

ENERGIA SUSTENTÁVEL PARA CONSUMO RESIDENCIAL: EÓLICA *versus* FOTOVOLTAICASUSTAINABLE ENERGY FOR RESIDENTIAL CONSUMPTION: EOLIC *versus* PHOTOVOLTAIC

Carolina A. OLIVEIRA¹; Thalita A. SILVA²; Anderson MARTELLI³; Edgar Manuel Miranda SAMUDIO⁴;
André Ricardo Pereira MARCHEZAN⁵

RESUMO

Este trabalho propôs um estudo sobre energia renovável para o uso residencial, especificamente entre Energia Eólica versus Energia Fotovoltaica, e a elaboração de um comparativo, entre elas, onde todas as informações necessárias foram coletadas, a fim de concluir qual a mais satisfatória economicamente e ambientalmente. As duas opções de geração de energia que foram abordadas apresentam um notório crescimento no cenário brasileiro e mundial, devido ao potencial de geração elétrica e capacidade instalada. O respectivo estudo analisou as melhores condições para se implantar ambos os sistemas, quais os tipos de equipamentos a serem utilizados, cuidados com instalação e manutenção, e as vantagens e desvantagens que apresentam.

Palavras-chave: Fontes renováveis; Energia eólica; Energia fotovoltaica; Comparativo.

ABSTRACT

This work proposes a study on renewable energy for residential use, specifically between Wind Energy and Photovoltaic Energy, and the elaboration of a comparative among them, where all necessary information will be collected, in order to conclude which will be more economically and environmentally satisfactory. The two options for power generation that will be addressed have shown a notable growth in the Brazilian and world scenario due to the potential of electric generation and installed capacity. The study presented here aims to analyze the best conditions to implement both systems, the types of equipment to be used, care with installation and maintenance, and the advantages and disadvantages they present.

Keywords: Renewable sources; Wind energy; Photovoltaics energy; Comparative.

¹ Graduação em Engenharia Civil pela Faculdade São Francisco – USF. Bragança Paulista – SP – Brasil.

² Graduação em Engenharia Civil pela Faculdade São Francisco – USF. Bragança Paulista – SP – Brasil.

³ Mestre Ciências Biomédicas UNIARARAS; Diretor da Secretaria de Meio Ambiente de Itapira-SP; Docente do Curso de Graduação em Educação Física da UNIMOGI – Mogi Guaçu – SP – Brasil. E-mail: martellibio@hotmail.com

⁴ Doutor em Engenharia Civil, pela Escola Politécnica da USP; Engenheiro Civil pela Universidade Tecnológica de Panamá. Professor do curso de Engenharia Civil na Universidade São Francisco, Bragança Paulista – SP – Brasil.

⁵ Engenheiro Elétrico pela UNESP – Guaratinguetá-SP. Mestrado em Engenharia Elétrica pela UNICAMP. Professor da Universidade São Francisco, Bragança Paulista – SP – Brasil.

1. Introdução

O crescimento socioeconômico de um país, está diretamente ligado à sua produção de energia, o que a torna de extrema importância para o desenvolvimento de cada região. Atualmente no Brasil a principal fonte de energia é proveniente de hidrelétrica, petróleo, carvão mineral e biocombustível, porém esses recursos causam muitos danos ao meio ambiente, intensificando o efeito estufa. Na tentativa de mudar esse cenário o uso de fontes de energia renovável, está sendo cada vez mais estudado e utilizado.

Na construção civil também não é diferente, essa área vem buscando novas alternativas de unir qualidade, conforto e sustentabilidade, desde a inserção de materiais reciclados a definição da fonte energética mais adequada. Dentre as opções inseridas no mercado, as fontes renováveis mais procuradas para suprir a demanda energética residencial são Energia Fotovoltaica, procedente da captação solar, e Energia Eólica, resultante da força do vento. Existem muitos fatores que levam a definição do melhor método a ser empregado, o local onde está situado a residência é o principal deles, já que para serem viáveis é preciso de uma quantidade mínima de captação solar ou velocidade do vento, outro fator é a diferença de custo entre eles e a mão de obra especializada para instalação e manutenção.

1.1 Contexto Histórico Da Energia Eólica

O uso de energia eólica não é recente, e exerceu papel importante na vida das pessoas, como os famosos moinhos de vento que ajudavam em trabalhos braçais. Esses moinhos surgiram por volta de 200 a.C na Pérsia, utilizados para bombear água e moer grãos. Séculos depois, foi descoberto que os chineses já faziam uso desses moinhos para drenar o seu campo de arroz, não se sabe ao

certo quando eles começaram a utilizar essa ferramenta, sabe-se que eram formados de velas de pano e eixo vertical de rotação.

