

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM RESIDÊNCIAS POPULARES NA CIDADE DE GOIÂNIA

Souza, H. F.¹; Rodrigues Camargo, J. V.²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Fagundes, B. F.³

Professor Dr., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Abstract— One of the biggest problems in the world today is to reduce the pollution generated by large energy sources, such as the burning of fossil fuels. Solar energy is considered one of the main renewable and clean sources. Photovoltaic energy harnesses energy coming from the sun through photons and converts light energy into electrical energy. This energy generated by the sun in our terrestrial atmosphere can generate the corresponding to 10,000 times the entire world consumption (Brito, 2006). This article aims to analyze the economic feasibility of implementing photovoltaic renewable energy in low-income housing in Goiânia. For that, a field research was carried out and the Pvsyst and Payback application was used to analyze the economic feasibility or not of the implementation. We concluded the feasibility of deploying renewable energy with an investment that would pay in 5 years and one month, reducing the cost of the energy bill for payment of the minimum tariff for a period of 20 years, taking into account the useful life of the 25-year photovoltaic panel.

Keywords – Fossil fuels. Renewable energy. Popular housing.

Resumo— Um dos grandes problemas do mundo atual é reduzir a poluição gerada por grandes fontes de energia, como por exemplo, a queima de combustíveis fósseis. Considera-se a energia solar uma das principais fontes renováveis e limpas. A energia fotovoltaica aproveita a energia vinda do sol através de fótons e converte energia luminosa em energia elétrica. Esta energia gerada pelo sol em nossa atmosfera terrestre pode gerar o correspondente a 10.000 vezes todo o consumo mundial (Brito, 2006). Este artigo visa analisar a viabilidade econômica da implementação de energia renovável fotovoltaica em habitações populares em Goiânia. Para tanto foi realizada uma pesquisa de campo e utilizado o aplicativo Pvsyst e o Payback para a análise da viabilidade econômica ou não da implantação. Sendo assim, conclui-se que o projeto demonstra viabilidade de implantar energia renovável como um investimento, tendo seu retorno em 5 anos e um mês, reduzindo o custo da conta de energia para pagamento de tarifa mínima por um período de 20 anos, levando em conta a vida útil do painel fotovoltaico de 25 anos.

Palavras-chave – *Combustíveis fósseis. Energia renovável. Habitações populares.*

1. Introdução

A energia elétrica tornou-se um dos processos mais importantes na vida do homem contemporâneo, havendo a necessidade de buscar cada vez mais fontes de fornecimento energético renováveis. Ao contrário dos combustíveis fósseis, a energia proveniente do sol não causa poluição, sendo uma das principais vantagens de usá-la.

Décadas atrás, o homem não imaginava que a energia fóssil não fosse esgotar, hoje a realidade é outra. Faz-se necessário utilizar outros tipos de matrizes energéticas, pois além da indústria e a vida urbana ser fortemente dependente da eletricidade, o planeta está passando por mudanças climáticas causadas pela poluição.

A preocupação com o meio ambiente vem crescendo e o Brasil vem investindo na energia limpa. De acordo com Ministério de Minas e Energia, as matrizes energéticas renováveis em 2020 tiveram uma participação de 48% no total, sendo a energia hídrica a mais predominante de todas com 60,8% com uma porcentagem inferior, comparada ao ano de

2016 com 68,6%, essa redução é uma consequência do crescimento de fontes de energias renováveis.

Segundo Rutsatz, Mählmann, & Rodriguez (2014), devido à alta demanda de energia, as buscas por energia limpa vêm crescendo cada dia mais, a energia solar é uma das principais fontes de energia renovável menos poluente conhecida. O que reforça a preocupação com o meio ambiente.

Com todas essas mudanças e preocupações, surge um questionamento: se é possível a implementação de energia solar em residências populares como investimento alternativo e o custo para essa implementação. A partir dessa questão a pesquisa foi realizada uma extensa pesquisa da energia fotovoltaica no mundo e no Brasil. Em seguida foi feito um levantamento utilizando tabelas e entrevistas em bairros populares na cidade de Goiânia, com o objetivo de desmistificar que a energia solar é mais cara que a energia não renovável, simulando através dos dados obtidos, a viabilidade de se utilizar a energia proveniente do sol.

2. Energia Solar no Mundo

Nos últimos anos, a distribuição de sistemas de energia solar no mundo cresceu exponencialmente, principalmente na Ásia com 274,6 GW de potência instalada e em seguida a Europa com 119,3 GW. Segundo dados levantados em 2021 pela IEA (Agência Internacional de Energia), países com grande capacidade instalada como China, Alemanha, Japão e Estados Unidos, a taxa de utilização da energia solar pode chegar a 30% em suas matrizes energéticas, até 2022. Representando 25,8% da produção mundial, atualmente a China é o país com a maior capacidade instalada de geração de energia solar capacidade chegando a 130 GW instalado.

O rápido crescimento econômico e crescimento populacional da China demanda uma grande capacidade de energia e recursos naturais, consumindo cerca de 14% da energia mundial, segundo o Instituto de Estudos Estratégicos de Petróleo, Gás e Energia (Ineep, 2021). Com o objetivo de diversificar a estrutura energética e reduzir a dependência de energia fóssil, principalmente carvão e petróleo, que são um dos principais produtos importados, a China desenvolveu tecnologias para obtenção de energia renovável, com foco na energia solar e eólica.

2.1. Energia Solar no Brasil

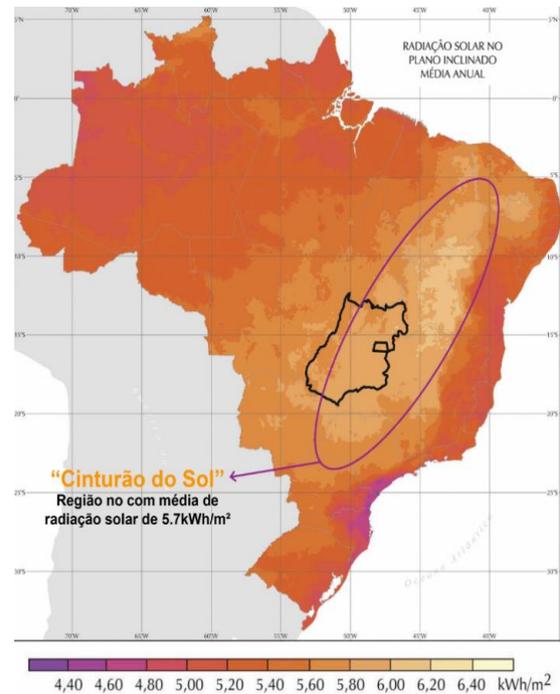
A energia solar brasileira representa apenas 2% de toda a matriz energética do país em 2022, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), entretanto, o número de sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil tem crescido substancialmente, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país. A energia solar é usada principalmente em residências para ajudar a reduzir as contas de eletricidade, gerando calor, aquecendo água ou usando energia fotovoltaica para gerar eletricidade. A vantagem do Brasil é que a energia solar tem uma ampla gama de potencial energético, pois a incidência de energia solar é maior do que países como Alemanha, França e Espanha, que desenvolvem projetos fotovoltaicos com mais frequência.

