

Dimensionamento economico para implantação da energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica em uma residência na cidade Ituiutaba-MG

Economic sizing for the implantation of photovoltaic solar energy connected to the electrical grid in a residence in the city of Ituiutaba-MG

DOI:10.34117/bjdv7n5-178

Recebimento dos originais: 10/04/2021

Aceitação para publicação: 10/05/2021

Maria Eugênia Garcia Abrão

Mestre em Ciências Ambientais-UEMG

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

E-mail: maria.abrao@uemg.br

Fernanda Velasco Andrade

Graduada em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Veriador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

E-mail: 2021fernandaandrade@gmail.com

Jose Wilson Matana Carvalho

Graduado em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Veriador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

E-mail: matanaengenharia@gmail.com

Perseu Aparecido Teixeira Brito

Graduado em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Veriador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

E-mail: perseu.brito.perseu@gmail.com

Aurea Messias de Jesus

Especialização em Engenharia Segurança do Trabalho

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Veriador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba - MG

E-mail: aurea.jesus@uemg.br

Ana Paula Santos da Silva

Mestre em Ensino de Ciências e Matemática

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)

Endereço: Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG

E-mail: anapaulasantosdasilvabio@gmail.com

Daniela Freitas Borges

Mestre em Eletrônica de Potência-UFU

Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)
Endereço: Rua Veriador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG
E-mail: daniela.borges@uemg.br

Agaone Donizete Silva

Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho
Instituição: Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)
Endereço: Rua Vereador Geraldo Moisés da Silva, s/n, Universitário, Ituiutaba – MG
E-mail: agaone.silva@uemg.br

RESUMO

O custo da energia no Brasil é muito elevado assim a sociedade deve ter conhecimento de todas as fontes renováveis que podem ser utilizadas aproveitando o meio natural. A forma como se utiliza a energia é uma questão chave na qual o uso racional da energia nas organizações humanas é imprescindível para atingir os objetivos de um novo modelo de desenvolvimento, tanto pela diminuição da intensidade energética global, como pela melhoria dos resultados econômicos correspondentes. Neste contexto o presente artigo teve por objetivo realizar um dimensionamento do investimento do sistema fotovoltaico para uma residência na cidade de Ituiutaba-MG. Para desenvolvimento do estudo inicialmente definiu-se o tema e o local para realizar a pesquisa, posteriormente iniciou-se a pesquisa com revisão bibliográfica. Percebeu-se que o desafio atual é priorizar e desenvolver novas tecnologias que viabilizam a utilização mais abrangente da energia solar com melhor desempenho e menor custo. A pesquisa demonstrou que apesar de ser um investimento inicial considerado alto para os padrões, este projeto apresenta diversas vantagens, como redução do impacto ambiental, resultado financeiro positivo e a valorização imediata do imóvel. Para o investimento estimou-se um valor de R\$21.150,00, levando em consideração as bandeiras, sendo o retorno previsto em aproximadamente 5 anos. Demonstrou-se também que as placas fotovoltaicas não gera custo com manutenção, sendo necessário uma limpeza apenas a cada 4 meses, e sua durabilidade é estimada em 25 anos. Deste modo conclui-se que considerando a relação custo/benefício, o investimento é viável, a sua economia ultrapassa 20 anos, sendo muito representativa.

Palavras-Chave: Energia Fotovoltaica, Sustentabilidade, Retorno Financeiro.

ABSTRACT

The cost of energy in Brazil is very high so the society must be aware of all the renewable sources that can be utilized taking advantage of the natural environment, the way in which energy is used is a key issue in which the rational use of energy in human organizations is essential to achieve the objectives of a new development model, both by reducing the overall energy intensity and by improving the corresponding economic results. In this context the objective of this work was to carry out a sizing of the investment of the photovoltaic system for a residence in the city of Ituiutaba-MG. For the development of the study, the subject and the place to carry out the research were initially defined, and the research was then started with a bibliographic review. It has been realized that the current challenge is to prioritize and develop new technologies that enable the more comprehensive use of solar energy with better performance and lower cost. The research has shown that although it is an initial investment considered high by standards, this project has several advantages, such as reduction of environmental impact, positive financial result and the immediate valuation of the property. The investment was

estimated at R \$ 21,150.00, taking into account the flags, the expected return is approximately 5 years, amount due to the average monthly consumption spent with electricity from the CEMIG concessionaire. It has also been shown that photovoltaic panels do not generate maintenance costs, and cleaning is necessary only every 4 months, it is also emphasized that the durability is estimated for 25 years. In this way it is concluded that considering the cost / benefit ratio, the investment is viable, its economy exceeds 20 years, being very representative.

Keywords: Photovoltaic Energy, Sustainability, Financial Feedback.

1 INTRODUÇÃO

A energia é um recurso que cumpre um papel importante para o desenvolvimento da sociedade humana porque serve para satisfazer as necessidades básicas de alimentação, moradia, locomoção e conforto. Neste contexto ressalta-se que existe uma relação clara entre o consumo de energia e o desenvolvimento econômico, e também entre consumo de energia e qualidade de vida, a energia torna-se condição necessária para garantir o desenvolvimento socioeconômico das regiões menos favorecidas. Atualmente diante dos avanços tecnológicos e da degradação do meio ambiente, têm se falado muito sobre sustentabilidade, e o fator da utilização do meio natural em prol de reduzir os impactos ambientais.