Foi na Europa que foram inventados os primeiros moinhos de eixo horizontal de rotação, que tiveram um grande papel na economia agrícola, substituindo o trabalho humano e animal. Porém em meados do século XX, com a eletrificação das áreas rurais, a utilização deles entrou em declínio. Enquanto na Europa o uso foi se tornando escasso, nos Estados Unidos devido a necessidade da energização de algumas áreas, os equipamentos foram modernizados, e o equipamento do Reverendo Leonhard R. Wheeler, chamado Eclipse, se tornou modelo de turbina eólica. Estima-se que exista mais de 150.000 unidades nos Estados Unidos hoje.

Já no Brasil, segundo ABEEólica (2018), o primeiro aerogerador que entrou em operação foi instalado em 1992, no arquipélago de Fernando de Noronha, resultante de uma ligação entre o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), financiados pelo o instituto de pesquisas dinamarquês Folkecenter. Em 2001 foi criado o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) no Brasil, com a intenção de incentivar a contratação de empreendimentos de geração de energia eólica no país, tendo como finalidade a contratação de 1.050 MW de projetos de energia eólica até dezembro de 2003. Contudo, esse programa não alcançou resultados satisfatórios e foi trocado pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, o PROINFA, que é até hoje o principal programa de incentivo às fontes de energias renováveis.

1.2 Contexto Histórico Da Energia Fotovoltaica

A Energia Fotovoltaica é obtida através do sol, porém a criação e utilização

das células fotovoltaicas para a conversão é considerada recente. Sendo primeiro estudada somente para projetos de satélites. (BRAGA, 2008)

Em 1839, o físico francês Edmund Becquerel, observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico em uma solução de selênio, ele percebeu que ao serem iluminados pelo sol, os eletrodos de uma solução condutora sofriam tensão. Em 1870 esse efeito foi estudado em sólidos, e em 1880 foi construída a primeira célula fotovoltaica com selênio. Os Estados Unidos começaram pesquisas sobre a aplicação dessa energia por volta de 1950, alguns anos mais tarde em 1954, o Laboratório Bell criou a primeira célula fotovoltaica de silício de junção PN.

No início dessa descoberta, o foco era no estudo da utilização da célula fotovoltaica em satélites, só após a crise energética de 1973/74, começou a estudar a sua utilização como forma de energia. Hoje existem diversos materiais condutores e semicondutores na conversão de energia fotovoltaica.

No Brasil foi a partir de 2010 que o conceito começou a ganhar força, e então os consumidores que visavam gerar sua própria energia, encontraram uma nova opção por meio da instalação e utilização de sistemas fotovoltaicos. Mesmo sendo realidade desde o início de 2010, a tecnologia fotovoltaica teve melhores avanços nos últimos anos rendendo elevado número de instalações. A oferta de linhas de financiamentos, tanto por bancos públicos como privados, proporcionou diretamente esse crescimento garantindo taxas de juros e prazos atrativos. Em muitos casos os consumidores podem pagar pelo sistema através da conta de luz com a economia de energia gerada.

No momento a energia solar fotovoltaica é mais empregada em residências, indústrias, comércios e através de usinas de energia solar. Devido ao grande

número de vantagens oferecidas, o sistema fotovoltaico tem sido cada vez mais instalado. Em 2017 foram instalados 20.794 sistemas de energia solar fotovoltaica no Brasil. (BLUESOL, 2018)

1.3 Energia Eólica versus Energia Fotovoltaica

Para entender melhor o funcionamento de cada energia é necessário em primeira instância compreender os termos On Grid e Off Grid. São eles modalidades de cada sistema que podem ser conectados ou não à rede elétrica, sendo On Grid introduzido diretamente na rede e Off Grid caracterizado por não se conectar à rede, abastecendo diretamente os aparelhos que utilizam a energia gerada.

A energia cinética armazenada nas massas de ar em movimento, ou seja, vento, é chamada de Energia Eólica. Sua utilização ocorre através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, são utilizadas turbinas também conhecidas como aerogeradores, para fornecer eletricidade.

A produção de ventos ocorre no campo global e regional. No âmbito global as porções da Terra recebem raios solares quase que perpendiculares, ocorrendo na região dos trópicos sendo ela mais aquecida que as regiões polares. Consequentemente, o ar quente que está nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir e ser alterado por massa de ar frio das regiões polares, estimulando a formação dos ventos.

As estações do ano, a topografia e a rugosidade do solo, contribuem para a variação da quantidade de energia disponível no vento.

Uma suposição seria que 2% da energia solar total dos ventos em torno do planeta absorvida pela Terra seja transformada em energia cinética dos ventos. Apesar de parecer pequeno, esse percentual

representa centenas de vezes a produção anual de energia nas centrais elétricas do mundo.

O vento está disponível gratuitamente na natureza, sendo um recurso natural inesgotável, não poluente e pode ser encontrado em todas as regiões. Porém existem mudanças de sua velocidade e direção.