Por estar localizado abaixo da linha do equador, o Brasil possui uma ótima posição para recebimento de incidência solar. Assim, em 2020 país ultrapassou marca de 10 GW de potência instalada em energia solar e passou a ocupar a 14ª posição na lista de países com mais capacidade de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar). Em geral, 26% da radiação solar atinge a superfície terrestre de forma difusa, ou se espalha para a superfície terrestre, e 25% incide diretamente na região equatorial, tornando o país uma grande fonte em potencial a ser utilizada. No atlas solar do Brasil, o valor máximo da radiação solar é observado na parte oeste da região Nordeste, incluindo a parte norte de Minas Gerais, a parte nordeste de Goiás e a parte sul do Tocantins.

2.1.1. Energia Solar em Goiás

Segundo dados levantados em 2019 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), anualmente as taxas de incidência solar no Estado do Goiás ficam entre 2.000 e 2.500 horas, tornando-se destaque no país. Embora fique localizada em uma das regiões mais vantajosas do país (Figura 1), a energia solar representa apenas 0,3% da matriz energética de Goiás e 1,2%, ocupando a 6ª posição no país, com capacidade instalada de 221,9 megawatts (MW).

Figura 1- Mapa cinturão solar do Brasil



Fonte: Portal solar.

2.2. Energia Fotovoltaica

O sol por ser uma grande fonte de calor e energia, torna a energia fotovoltaica um excelente investimento para reduzir gastos para classes de baixa renda e renovar as matrizes energéticas. Em 1839, um físico e cientista francês chamado Bequerel, dava os primeiros passos para os estudos fotovoltaicos, obtinha-se tensão elétrica, de uma ação da luz sobre um eletrodo metálico submerso em uma solução química.

Outros pesquisadores obtiveram resultados parecidos com selênio sólido, conhecido por ser um semicondutor, isto por volta de 1877. Albert Einstein também pesquisou a relação do efeito fotoelétrico e sua relação com o efeito fotovoltaico no qual ganhou o prêmio Nobel (Villalva & Gazoli, 2012).

O sistema fotovoltaico on-gride é um modelo que está conectado à rede pública, como tal, possui uma unidade inversora interativa que converte a energia solar em eletricidade e fornece eletricidade em excesso à rede. Essa transferência para a rede ocorre quando a energia produzida pelo sistema excede a energia consumida pela propriedade, resultando em créditos de energia para o proprietário do sistema que podem ser utilizados por até 60 meses.

Ao contrário dos sistemas conectados à rede (On grid), os sistemas Off grid não estão conectados à rede pública. Este tipo de sistema funciona com base em baterias estacionárias que armazenam a energia gerada por painéis fotovoltaicos e por este motivo, pode acabar sendo mais caro em comparação com o modelo conectado à rede.

3. Composição do Sistema Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são a unidade básica de operação de um sistema de geração de energia. O módulo é composto por uma estrutura montada sobre uma armação, principalmente de alumínio, composta por células fotovoltaicas conectadas em paralelo e em série, geralmente cobertas de polímeros para proteção contra impactos e intempéries.

Figura 2 - Painel fotovoltaico



$$E_c = E_{mm} - CD \quad (1)$$

Onde:

E_c = Energia de Compensação

E_{mm} = Energia Média de Consumo

CD = Tipo de Distribuição Bifásico (100 kWh)

A partir da energia de compensação encontrada para 30 dias, busca-se o valor dessa energia diária. No qual divide o valor encontrado por 30, conforme mostrado abaixo.

$$E_{cd} = \frac{E_c}{30} \quad (1.1)$$

Onde:

E_{cd} = Energia de Compensação diária

E_c = Energia de Compensação

Posteriormente, necessita-se encontrar a radiação média na cidade de Goiânia-Go, conforme já mostrado no item 2.1.2 desse projeto. A partir da radiação média e do valor da E_{cd} pode-se chegar a quanto de potência de energia tem que ser gerada, mostrada na fórmula a seguir:

$$W_p = \frac{E_{cd}}{\text{Radiação}} \quad (1.2)$$

Com o valor da potência que tem que ser gerada pelos painéis e a potência de cada painel, conclui-se o número de painéis a serem usados, a partir da equação 1.3:

$$N^{\circ} \text{ painéis} = \frac{W_p}{P_{\text{painel}}} \quad (1.3)$$

P = Potência de cada painel

Segundo a norma NBR-10899, o módulo fotovoltaico é uma unidade formada por um conjunto de células fabricadas a partir do silício. Os painéis são um dos elementos principais em sistemas tanto on-gride (conectado à rede) quanto off-gride (isolado da rede), pois são eles que são responsáveis por receber a irradiação solar e transformar em energia elétrica.

Essa transformação ocorre quando as partículas de fótons vão de encontro com os átomos de silício presentes nas células do módulo solar, gerando a movimentação dos elétrons, consequentemente gerando uma corrente elétrica contínua. Em sequência, um inversor converte a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), possibilitando a passagem para o quadro de luz onde será distribuída para residência, confira na figura 2 o funcionamento do sistema.

3.1. Inversor de Corrente

O inversor solar (Figura 3) é um equipamento usado para converter a energia gerada pelos painéis solares de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), possibilitando o uso da energia elétrica gerada pela energia solar fotovoltaica, nos sistemas conectados à rede pública, os inversores são sincronizados de acordo com a rede da concessionária.