O custo da energia no Brasil é muito elevado assim a sociedade deve ter conhecimento de todas as fontes renováveis que podem ser utilizadas aproveitando o meio natural. A forma como se utiliza a energia é uma questão chave na qual o uso racional da energia nas organizações humanas é imprescindível para atingir os objetivos de um novo modelo de desenvolvimento, tanto pela diminuição da intensidade energética global, como pela melhoria dos resultados econômicos correspondentes. Dentre as fontes de energia renovável há uma ampla gama de tipos de energia, tais como eólica, marinha, geotérmica, entre outras. Entre todas as fontes renováveis de energia a que se destaca é a fotovoltaica, já que está se caracteriza pela conversão direta da radiação solar em energia elétrica a partir das células fotovoltaicas (BORGES E SERA, 2010). De acordo com Andeloni 2021, As publicações sobre energia solar com enfoque na análise sociotécnica possibilita o entendimento do processo de pesquisa e implementação dessa inovação tecnológica no mercado consumidor e a identificação das janelas de oportunidade, atores, incentivos, barreiras e desafios que compõem esse ciclo. A energia solar fotovoltaica vem se tornando uma relevante fonte de eletricidade, podendo ser utilizada

para vários fins. Assim o uso da energia fotovoltaica em uma residência é uma aplicação viável economicamente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA RENOVÁVEL

As energias renováveis podem ser definidas como aquelas das quais as fontes não se esgotam, ou seja, que se renovam constantemente (JARDIM, 2007). Dentre as fontes de energias renováveis, a energia solar destaca-se, vez que não polui o meio ambiente e pode ser vista como uma fonte inesgotável (DUTRA et al., 2013).

As energias renováveis são aquelas provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta (PACHECO, 2006).

Brazil (2006, p. 25) ressalta que “[...] o Brasil recebe elevados níveis de incidência da radiação solar praticamente durante todos os meses do ano, inclusive no mês de junho, correspondente ao solstício de inverno para o Hemisfério Sul”.

A agressão que o nosso ecossistema vem sofrendo assinala que “uma relação cada vez mais estressada entre a economia e o ecossistema da Terra, estão causando prejuízos econômicos cada vez maiores” (BROWN 2003, p. 4.).

Em se tratando de energia renovável, para Villalva e Gazoli (2012, p. 30), “As energias solar fotovoltaica e eólica são as fontes alternativas com maior potencial para a geração distribuída de eletricidade”.

As vantagens da geração distribuída são muitas, visto que a disposição da unidade geradora é próxima à carga, podendo-se destacar algumas: não haverá a necessidade da utilização de extensas linhas de transmissão, o que diminui as perdas associadas ao transporte de energia elétrica e favorece a estabilidade do serviço; eliminação de fortes impactos ambientais causados pela construção de grandes usinas geradoras e das linhas de transmissão para o escoamento da energia produzida; outra vantagem também é a escassez de potencial para a construção de empreendimentos de grande porte. (VILLALVA E GAZOLI 2012)

2.2 USO PRODUTIVO DA ENERGIA

Classicamente, o uso produtivo da energia é o aproveitamento da energia elétrica ou não elétrica (calor ou energia mecânica) para atividades que melhorem os ingressos econômicos e o bem-estar das pessoas (KAPADIA; 2004).

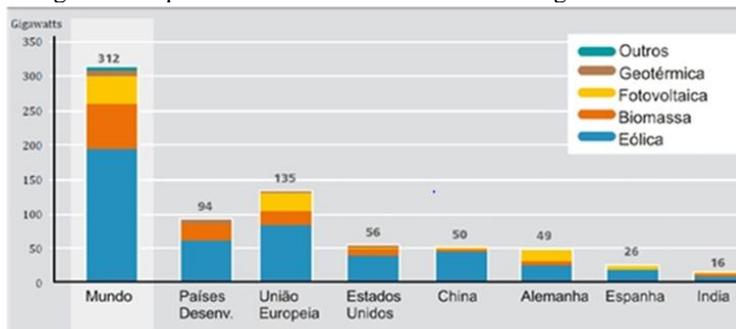
Uma definição mais abrangente foi criada em uma reunião de trabalho organizada em 2002 pela Food and Agriculture Organization (FAO) e a Global Environment Facility (GEF).

Segundo Cabraal et al. (2005) e dentre os benefícios encontram-se os seguintes:

- Incremento do ingresso econômico das famílias e microempresas, aumento da produtividade;
- Aumento o valor agregado do produto, ao melhorar o processo de produção, processamento, conservação e distribuição,
- Redução de custos de operação relacionados ao uso de combustíveis;
- Melhora das condições para a criação de microempresas e a geração de empregos;

Desde 1954, quando cientistas do Bell Telephone Laboratories criaram a primeira célula fotovoltaica, a energia solar fotovoltaica tem passado por vários estágios de desenvolvimento tecnológico e de aplicação. As primeiras células fotovoltaicas tinham aplicações espaciais, mas com o tempo, as células foram utilizadas em aplicações terrestres, como os sistemas de telecomunicações, sinalização e proteção catódica, e depois, em sistemas de eletrificação (HARVARD, 2002). Embora o recurso solar seja a fonte mais abundante no mundo (WEC, 2010), sua conversão em energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos ainda é considerado um alto investimento. Mesmo quando comparada com outras fontes não convencionais como a energia eólica, a capacidade mundial instalada da energia fotovoltaica é ainda pequena. Até o ano de 2010, a capacidade mundial total instalada de energia fotovoltaica não superava os 40 GW, demonstrada na figura abaixo:

Figura 1: Capacidade elétrica instalada com energias renováveis



Fonte: Ren (2011).

