

COMPARAÇÃO ENTRE ENERGIA SOLAR TÉRMICA E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: Estudo de caso em uma residência na cidade de São Lourenço-MG

João Pedro Claudino Furquim^{1*}
Geisla Aparecida Maia Gomes^{**}

RESUMO

Este trabalho analisa a viabilidade técnica e econômica para implementação do sistema térmico e fotovoltaico em uma residência. Tal abordagem é devida ao fato de aumento da degradação ambiental, fazendo assim que seja necessário buscar fontes capazes de prover a necessidade humana. Devido ao potencial solar do Brasil, sistemas de energia solar se apresentam como alternativa. O propósito deste estudo é verificar, para a residência em estudo, qual sistema é melhor: o solar térmico ou fotovoltaico. Este propósito será conseguido mediante revisão bibliográfica, pesquisa aplicada através do estudo de caso realizado em uma residência na cidade de São Lourenço-Minas Gerais. O estudo evidenciou, após os resultados obtidos, que entre os dois sistemas, verificando as características de cada um e suas principais vantagens, o sistema fotovoltaico é o melhor para se adquirir.

Palavras-chave: Energia Solar. Sistema Térmico. Sistema Fotovoltaico.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho teve como seu objetivo principal a comparação entre energia solar térmica e energia solar fotovoltaica para uma edificação residencial. Tal abordagem se fez necessária, pois atualmente a sociedade é dependente de energia elétrica e, no Brasil, de acordo com a ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica (2020), ainda 60% da energia advém das hidrelétricas, que utilizam dos recursos naturais para geração de energia.

^{1*} Graduando do curso de Engenharia Civil da UNIS- Centro Universitário do Sul de Minas.

[E-mail: joao.furquim@aluno.unis.edu.br](mailto:joao.furquim@aluno.unis.edu.br)

^{**}Prof. Esp. Geisla Aparecida Maia Gomes. Engenheira Civil, Mestranda em Estatística Aplicada. Docente no centro universitário do Sul de Minas.

É indispensável a busca por outros tipos de energia, o que já vem sendo realizada. De acordo com Arlindo Philippi Jr (2016), a energia tem participação significativa como grande causadoras dos impactos ambientais, como poluição do ar urbano, efeito estufa, degradação, desmatamento, alagamento de áreas, entre outros.

A energia solar apresenta-se como uma excelente opção, principalmente no Brasil, sendo capaz de suprir as necessidades energéticas da população atual, sem deteriorar os recursos para as gerações futuras e o meio ambiente.

A energia solar é aquela oriunda da luz e do calor do sol. Nesse sentido, os três tipos de sistemas para captação e conversão da energia advindas do sol se dividem em sistema solar térmico, sistema solar fotovoltaico e sistema heliotérmico ou concentrado, sendo que, o último sistema não pode ser utilizado em residência devido a sua complexidade e alto custo.

Para contribuir para o uso de novas fontes de energias, o propósito deste estudo foi a comparação da viabilidade técnica e econômica do sistema de energia solar e sistema de energia fotovoltaico em residências. O sistema solar térmico vem na qualidade de aquecedor térmico, e o fotovoltaico como gerador de eletricidade.

Através da revisão bibliográfica e do estudo de caso foi possível realizar uma análise das características dos sistema térmico e sistema fotovoltaico, divisão dos sistemas fotovoltaicos, uma pesquisa bibliográfica com base em livros, revistas eletrônicas e artigos científicos, para coleta de dados necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Entretanto, é importante salientar que a pesquisa é predominante aplicada. Foi desenvolvido um estudo de caso em uma edificação residencial na cidade de São Lourenço-MG. Em relação a abordagem, a pesquisa se qualifica como quantitativa e qualificativa.

2 ENERGIA SOLAR

A elevada utilização de energia elétrica, principalmente pela dependência das tecnologias e de seu custo, faz com que os consumidores recorram a soluções viáveis economicamente e que também diminuam os impactos sociais e ambientais.

Nadimi et al (2018) determinam que o crescimento econômico está relacionado com o acesso e a utilização de energia elétrica, o que vai colaborar com questões como redução da pobreza, o crescimento populacional e o grau de urbanização.

Em um mundo onde cada vez mais a ideia de sustentabilidade vem ganhando espaço, é importante buscar também energias renováveis. A energia eólica destaca-se como fontes renováveis. O que acontece, no entanto, é que a geração eólica nem sempre é possível devido à disponibilidade do vento e ao custo do sistema. Já a energia solar é uma boa alternativa por ser abundante e renovável, para sua obtenção não é necessário retirar recursos da natureza, além do fato de não ser poluente.

A energia solar traz vários benefícios ao longo do tempo, inclusive possibilitando o desenvolvimento de regiões mais isoladas onde o custo de energia pela rede convencional é alto. Diminui, ainda, a dependência do petróleo e gera a redução de emissão de gases poluentes na atmosfera.

O Brasil é um país com imenso potencial para geração de energia através do sol. O Atlas brasileiro de energia solar (2017) explana que por dia, a média de radiação solar é de 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² no país, valores considerados altos. Ainda assim, a energia solar é pouco explorada.

Porém, apesar de ainda estar longe do ideal, o Brasil vem crescendo no desenvolvimento da utilização dos sistemas solares. Conforme pesquisa realizada pelo IPEA-Instituto de Economia Aplicado (2019), houve um avanço intenso no número de estabelecimentos residenciais, comerciais e industriais que passaram a produzir e consumir uma das fontes de energia renovável mais prósperas do país. Entre 2016 e 2018, a capacidade instalada no Brasil elevou de 0,1% para 1,4% de toda a matriz energética nacional.

Os dois sistemas viáveis para obtenção de energia solar em residências é a energia solar térmica e energia solar fotovoltaica. Há ainda uma possibilidade de se utilizar um sistema híbrido.