São utilizados equipamentos eletromecânicos para a geração de energia dos ventos em energia cinética, tendo como principal componente o aerogerador (turbina eólica). No início surgiram várias formas de aerogeradores (eixo vertical, eixo horizontal, com uma pá, com duas e três pás, gerador de indução, gerador síncrono). Ao longo dos anos as características passaram a ser: eixo de rotação horizontal, três pás, gerador de indução, alinhamento ativo e estrutura não-flexível.

No mercado existem diversos modelos de turbinas eólicas, que variam de acordo com as necessidades e condições oferecidas. Existem três tipos de aplicações do sistema eólico, são elas:

Sistemas Isolados – é um tipo de sistema onde as regiões geográficas não são atendidas pelo sistema de transmissão, ou seja, geralmente usam baterias como forma de armazenamento.

Sistemas Híbridos – esses sistemas também são considerados isolados, porém utilizam diversas fontes de geração combinadas como: combinação de turbinas eólicas, geração a diesel e painéis fotovoltaicos.

Sistemas Interligados a Rede (*On Grid*)

- Com esse sistema a energia transformada pelo inversor é injetada no quadro geral da unidade consumidora, essa energia alimentará a rede como um todo. Caso a potência gerada no momento seja superior à potência dos aparelhos que estejam ligados ao mesmo tempo, o excedente da energia

será exportado para a rede, passando pelo medidor de energia da distribuidora, que computará essa energia como energia elétrica injetada. O valor da energia injetada é utilizado como crédito energético, e serve para abater do valor da energia consumida, formando assim o Sistema de Compensação. O máximo que pode ser abatido é o valor total da energia consumida, e caso o valor abatido seja maior, esse crédito pode ser utilizado em outras unidades consumidoras que estejam no mesmo nome do proprietário (BLUESOL, 2017).

A energia solar fotovoltaica é produzida por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade, sendo utilizada tanto nas áreas urbanas quanto rurais. O gerador fotovoltaico é constituído por módulos fotovoltaicos, sendo estes compostos por células fotovoltaicas que utilizam o efeito fotoelétrico ou fotovoltaico, sendo responsáveis em converter a luz solar em eletricidade.

Segundo Nascimento (2014, p.14, apud ALMEIDA et. al, 2016, p. 3) afirma que “Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela. Este fenômeno é denominado “Efeito Fotovoltaico”.”

Um sistema fotovoltaico é um conjunto integrado de módulos fotovoltaicos e outros componentes, projetado para converter a energia solar em eletricidade (MAYCOCK, 1981, apud GAMInstitutoA, 2018).

A célula fotovoltaica é transformada por um material semicondutor, passando primeiramente por uma etapa de purificação e em seguida pelo processo de dopagem. Para ocorrer a dopagem é necessária a adição de alguns elementos químicos (ex: boro e fósforo dosado nas quantidades exatas).

Comercialmente existem células fotovoltaicas feitas à base de silício monocristalino, policristalino ou amorfo, porém existem outros materiais como o disseleneto de cobre-indio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe).

Como na Energia Eólica, o sistema fotovoltaico também é dividido nos três tipos de sistema: Isolados, Híbridos ou Interligados a Rede. E nesse caso o método escolhido continua sendo o Interligado a Rede.

Diante dos conceitos abordados, o estudo realizado tem como objetivo evidenciar qual a fonte renovável mais viável, em uma região onde há oportunidade da utilização de ambas, para isso será levantado dados como história e conceito de cada energia, a escolha do equipamento, instalação, quantidade de energia gerada e custo.

2. Metodologia

O primeiro passo da metodologia empregada na elaboração desse projeto foi a definição e estudo da residência modelo (Figura 1). A escolha foi feita devido ao real interesse de instalação de energia sustentável, por parte de um dos professores dessa instituição (Universidade São Francisco) e também as condições favoráveis de localização. A residência está situada na área rural do município de Socorro-SP, Rua Oito, Bairro Livramento (Figura 2), tendo como proprietário o Sr. Edgar Manuel Miranda Samudio.



Figura 1. Residência modelo. Fonte: Próprios autores.



Figura 2. Localização da residência. Fonte: Google Earth-Maps.

Através de análise da localização e informações fornecidas pelo proprietário, foram coletados os seguintes dados necessários para dar sequência no projeto:

- a) Quantidade de moradores: 3
- b) Companhia elétrica responsável: Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL Energia)
- c) Classificação do sistema energético: Convencional B1, Residencial – Bifásico (220/127 V)
- d) Consumo médio de energia ao mês (Figura 3): 196 kWh
- e) Valor do kWh da companhia elétrica CPFL (incluso os tributos): R\$ 0,574

HISTÓRICO DE CONSUMO		kWh	Dias
2019	MAR	121	31
	FEV	202	28
	JAN	114	32
2018	DEZ	214	30
	NOV	372	46
	SET	116	31
	AGO	212	29
	JUL	136	32
	JUN	213	30
	MAI	197	29
	ABR	209	32
	MAR	248	30
	FEV	194	28

Figura 3. Média de consumo. Fonte: CPFL Energia (2019).