CONCEITOS BÁSICOS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é produzida pela conversão direta da luz em eletricidade, sendo as células fotovoltaicas responsáveis pela conversão, e esse fenômeno físico é chamado de efeito fotovoltaico. (CEPEL-CRESESB 2014)

Segundo Villalva e Gazoli (2012, p. 21), “a energia do sol pode ser utilizada para produzir eletricidade pelo efeito fotovoltaico, que consiste na conversão direta da luz solar em energia elétrica”. Assim sendo o fator considerado fundamental na produção deste tipo de energia são as células fotovoltaicas, instaladas nos telhados ou fachadas de residências. Estas captam a luz solar e com isso produzem uma corrente elétrica, sendo levada para dispositivos conversores, podendo ser utilizadas nos sistemas conectados às redes elétricas ou armazenados em baterias. As células fotovoltaicas podem estar dispostas eletricamente em série ou em paralelo, formando assim um módulo fotovoltaico, que se forem associadas formam os painéis fotovoltaicos, que juntamente com outros equipamentos indispensáveis ao sistema elétrico, constituem os sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica, conforme demonstrado na figura 2.

Figura 2: Placas Fotovoltaicas em Telhados Residenciais



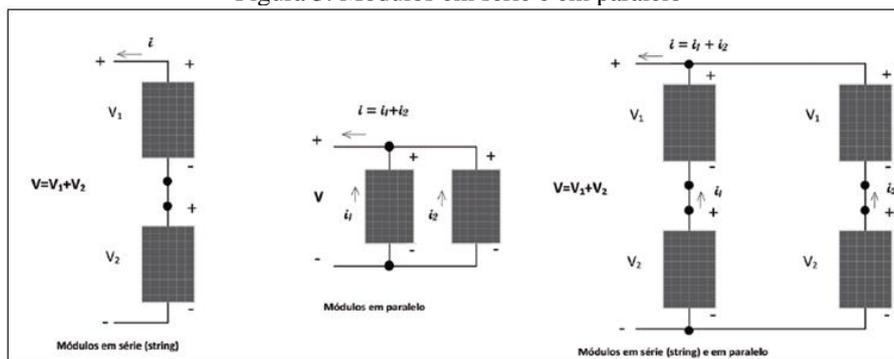
Fonte: Solstar (2017)

As células fotovoltaicas são feitas de materiais semicondutores, que são escolhidos levando em conta as suas características de absorção de energia de radiação solar, custo de fabricação e os impactos ambientais causados pela sua disposição (ZILLES et al., 2012).

A corrente elétrica produzida pela célula fotovoltaica, quando exposta a luz, pode ser usada numa infinidade de aplicações, alimentando aparelhos elétricos, carregando baterias (sistemas autônomos) ou fornecendo eletricidade para ruas, bairros e cidades nos sistemas conectados a rede elétrica (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Uma única célula produz pouca energia, entretanto um conjunto de células conectadas em série resultará em um módulo ou painel com tensões maiores. Além disso, vários módulos poderão ser conectados em série (*strings*) e em paralelos para se obter tensões e correntes desejadas adequadas a cada tipo de aplicação (REHMAN et al., 2007), conforme figura 3.

Figura 3: Módulos em série e em paralelo

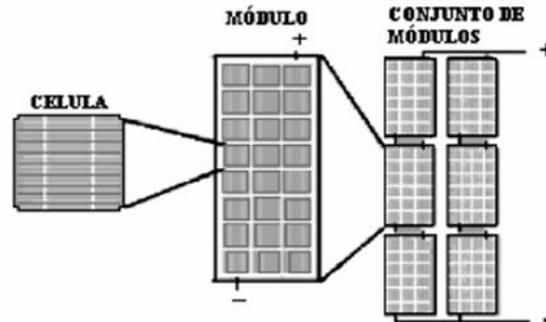


Fonte: Villava e Gazoli (2012)

A capacidade de geração de energia dos módulos é diretamente proporcional a luminosidade incidente e inversamente proporcional a temperatura, sendo que em temperaturas mais baixas as tensões são maiores e em temperaturas mais altas as tensões são menores (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Segundo Fernandes; Limeira e Barbosa (2016) a captação e a conversão da energia solar fotovoltaica se dá através da utilização de módulos fotovoltaicos. São painéis construídos com materiais semicondutores, principalmente de Silício-Si, que juntos com conglomerados de células fotovoltaicas adaptadas em módulos e associadas entre si, configurando um circuito, com o objetivo de gerar energia elétrica, conforme mostra a figura 4.

Figura 4: Composição dos Módulos Fotovoltaicos



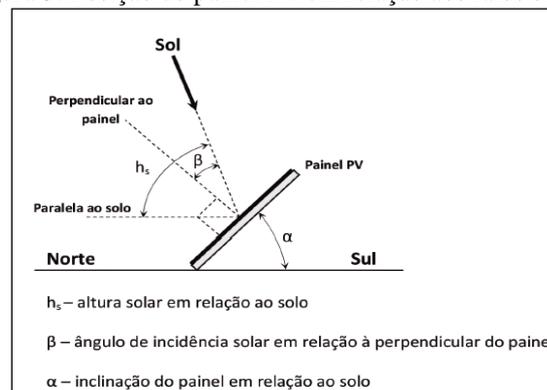
Fonte: Leva. F. F *et al.* (2017)

As células que compõem os módulos fotovoltaicos utilizam principalmente como material o silício, componente capaz de absorver as partículas dos raios solares e transformá-las em corrente contínua. Uma célula sozinha, é capaz de produzir apenas uma pequena potência, variando na faixa de 1 a 3 W, com uma tensão pequena menor que 1 Volt. Para a efetivação de potências mais altas, as células são unidas, formando os módulos ou painéis. Contudo para aumento da tensão, colocam-se as várias células em ligações séries, já para o aumento da corrente elétrica as ligações têm que ser em paralelo, ocorrendo o mesmo para os painéis fotovoltaicos (LEVA. F. F *et al.*, 2017).