2.1 Sistema solar térmico

A energia solar térmica é um sistema mais simples e inicialmente mais barato, é um sistema que necessita de instalação hidráulica. Junior (2018) discorre que o sistema térmico

visa aquecer água, podendo ainda ser utilizada em secagem de produtos como grãos, ou até mesmo em fluidos industriais, sendo mais usado no aquecimento térmico de água.

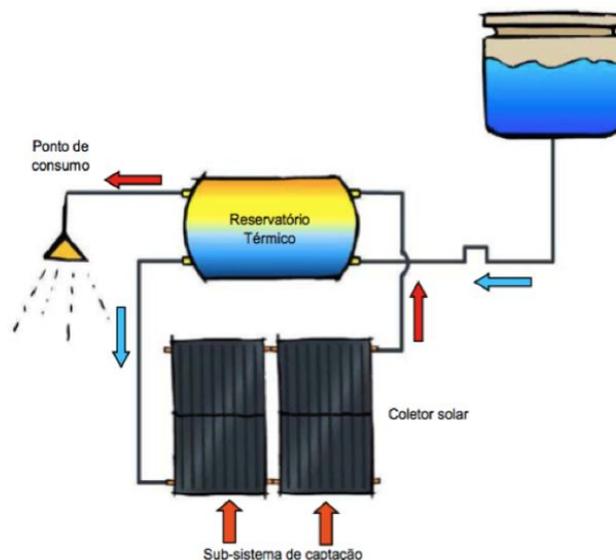
Santos (2017), ressalta que o sistema solar térmico para aquecimento de água é basicamente formado pelos coletores solares (placas) e o reservatório térmico (conhecido por Boiler). No sistema térmico os coletores planos são os mais utilizados se tratando de residências.

O funcionamento do sistema térmico se dá quando a água sai do reservatório e vai para os coletores, os coletores absorvem o calor do sol para esquentar a água, que depois de aquecidas voltam para os reservatórios. Os reservatórios não deixam a água esfriar e dali seguem direto para os equipamentos que vão utilizar do sistema. Uma caixa de água abastece o reservatório para que ele nunca fique vazio.

De acordo com a Santos (2017), nos sistemas convencionais, a circulação da água entre os coletores e reservatório ocorre de maneira natural, chamado termosifão. Nesse sistema, a água dos coletores fica mais quente, sendo que é menos densa, fazendo assim que a água fria impulse a água quente gerando a circulação. Porém, se tratando de um sistema que demanda um grande volume de água, existe a possibilidade da circulação ser feita através de motobombas, denominado como circulação forçada ou bombeado.

A figura abaixo demonstra o funcionamento do sistema:

Figura 01- Funcionamento do aquecedor solar



Fonte: WGSOL, 2015

Para Pinho (2014), o interessante neste sistema é a quantidade de energia, na forma de calor, que um determinado corpo é capaz de absorver, a partir da radiação solar nele incidente. Não basta somente saber captá-la, mas também como armazená-la.

O uso mais frequente desse sistema ocorre em residências. Se a residência não foi construída para receber um sistema de aquecimento solar, serão necessárias algumas alterações. Geralmente os imóveis que não realizam planejamento para receber um sistema solar térmico, para a instalação será necessária quebra de paredes e complemento de tubulações.

2.2 Sistema Solar Fotovoltaico

Em 1839, conforme explica Zilles (2012), foi observado pela primeira vez por Becquerel o efeito fotovoltaico que gera eletricidade a partir da luz do Sol.

A procura pelo sistema fotovoltaico vem aumentando, principalmente por suas características de captação e geração de energia, através dos módulos os painéis solares fotovoltaico. O sistema fotovoltaico consiste em converter em eletricidade a energia do sol que incide sobre células solares.

A Absolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) explica que o sistema solar fotovoltaico é a fonte renovável mais competitiva e democrática no Brasil, fazendo-se uma forte aliada no desenvolvimento sustentável e movimentação da economia. Neste ano, estão previstos no país investimentos privados de R\$19,7 bilhões na geração distribuída e centralizadas, e ainda, a geração de mais de 120 mil empregos no setor, acumulando desde 2012 o número de 250 mil empregos, afirma a Absolar.

Os módulos solares ou painéis, como são popularmente conhecidos, são os principais componentes do sistema fotovoltaico, conforme relata Pinho (2014), pois são fabricados como materiais semicondutores, que são fundamentais no sistema. Nesse sentido, o silício é o material que é utilizado na confecção das células fotovoltaicas, podendo ser monocristalinos (único cristal de silício) ou policristalinos (vários cristais de silício). Os painéis monocristalinos, por suas características, tem melhor eficiência porém são mais caros. Ainda segundo Pinho (2014), 85% das células presentes no mercado são de silício policristalino (p-Si).

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em:

- Sistemas isolados (Off Grid)
- Sistemas conectados à rede (On Grid)

Conforme explica Pinho (2014), a escolha de cada sistema dependerá da aplicação ou disponibilidade dos recursos energéticos. Por exemplo, não existindo rede elétrica próxima, o sistema a ser adotado será o isolado.

Pinho (2014) determina que um sistema fotovoltaico basicamente engloba as fases de levantamento correto do recurso solar, a definição da localização, levantamento do consumo, dimensionamento do gerador fotovoltaico. Importante acrescentar a obrigatoriedade da elaboração do projeto do sistema.

Outro situação a ser levada em consideração são as perdas dos sistemas fotovoltaicos. Entender as perdas que podem ser geradas é necessário para o correto funcionamento do sistema. De acordo com Silva (2018), podem ser considerados como as principais perdas fatores como orientação e inclinação dos módulos, sombreamento, acúmulo de sujeira, temperatura, mismatch e degradações.

Um dos fatores mais importantes é em relação a orientação e inclinação dos módulos. Ressalta-se que, assim como no sistema térmico, tendo em vista que o Brasil está situado no hemisfério sul, recomenda-se que as placas devem ser instaladas voltadas para o norte gerando economia em painéis e máxima eficiência. Caso não seja possível, e o dimensionamento ser feito para o sul, será necessário compensação com mais placas o que vai gerar um custo a mais.