Figura 3 – Inversor de Corrente



Popularmente os inversores da ABB são de apenas 3,3 kW a 8 kW, enquanto os inversores Fronius são de 1,5 kW a 3,1 kW, e os mais usados são os inversores PHB de 1,5 kW, 3,0 kW e 4,6 kW devido a vasta disponibilidade no mercado. Como a potência nominal do gerador e a potência nominal do inversor é aproximadamente 1, não há necessidade de redimensionar o inversor, o que geralmente ocorre em áreas de baixa radiação solar. Segundo Silva (2013), para a seleção do inversor, a potência nominal dos módulos conectados ao inversor não pode ser superior a 110% da potência máxima do inversor de corrente contínua assim como demonstrado na equação 1.4.

$$P \text{ módulos} = 1,1 \times P \text{ inversor} \quad (1.4)$$

Onde:

P módulos: Potência máxima dos módulos.

P inversor: Potência máxima de corrente contínua do inversor.

Segundo Silva (2013), os módulos só devem ser conectados em série quando a soma das tensões de curto-circuito apresentar um valor inferior a 90% da tensão de corrente contínua máxima do inversor.

3.2. String Box

A instalação do string box serve de proteção dos equipamentos do sistema fotovoltaico, e também evita problemas como incêndio, combustão no local e até mesmo sistemas elétricos no local da instalação.

Figura 4 – String Box



A importância de proteger os sistemas fotovoltaicos, pois a queda direta ou indireta de raios pode causar danos ou perda de equipamentos, e também proteger a vida das pessoas durante a instalação ou manutenção, pois garante proteção contra choques elétricos diretos e indiretos caso o módulo inversor precise ser substituído. Sendo assim, local mais indicado para instalação do string box deve ser mais próximo do sistema fotovoltaico e nunca dentro da residência

3.3. Cabeamento

O cabeamento utilizado na instalação do sistema fotovoltaico deve ser específico para o projeto, pois, o composto utilizado no cabo fotovoltaico é desenvolvido com aditivos para proteção contra os raios UV. Fabricantes como o da IFC/COBRECOM, são mais populares por serem rigorosos controle de qualidade e estão de acordo com a Norma ABNT NBR 16612.

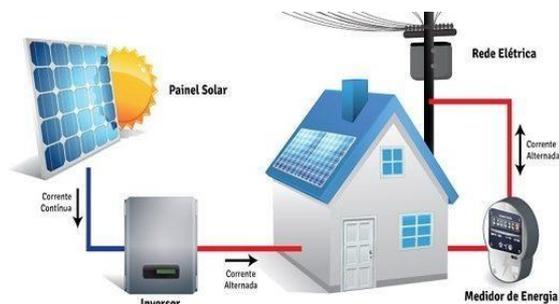
Assim, dependendo do tipo de cabo ele dura de 25 a 60 anos exposto ao tempo. Somente por este motivo já o caracterizaria como altamente ecológico. Porém ele é 100% reciclável ao final de sua vida útil, tornando-o um produto ecológico. Segundo as normas técnicas recomendadas pelos fabricantes, utiliza-se a seguinte equação para determinar a seção mínima do condutor:

$$S = p \left(\frac{D \times I}{V} \right) \quad (1.8)$$

Onde:

S = seção mínima do condutor em mm²;
p = resistividade do material do condutor, geralmente cobre;
D = distância total do condutor, considerando ida e volta;
I = corrente que passa pelo condutor;
V = queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado.

Figura 5 - Componentes de um sist. fotovoltaico



Fonte: www.neosolar.com.br

3.4. Redução de custo dos equipamentos

Os avanços tecnológicos recentes ajudaram a reduzir o preço dos sistemas fotovoltaicos. Em menos de 40 anos, esse valor caiu de US\$ 79,67 para US\$ 0,36 por sistema. De acordo com dados de mercado, a redução de preço caiu cerca de 90% no valor dos equipamentos, reduzindo o preço de custo para R\$250,00 por placa (Figura 6). A inovação tecnológica está por trás da redução de preço das placas solares, tornando um dos fatores mais importantes que impulsionaram a expansão mundial da energia solar, aumentando a competitividade do setor.

Figura 6 - Histórico dos preços de células de silício.



Fonte: IPEA, 2018

3.5. Energia produzida

De acordo com Silva (2013) “a estimativa de produção de energia pode ser encontrada utilizando a expressão a seguir”:

Geração Anual (MWh/ano): Potência de cada módulo (Wp) x N° de módulos x nível médio de radiação solar (h) x eficiência global x 365 x 10⁻⁶. (1.5)

Onde:

- Geração Anual (MWh): Estimativa da geração de energia elétrica injetada na rede;
- Potência de cada módulo (Wp): Potência nominal do módulo selecionado em Wp;
- Número de módulos: Quantidade de unidades de módulos fotovoltaicos;
- Nível médio de radiação solar (h): Nível médio anual de radiação solar do local de instalação, plano inclinado igual à latitude, em horas de insolação máxima ou kWh/m²/dia.
- Eficiência global: Fator que leva em conta as perdas no módulo fotovoltaico. Valor típico 0,7 a 0,8. Geralmente usa-se o valor de 0,8.

Através do total de energia gerada, pode-se chegar ao valor total de energia em reais economizado. Utilizando técnicas da engenharia econômica que é um campo de estudo para avaliar o valor de serviços e bens para tomar decisões de investimento para empresas de diferentes setores. É uma ferramenta extremamente importante para quem precisa resolver problemas de forma técnica, para que possa ser aplicado em projetos privados e públicos.

$Eg \text{ (kWh)} = n^\circ \text{ dias} \times \text{Potência Instalada} \times \text{Radiação Solar} \times \text{Rendimento Inversor} \times \text{Energia Mensal Produzida}$ (1.6)

Esse consumidor é alimentado por um sistema bifásico, então, multiplica-se a tarifa de energia (anexo G) pelo ICMS de 30% e pela energia gerada em determinado período.

$R\$ \text{ (economia)} = (Eg(p) * \text{Tarifa}) \times \text{ICMS}$ (1.7)

Com os dados obtidos da análise econômica e com o valor total do investimento, pode-se obter o tempo estimado de retorno desse investimento.