Com a casa definida e após visita no local, foi analisado as tarifas, o sistema de compensação e normas fornecidas pela distribuidora de energia (CPFL), para então realizar o dimensionamento do Sistema Eólico e Fotovoltaico.

Tarifas e Sistema de Compensação para Micro e Minigeração

Mesmo com a instalação de micro e minigeração que supra toda a demanda energética do local, é necessário que a residência continue ligada ao sistema convencional de energia, o que acarreta ainda alguns gastos na fatura mensal.

Segundo critérios aderidos pela CPFL Energia (2019), em convênio com o CONFAZ – ICMS 16/2015 (Conselho Nacional de Política Fazendária – Legislação Regulamentadora de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), a isenção de ICMS ocorre nas seguintes situações:

- apenas as unidades consumidoras pertencentes ao mesmo titular da unidade geradora poderão se beneficiar da isenção. Unidades que façam parte do sistema de compensação de energia estiverem com a titularidades diferentes não terão isenção de ICMS;
- a tarifa de energia elétrica (kWh) é composta por TUSD e TE, a isenção do ICMS será aplicada apenas sobre a parcela de TE;

c) para a energia ativa injetada na rede da distribuidora, se o consumo for maior que a quantidade de kWh injetados, a diferença da energia será cobrada acrescida do imposto (...)

Conforme Decreto 61.439 de São Paulo, não há isenção de ICMS para: o custo de disponibilidade, energia reativa, demanda de potência, encargos de conexão ou uso do sistema de distribuição e quaisquer outros valores cobrados pela distribuidora.

Em relação ao PIS/COFINS (Programas de Integração Social/Contribuição para Financiamento da Seguridade Social), todas as unidades consumidoras envolvidas no processo de micro e minigeração que possuem o mesmo titular serão isentas dessas taxas. Já o adicional das bandeiras tarifárias é cobrado apenas ao valor de consumo que exceder à geração.

Quando a geração for igual ao consumo, a Resolução Normativa nº 482 de 17/04/2012 determina que deve ser cobrado no mínimo o valor referente ao custo de disponibilidade para consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A.

O titular da residência modelo possui duas unidades independentes ligadas à rede elétrica, portanto toda energia excedida da residência (unidade 1) será transferida automaticamente à unidade 2 (escritório do titular).

O dimensionamento será projetado com o intuito de ser cobrado pela distribuidora apenas a taxa mínima referente ao custo de disponibilidade.

Dimensionamento Sistema Eólico

Para a escolha do melhor modelo eólico, o primeiro passo para o dimensionamento foi o cálculo da média de demanda energética do local a ser instalado, nesse caso sendo igual a 196 kWh. Em seguida

é necessário saber qual a velocidade dos ventos da região em que pretende ser instalado o gerador, essa informação é obtida através de consulta com empresas especializadas, que forneceram o dado de que em Socorro a velocidade média anual é de 6 m/s (21,6 Km/h), esse dado é utilizado para definir qual o aparelho adequado, e se é possível a instalação no local.

Após verificar junto a CPFL Energia e constatar quais os procedimentos para isenção de taxas e compensação, foram contatadas diversas empresas do segmento de energia renovável. A partir da avaliação das

propostas e considerando o custo-benefício, a empresa escolhida foi Eletrovento Energia Alternativa.

A escolha do melhor equipamento depende de três fatores: a velocidade mínima do vento para o funcionamento do gerador; a qual velocidade a potência nominal é alcançada; e em qual velocidade (máxima), o gerador é desligado (INSTITUTO IDEAL). Observando esses fatores escolheu-se o Aerogerador ELV-H3 - 1 kW, On Grid.

As características técnicas do produto podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1. Características Técnicas do Aerogerador.

Potência Nominal (W)	Potência Máxima (W)	Diâmetro das Pás (m)	Rotação das Pás (rpm)	Vento de Partida (m/s)	Altura da Torre (m)	Peso do Sistema (kg)	Geração (kWh/mês)
1.000	2.000	3,1	500	3	8	60	200

Fonte: Adaptada Eletrovento Energia Alternativa.

O sistema é composto pelos seguintes itens: Sistema Aerogerador 1 Kw, Retificador, Inversor On Grid, Proteção de Sobrecarga e Torre Estaiada de 8m. E o custo total é de R\$ 41.800,00.

Por se tratar de uma empresa situada em outra cidade, a 225 km de distância, será acrescido o valor de R\$ 500,00 para transporte do equipamento.

A instalação é feita pela própria empresa contratada, e cobrada separadamente. O valor de instalação nesse caso é R\$ 16.100,00, estando incluso mão de obra de instalação com deslocamento e estadia de dois técnicos no local.