2.2.1.1 Sistemas isolados (Off grid)

Os primeiros sistemas fotovoltaicos a surgirem foram do tipo isolado da rede elétrica. Resende (2019) traduz que a expressão off-grid significa fora da rede, ou desconectado da rede. Portanto, os sistemas isolados são aqueles que não possuem pontos conectados à rede elétrica. Geralmente são para uso local e específico, abastecendo os aparelhos que utilizarão a energia.

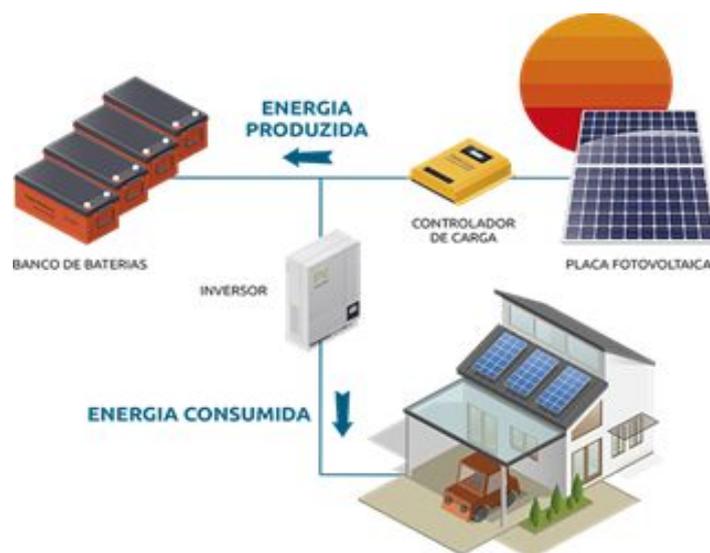
É um sistema comumente utilizado em áreas que não possuem rede elétrica, neste caso a energia produzida é armazenada em baterias que garantem o fornecimento nos períodos sem radiação solar.

Conforme explica Pinho (2014), os sistemas isolados podem ser individuais ou em minirredes. O primeiro é quando a geração é para uma única unidade consumidora. Já o sistema de minirredes a geração é compartilhada por unidades consumidoras que estão próximas umas das outras.

No sistema off grid, os painéis solares são geralmente instalados sobre o telhado e conectados uns aos outros e posteriormente conectados no seu Inversor Solar. O inversor solar converte a energia solar em elétrica, energia que irá ao consumo ou para o armazenamento que em geral são feitos pela bateria. Pinho (2014) determina que o sistema deve contar com armazenamento potente visto que precisa atender o consumo nas horas que não há geração.

É um sistema é composto por painéis solares; cabos; estrutura de suportes, inversores, controladores de carga e baterias. Podemos atestar na figura abaixo:

Figura 02- Funcionamento do sistema off grid



Fonte: BCM ENERGIA, 2017

No sistema off grid, assim como os demais sistemas, recomenda-se uma leve inclinação nas instalações das placas solares, para uma melhor captação dos raios solares pois a escolha incorreta da inclinação pode gerar um comprometimento na captação solar com o consequente comprometimento da produção de energia.

Conforme relata o Solar Prime (2019), o sistema off grid é mais caro do que o sistema on grid, justamente por não ser conectado à rede convencional, tornando-o um sistema mais

completo e sendo imprescindível alguns equipamentos específicos, por exemplo o uso de baterias.

Sendo assim, verifica-se que em áreas urbanas, normalmente o sistema adotado é o conectado à rede, tendo em vista a dispensa do uso de baterias e armazenadores que torna o sistema mais barato, além da possibilidade da conversão de crédito ao usuário, que será abordado abaixo.

2.2.1.2 Sistemas conectados a rede (On Grid)

Já os sistemas On Grid são aqueles conectados à rede elétrica. Pinho (2014) explana que esse sistema dispensa o uso de acumuladores, pois a energia que produzem são consumidas ou injetadas na rede elétrica. Os gerador representa uma fonte complementar ao sistema que está conectado, ou seja, trabalham em conjunto com a rede elétrica.

O Brasil em 2012 regulamentou a geração distribuída (microgeração e minigeração) através da resolução 482 da ANEEL, e apresentou a política de créditos de energia.

Os resolução nº 482 da ANEEL, alterada pela resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, determina que os créditos podem ser distribuídos para outras unidades consumidoras registradas para o mesmo CPF ou CNPJ que detém um sistema on-grid. Há ainda a possibilidade do crédito energético poder ser armazenado para se utilizar no futuro, não podendo ser revertido em dinheiro, mas sim utilizados para abater nos meses subsequentes, no prazo de até 60 meses.

O sistema solar on grid é constituído, basicamente, pelos módulos fotovoltaicos (as placas solares) e pelo inversor interativo, conhecido grid-tied, pelos componentes de integração do sistema, quadro de disjuntores, medidor e componentes elétricos de proteção.

Nos sistemas on grid, a instalação é bem semelhante com o off grid, se diferenciando na conexão com a rede elétrica. Cunha (2015) explica que se trata de uma instalação simples, que não necessita grandes adaptações na residência.