3.6. Legislação para energia fotovoltaica

A regulamentação e comercialização da energia, elétrica teve início com a lei nº 10.848, de 15 de Março de 2004, que dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, alterando outras leis em vigor. Em seguida, o decreto de nº 5163, de 30 de julho de 2004, que também trata da regulamentação e comercialização de energia elétrica, regulamenta o

processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e menciona o modelo de contratação de geração distribuída.

Em 17 de abril de 2012, através da resolução normativa ANEEL nº 482, a ANEEL estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, estabelecendo também o sistema de compensação de energia elétrica. A resolução Nº 482/2012 da ANEEL, estabelece direitos que compensam consumidores pela energia elétrica injetada na rede ao qual ele faz parte. Quando a produção de energia excede a capacidade de consumo, ela imediatamente é injetada na rede pública gerando créditos para unidade consumidora. Assim, quando o sistema não é capaz de produzir energia, a residência passa a consumir eletricidade da concessionária, trocando os créditos armazenados por eletricidade.

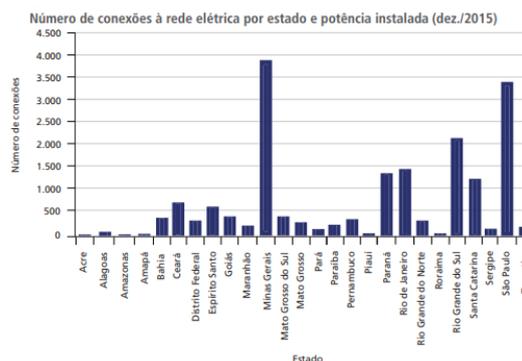
No ano de 2022, a Lei 14.300/22, passou a instituir o marco legal da micro e minigeração de energia. A lei permite às unidades consumidoras já existentes e as que protocolarem solicitação de acesso na distribuidora em 2022 a continuação, por mais 25 anos, dos benefícios hoje concedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE). A Lei 14.300/22 estabelece uma etapa de transição para a cobrança de tarifas de uso dos sistemas de distribuição por parte de micro e minigeradores. Até 2045, micro e minigeradores existentes pagarão os componentes da tarifa somente sobre a diferença se esta for positiva entre o consumido e o gerado e injetado na rede de distribuição, como já ocorre hoje.

3.7. Geração de energia solar em residência popular

Diversos trabalhos tiveram como objetivo o estudo e análise de geração de energia solar em suas regiões, com foco em residências de baixa renda. A relativamente baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia acaba sendo um obstáculo para a expansão na geração e consumo de energia solar, mas diversos trabalhos tem buscado soluções para que as fontes de energia se tornem economicamente viáveis, à longo e médio prazo, e está relacionada com a micro geração de energia (ABESCO, 2016). Muitos investimentos nessa área procuram atender áreas sociais, criando emprego e renda, ampliando a geração de emprego, e atendendo famílias de baixa e média renda (RUTHER et al, 2008).

Uma análise nacional foi realizada em 2018, pelo IPEA (instituto de pesquisa econômica aplicada). Uma discussão sobre a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos na modalidade de geração distribuída foi realizada. Em 2015, com a resolução da ANEEL, o número de conexões já aumentou bastante, com destaque para os estados de São Paulo e Minas gerais (Figura 7).

Figura 7 - Número de conexões por estado.



Fonte: ANEEL.

Fonte: INEP, 2018

Em 2017, Carvalho apresentou uma análise dos impactos econômicos de uma ampliação do uso de energia solar, no estado de Minas Gerais. Utilizando 10 famílias representativas, divididas por classes de rendimento, foi possível realizar um estudo em diferentes classes. Segundo a sua análise, devido ao alto preço dos painéis fotovoltaicos no mercado, a sua adoção era economicamente viável apenas para famílias de elevado consumo de eletricidade, que consequentemente são famílias com faixas mais elevadas de renda.

Em Goianésia, Goiás, um estudo de implantação de energia fotovoltaica residencial foi realizado, através da instalação de um sistema On Grid em uma residência familiar. No caso estudado, o estudo se provou ser viável mesmo em sistemas de residências unifamiliares, com retorno de viabilidade em 8 anos. Segundo o estudo, como o tempo médio de duração desse tipo de sistema é de 25 anos, ainda restaria uma rentabilidade de 17 anos após o retorno do investimento.

Em 2020, Araújo et.al. realizou uma análise de viabilidade em um conjunto popular residencial na cidade de João Pessoa, Paraíba. O conjunto em análise contava com 32 unidades habitacionais. Os resultados apresentaram uma média mensal de 4332,78 Kwh/mês, representando 120% do consumo. O caso analisado, por ter sido feito em conjunto, representou uma economia de 60% se comparado ao valor médio de uma instalação individual. No caso estudado, mesmo sendo considerado a tarifa especial que beneficia famílias de baixa renda (Tarifa social), os valores dos impostos nas contas se sobrepunham aos valores do desconto, tendo também essa questão como justificativa para esse tipo de instalação

4. Estudo de caso

Para realizar esta pesquisa, foi necessário dividir em duas partes. A primeira parte foi a pesquisa de campo e projeção. Sendo assim, a coleta de dados teve duração de um mês, iniciando-se em agosto de 2022 e terminado em setembro do mesmo ano. A segunda parte foi a análise individual de uma residência, selecionado um projeto fotovoltaico fornecido por uma empresa goiana, onde foram implantados os equipamentos. A pesquisa buscou demonstrar de que forma ocorre a instalação do sistema fotovoltaico, suas vantagens e desvantagens e qual o custo-benefício da utilização desta tecnologia

4.1. Pesquisa de Campo

Para obter os dados de consumo médio das residências, foi realizado uma pesquisa de campo em Goiânia-Goiás. Os setores escolhidos foram: Setor Leste Vila Nova, Setor Universitário e Setor Nova Vila. Após ter selecionado estes setores, foram realizadas entrevistas com 30 moradores, divididos entre em 10 residências para cada bairro, verificando o uso de energia elétrica, potência e quantidade de horas dos aparelhos, coletando os dados suficientes para preencher a tabela 1 e realizando em seguida a média do consumo.

Tabela 1 - Relação de aparelho e consumo

| Aparelho | Potência do aparelho |
|-------------------|----------------------|
| Batedeira | 100 W |
| Chuveiro elétrico | 5500 W |
| Geladeira | 500 W |
| Lâmpada | 10 W |
| Liquidificador | 200 W |
| Máquina de lavar | 1000 W |
| Televisão | 90 W |
| Ventilador | 100 W |
| Ferro elétrico | 1000 W |
| Computador | 300 w |

4.1.1. Dados Obtidos

Após as entrevistas, foram calculadas as médias do consumo dos aparelhos (Tabela 2) com objetivo de realizar o dimensionamento das placas fotovoltaicas necessárias para a implantação do sistema elétrico.