A Manutenção de um sistema eólico de energia é considerada muito pequena e sem custos, nesse caso o fornecedor oferece 12 meses de garantia, porém existem alguns cuidados para que o equipamento funcione com eficiência e por um longo tempo. Esses cuidados são:

- Monitorar a produção de energia via inversor, evitando assim eventuais falhas;

- Fazer uma verificação periódica do sistema, para analisar se se o gerador ou torre possuem alguma vibração visível;
- Observar se não há nenhum ruído no sistema, verificando assim se não houve nenhuma alteração no padrão;
- Verificar as pás do gerador, sempre que estiver com ausência de vento.

Dimensionamento Sistema Fotovoltaico

Utilizando-se da mesma residência e demanda energética de 196 kWh, a primeira etapa para a escolha do painel adequado foi consultar o mapa de insolação brasileiro (Figura 4).



Figura 4. Mapa de insolação brasileiro. Fonte: SunLab.

O mapa é verificado para definir qual a incidência solar na região de Socorro que é igual a 6hrs diárias, valor esse que é utilizado para ajudar a definir o número de módulos do painel.

Assim como no sistema eólico foi preciso consultar a CPFL Energia para analisar as taxas e implantar o sistema de compensação.

Após estudar o custo-benefício das principais empresas do mercado, definiu-se então que a FEJ Engenharia será responsável pelo projeto.

O equipamento foi escolhido pela quantidade de módulos necessários para suprir a demanda de 196 kWh/mês. Portanto, de acordo com o fornecedor ficou estabelecido a necessidade de 6 módulos fotovoltaicos com 330 Wp de potência, a ser conectado em uma rede elétrica de baixa e média tensão da concessionária local.

O sistema fotovoltaico escolhido é constituído além dos módulos fotovoltaicos, por 1 Inversor Fotovoltaico de 2 kW, ambos da marca Canadian e 1 Estrutura de Fixação de alumínio de alta resistência. Junto com o dimensionamento a empresa fornece dentro da proposta os seguintes itens: memorial descritivo para acesso à concessionária;

instalação; cabeamento e conectores; kit de montagem e ancoragem na edificação; garantia dos equipamentos fornecidos pelo fabricante e garantia dos serviços prestados. O valor total para instalação do módulo fotovoltaico incluindo todos os equipamentos e serviços será de R\$ 17.500,00.

Para a instalação dos 6 módulos é necessária uma área mínima de 12 m², que será ocupada no telhado, conforme (Figura 5). Em regiões localizadas no hemisfério sul do planeta, o sistema fotovoltaico deve ser instalado na direção do Norte geográfico. O local deve ser seguro, evitando fácil acesso, e deve-se evitar áreas sombreadas para proporcionar melhor eficiência. A utilização de suportes adequados para fixação é necessária para evitar danos ao equipamento (SUNLAB, 2018).

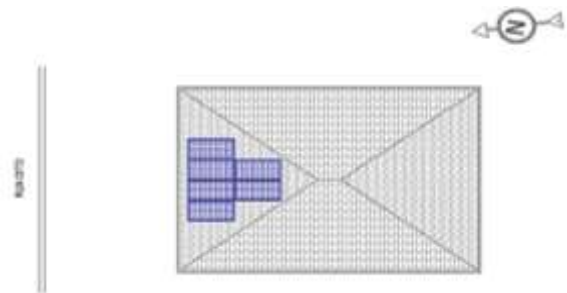


Figura 5. Esquema do painel fotovoltaico sobreposto no telhado. Fonte: Próprios autores.

Para definir a inclinação do aparelho, foi utilizada a fórmula expressa abaixo, que é baseada na latitude do local (22°33'9.8" S).

$$\text{Inclinação} = \text{Latitude} - \left(\frac{\text{Latitude}}{3} \right)$$

$$\text{Inclinação} = 22^{\circ}33'9.8'' - \left(\frac{22^{\circ}33'9.8''}{3} \right)$$

$$\text{Inclinação} \cong 15^{\circ}$$

A inclinação pode ser uma estimativa aproximada, porém não deve ser menor que 5°, para evitar acúmulo de sujeira.

A manutenção do sistema fotovoltaico é mínima, e o sistema escolhido também possui 12 meses de garantia, porém é importante se atentar a alguns cuidados

essenciais para o bom funcionamento dos painéis, esses cuidados são:

- Fazer regularmente uma inspeção visual nos inversores, para assegurar que não há insetos morando no equipamento;
- Ficar atento a possíveis sombreamentos não previstos na hora da instalação;
- Fazer limpeza dos painéis a cada dois anos para retirar a poeira e a poluição contida.

Além dos cuidados, devido as condições climáticas, pode ocorrer ruptura nos painéis, fazendo com que haja a necessidade da compra e instalação de novos.