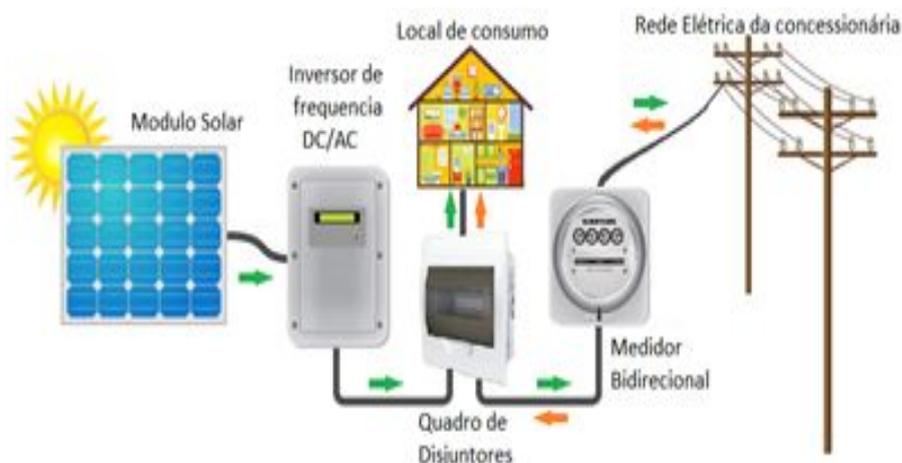
Para a instalação, primeiramente verifica-se qual a melhor posição para se colocar no telhado/cobertura, se recomenda a inclinação ao norte geográfico, conforme a latitude do local, pois caso não esteja bem direcionado será necessário obras e aumento de placas. Ainda, é importante levar em conta a estrutura do telhado, que deve comportar o peso das placas, em

imóveis mais antigos isso pode ser um problema. Logo em seguida, há instalação dos suportes e trilhos para receberem as placas solares. Instalados sobre os trilhos, os painéis serão conectados aos cabos e no inversor solar e na rede elétrica da residência ou comércio.

De acordo com Neto (2019), as placas solares captam a energia do sol. A partir daí os inversores recebem a energia das placas e transformam em energia elétrica de corrente alternada e é injetada no quadro de disjuntores da unidade consumidora, onde os aparelhos ligados à rede serão alimentados por completo. É necessário que tenha um projeto do sistema, o que em regra já é elaborado pela empresa que realiza a instalação. Ainda, na grande maioria, os sistemas contam com monitoramento da quantidade de energia gerada que pode ser feita através de aplicativo que pode ser gerido pelo telefone celular.

A figura abaixo demonstra o funcionamento do sistema, vejamos:

Figura 03- Funcionamento do sistema fotovoltaico on grid



Fonte: BCM ENERGIA, 2017

O medidor, componente do sistema, deve ser do tipo bidirecional, para poder verificar a energia elétrica de entrada e saída. A ANEEL determina que, após a aprovação do sistema on grid, a distribuidora deva instalar, gratuitamente, este medidor. É através do medidor bidirecional que é possível medir a quantidade de energia injetada e consumida, ou seja, é diferente dos medidores convencionais, que medem apenas a energia consumida por uma instalação.

O medidor permite que a companhia elétrica faça medição mensalmente e que na conta de luz cheguem dois valores em kWh: o valor da energia consumida e da energia injetada. Assim, o valor da energia injetada é utilizada como crédito energético, ou seja, toda energia produzida será utilizada no abatimento da energia consumida pelo imóvel. A prioridade é o consumo do imóvel, sendo que a energia produzida que não for utilizada no imóvel (no caso a sobra) será injetada e cedida por meio de empréstimo sem ônus à distribuidora local e posteriormente compensada como crédito, observadas as regras da ANEEL.

Em contrapartida, caso a energia produzida pelo sistema fotovoltaico não seja suficiente para a necessidade da residência, ou quando não estiver gerando energia, a distribuidora continua fornecendo energia elétrica, e por isso também a existência do custo de disponibilidade.

Dessa forma, a questão é que lamentavelmente o valor da conta de luz não chega a zero. Primeiramente devido à taxa mínima cobrada pela distribuidora, conhecido como custo de disponibilidade, onde entendem que a qualquer momento que o usuário precisar de energia ela estará disponível, cobrança essa feita de acordo com perfil de cada unidade consumidora. Além disso, ainda existe a taxa de iluminação pública.

2.3 Manutenção e Vida útil dos sistemas

A manutenção dos sistemas de energia solar é pequena e de custo baixo. Esses dados foram obtidos junto a algumas empresas do ramo como a Solarvolt e Kisoltec. De acordo com as empresas, a manutenção consiste nas limpezas das placas solares a cada ano, e também na inspeção dos componentes para verificar se encontram em perfeito estado.

A Solarvolt determina que a limpeza, principalmente nas placas solares, seja realizada de forma simples, e nos pequenos sistemas como os residenciais, pode inclusive ser feita pelo próprio usuário, ressaltando que a chuva já faz boa parte dessa limpeza.

Se tratando dos sistema térmico, a Kisoltec, empresa de aquecedores solares, diz em relação ao dimensionamento e a durabilidade do sistema solar térmico, devem ser verificados fatores como o tipo do aço inox do reservatório térmico, quais os materiais a serem utilizados na fabricação e a qualidade dos coletores. Há uma divergência quanto a questão durabilidade

do sistema, alguns técnicos relatam que pode durar 5 anos e outros até 30 anos. Porém, a média é de 20 anos de vida útil, desde que observando os fatores acima expostos.

Já o sistema fotovoltaico, de acordo com Portal Solar o sistema tem vida útil de 25 anos, podendo ter duração de até 35 anos. Se tratando dos equipamentos que compõem o sistema, painel solar tem duração em média de 25 anos, os inversor solar de 5 a 12 anos, já cabos e conectores especiais mínimo de 10 anos e a instalação do sistema de energia solar de 1 a 5 anos. Ressalta-se que as garantias variam de acordo com o fabricante.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho possui como essência um estudo de uma residência unifamiliar situada na cidade de São Lourenço-MG. Trata-se de um residência composta por 03 (três) quartos, cozinha, sala, 02 (dois) banheiros, garagem, quintal, porão e terraço, com área construída útil de 181,98m². A residência já encontra-se construída e habitada atualmente por 04 pessoas de família de classe média. O estudo realizado dimensionou para essa mesma residência dois sistemas: o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e sistema solar térmico por aquecedor solar.

Inicialmente ressalta-se que o objetivo é verificar o custo benefício de cada sistema para a residência em questão, apesar de ambos apresentarem características totalmente opostas. Com os orçamentos de ambos os sistemas, com os dados de economia de cada, com o tempo de retorno, vantagens e desvantagens foi possível determinar o melhor sistema a ser implantado na residência em questão. Ambos os orçamentos foram realizados junto às empresas do município de São Lourenço-MG.