A posição dos painéis em relação a trajetória dos raios solares determina a quantidade de radiação solar que eles receberão e, conseqüentemente, a quantidade de energia elétrica gerada. A latitude, declinação solar, direção dos painéis, angulo horário e inclinação em relação ao plano horizontal são fatores que influenciam o posicionamento dos painéis (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2004).

Considerados esses fatores, de uma maneira simplificada pode-se dizer que o melhor aproveitamento da energia solar ocorrerá quando os raios solares incidirem perpendicularmente aos painéis, conforme figura abaixo:

Figura 5: Posição do painel PV em relação aos raios solares



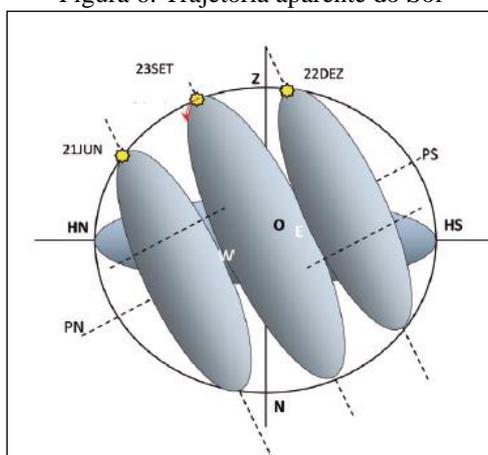
Fonte: Villava e Gazoli (2012)

Em decorrência do movimento de rotação da Terra, a luz solar ilumina metade da superfície do planeta a cada instante, originando alternância dos dias e noites. Como o eixo terrestre é inclinado, a porção iluminada de cada paralelo varia com a época do ano. Somente por ocasião dos equinócios e que a metade de cada paralelo está iluminada. Portanto, a duração dos dias e das noites varia ao longo do ano, exceto no equador, onde duram cerca de 12 horas cada (VAREJAO-SILVA, 2005).

Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é fundamental definirmos o conceito de foto período e o de insolação. O primeiro diz respeito ao tempo decorrido, em horas, entre o nascimento e o ocaso do Sol e o segundo é o intervalo total de tempo em que o disco solar estiver visível para um observador situado na superfície terrestre, isto e, período em que o Sol não esteve ocultado por nuvens ou quaisquer outros fenômenos da natureza.

Assim, a insolação é, no máximo, igual ao foto período. Como a trajetória aparente do Sol é diferente ao longo do ano a inclinação horizontal do painel privilegia a produção de energia no verão enquanto que a vertical privilegia no inverno. Conforme figura 6

Figura 6: Trajetória aparente do Sol



Fonte: Villava e Gazoli (2012)

Em função da latitude e possível determinar um angulo de inclinação dos painéis (α) que possibilite uma boa produção de energia ao longo do ano.

Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

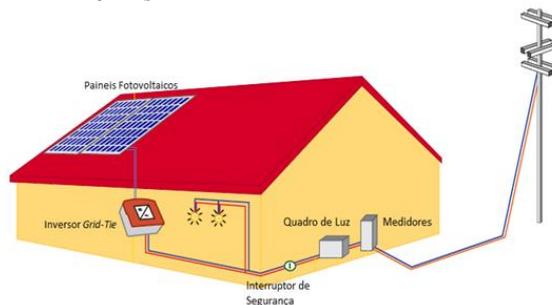
Sistemas de geração fotovoltaicos conectados à rede, vêm se tornando cada vez mais populares em diversos países europeus como Estados Unidos, Alemanha, Japão e mais recentemente no Brasil. As capacidades instaladas vão desde grandezas KWp em instalações residenciais, até alguns MWp em sistemas de grande porte operados por

empresas. São sistemas que se diferenciam quanto à forma de conexão à rede de energia elétrica, depende da legislação de cada local vigente (PINHO; GALDINO, 2014).

Os sistemas conectados à rede (*Grid-tie*), fornecem energia para as redes de distribuição, injetando a energia excedente, que não foi consumida instantaneamente. Geralmente não utilizam sistemas de armazenamento de energia, e por isso são mais eficientes que os sistemas isolados, além de mais baratos. Os sistemas *Grid-tie* dependem de regulamentações e legislações favoráveis, pois utilizam a rede de distribuição das concessionárias para a injeção da energia gerada (SOUZA, 2015). De acordo com a Figura 7, os equipamentos que compõem um sistema conectado à rede (*Grid-tie*) são:

- Painéis Fotovoltaicos – são compostos por células fotovoltaicas conectadas entre si em arranjos para produção tensão e corrente suficientes para a utilização prática da energia elétrica, ao mesmo tempo em que promove a proteção das células (PINHO; GALDINO, 2014);
- Inversores *Grid-tie* – equipamentos que transforma a corrente contínua em corrente alternada. Por causa do seu alto grau de sofisticação, não são comparáveis aos inversores autônomos. Os inversores *grid-tie* utilizados para sistemas monofásicos tem potência-pico até 5 kW, já para sistemas de maior potência, são geralmente trifásicos. Há tanto, grandes inversores centrais trifásicos, quanto inversores monofásicos, que se agrupando podem ser usados como trifásicos (SOUZA, 2015).
- Interruptor de Segurança (Disjuntores) - são equipamentos destinados a proteção do circuito e segurança das pessoas.
- Quadro de Luz - local que abriga todos os circuitos de alimentação que distribui energia para residência.
- Medidores de Energia - equipamentos destinados à medição da energia elétrica, podendo ser bidirecional - o excedente volta para a rede de energia elétrica através do medidor fazendo-o rodar ao contrário - assim reduzindo os custos na tarifa de energia (SOUZA, 2015).