Tabela 2 - Resultado de média obtida pela coleta de dados

| | |
|--------------------------------------|--------------|
| Potência total dos aparelhos (média) | 108,34419 kW |
| Consumo mensal média das casas | 198,72 Kwh |
| Valor médio do consumo em reais | R\$ 180,34 |
| Consumo KW/H + ICMS + PIS + COFINS | R\$ 0,64 |

4.1.2. Fórmula para dimensionamento de sistema fotovoltaico

Para calcular o tamanho do sistema é necessário usar a fórmula (2), que é resultado do produto entre a potência do painel escolhido, média de incidência solar regional, taxa de desempenho, divididos pela quantidade de dias mensais.

PFV=Potência do painel (265Wp)

HSPMA= Média diária anual de incidência solar no plano do painel em Goiânia (5.2).

TD= Taxa de desempenho (0.8)

$$E = \frac{(PFV \times HSPMA \times TD)}{30} = 4 \text{ módulos} \quad (2)$$

4.1.3. Dimensionamento

Para realizar o dimensionamento, foram utilizados os dados coletados com a pesquisa de campo (Tabela 1) para posteriormente gerar uma previsão de consumo (Tabela 2), possibilitando uma análise de todo o custo necessário para implementação do sistema fotovoltaico. O projeto foi realizado no sistema PVSyst (Apêndice A), que é um software desenvolvido pela Universidade de Genebra na Suíça para a simulação completa de sistemas fotovoltaicos. Devido a sua abrangência, funcionalidades, precisão no cálculo e confiabilidade se tornou um dos softwares mais utilizados no mundo para o dimensionamento e projeto de sistemas fotovoltaicos. Diversas usinas de energia solar no mundo tiveram o projeto validado através do PVSYST.com a finalidade de organizar os dados a serem entregues, demonstrando o consumo, o custo do material necessário e o valor da implantação.

Figura 8 - Simulação no PVsyst com finalidade de demonstrar o projeto e seu custo de implantação.

Grid-Connected System: Economic evaluation

Project: SFCR -
Simulation variant: simulacao SFCR

| Main system parameters | | System type | Grid-Connected | |
|------------------------|--|-----------------------|----------------|--------------------|
| PV Field Orientation | | tilt | 17° | azimuth 7° |
| PV modules | | Model | BLD265-60P | Pnom 265 Wp |
| PV Array | | Nb. of modules | 4 | Pnom total 1060 Wp |
| Inverter | | Model | ecoS-1000 | Pnom 1000 W ac |
| User's needs | | Unlimited load (grid) | | |

| Investment | | | |
|---|---------|------------------|------------------|
| PV modules (Pnom = 265 Wp) | 4 units | 690 Real / unit | 2760 Real |
| Supports / Integration | | 0 Real / module | 0 Real |
| Inverter (Pnom = 1.0 kW ac) | 1 units | 2976 Real / unit | 2976 Real |
| Settings, wiring, ... | | | 0 Real |
| Estrutura | | | 460 Real |
| Demais materias | | | 700 Real |
| Serviço de Instalacao | | | 900 Real |
| Engineering | | | 1600 Real |
| Substitution underworth | | | 0 Real |
| Gross investment (without taxes) | | | 9396 Real |

| Financing | | | |
|---|----------------------------|--|----------------------|
| Gross investment (without taxes) | | | 9396 Real |
| Taxes on investment (VAT) | Rate 0.0 % | | 0 Real |
| Gross investment (including VAT) | | | 9396 Real |
| Subsidies | | | 0 Real |
| Net investment (all taxes included) | | | 9396 Real |
| Annuities | (Loan 5.0 % over 20 years) | | 754 Real/year |
| Annual running costs: maintenance, insurances ... | | | 0 Real/year |
| Total yearly cost | | | 754 Real/year |

| Energy cost | |
|-------------------------|-----------------|
| Produced Energy | 1756 kWh / year |
| Cost of produced energy | 0,43 Real / kWh |

Sendo assim, serão necessários 4 módulos de 265wp, totalizando 1024wp, geração final em kWh 127.795,2. 1 Inversor de 1060wp. Projeto elétrico. Serviço de instalação. Estrutura. Materiais gerais. Total do investimento R\$ 9.396,00 (nove mil trezentos e noventa e seis reais).

4.2. Análise individual de uma residência

O objetivo deste estudo é analisar os dados reais de um sistema de geração de energia fotovoltaica conectado à rede de distribuição da Enel para gerar eletricidade quando a demanda da usina for menor que a energia produzida e fornecer o excedente à rede da concessionária. Para a escala do sistema fotovoltaico, foi utilizado o consumo médio de energia elétrica de uma residência (Tabela 3), localizada na cidade de Goiânia, Goiás, habitada por uma família de 3 moradores.

Tabela 3 – Consumo mensal da residência

| Faturas Baixa tensão | |
|----------------------|---------------------|
| Consumo Mensal | Fatura 1 |
| Janeiro | R\$ 210,00 |
| Fevereiro | R\$ 170,00 |
| Março | R\$ 190,00 |
| Abril | R\$ 186,00 |
| Mai | R\$ 195,00 |
| Junho | R\$ 187,00 |
| Julho | R\$ 198,00 |
| Agosto | R\$ 179,00 |
| Setembro | R\$ 189,00 |
| Outubro | R\$ 183,00 |
| Novembro | R\$ 198,00 |
| Dezembro | R\$ 191,00 |
| Total | R\$ 2.276,00 |

A partir dos dados de insolação e do potencial de geração de energia dos painéis solares (Tabela 4), pode-se determinar a energia gerada pelos painéis, permitindo a análise do consumo diário e compensação energética. Portanto, é necessário saber o quanto de energia será produzida, pois em um sistema conectado à rede, é possível planejar um sistema que atenda parcialmente a demanda.