De acordo com classificação da ANEEL, a residência em questão faz parte do grupo tarifário “B” por se tratar de unidade consumidoras de baixa tensão, sendo no último mês de levantamento bandeira verde, considerada para os cálculos. De acordo com a CEMIG, bandeira verde significa condições favoráveis de geração de energia, a tarifa não sofre nenhum acréscimo. O quadro abaixo demonstra o mês, consumo em kwh, e o valor pago pelo fornecimento de energia durante 12 (doze meses), e servirá para cálculos de dimensionamento dos sistemas:

Tabela 1: Consumo da residência e valor pago em R\$.

MÊS	CONSUMO EM KWH	VALOR DA ENERGIA PAGO EM R\$
março/2019	171	161,87
abril/2019	163	154,30
maio/2019	198	187,43
junho/2019	141	133,47
julho/2019	207	195,95
agosto/2019	239	226,24
setembro/2019	199	188,38
outubro/2019	169	159,98
novembro/2019	184	174,18
dezembro/2019	270	255,59
janeiro/2020	295	279,26
fevereiro/2020	268	253,70

Fonte: o autor

3.1 Dimensionamento do sistema térmico

Para o dimensionamento do sistema solar térmico foi levado em conta que o sistema deva abranger 02 chuveiros. O sistema não será utilizado para mais nenhum outro equipamento, como máquinas de lavar roupa, lava louças, banheiras, entre outros.

Com os dados da residência através da visita técnica, para verificação do custo, realizou-se uma busca local junto a fornecedores de valores para instalação do sistema térmico por aquecedor. Para dimensionar o sistema é imprescindível seja adequado com o consumo de água, sempre sendo o reservatório de maior capacidade que o consumo.

No sistema solar térmico, de acordo com os levantamentos realizados juntos a empresas especializadas, para determinar o custo benefício será levado em conta a durabilidade média de 20 anos mencionada pela empresa Kisoltec.

Para determinação do consumo mensal do chuveiro, a Norma de Distribuição 5.1 da CEMIG explica que o valor do consumo de energia mensal de cada aparelho é calculado

através da fórmula: *Consumo (kWh/mês) = Potência do aparelho em Watts x horas de funcionamento por mês/ 1.000*. Com isso, será possível obter o valor de economia mensal.

Com o custo total do sistema, permitiu-se para saber em quanto tempo levará para esse investimento ser quitado, através da divisão do *Investimento Inicial pela Economia Obtida*.

3.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Já para o sistema fotovoltaico vários fatores devem ser analisados. Inicialmente, é necessário realizar uma média anual do consumo de energia em KWh. Para isso basta somar todos os consumos e dividir por 12 (doze), número de meses do ano.

Seguindo, observar o tipo de serviço que a distribuidora oferece, podendo ser: monofásico, bifásico e trifásico e qual a tarifa mínima aplicada.

No presente caso, trata-se de residência de distribuição bifásica, a residência está no grupo B conforme classificação da CEMIG. Conforme art. 98. da resolução 414 da ANEEL, o custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, é o valor em moeda corrente equivalente a:

- I – 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores;
- II – 50 kWh, se bifásico a 3 (três) condutores; ou
- III – 100 kWh, se trifásico.

A partir desses dados teremos o quanto o painel deve ser direcionado para produzir por mês. Segundo Pinho (2014), importante destacar que o valor mínimo deve ser subtraído pois de qualquer forma o consumidor deve pagá-lo tendo em vista o custo de disponibilidade. Para determinar a potência direcionada, Ribeiro (2016) apresenta a seguinte fórmula:

$$Pd = E_{mc} - T_m$$

Onde:

E_{mc} = Energia média de consumo

T_m = tarifa mínima

P_d = potência direcionada (energia de compensação)

É necessário dividir a potência direcionada por 30 para achar o consumo diário por hora, conforme fórmula apresentada por Ribeiro (2016):

$$Cd = Pd/30$$

Onde:

Cd= consumo diário

Pd= potência direcionada (energia de compensação)

Com a definição do consumo diário, necessita-se encontrar a radiação média na cidade de São Lourenço-MG. Vejamos os dados obtidos na CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito):

Tabela 2- Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]- Plano Horizontal

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	5,39	5,77	4,93	4,59	3,91	3,65	3,87	4,74	5,01	5,41	5,33	5,68

Fonte : CRESESB, 2019.

Com os valores da radiação média e o valor do consumo diário, pode chegar a quanto de potência de energia terá que ser gerada. Para Pinho (2014) em sistemas de instalação residencial, bem ventilados e não sombreados a TD (taxa de desempenho) varia entre 70% a 80%.

No presente estudo utilizaremos TD igual 75% conforme determina Pinho (2014), pois utilizando 25% de perda, o sistema tende a garantir fatores que não estejam favoráveis como inclinação de telhado, posicionamento ideal dos painéis, entre outros. Se a instalação seguir os fatores ideais, a taxa de perda poderá ser menor.

Através da forma instituída por Pinho (2014) podemos achar a Pp, vejamos:

$$Pp = (Cd/ Td) /R$$

Onde:

Pp= Potência de pico do sistema fotovoltaico. É a potência máxima que um painel pode fornecer em condições ideais.

Cd= consumo diário

Td= Taxa de desempenho do sistema (recomendação pela maioria dos fabricante de 0,75)

R= radiação média da localidade

A Pp dimensionará quantas placas deverão ser utilizadas. Para isso, deve-se definir também o módulo Solar Fotovoltaico. Para a realização da pesquisa foi escolhido Fotovoltaico Canadian CSI CS6U-330P (330Wp) da marca Canadian Solar, tendo em vista sua alta grande eficiência e comprovada qualidade e durabilidade. Conclui-se que o número de painéis a serem utilizados são definidos pela equação determinada por Ribeiro (2016):

$$N_{\text{painéis}} = P_p / P_{\text{painel}} \text{ (potência do módulo escolhido)}$$

Outro fator importante é a determinação do inversor, aquele responsável por converter a energia de corrente contínua para corrente alternada. A escolha do inversor deve ser sempre superior a potência de pico do sistema fotovoltaico. Utilizaremos o rendimento do inversor de 95%.