Figura 7: Composição de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede



Fonte: Souza (2015)

Tarifações de Energia Elétrica

A bandeira é aplicada a todos os consumidores, multiplicando-se o consumo (em quilowatts) pelo valor (em Reais) da bandeira, se ela for amarela ou vermelha. Se, por exemplo, a bandeira está vermelha, o adicional é de R\$4,50 por 100 kWh. Se o consumo mensal foi de 60 kWh, por exemplo, então o adicional seria de $0,6 \times 4,50 = R\$2,70$. A esses valores são acrescentados os impostos vigentes. (ANEEL 2017)

A cada mês, as condições de operação do sistema são reavaliadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que define a melhor estratégia de geração de energia para atendimento da demanda. A partir dessa avaliação, definem-se as térmicas que deverão ser acionadas. Se o custo variável da térmica mais cara for menor que R\$ 200/MWh, então a Bandeira é verde. Se estiver entre R\$ 200/MWh e R\$ 388,48/MWh, a bandeira é amarela. E se for maior que R\$ 388,48/MWh, a bandeira será vermelha. (CEMIG 2017).

A Cemig informou a seus consumidores, as bandeiras tarifárias em suas faturas de energia, durante todo o período de testes para aplicação. A medida pretende facilitar a compreensão dos clientes sobre o sistema energético. Com o início da aplicação das bandeiras tarifárias nas contas de energia das distribuidoras, em 1º de janeiro de 2015, houve um impacto também no valor das contas de energia, que poderão sofrer acréscimos gradativos, de acordo com o consumo, conforme figura 8.

Figura 8: Bandeiras tarifárias

BANDEIRA VERDE	BANDEIRA AMARELA	BANDEIRA VERMELHA
<p>Condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo.</p>	<p>Condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofrerá acréscimo de R\$0,020 a cada kWh consumido (valor informado sem cálculo de impostos).</p>	<p>Condições mais caras de geração.</p> <p>Patamar 01 Condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$0,030 para cada quilowatt-hora kWh consumido.</p> <p>Patamar 02 A tarifa sofrerá acréscimo de R\$0,035 a cada kWh consumido (valor informado sem cálculo de impostos).</p>

Fonte: CEMIG (2017)

Na bandeira verde, que representa condições favoráveis de geração de energia, a tarifa não sofre nenhum acréscimo.

Com a bandeira amarela, que representa a geração em condições menos favoráveis, a tarifa sofrerá acréscimo de R\$0,020 a cada kWh consumido. (Valor informado sem cálculo de impostos).

Bandeira vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Bandeira vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,035 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

Nos casos de consumo 0 (zero) ou consumo inferior ao mínimo da classe é cobrado o custo de disponibilidade do sistema elétrico conforme artigo nº 98 da resolução Normativa ANEEL nº 414.

Ou seja, mesmo quando há consumo zero no local, o cliente será tarifado no Sistema de Bandeiras Tarifárias, de acordo com o consumo mínimo (custo de disponibilidade). Assim, a unidade consumidora que consumir dentro desses valores, vai ser tarifado proporcionalmente ao que gastar.

A figura 9 mostra o período da cor das bandeiras que prevaleceram no decorrer de maio de 2016 a outubro de 2017

Figura 9: Relatório do acionamento das bandeiras tarifárias

Mês	CVU max R\$/MWh	Usina
mai/16	210,35	UTE Aureliano Chaves
jun/16**	259,43	UTE Celso Furtado
jul/16	134,88	UTE Luiz O. R. Melo
ago/16	113,60	UTE Porto Itaquí
set/16	125,27	UTE PORTO PECÉM 2
out/16	195,63	UTE L. C. Prestes L1
nov/16	224,42	UTE Aureliano Chaves
dez/16	169,54	UTE Atlântico
jan/17	128,65	UTE Maranhão IV
fev/17	179,74	UTE Pecém 2
mar/17	279,04	UTE Celso Furtado
abr/17	P1 426,99	UTE TERMOCABO
mai/17	P1 447,61	UTE GLOBAL II
jun/17	155,85	UTE J. LACERDA
jul/17	237,71	UTE A. CHAVES
ago/17	P1 513,51	UTE BAHIA 1
set/17	411,92	UTE Mauá B3
out/17	P2 698,14	UTE Sepé Tiaraju

Fonte: Aneel (2017)

Nota-se que nos 18 meses apresentados, 10 meses prevaleceu a bandeira verde. Na figura 10 apresenta-se o valor do KWh para residência sem impostos.

Figura 10: Classes de valores por KWh

B1- RESIDENCIAL NORMAL	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,49414	0,51414	0,52414	0,52914

Fonte: CEMIG (2017)

Os valores apresentados na figura são sem os impostos “Alíquota de 30% - Multiplicador $1.42857142857 = (100/100-30)$ - Aplicada nas faturas dos consumidores residenciais” (CEMIG, 2017).