Após dimensionamento, realizou-se o estudo das vantagens e desvantagens de ambas para ajudar a determinar qual entre as duas energias é mais viável para o consumo residencial.

3. Resultados e Discussão

Os respectivos dimensionamentos realizados nos forneceram os seguintes valores de custo apresentados na Tabela 2 e Tabela 3, que serão utilizados para estabelecer o período de retorno.

Tabela 2. Valor Sistema Eólico

ENERGIA EÓLICA	
TIPO DE SERVIÇO	VALOR (R\$)
SISTEMA EÓLICO	41.800,00
TRANSPORTE	500,00
INSTALAÇÃO E OUTROS ENCARGOS	16.100,00
TOTAL:	58.400,00

Fonte: Próprios autores.

Tabela 3. Valor Sistema Fotovoltaico.

ENERGIA FOTOVOLTAICA	
TIPO DE SERVIÇO	VALOR (R\$)
SISTEMA FOTOVOLTAICO	7.600,00
TRANSPORTE	—
INSTALAÇÃO E OUTROS ENCARGOS	9.900,00
TOTAL:	17.500,00

Fonte: Próprios autores.

Para especificar o período de retorno é necessário calcular o gasto médio anual de energia elétrica da residência. Utiliza-se dos valores de tarifa do Consumo Uso Sistema (TUSD) que é igual a 0,24578513, e também do Consumo Bandeira Verde (TE) 0,32851240, acrescidos da contribuição do custeio do IP-CIP Municipal (taxa de iluminação pública) no valor de R\$ 4,69 para a cidade de Socorro-SP. Portanto com o consumo médio de 196 kWh, tem-se:

$$\text{Total ao mês} = (\text{kWh} \times \text{TUSD}) + (\text{kWh} \times \text{TE}) + \text{IPCIP}$$

$$\text{Total ao mês} = (196 \times 0,24578513) + (196 \times 0,32851240) + 4,69$$

$$\text{Total ao mês} = 117,25$$

O gasto anual será de R\$ 117,25 × 12 = R\$ 1.407,00.

No entanto, mesmo com o consumo proveniente da CPFL sendo igual a zero, ainda será cobrado uma taxa de consumo mínima de 50 kWh (para rede bifásica), totalizando um valor de:

$$\text{Total consumo mín.} = (\text{kWh}_{\text{mín.}} \times \text{TUSD}) + (\text{kWh}_{\text{mín.}} \times \text{TE}) + \text{IPCIP}$$

$$\text{Total consumo mín.} = (50 \times 0,24578513) + (50 \times 0,32851240) + 4,69$$

$$\text{Total consumo mín.} = 33,40$$

O gasto mínimo anual é dado por R\$ $33,40 \times 12 = \text{R\$ } 400,80$, ou seja, a economia anual será: $\text{R\$ } 1.407,00 - \text{R\$ } 400,80 = \text{R\$ } 1.006,20$.

Com o valor de economia anual definido, é possível fazer a relação de tempo de retorno do investimento de cada tipo de energia que pode ser observada na Figura 6, onde a Energia Eólica recebe 1,72% de retorno ao ano, tendo o retorno total do investimento em 58 anos, e a Energia Fotovoltaica 5,75% ao ano, com o retorno total em 17 anos.

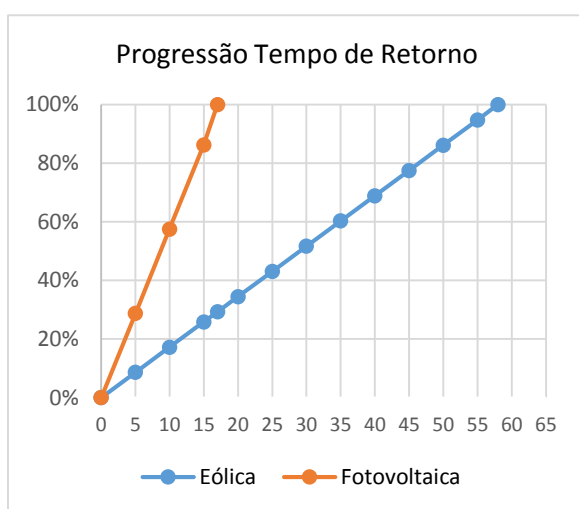


Figura 6. Gráfico tempo de retorno. Fonte: Próprios autores.