Com base nesses dados é possível obter o orçamento do sistema fotovoltaico completo, incluindo cabos, mão de obra, equipamentos protetores, e todos os demais componentes.

Ainda através da multiplicação do número de dias do mês, da potência instalada, radiação solar do mês, e do rendimento do inversor, é possível obter a energia mensal produzida, a partir daí pode-se então chegar ao valor em reais economizado.

Com o custo total do sistema, permitiu-se para saber em quanto tempo levará para esse investimento ser quitado, através da divisão do *Investimento Inicial pela Economia Obtida*.

Para o presente estudo, adotaremos para os cálculos o mesmo prazo de vida útil do sistema solar térmico, para que possamos comparar os dados.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Custo do sistema térmico

Inicialmente, para realização do orçamento do sistema, foi realizada visita técnica na residência e obtidos os seguintes dados: residência pronta com área de 181,98m²; 4 pessoas

residentes na casa; tempo médio de banho: 10 minutos/ total de 5 banhos diários; não possui banheira de hidromassagem.

A partir desses dados, considerando que cada banho gasta em média 70 litros de água, para 05 banhos diários, o consumo em torno de 350 litros diários. Com base nisso, será necessário um reservatório de 400 litros.

Conforme orçamento junto a empresa, o sistema térmico para a residência em questão custaria R\$ 4.302,00, conforme tabela abaixo:

Tabela 3: Orçamento sistema térmico

Componentes do Sistema	Quantidade	Preço unitário	Total
Coletor Solar Soletrol	2 unidades	R\$ 581,00	R\$1.162,00
Reservatório Térmico Soletrol Inox 400 litros	1 unidade	R\$1.345,00	R\$1.345,00
Demais materiais necessários	-	R\$ 325,00	R\$ 325,00
Mão de obra	-	R\$ 1.470,00	R\$ 1.470,00

Fonte: o autor

Utilizando a Norma de Distribuição 5.1 da CEMIG, considerando que na residência possui chuveiro de 127V, de potência 4.400W e utilização de 50 minutos diário (25 horas mensais), o consumo mensal do chuveiro é de 110 KWh/mês para a residência em questão. Portanto, adotando a média de consumo de 208,66 KWh/mês, a economia na conta de energia será de aproximadamente de 52%.

Adotando a economia de 52% na conta de luz, no mesmo período (março de 2019 a janeiro de 2020) onde a residência gasta no total de consumo de energia o valor de R\$ 2.370,35 ele teria economia anual total de R\$ 1.137,76, ou seja, uma economia mensal seria de R\$ 94,81. Considerando a durabilidade de 20 anos, o valor total economizado será de R\$ 22.755,20, descontado o valor do investimento teremos uma economia de R\$18.453,20. Já o tempo que levará para esse investimento ser quitado, será de $R\$ 4.302,00 / R\$ 94,81 = 45,37$ meses ou seja, aproximadamente 3 anos e sete meses.

Outro fator a ser levado em consideração é que na residência em questão, como a instalação foi baseada apenas para os chuveiros e por já possuir tubulação de água quente não foi necessário quebrar paredes, lajes, etc.

Esse sistema apesar de possuir um custo de investimento mais barato, não há tantas utilidades como o fotovoltaico e é altamente dependente da radiação solar. Poderá existir dias que incidência solar não seja suficiente e será necessário utilizar a energia elétrica, o que vai diminuir a economia mensal. Ainda, através dos resultados pode se verificar que a economia mensal é baixa.

Além disso, é importante verificar a questão do desperdício de água pelo sistema solar térmico. De acordo com Santos (2017), o desperdício de água pode ser definido pela equação:

$$Vda = 0,6158 \cdot Ai$$

Onde:

Vda- Volume de Água

Ai= distância entre o boiler e a ducha (em metros)

O sistema solar térmico servirá para 02 chuveiros. Considerando a distância do Chuveiro 01 de 9 metros, temos $Vda = 0,6158 \times 9 \text{ m} = 5,54$ litros por banho. Já para o chuveiro 02, a distância entre o boiler e a ducha é de 4m, ou seja, $Vda = 0,6158 \times 4 \text{ m} = 2,46$ litros por banho.

Na residência estudada a utilização do chuveiro 01 no dia a dia é maior. Então, com base no chuveiro 01, podemos determinar que o desperdício por banho é de 5,54 litros. Sendo que, os integrantes da residência tomam em média 05 banhos diários, o desperdício será de 27,7 litros por dia, por mês de 831 litros e por ano de 9.972 litros de água. Ou seja, por um lado gera uma economia na conta de luz, de outro gera um aumento na conta de água, além do desperdício do recurso natural que é um problema socioambiental.

4.2 Custo do sistema térmico fotovoltaico

Inicialmente a média anual de consumo encontrada foi 208,66 KWh. Seguindo, o painel deve ser direcionado para produzir por mês, adotando se tratar de residência bifásica de 3 condutores onde a taxa mínima é de 50 KWh é igual 158,66 KWh mensal (208,66 KWh-

50KWh). Para achar o consumo diário dividiu-se 158,66 por 30 dias (média do número dia dos meses do ano), resultando num consumo diário de 5,28 KWh/dia.