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Este tópico apresenta dados da pesquisa realizada pelos os autores deste estudo sobre o investimento do sistema fotovoltaico para uma residência na cidade de Ituiutaba-MG. A figura 11 apresenta a residência na qual se realizou a pesquisa.

Figura 11: Foto de frente a residência em pesquisa



Fonte: Google Maps (2017)

A figura 12 mostra a lateral da residência com o intuito da foto e demonstrar o telhado a fim de evidenciar o espaço existente para a implantação do sistema fotovoltaico.

Figura 12: Foto de lado na residência em pesquisa

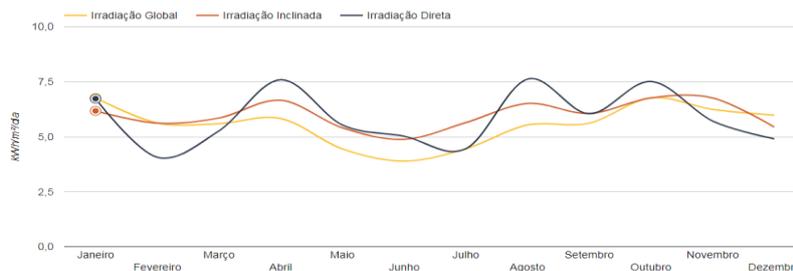


Fonte: Google Maps (2017)

Dados de irradiação do local

A figura 13 apresenta a Irradiação Global, Inclinada e Direta e os dados são oriundos do INPE/SWERA (AMERICA DO SOL, 2017).

Figura 13: Irradiação solar do local de pesquisa



Fonte: Gerado pelos autores no site America do sol.

O termo irradiação se refere à radiação captada em uma determinada área na superfície terrestre durante um determinado tempo. Por exemplo, ao falar em 100 kWh/m² de irradiação significa que foram captados 100 quilowatts de radiação em um hora por metro quadrado.

A figura 14 mostra a irradiação detalhada do local, percebe-se uma boa incidência solar.

Figura 14: Irradiação detalhada do local

Mês	Irradiação Global	Irradiação Inclinada	Irradiação Direta
Janeiro	6,77 kWh/m ² /dia	6,18 kWh/m ² /dia	6,73 kWh/m ² /dia
Fevereiro	5,63 kWh/m ² /dia	5,62 kWh/m ² /dia	4,07 kWh/m ² /dia
Março	5,60 kWh/m ² /dia	5,85 kWh/m ² /dia	5,27 kWh/m ² /dia
Abril	5,83 kWh/m ² /dia	6,66 kWh/m ² /dia	7,60 kWh/m ² /dia
Mai	4,45 kWh/m ² /dia	5,41 kWh/m ² /dia	5,54 kWh/m ² /dia
Junho	3,90 kWh/m ² /dia	4,88 kWh/m ² /dia	5,03 kWh/m ² /dia
Julho	4,45 kWh/m ² /dia	5,64 kWh/m ² /dia	4,45 kWh/m ² /dia
Agosto	5,54 kWh/m ² /dia	6,52 kWh/m ² /dia	7,62 kWh/m ² /dia
Setembro	5,62 kWh/m ² /dia	6,06 kWh/m ² /dia	6,05 kWh/m ² /dia
Outubro	6,77 kWh/m ² /dia	6,77 kWh/m ² /dia	7,52 kWh/m ² /dia
Novembro	6,25 kWh/m ² /dia	6,77 kWh/m ² /dia	5,72 kWh/m ² /dia
Dezembro	5,98 kWh/m ² /dia	5,44 kWh/m ² /dia	4,91 kWh/m ² /dia

Fonte: Gerado pelos autores no site America do sol.

Radiação solar é um termo utilizado para se referir à forma de transferência da energia vinda do sol através da propagação de ondas eletromagnéticas. A quantidade de radiação solar que chega em cada ponto da Terra depende dos obstáculos que tais ondas encontram na atmosfera. Porém, a radiação que chega a qualquer ponto do topo da atmosfera é constante e conhecida como "Constante Solar". A constante solar é estimada em 1.366 W/m². Ao chegar à superfície da Terra, ela alcança no máximo 1000 W/m². Assim, se a eficiência de determinado painel solar é de 10%, isso significa que ele será capaz de captar no máximo 100 W/m² (AMERICA DO SOL, 2017).

Orçamentos realizados

Os orçamentos realizados foram a partir da média de consumo em KW/h mês da residência em pesquisa, conforme apresentado no quadro 1 .

Quadro 1: Média de consumo dos últimos 12 meses

Mês/Ano	ConsumoKW/mês
ago/16	262
set/16	376
out/16	421
nov/16	382
dez/16	369
jan/17	451
fev/17	373
mar/17	454
abr/17	436
mai/17	302
jun/17	329
jul/17	321
TOTAL	4476
MÉDIA MENSAL	373,1666667

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

A média dos últimos 12 meses da residência foi de 373,16 KWh/mês, para um valor inteiro utilizou-se 375 KWh/mês nas solicitações dos orçamentos.

O quadro 2 apresenta os orçamentos realizados em 2 empresas distintas. Os valores colocados no quadro é um valor estimado, podendo ser confirmado somente a partir de uma visita técnica, no qual é analisado o local.

