir. Na realidade houve uma distorção média de 40,66 % no valor real produzido.

A produção real de energia gerada, relatado na tabela VI e o investimento inicial, foi possível calcular o período real de retorno simples (PRS), que nos fornece o prazo necessário para recuperar o investimento.

PRS (período retorno simples)= Custo investimento inicial R\$ / economia por ano

PRS (período retorno simples)=  $179.827,59 / (12.207,98 \times 0,82 \times 2) = 8,98$  anos

Segundo a Empresa Energizar- Engenharia de Construção Elétricas Ltda, as possíveis causas da diferença entre o valor estimado e o valor realmente produzido de energia elétrica podem ser:

- A potência nominal dos módulos informado pelo fabricante pode não corresponder ao seu valor real.
- A irradiação estimado pode não corresponder aos valores atuais obtidos na cidade de Elói Mendes.
- As perdas devido ao aquecimento dos módulos podem ser superior ao valor considerado na estimativa.
- O rendimento dos inversores pode ser inferior ao estimado cálculo de estimativa.

A discrepância entre a potência informada pelo fabricante e o real valor dessa potência quando medido, é uma problema recorrente, causando diferença nos cálculos dos índices de méritos, Oliveira (2002).

O resultado visual da usina instalada foi satisfatório, sem comprometer o telhado e a segurança de uma maneira geral. A foto 4 e 5 comprova o resultado visual.

Foto 4: Painéis modulares.



Fonte: autor

Foto 5: Inversores



Fonte: Autor

## 5 CONCLUSÃO

No momento em que o mundo se encontra em meio a uma crise ambiental, a implementação de fontes alternativas de energia se torna cada vez mais necessário.

Os resultados obtidos mostra que o sistema fotovoltaico é competitivo com a tecnologia que predomina no mercado para energização. Porém é preciso que faça um estudo mais detalhado sobre o projeto e a estimativa de produção.

O estudo demonstrou a viabilidade técnica e a facilidade da instalação do sistema fotovoltaico conectado à rede distribuição de baixa tensão, no qual ficou claro que não existem dificuldades técnicas para a consolidação dessa forma limpa de produção de energia elétrica.

Mesmo havendo uma discrepância de 40.66% entre o valor estimado de produção, com o valor real produzido, resultando em um tempo maior de 3 anos e 4 meses para obter o retorno do investimento, ainda é viável economicamente a implantação da energia fotovoltaica em supermercado de porte médio.

### **IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY: analysis of economic viability in medium-sized supermarket**

#### **ABSTRACT**

Photovoltaic solar energy is one of the most widely accepted technologies for power generation as it is a clean, sustainable and low cost long term energy source. Knowledge of the structure of the photovoltaic power generation system is required to control and determine the quality of the process and to ensure low cost power generation. This study aimed to analyze the

potential, efficiency and economic viability of the use of photovoltaic solar energy as a substitute for electric energy in a medium-sized supermarket and bakery, as well as to address technical issues and an overview of this technology. After a study the photovoltaic plant was installed in the Franco Supermarket and a monthly analysis of the energy produced by the new system was performed. With the collected data it was possible to calculate the real time of return of the investment, of 8.98 years and to make the comparison with the estimated time in project.

Keyword: Photovoltaic solar energy, economic viability.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL.** Resolução Nº 482, de 17 de abril de 2012. Biblioteca virtual. Disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em: 18 de abril de 2019.

**ALVES, J.** Estudos fotofísicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nano partículas de CdSe. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011.

**BRAGA, R. P.** Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica, Novembro, 2008

**BLOOMBERG.** Solar Silicon Price Drop Brings Renewable Power Closer. Março, 2012. Disponível em: <http://go.bloomberg.com/multimedia/solar-silicon-price-drop-brings-renewable-power-closer/>. Acessado em: 18/04/2019.

**CARSTENS, D. D. S.; CUNHA, S. K.** Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. Energy Policy. 125, 396-404, 2019.

**CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS.** Alternativas Energéticas: uma visão Cemig. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

**CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA.** As energias solar e eólica no Brasil. 2013. Disponível em: . Acesso em: 03 de out. 2015. Congresso Internacional de Energia Renovável – CIER. Energia solar fotovoltaica, estágio atual e perspectivas. Recife, 2003.

**COMETTA, Emilio.** Energia Solar: utilização e empregos práticos. Tradução: Norberto de Paula Lima. São Paulo: Hemus Livraria Editora Limitada, 1978.

**COPETTI, J.; MACAGNAN, M.** Baterias em sistemas solares fotovoltaicos. Abens –Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, 11, abr. 2007.

**CRESESB.** Energia Solar: princípios e aplicações. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: Acesso em 12 Abr. 2019.

**DAZCAL, R.; MELLO, A.** Estudo da Implementação de um Sistema de Energia Solar Fotovoltaica em um edifício da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Abenge –Associação Brasileira de Educação de Engenharia. Fortaleza, 2008.

**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE.** Anuário interativo. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt>. Acesso em 13/04/2019.

**FERREIRA, D. F. SISVAR:** um programa para análises e ensino de estatística. Revista Científica Symposium, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

**FILGUEIRAS, R.; NASCIMENTO, C. R.; SALES, G. B.; MIRANDA, J. R.** Estimativa do saldo de radiação na cidade de Montes Claros/MG através de imagens do LANDSAT-5/TM. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013.

**FIRMINO, M; SOUZA, A.** Projeto FEUP. Faculdade de engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2015.GEI, Global Electricity Initiative. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/>. Acesso em 14/04/2019.GORE, A. Nossa escolha: um plano para solucionar a crise climática. Ourchoice: a planto solve theclimatecrisis. Barueri, SP: Manole, 2010.

**IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS.** Censo Demográfico. 2016. Disponível em: < <http://cod.ibge.gov.br/1OM>>. Acesso em: 13 abril. 2019

**IMHOFF, J.** Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

**Instituto Nacional de Pesquisas Meteorológicas, INMET,** 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 03.05.2019.

**JANUZZI, G. M.** Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação. Internationalenergyinitiative. Campinas, SP, 2009.

**KONZEN, G.** Difusão de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no Brasil: uma simulação via modelo de Bass. Tese de dissertação de mestrado. PPGE- USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

**MESSENGER, R.; VENTRE, J.** Photovoltaic Systems Engineering. Boca Raton: CRC Press, 2010

**MIRANDA, F.** Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão. Revista virtual de química. Niterói, RJ, vol. 7, n. 1, p. 126-143, 14, out. 2015.

**NARUTO, D. T.** Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da UFRJ. Rio de Janeiro, 2017.

**NASCIMENTO, C.** Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2014

**PANG, Y.; HE, Y.; CAI, H.** Business model of distributed photovoltaic energy integrating investment and consulting services in China. Journal of Cleaner Production. 218, 943-965, 2019.

**PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M.** Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica. Porto: Publindústria, 2011.

**PEREIRA, E. B; MARTINS, F.R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R.** Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE, 2006.

**PINHO, J.; GALDINO, M.** Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

**RUTHER, R.** Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. LABSOLAR. Florianópolis, 114p, 2004.

**SALAMONI, I.; RÜTHER, R.** Potencial Brasileiro da Geração Solar FV conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007.

SEGUNDO, A. K. R.; RODRIGUES, C. L. C. Eletrônica de potência e acionamentos elétricos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. Ouro Preto, 2015.

**SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M.** Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados, Palmas, ano 1,

### **AGRADECIMENTO**

Registro meus agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para realização destes estudos:

- A professora Laisa Cristina de Carvalho, pelas orientações, dedicação, sempre disponível, segura e amiga.
- A professora Ana Amélia, pelos momentos de aprendizagem e crescimento na organização.
- Ao Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS/MG e aos professores pela oportunidade concedida e para realização deste estudo.