De acordo com CRESESB, a média da radiação solar em São Lourenço-MG é de 4,86kWh/m²/dia. A partir disso, com o consumo diário e a radiação média é possível encontrar a potência gerada pelos painéis

$$P_p = (5,28/0.75)/4,86 = 1,45 \text{ Kwp}$$

Posto isso, é possível determinar o número de painéis que será necessário. O módulo escolhido foi de 330W. Ressalta que o 1kW é igual a 1000W, sendo necessário a conversão para o cálculo.

$$N \text{ painéis} = 1450/330 = 4,39.$$

Portanto, chegamos ao valor final de 4,39 painéis, ou seja, como o painel não há possibilidade de divisão, optamos por utilizar 5 painéis, que serão suficientes para a residência em questão. O número de painéis acima calculados já conta com a possível perda de geração de energia.

Como já mencionado, a escolha do inversor deve ser sempre superior a potência de pico do sistema fotovoltaico, ou seja, a potência pico é de 1,45 Kwp (1450W). Há no mercado inúmeros inversores. No presente caso, para a residência em questão será utilizado o inversor de string, que são os mais utilizados em redes domésticas.

Com o esses dados residência, obtivemos o orçamento total é de R\$13.515,00, conforme tabela abaixo:

Tabela 4: Orçamento sistema fotovoltaico

Componentes do Sistema	Quantidade	Preço unitário	Total
Painel Solar Fotovoltaico de 330Wp da Canadian	5 unidades	R\$ 589,00	R\$ 2.945,00
Inversor	1 unidade	R\$ 6.290,00	R\$ 6.290,00
Demais materiais necessários (incluso acesso remoto, trilhos de fixação, equipamentos de proteção, projeto e homologações, mão de obra)	-	R\$ 4.280,00	R\$ 4.280,00

Fonte: o autor

Assim, teremos:

Tabela 5: Resultados de economia

MÊS	ENERGIA MENSAL PRODUZIDA	ECONOMIA EM R\$
março/2019	$31 \times 1,45 \times 4,93 \times 0,95 = 210,52 \text{ kWh}$	199,29
abril/2019	$30 \times 1,45 \times 4,59 \times 0,95 = 189,68 \text{ kWh}$	179,56
maio/2019	$31 \times 1,45 \times 3,91 \times 0,95 = 166,96 \text{ kWh}$	158,05
junho/2019	$30 \times 1,45 \times 3,65 \times 0,95 = 150,83 \text{ kWh}$	142,78
julho/2019	$31 \times 1,45 \times 3,87 \times 0,95 = 165,25 \text{ kWh}$	156,43
agosto/2019	$31 \times 1,45 \times 4,74 \times 0,95 = 202,40 \text{ kWh}$	191,60
setembro/2019	$30 \times 1,45 \times 5,01 \times 0,95 = 207,03 \text{ kWh}$	195,98
outubro/2019	$31 \times 1,45 \times 5,41 \times 0,95 = 231,02 \text{ kWh}$	218,69
novembro/2019	$30 \times 1,45 \times 5,33 \times 0,95 = 220,26 \text{ kWh}$	208,50
dezembro/2019	$31 \times 1,45 \times 5,68 \times 0,95 = 242,55 \text{ kWh}$	229,61
janeiro/2020	$31 \times 1,45 \times 5,39 \times 0,95 = 230,16 \text{ kWh}$	217,88
Fevereiro/2020	$29 \times 1,45 \times 5,77 \times 0,95 = 230,49 \text{ kWh}$	218,19

Fonte: o autor

Com os cálculos realizados na tabela acima conclui-se que a geração anual de energia será de 2.190KWh/ano e se o sistema for instalado a economia anual será de aproximadamente R\$ 2.313,56, valores obtidos com base na conta referente ao mês de fevereiro (preço da energia 0.9466508- com impostos).

Já o tempo que levará para esse investimento ser quitado, será de R\$ 13.515,00 / R\$ 2.313,56 = 5,84, ou seja, aproximadamente 6 anos.

Em relação a instalação desse sistema, conclui-se que é de fácil instalação. No presente caso, trata-se de residência nova, com estrutura e características capazes de receber, portanto não será necessário realizar obras.

Como podemos verificar o valor de investimento do fotovoltaico é maior do que o sistema térmico, porém o retorno financeiro analisado no mesmo prazo do sistema solar térmico (20 anos) o valor total economizado será de R\$ 46.311,20, descontado o valor do investimento teremos uma economia de R\$ 32.796,20.

Em resumo, comparando os dois sistemas para a residência objeto de estudo, temos:

Tabela 6- Quadro comparativo com resultados finais para residência em questão

	Valor de investimento	Economia	Tempo de durabilidade (em média)	Retorno Financeiro (baseado em 20 anos)	PAYBACK
Energia Solar Térmica	R\$4.302,00	52%	20 anos	R\$18.453,20	3 anos e 7 meses
Energia Solar Fotovoltaica	R\$13.515,00	Até 95%	De 25 a 35 anos	R\$ 32.796,20	6 anos

Fonte: o autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de conclusão de curso propôs um estudo de caso comparando a viabilidade técnica e economia de dois sistemas de energia solar: o térmico e fotovoltaico. Enquanto o sistema térmico se apresenta como aquecedor térmico, o fotovoltaico tem como característica ser gerador de eletricidade.

Analisando os dados expostos acima, ambos os sistemas possuem características bem distintas, porém utilizam da energia solar como fonte primária. Ainda, devemos considerar que os dois sistemas são fontes renováveis, de vida útil longa, de baixa manutenção, e que contribuem para valorização do imóvel.

Um dos fatores determinante para escolha do melhor sistema, é a possibilidade da energia solar fotovoltaica ser capaz de gerar sua própria energia e poder distribuir, abater ou acumular junto a concessionária de energia.

O Brasil sendo um país tropical torna viável o uso de energia solar, e apesar de ainda ser considerado como iniciante no desenvolvimento de energia fotovoltaica, vem realizando políticas públicas e incentivos para aumentar esse tipo de energia, como isenção de ICMS, redução de taxas de juros, financiamentos próprios bancários com prazos de até 72 meses, carência para pagamento da primeira parcela, entre outros.