Quadro 2: Orçamentos

DESCRIÇÃO	EMPRESA X	EMPRESA Y
Geração média estimada KWh/mês	375	378
Potencia do projeto KWp	2,82	2,97
Placas fotovoltaicas	11	11
Quantidade de inversores	1	1
Monitoramento via internet	Sim	Sim
Área dos módulos	22,59 m2	20m2
Custo dos equipamentos	R\$ 13.353,00	R\$ 12.890,00
Custo com mão de obra (Incluso projeto, Aprovação CEMIG e instalação)	R\$ 7.797,00	R\$ 10.000,00
Custo total	R\$ 21.150,00	R\$ 22.890,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

Para a implantação do sistema fotovoltaico na residência será levado em conta o orçamento da empresa X, totalizando um valor de investimento de R\$21.150,00, incluindo material e mão de obra para a instalação.

Dimensionamentos dos custos e a viabilidade do projeto

Neste tópico foram realizados os cálculos, considerando-se as bandeiras tarifárias da CEMIG e um consumo médio de 375KWh/mês, conforme quadro 3.

Quadro 3: Cálculo dos valores gastos com energia

DESCRIÇÃO	BANDEIRAS			
	VERDE	AMARELA	VERMELHA P1	VERMELHA P2
Valor KWh	R\$ 0,49	R\$ 0,51	R\$ 0,52	R\$ 0,53
Valor total KWh / mês	375	375	375	375
Valor sem impostos	R\$ 185,30	R\$ 192,80	R\$ 196,55	R\$ 198,43
PIS/PASEP	R\$ 3,06	R\$ 3,18	R\$ 3,24	R\$ 3,27
CONFINS	R\$ 14,08	R\$ 14,65	R\$ 14,94	R\$ 15,08
ICMS	R\$ 90,80	R\$ 94,47	R\$ 96,31	R\$ 97,23
Valor com impostos	R\$ 293,24	R\$ 305,11	R\$ 311,04	R\$ 314,01
Custeio de iluminação Pública	R\$ 41,05	R\$ 42,72	R\$ 43,55	R\$ 43,96
Valor total da conta de energia	R\$ 334,29	R\$ 347,83	R\$ 354,59	R\$ 357,97

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

Considerando a bandeira de cada período obtemos os dados apresentado no quadro 4.

Quadro 4: Tempo do retorno estimado do investimento

Bandeiras	Despesa mensal com energia	Despesa anual com energia	Valor estimado do investimento	Retorno estimado do investimento (anos)
VERDE	R\$ 334,29	R\$ 4.011,54	R\$ 21.150,00	5,27
AMARELA	R\$ 347,83	R\$ 4.173,90	R\$ 21.150,00	5,07
VERMELHA P1	R\$ 354,59	R\$ 4.255,09	R\$ 21.150,00	4,97
VERMELHA P2	R\$ 357,97	R\$ 4.295,68	R\$ 21.150,00	4,92

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

Para análise dos cálculos foi considerado o menor orçamento apresentado no valor de R\$21.150,00. Observou-se que os valores independente das bandeiras aproximou-se de 5 anos para obtenção do retorno estimado no investimento.

Uma das grandes vantagens apresentada pela SOLARGRID (2017), é que o sistema fotovoltaico é de baixíssima necessidade de manutenção. Grande parte dos equipamentos são projetados para durarem mais de 25 anos, sem nenhum tipo de intervenção. Eventualmente os painéis acumulam sujeiras e detritos, que podem levar à diminuição da performance, mas uma simples limpeza anual dos painéis resolve esse problema.

A periodicidade de execução desta manutenção vai depender do nível de precipitação de partículas existentes na sua região, ou mesmo da ação de animais e pássaros. Como uma regra geral recomenda-se fazer a limpeza de 4 em 4 meses utilizando-se apenas água, pano ou algum instrumento de limpeza com cerdas macias e

não abrasivas. Além da redução do rendimento, o acúmulo por tempo prolongado de sujeira pode causar manchas, fungos e corrosão nos módulos, reduzindo a sua produtividade e a sua vida útil, que é estimada entre 25 a 30 anos. Assim, considerando o baixo custo da operação de limpeza preventiva e periódica, e considerando os benefícios para o seu investimento em tecnologia solar fotovoltaica, nossa recomendação é a de manter uma rotina de inspeção visual no painel, mantendo-os sempre limpos e observar os sinais de que algo está errado com o rendimento normal de sua usina solar fotovoltaica (RENEW, 2017).

Os benefícios da implantação do sistema fotovoltaico são diversos, neste caso uma economia anual de mais de R\$4.000,00 economizado com energia elétrica.

Com 5 anos de economia de energia elétrica o investimento, é pago, ou seja, com a durabilidade de 25 anos poderá usufruir do investimento por aproximadamente 20 anos.

O projeto é de baixo impacto ambiental com uma fonte de energia limpa, além de outros benefícios como a valorização imediata do imóvel.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho monográfico teve por objetivo realizar um dimensionamento do investimento do sistema fotovoltaico para uma residência na cidade de Ituiutaba-MG. A princípio realizou-se uma pesquisa bibliográfica e posteriormente às solicitações de orçamentos para dimensionar o projeto.

Percebeu-se que o desafio atual é priorizar e desenvolver novas tecnologias que viabilizam a utilização mais abrangente da energia solar com melhor desempenho e menor custo. A pesquisa demonstrou que apesar de ser um investimento inicial considerado alto para os padrões, este projeto apresenta diversas vantagens, como redução do impacto ambiental, resultado financeiro positivo e a valorização imediata do imóvel.