Comparativo com Sistema Existente

Como forma de comprovar o dimensionamento utilizou-se de um sistema já implantado em uma residência com selo verde, que utiliza ambas fontes de energia (Smart Eco House do Brasil), localizada em São Paulo-SP. Essa residência é composta por 4 moradores que consomem 410 kW/mês, cujo os sistemas instalados suprem toda a demanda, fazendo com que os moradores paguem apenas a quantidade mínima de consumo estabelecida pela companhia elétrica responsável (Enel). Após visita no local, o proprietário Sr. João Barassal Neto, forneceu os dados relevantes de cada sistema:

a) Valor mensal pago à companhia elétrica: R\$ 60,00

b) Modelo Sistema Eólico: Sinfonia Technology 4k (Off Grid)

- Quantidade de energia gerada: 1 kW

- Valor total gasto: R\$ 80.000,00

c) Modelo Sistema Fotovoltaico: IBC 250 W

- Quantidade de energia gerada: 1,5 kW

- Valor total gasto: R\$ 20.000,00

Com a demanda de 410 kW/mês, utilizando-se da taxa TUSD de R\$ 0,21276 para cada kWh, TE de R\$ 0,27087 para cada kWh e IP-CIP de R\$ 9,51, valores atuais da companhia elétrica Enel, foi possível calcular qual seria o valor pago em energia pela família, caso não possuíssem um sistema de energia renovável.

$$\begin{aligned} \text{Total ao mês} &= (\text{kWh} \times \text{TUSD}) + (\text{kWh} \times \text{TE}) + \text{IPCIP} \\ \text{Total ao mês} &= (410 \times 0,21276) + (410 \times 0,27087) + 9,51 \\ \text{Total ao mês} &= 207,80 \end{aligned}$$

O gasto anual médio seria de $\text{R\$ } 207,80 \times 12 = \text{R\$ } 2.493,60$.

Conforme especificado pelo proprietário, mesmo utilizando um sistema híbrido de energia sustentável, ainda ocorre um gasto mínimo na fatura de energia no valor de R\$ 60,00 mensais, que totalizam ao ano a quantia de: $\text{R\$ } 60,00 \times 12 = 720$. Portanto a economia anual da família é dado por: $\text{R\$ } 2.493,60 - \text{R\$ } 720,00 = \text{R\$ } 1.773,60$.

Utilizando-se do valor econômico anual, é possível calcular o tempo de retorno do projeto aplicado, sendo de 2,22% ao ano para Energia Eólica totalizando 45 anos, e de 8,87% ao ano para a Energia Fotovoltaica totalizando 11 anos para o retorno.

A relação do Sistema Implantado X Simulação pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4. Comparativo de Sistema Implantado X Simulação

SIMULAÇÃO X SISTEMA IMPLANTADO				
	Simulação (Consumo de 196 kWh/mês)		Sistema Implantado (Consumo de 410 kWh/mês)	
Tipo de Energia	Eólica	Fotovoltaica	Eólica	Fotovoltaica
Valor Total	R\$ 58.400,00	R\$ 17.500,00	R\$ 80.000,00	R\$ 20.000,00
Retorno em % a.a	1,72%	5,75%	2,22%	8,87%
Tempo Total de Retorno	58 anos	17 anos	45 anos	11 anos

Fonte: Próprios autores.

Ao observar a tabela é possível afirmar que quanto maior a demanda mensal de energia, menor será o tempo de retorno, sendo assim mais satisfatório.

Após analisar e discutir todos os dados, fez-se um comparativo final de qual a melhor fonte de energia sustentável para uso residencial, expresso pela Tabela 5.

Comparativo Final: Energia Eólica X Energia Fotovoltaica

Tabela 5. Comparativo Final: Energia Eólica X Energia Fotovoltaica

COMPARATIVO: EÓLICA X FOTOVOLTAICA		
	Energia Eólica	Energia Fotovoltaica
Valor Total	R\$ 58.400,00	R\$ 17.500,00
Tempo de Retorno	58 anos	17 anos
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação periódica do sistema, observando possíveis vibrações; • Verificar se não há presença de ruídos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeção Visual nos inversores; • Atentar-se a possíveis sombreamentos; • Limpeza dos painéis a cada dois anos;
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Energia menos poluente; • Não necessita manutenção especializada; • Boa opção para grandes consumos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manuseio e instalação; • Pouca manutenção; • Grande número de empresas no mercado; • Fácil acesso a mão-de-obra especializada; • Custo e tempo de retorno menores;
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto visual e sonoro; • Custo elevado, com grande tempo de retorno; • Poucas empresas especializadas; • Dificil acesso a mão-de-obra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Painéis frágeis que podem quebrar, sendo necessário a troca; • Necessário limpeza periódica.

Fonte: Próprios autores.

No comparativo pode ser observado que apesar de ambas fontes serem sustentáveis e possuírem retorno financeiro, o Sistema de Energia Fotovoltaico ainda é mais satisfatório para residências com baixa demanda. Além da grande diferença de custo, sua facilidade em instalação, mão-de-obra e manutenção, são fatores conclusivos para sua escolha.