Inclusive, na maioria das vezes os consumidores adquirem o sistema através dos financiamentos, e com a carência permite que, quando ocorrer o pagamento da primeira parcela o sistema já estará produzindo energia e pagando o mínimo, o que pode gerar a

inexistência de investimento inicial. E em geral, o financiamento se apresenta mais barato que a conta de energia, e não será paga conta de luz e financiamento em único mês.

Também, é importante é a questão da inflação, sendo que as bandeiras tarifárias ou reajustes em tarifas não afetam mais aqueles que possuem sistema solar fotovoltaico.

Outrossim, tendo em vista o aumento da emissão de gases estufa através da eletricidade, o custo da energia tende a subir, o que pode gerar uma redução do custo da energia solar fotovoltaica interligada à rede.

Posto isto, demonstramos que o sistema fotovoltaico, apesar do custo de implantação ainda ser alto, é a melhor opção para a residência em questão, já que o retorno do investimento em um longo prazo e a economia gerada é maior. Em contrapartida, tendo em vista o elevado custo e o desconhecimento das vantagens do sistema fotovoltaico, percebe-se que os sistemas térmicos, ainda utilizados em larga escala.

A partir deste trabalho, como sugestão de trabalhos futuros pode se utilizá-lo para um maior aprofundamento na questão de buscar alternativas para baratear o sistema fotovoltaico e uma maior divulgação de suas vantagens.

**COMPARISON BETWEEN SOLAR THERMAL ENERGY AND SOLAR
PHOTOVOLTAIC ENERGY: Case study in a residence in the city of São
Lourenço-MG**

ABSTRACT

This work analyzes the technical and economic feasibility for implementing the thermal and photovoltaic system in a home. Such an approach is due to the fact that it increases environmental degradation, making it necessary to seek sources capable of proving human need. Accepting Brazil's solar potential, solar energy systems present themselves as an alternative. The objective of this study is to verify, for a residence under study, which is the best system: solar thermal or photovoltaic. This objective will be achieved through bibliographic review, applied research through a case study carried out in a residence in the city of São Lourenço-Minas Gerais. The study showed, after the results obtained, that between the two systems, verifying as characteristics of each one and its main advantages, the photovoltaic system or the best one to acquire.

Keywords: Solar energy. Thermal System. Photovoltaic system.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/>>. Acesso em: 10.abr. 2020

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 482**. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 06.out. 2019.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 687**. 2015. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 08.abr. 2020.

BMC Energia. **Como funcionam**. Disponível em: <<http://www.bmcenergia.com.br/como-funcionam>> Acesso em 08.março.2020.

CEMIG. **Companhia de Energética de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/pt-br/Paginas/default.aspx>> Acesso em: 05.abr. 2020.

CEMIG. ND 5.1- **Norma de Distribuição Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária Rede de Distribuição Aérea - Edificações Individuais**. Companhia de Energética de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Documents/ND_5_1_MAIO_2013.pdf> Acesso em: 05.jun. 2020.

CRESESB. **Centro de Referencia para Energia Solar e Eolica Sérgio de S. Brito**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acesso em: 25.mar.20120

CUNHA, Danilo Candido. SANTOS, Paulo Henrique Frois. FREITAS, Daniel Araújo Corrêa. **Energia Solar Fotovoltaica No Brasil**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 11, Vol. 05, pp. 148-161 Novembro de 2018. ISSN:2448-0959

IPEA- INSTITUTO DE ECONOMIA APLICADA. **Em dois anos, a capacidade de energia solar no Brasil avança mais de 10 vezes**. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=34723&Itemid=8> Acesso em: 06.out.2019.

JR.P. Arlindo, REIS, B, Lineu. **Energia e sustentabilidade**. Barueri-SP: Manole, 2016.

JUNIOR. Marcelo de Oliveira. **A energia solar fotovoltaica e suas contribuições nas demandas energéticas do Brasil**. Trabalho de Conclusão do Curso.Universidade de Federal do Ceará, CE. 2018.

KISOLTEC. **Aquecedor solar**. Disponível em <<https://www.kisoltec.com.br/>>. Acesso em 15.mar.2020.

NADIMI, R.; TOKIMATSU, K. **Energy use analysis in the presence of quality of life, poverty, health, and carbon dioxide emissions**. Energy, v. 153, p. 671–684, 2018a

NETO. Leonardo Gomes. **Estudo do sistema fotovoltaico on grid e off grid**. Universidade Araraquara, SP. 2019.

PEREIRA, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L., Rütther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., Souza, J. G. (2017). **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE.

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

PORTAL SOLAR. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/>>. Acesso em 15.mar.2020.

RESENDE, Carlos. **Como funcionam os sistemas fotovoltaicos off grid**. 2019. Disponível em: <<https://shareenergy.com.br/como-funcionam-os-sistemas-fotovoltaicos-off-grid/>> Acesso em: 10.abr. 2020.

RIBEIRO, R.P. **Estudo de caso: dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial**. Trabalho de Conclusão do Curso. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, MG, 2016.

SANTOS, M. A.C.; ZAMPERIN, J.L.B. **Estudo de desperdício de água em sistemas de aquecedores solares e uma solução para o caso**. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v 02, n. 01, p.32-34, jan./ag.2017.

SILVA, P.; FLORIAN, F.; PESTANA, F.A.B. **Estudo de perdas em um sistema fotovoltaicos**. Trabalho de Conclusão do Curso. Universidade de Araraquara, SP. 2018.

SOLAR PRIME. **Entenda a diferença entre energia solar on grid e off grid**. 2019. Disponível em: <<https://blog.solarprime.com.br/entenda-a-diferenca-entre-energia-solar-on-grid-e-off-grid/>>. Acesso em: 20.mar.2020

SOLARVOLT. **Geração de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/>>. Acesso em 15.mar.2020.

WG SOL. Disponível em <<https://wgsol.com.br/>>. Acesso em 15.mar.2020.

ZILLES, Roberto. **Energia Solar Fotovoltaica**. Revista UPS, pág.116/120, cap.13. São Paulo.2012.