O investimento foi estimado num valor de R\$21.150,00, levando em consideração as bandeiras e o retorno previsto é de aproximadamente 5 anos. Demonstrou-se também que as placas fotovoltaicas não geram custo com manutenção, sendo necessário uma limpeza apenas a cada 4 meses e com uma durabilidade estimada para 25 anos.

Deste modo conclui-se que, considerando a relação custo/benefício, o investimento é viável, a sua economia ultrapassa 20 anos, sendo muito representativa.

Recomenda-se a residência aderir ao sistema de energia fotovoltaica. Sugere-se aos demais estudiosos realização de pesquisas em outras residências com menor utilização de KWh e averiguar se também é viável a implantação do sistema.

REFERÊNCIAS

ANDERLONI, Natalia Veronica et al. Análise sociotécnica da inovação tecnológica proposta pela energia fotovoltaica. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 11704-11711, 2021.

AMERICA DO SOL. Simulação de orçamento e incidência solar. Disponível: http://americadosol.org/simulador/simulation.php?id=274699&session=5c904b3c11a213253a988aa1cf8f0e38&id_s=1. Acesso 28 de outubro de 2017.

ANEEL. Relatório do acionamento das bandeiras tarifárias. Disponível: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/15787030/Relat%C3%B3rio+do+Acionamento+das+Bandeiras+Tarif%C3%A1rias+-+out-2017/06364b28-20bb-46a1-75ec-0ac23515c97c>. Acesso 26 de Setembro de 2017.

BORGES, C.G.R.; SERA, A.S. Dimensionado mediante sistema de energia fotovoltaica. *Ingeniería Mecánica*. v.14, nº 1, 2010,

BRAZIL, O. A. V. Regulação e apropriação de energia térmica solar pela população de baixa renda no Brasil. 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia) - Universidade Salvador – UNIFACS, Salvador, 2006.

BROWN, Lester R. ECO-ECONOMIA Construindo uma Economia para a Terra. Salvador: UMA. 2003.

CABRAAL, R. A.; BARNES, D. F.; AGARWAL, S. G. Productive uses of energy for rural development. *Annual review of environmental and resources*, n. 30, p. 117-144, 2005.

CEMIG. Consulta de Bandeiras e impostos. Disponível em: < <http://www.cemig.com.br/> > Acesso 26 de Setembro de 2017.

CEPEL-CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Edição revisada e atualizada, Rio de Janeiro-Março-2014.

DUTRA, J. C. D. N.; BOFF, V. Â.; SILVEIRA, J. S. T.; ÁVILA, L. V. Uma Análise do Panorama das Regiões Missões e Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul sob o Prisma da Energia Eólica e Solar Fotovoltaica como Fontes Alternativas de Energia. *Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD*, v. 34, n. 124, p. 225-243, 2013.

FERNANDES, F. M; LIMEIRA, S. S.; BARBOSA, G. S. Energia solar: uma investigação sobre políticas públicas do setor no estado da Paraíba. *Revista Ambiental, Paraíba*, v.2, n. 1, p. 116 - 128, Out./2015 a Jun./2016.

GOOGLE MAPS. Localização da residência. Disponível: <https://www.google.com.br/maps/place/R.+Pepino+Laterza,+1240+-+Tup%C3%A3,+Ituiutaba+-+MG/@-18.9980804,-49.4566486,392a,35y,270h/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x94a23182e18739d1:0x444942c2fa490c14!8m2!3d-19.0020561!4d-49.4550991>. Acesso 28 de outubro de 2017.

HARVARD. From Space to Earth. The Story of Solar Electricity. Harvard University Press. Cambridge, EUA, 2002.

LEVA. F. F et al. Modelo de um Projeto de um Sistema Fotovoltaico. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000&script=sci_arttext>. Acessado em 10 setembro de 2017.

KAPADIA, K. Produção de energia renovável: a review of four Bank - GEF projects. Banco Mundial. 2004.

OLIVEIRA FILHO, K.S.; SARAIVA, M.F.O. Astronomia e Astrofísica. Livraria da Física, 2004.

PACHECO, Fabiana. Energias Renováveis: Breves Conceitos. Salvador: Conjuntura Econômica n. 149, 2006.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL-CRECESB, 2014.

REHMAN, S.; BADER, M.A.; AL-MOALLEM, S.A. Cost of solar energy generated using PV panels. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007

RENEW ENERGIA. Manutenção preventiva: Solar fotovoltaico, poeira e pombos. Disponível: < <http://renewenergia.com.br/manutencao-preventiva-solar-fotovoltaico-poeira-e-pombos/>> Acesso em 14 de outubro 2017.

REN21. Renewables 2011 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). Paris, 2011.

SANTOS, E.C.; Souza, L.C.; Souto, J.S; filho, j.b.a. Energia Solar na Fruticultura Irrigada Familiar. Tecnologia & Ciência Agropecuária, v.1, no 2, 2007.

SOLARGRID. Custo com manutenção. Disponível: <<https://www.solargrid.com.br/duvidas-frequentes/topicos/quais-os-custos-de-manutencao/>>. Acesso em 14 de outubro 2017.

SOLSTAR. Geração de Energia Fotovoltaica Residencial. Disponível em: <<http://www.solstar.com.br/geracao-energia-fotovoltaica-residencial>>. Acessado em: 11 setembro de 2017.

SOUZA, R. Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica. São Paulo: Blue Sol Energia Solar, 2015.

VAREJAO-SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. Versão Digital. Recife, 2005.