Tabela 4 – Dados de Geração

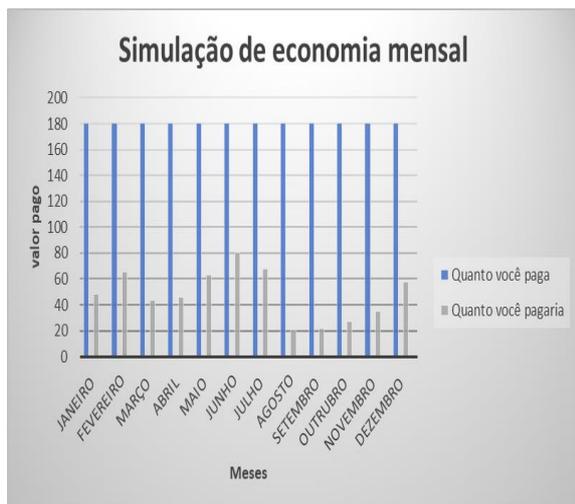
| Dados de Geração | | |
|--------------------------|-------------|-------------|
| Local | Goiânia | Goiás |
| Média Solar | 5,25 | KWh/m² dia |
| Performance | 76% | - |
| Tempo | Dias | 365 |
| Potência dos Módulos | 405 | Wp |
| Quantidade de Módulos | 4 | Unid |
| Potência dos Inversores | 3 | KW |
| Quantidade de Inversores | 1 | Unid |
| Potência Instalada CC | 1,62 | KWp |
| Potência Instalada CA | 3 | KW |
| Energia Gerada | 196 | Mês |
| Energia Gerada | 2.358 | Ano |
| Produção Específica | 1,455402217 | KWh/kWp/ano |
| Fator de Capacidade DC | 16,61% | - |
| Fator de Capacidade AC | 8,97% | - |

Apesar do sistema solar exigir um alto investimento inicial, ao decorrer dos anos, o valor gasto com o sistema é retornado devido à redução dos gastos com a conta de energia, proporcionado pela geração de energia solar. Como pode ser notado na (Tabela 4), o sistema fotovoltaico com potência de 1,62 kWp, terá uma performance de 76% ao longo dos 25 anos de vida útil, gerando 2.358 kw de energia por ano.

5. Resultados

Os resultados do Gráfico 1 foram gerados através de simulações computacionais no Excel e representam os valores a serem economizados em Kwh, por meio do uso das placas solares. Embora seja necessário um investimento inicial para instalar o sistema fotovoltaico, o valor gasto no início é reduzido devido ao fato do consumidor pagar somente a tarifa mínima de energia, sendo uma grande oportunidade de investimento para o consumidor reduzir seus gastos com o consumo de energia. Pode-se observar que houve uma economia maior nos meses de agosto, setembro e outubro visto que a Enel fez um aumento na tarifa para consumidores residenciais. Sendo assim a tarifa de energia é a variável mais importante quando se trata de analisar o retorno do investimento do retorno da energia fotovoltaica, pois, quanto maior a tarifa de eletricidade mais viável financeiramente é a instalação de energia solar.

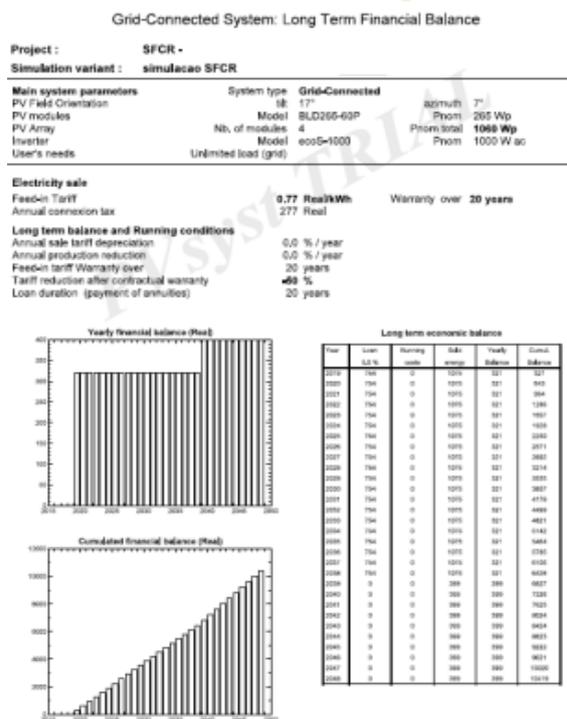
Gráfico 1 - Simulação de economia mensal



5.1. Resultados Gerais

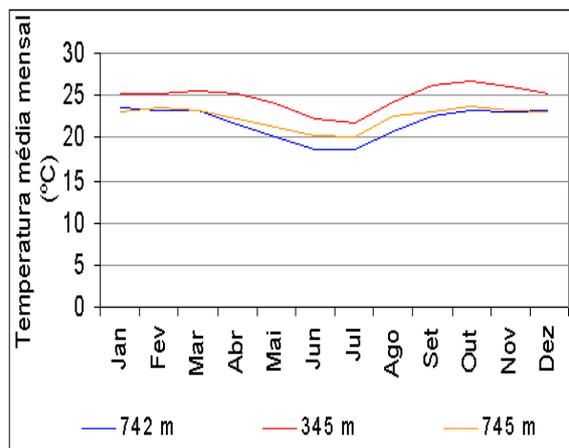
A partir dos dados obtidos na entrevista e com resultados alcançados através de simulações computacionais, é possível observar o custo-benefício desse investimento, com seu retorno financeiro pago no 5º ano (Figura 9), gerando energia limpa durante 25 anos e com 80% de eficiência.

Figura 9 - Simulação Payback



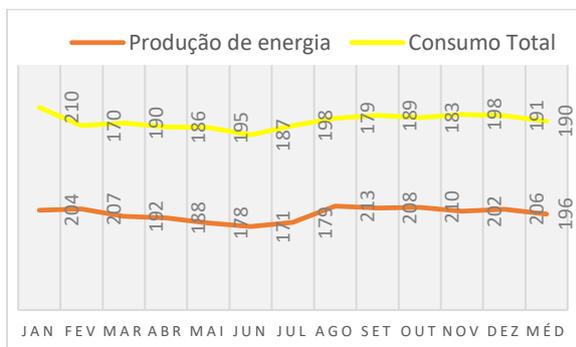
É importante ressaltar que os meses com menor irradiação solar, produzem menos energia, como os meses de maio, junho e julho (Figura 10) e consequentemente as que tem mais irradiação produzem mais. A estação quente permanece por 1,7 mês, de 27 de agosto a 16 de outubro, com temperatura máxima média diária acima de 32 °C. O mês mais quente do ano em Goiânia é outubro, com a máxima de 32 °C e mínima de 21 °C, em média. A estação fresca permanece por 2,5 meses, de 9 de maio a 24 de julho, com temperatura máxima diária em média abaixo de 30 °C. O mês mais frio do ano em Goiânia é junho, com a máxima de 15 °C e mínima de 29 °C, em média.