4. Conclusão

O uso de fontes de energia renováveis surgiu como uma alternativa em substituir as fontes tradicionais que estavam escassas e poluindo cada vez mais o meio ambiente. Em resultado disso intensificou-se as pesquisas, incentivos e melhorias no setor energético com o objetivo de atender a demanda necessária, com custos e tecnologias acessíveis. O Brasil apresenta enorme potencial eólico e fotovoltaico, fazendo com que grande parte da população esteja buscando essas alternativas de energia, visando sustentabilidade e minimização de custos a longo prazo.

O presente artigo apresentou um comparativo entre instalação de Energia Eólica X Energia Fotovoltaica para consumo residencial. Para sua elaboração foi realizado uma revisão bibliográfica utilizando como fonte de pesquisa livros, dissertações, sites e outros artigos, que tinham como tema principal as duas fontes de energia, que permitiu a simulação do dimensionamento.

Após ser feito o dimensionamento, levantamento de custo e tempo previsto de retorno, foi possível perceber que se tratando de baixo consumo de energia a implantação de ambos os sistemas possui um alto custo inicial e longo período de retorno, se tornando economicamente inviável. Para residências que visam apenas a sustentabilidade, o Sistema de Energia Fotovoltaico ainda é o

mais indicado, devido a facilidade de instalação, manutenção e mão-de-obra de fácil acesso, além de ser necessário menos que 1/3 do valor que seria utilizado no sistema eólico.

Portanto, conclui-se que ambas as energias são viáveis ambientalmente, pois são fontes renováveis e que não geram emissão de gases poluentes. Mas para se obter um retorno satisfatório que vise sustentabilidade e economia, é indicado que a residência tenha um consumo energético mínimo de 400 kWh por mês, ou para empresas e comércios de grande porte onde a diminuição na conta de energia seria significativa, fazendo com que o retorno do investimento inicial seja mais rápido.

5. Referências

- ABEEÓLICA. Eólica: energia para um futuro inovador. Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/energia-eolica-o-setor/>>. Acesso em: 27 out. 2018.
- ALMEIDA, Eliane; et. al. Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica. Disponível em: <<http://www.fumec.br/revistas/eol/article/download/3574/1911>>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- BLUESOL. Energia Solar no Brasil: Um panorama para “você” entender tudo. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>>. Acesso em: 27 out. 2018.
- BLUESOL. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid): O Guia 100% Completo. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/sistema>

- fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>. Acesso em: 01 abr. 2019.
- BRAGA, P. R. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações. 2008. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2018.
- CPFL ENERGIA. Micro e Minigeração. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/produtos-e-servicos/Paginas/mini-microgeracao.aspx>>. Acesso em: 06 mai. 2019.
- ELETROVENTO. Energia Eólica: Modelo ELV-H3.1. Disponível em: <<http://www.eletrovento.com.br/produto/modelo-elv-h3-1-1-kw/5/>>. Acesso em: 06 mai. 2019.
- FERREIRA, João F.K; FERNANDES, Thamires R.S. A Energia Eólica, um estudo comparativo: Brasil-Suécia.. 2015. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014536.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- GAMA, Paulo H. R. P.; et al. Geração Fotovoltaica de Energia no Brasil. Disponível em: <http://www.cigre.org.br/archives/BT_13_final.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2018.
- GOOGLE EARTH-MAPS. Foto por satélite. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/dir/Susten+Centrista+Solu%C3%A7%C3%B5es+Ambientais+Ltda.,+Rua+Oito,+Socorro+-+SP,+13960-000/@-22.5532484,-46.5950018,170m/data=!3m1!1e3!4m8!4m7!1m0!1m5!1m1!1s0x94c91678226b03ed:0xd6d2c65ae1c0997c!2m2!1d-46.5946084!2d-22.552981>>. Acesso em: 06 mai. 2019.
- INFRAESTRUTURA URBANA. Energia. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/6/artigo227165-2.aspx>>. Acesso em: 01 abr. 2019.
- INSTITUTO IDEAL. Guia Eólica. Disponível em: <<http://institutoideal.org/guiaeolica>>. Acesso em: 16 nov. 2018.
- MHS SOLAR. Como funciona processo de energia solar MHS. Disponível em: <<https://bhenergiasolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-em-belo-horizonte/como-funciona-processo-de-energia-solar-mhs/>>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- O BLOG DA ENGENHARIA MECÂNICA. História da Energia Eólica e suas Atualizações. Disponível em: <<https://fabricioengmec.blogspot.com/2017/07/historia-da-energia-eolica-e-suas.html>>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- PORTAL ENERGIA. Dimensionamento do controlador de carga para um sistema solar. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/controlador-carga->

sistema-solar/>. Acesso em: 15 abr. 2019.

PORTAL SOLAR. Modelos de placa solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/modelos-de-placa-solar.html>>. Acesso em: 06 mai. 2019.

SUNLAB. Dimensionamento Solar Fotovoltaico. Disponível em: <http://www.sunlab.com.br/Dimensionamento_solar_fotovoltaico.htm>. Acesso em: 30 nov. 2018.