Figura 10 - Temperatura de Goiânia



O sistema fotovoltaico tem diversos benefícios, um deles é o sistema de compensação de créditos, onde os meses que têm uma produção excedente de energia, como setembro, outubro, novembro e dezembro (Gráfico 2), compensam os meses com produção inferior ao consumo, iguais aos meses de janeiro, junho, julho e agosto, onde o consumo superou a produção de energia do sistema.

Gráfico 2 – Relação entre consumo e produção



5.2. Resultados do estudo individual

Após analisar o caso individualmente do projeto instalado em uma residência, situada na cidade de Goiânia, foi constatado que o consumo médio estimado para casa (Tabela 5) será entre R\$ 2,048,40 a R\$ 2.276,00 anualmente e mensalmente R\$ 189,67 a R\$ 170,70. Enquanto a produção de energia solar feita pelo sistema, irá gerar uma economia anualmente com valores de R\$ 2.357,75 a R\$ 2.121,98 e mensalmente R\$ 196,48 a R\$ 176,83. Sendo assim o sistema atende 103,59% da demanda da residência, com possibilidades de acúmulo de créditos devido a energia gerada não consumida, sendo utilizada posteriormente em meses com menos insolação.

Tabela 5 – Relação entre consumo e produção

| CONSUMO MÉDIO ESTIMADO* | | PRODUÇÃO MÉDIA (1º ANO) | | Demanda |
|-------------------------|------------|-------------------------|------------|---------|
| Anual | Mensal | Anual | Mensal | |
| R\$ 2.276,00 | R\$ 189,67 | R\$ 2.357,75 | R\$ 196,48 | 103,59% |
| R\$ 2.048,40 | R\$ 170,70 | R\$ 2.121,98 | R\$ 176,83 | 89,79% |

Com base nos valores do orçamento do sistema, foi feita uma estimativa para saber em quanto tempo seria possível obter o retorno do investimento feito no sistema. Verificou-se que, conforme mostra a Tabela 6, o retorno financeiro (payback) seria obtido a partir do 5º ano após a instalação do sistema fotovoltaico, pagando o investimento inicial de R\$ 9.182,87 e com VPL igual a 6%, que é a taxa de rendimento que indica

o mínimo que um investidor aceitaria ganhar quando faz um investimento. Assim, o consumidor passaria a pagar somente a tarifa mínima de aproximadamente R\$ 25,80 mensalmente. É importante ressaltar que estes valores estão sujeitos a mudanças, como o aumento de tarifas de acordo com a inflação (IPCA)

Tabela 6 - Retorno financeiro

| | |
|------------------------------|------------|
| Retorno financeiro (Payback) | 5 anos |
| Tarifa mínima (R\$/kW) | 25,8 |
| Desconto consumidor Final | 0% |
| Investimento (R\$) | 9.182,87 |
| OeM Anual (R\$) | 146,93 |
| Taxa de desconto p/ VPL | 6,00% |
| IPCA + Delta real tarifa | IPCA+5,65% |
| Inflação Anual | 10,00% |

Sendo assim, conclui-se que a pesquisa de campo e a simulação, foram feitas com êxito, pois o resultado é semelhante ao demonstrado no estudo de caso individual a partir de um sistema instalado em uma residência goiana.

Portanto, vários trabalhos já foram desenvolvidos buscando demonstrar o potencial energético e econômico da utilização de sistema solar. Para Miranda (2014), os painéis solares têm ótimos programas de financiamento para compra e instalação recomendados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Para pessoa física, existem diversas linhas de crédito para financiamento de energia solar, a Construcard da Caixa, Banco do Brasil, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), são algumas de diversas instituições que oferecem créditos para construções de sistemas renováveis.

Conclusões

Como pode ser observado, o projeto demonstra viabilidade através da análise do payback, que é o tempo necessário para o investimento se pagar, de modo que o investimento se pagaria em 5 anos. A partir de uma análise de dois orçamentos que implementaram o sistema acima, observa-se que a instalação de painéis solares, apesar de um alto valor de investimento inicial, pode economizar quase 100% nas contas de energia elétrica ao longo dos anos.

Levando em conta que a vida útil de cada painel fotovoltaico é de 25 anos, teríamos 20 anos pagando a tarifa mínima, reduzindo o custo da conta de energia. Além da economia financeira, existem ainda outras vantagens que um sistema fotovoltaico proporciona, uma vez que este sistema contribui para redução de emissão de poluentes e não gera ruídos, evitando também a poluição sonora.

O primeiro orçamento analisado neste trabalho mostra que a partir do quinto ano de aquisição do sistema fotovoltaico, o valor do investimento inicial se recuperou devido à economia gerada pela energia solar. No segundo orçamento, esse retorno ocorre a partir de partir do quinto ano também, alcançando o objetivo deste trabalho em demonstrar a viabilidade de implementar energia solar em residências populares.

Além disso, é possível estimar que com a alta das tarifas e com a redução dos custos dos equipamentos devido ao avanço da tecnologia, diversos brasileiros podem vir a se interessar pela instalação do sistema fotovoltaico energia. Sendo assim, um maior incentivo por parte do Estado aos interessados por projetos como esse poderia desenvolver fortemente o mercado dessa tecnologia de produção de energia limpa, já que o país em si já detém características favoráveis para se tornar um dos maiores produtores de energia renovável.

Os resultados obtidos neste estudo de caso estão de acordo com os achados dos seguintes autores: Brito (2006); Miranda (2014); Nascimento (2018); Cavalcante (2016). Os autores observaram que a energia fotovoltaica é compensatória por gerar energia de forma limpa e descentralizada, pois, o sistema solar cada vez mais vem aumentando a demanda e reduzindo os custos de aquisição e instalação.

Uma proposta de trabalho futuro é a avaliação de redução de custos através do uso de energia solar compartilhada, visto que este sistema pode ser usado por um grupo de pessoas físicas ou jurídicas, por meio de consórcio ou cooperativa e que estejam em locais atendidos pela mesma rede distribuidora de energia, sendo possível compartilhar energia fotovoltaica de um grupo de moradores ou lojistas, por exemplo.

Referências Bibliográficas

ABESCO- Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. Informação disponível em: <http://www.abesco.com.br>. Acessado em 12/2016.

ARAÚJO, B. C. S., Alves, T. T. R., Figueiredo, C. F. V., Geração de energia solar em residências de baixa renda. Informativo Técnico do Semiário, Revista Intesa, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. ABSOLAR. (2016) "Geração distribuída solar fotovoltaica", Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE, Rio de Janeiro.

CARVALHO, Micaele Martins de., Impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar em Minas Gerais. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

CAVALCANTE, Francisco. ZEPPELINI, Paulo. Payback: Calculando o Tempo Necessário para Recuperar o Investimento. Brasil. CAVALCANTE, 2016.

CINTRA JÚNIOR, Anízio. SOUZA, Igor Menezes. Células Fotovoltaicas: O futuro da energia alternativa. Trabalho de conclusão de curso da Faculdade Evangélica de Goianésia. Curso de Engenharia Civil, 2018.

CRESESB. Energia Solar: princípios e aplicações. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/> Acesso em 19 fevereiro 2022.

Dassi, J. A., Zanin, A., Bagatini, F. M., Tibola, A., & Moura, R. B. (13 de novembro de 2015). Análise da Viabilidade Econômico-Financeira de Energia Solar Fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Custos, 11- 13.

DUSOL – Energia Sustentável. Por que o mercado de energia solar é promissor para o Brasil em 2019? 13 fev. 2019. Disponível em: <https://www.dusolengenharia.com.br/post/mercado-de-energia-solar-brasil-em-2019/>. Acesso em: 13 mar. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. Rio de Janeiro: EPE, 2022.

Espósito, A. S. e Fuchs, P. G. (2013) "Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil". Revista do BNDES, v. 40, dez/2013, pp. 85-114.v

GUIMARÃES, Daiane Costa. O impacto da aplicabilidade de tecnologia de placa fotovoltaica voltada para residência familiar usando prospecção tecnológica. 2016. 79 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência da Propriedade Intelectual) - Pós-Graduação em Ciência da Propriedade Intelectual. Universidade Federal de Sergipe – UFS. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/3431/1/DAIANE_C_OSTA_GUIMARAES.pdf. Acesso em: 04 abr. 2022.

IPEA. Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico. Texto para discussão/IPEA, 2018.

IST, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa. Breve história da energia solar. 2004. Disponível em: <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar.html> Acesso em: 20 mar. 2022.

JACKSON, T.; OLIVER, M. The viability of solar photovoltaics. Energy Policy, v. 28, n. 14, p. 983 – 988, 2000.

KANNAN, N.; VAKEESAN, D. Solar energy for future world: - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 62, p. 1092 – 1105, 2016.

Kelman J. (2008) "Atlas de energia elétrica do Brasil", Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>, Outubro.

MIRANDA, Arthur. Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Ligado à Rede. Brasil. MIRANDA, 2014.

MME- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2005. Disponível em <http://www.mme.gov.br> Acesso em: Mai. de 2022.

NAKABAYASHI, rennyo, 2015. Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica. Tese de Mestrado, Instituto de Energia e Ambiente da USP, São Paulo;

Nascimento C. A. (2018) "Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica", Artigo científico, in: http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf, Outubro.

PORTAL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Tarifas residenciais vigentes. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493> Acesso em: 15 de Ago. 2021.

PORTAL SOLAR. Simulador para projetos de energia solar fotovoltaica. Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>. Acesso em: 18 de Set.2021.

RÜTHER, R.; SALAMONI, I.; MONTENEGRO, A. et al. Programa De Telhados Solares Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica Pública no Brasil. Fortaleza, CE. 2008.

SANTOS, F. F. Utilização de energia fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia. 2011. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

UNIFATEA. Projeto Casa Real 2019 UNIFATEA anuncia a contemplada e coloca a mão na massa. Centro Universitário Teresa D'Ávila - UNIFATEA, 2019. Disponível em:. Acesso em: 28 set. 2019.

Apêndice A

Grid-Connected System: Economic evaluation

Project : SFCR -

Simulation variant : simulacao SFCR

| Main system parameters | | System type | Grid-Connected | |
|-------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| PV Field Orientation | | tilt | 17° | azimuth 7° |
| PV modules | | Model | BLD265-60P | Pnom 265 Wp |
| PV Array | | Nb, of modules | 4 | Pnom total 1060 Wp |
| Inverter | | Model | ecoS-1000 | Pnom 1000 W ac |
| User's needs | | Unlimited load (grid) | | |

| Investment | | | |
|---|---------|------------------|------------------|
| PV modules (Pnom = 265 Wp) | 4 units | 690 Real / unit | 2760 Real |
| Supports / Integration | | 0 Real / module | 0 Real |
| Inverter (Pnom = 1.0 kW ac) | 1 units | 2976 Real / unit | 2976 Real |
| Settings, wiring, ... | | | 0 Real |
| Estrutura | | | 460 Real |
| Demais materias | | | 700 Real |
| Serviço de Instalacao | | | 900 Real |
| Engineering | | | 1600 Real |
| Substitution underworth | | | 0 Real |
| Gross investment (without taxes) | | | 9396 Real |

| Financing | | | |
|---|-----------------------------|--|----------------------|
| Gross investment (without taxes) | | | 9396 Real |
| Taxes on investment (VAT) | Rate 0,0 % | | 0 Real |
| Gross investment (including VAT) | | | 9396 Real |
| Subsidies | | | 0 Real |
| Net investment (all taxes included) | | | 9396 Real |
| Annuities | (Loan 5,0 % over 20 years) | | 754 Real/year |
| Annual running costs: maintenance, insurances ... | | | 0 Real/year |
| Total yearly cost | | | 754 Real/year |

| Energy cost | |
|-------------------------|-----------------|
| Produced Energy | 1756 kWh / year |
| Cost of produced energy | 0,43 Real / kWh |

Figura 8 - Simulação no PVsyst com finalidade de demonstrar o projeto e seu custo de implantação.