

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA *ON GRID* EM HABITAÇÕES
UNIFAMILIARES**

**DIOGO CÉZAR DA CUNHA RIBEIRO
EDUARDO DE ARAÚJO LOPES**

APARECIDA DE GOIÂNIA
2019



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: DIOGO CÉZAR DA CUNHA RIBEIRO

Matrícula: 20151030040066

Título do Trabalho: VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA ON GRID EM HABITAÇÕES UNIFAMILIARES

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 03/04/20

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra Instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Ap. de Goiânia, 03/04/20
Local Data

Diogo César da Cunha Ribeiro
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia - Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: EDUARDO DE ARAÚJO LOPES

Matrícula: 20151090040160

Título do Trabalho: VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
ON GRID EM HABITAÇÕES UNIFAMILIARES

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 03/01/2020

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de qualquer material incluso no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

AP. DE GOIÁS 03/01/2020
Local Data


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DIOGO CÉZAR DA CUNHA RIBEIRO
EDUARDO DE ARAÚJO LOPES

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA *ON GRID* EM HABITAÇÕES
UNIFAMILIARES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e desenvolvido na linha de pesquisa Eficiência Energética na Engenharia Civil, sob orientação do Professor Dr. Moisés Gregório da Silva.

APARECIDA DE GOIÂNIA
2019



TERMO DE APROVAÇÃO

**DIOGO CEZAR DA CUNHA RIBEIRO
EDUARDO DE ARAÚJO LOPES**

VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA ON GRID EM HABITAÇÕES UNIFAMILIARES

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e desenvolvido na linha de pesquisa Eficiência Energética na Engenharia Civil sob orientação do Dr. Moisés Gregório da Silva.

Aprovado em 25 de novembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Moisés Gregório da Silva
Dr. Moisés Gregório da Silva (Presidente - orientador)

Luciano Calça Alves
Dr. Luciano Calça Alves (Membro Interno)

Leandro Henrique Aguiar
Ms. Leandro Henrique Aguiar (Membro Externo)

VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA *ON GRID* EM HABITAÇÕES UNIFAMILIARES¹

Diogo Cézar da Cunha Ribeiro, Instituto Federal de Goiás - IFG
cezardiogo@hotmail.com
Eduardo de Araújo Lopes, Instituto Federal de Goiás - IFG
edulopes2007@gmail.com
Dr Moisés Gregório da Silva, Instituto Federal de Goiás - IFG
moisesgregorio2@gmail.com

RESUMO

Baseado na necessidade de produção de energia elétrica através de fontes renováveis, surgiu o presente estudo de viabilidade econômica, com foco em sistemas de energia fotovoltaica ligados à rede em habitações unifamiliares. A difusão desta matriz energética proporcionará o seu acesso às classes mais vulneráveis socioeconomicamente, possibilitando menor impacto ambiental e financeiro na produção e consumo de energia. O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi idealizado em uma residência na região sul de Goiânia, com a colaboração da empresa J & A Construtora Soluções Sustentáveis e do simulador da Portal Solar, em conformidade com as Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015 da ANEEL. A viabilidade econômica foi analisada através das ferramentas da matemática financeira (*TIR*, *VPL*, *IL*, *Payback*). Após análise dos dados, o projeto do Sistema Fotovoltaico demonstrou-se viável, com uma Taxa de Retorno Interna (*TIR*) de 10,31%. No caso do *Payback* descontado, o retorno financeiro ocorre em 11 anos e 9 meses.

Palavras-chave: *Energia Fotovoltaica. Sustentabilidade. Análise Econômica*

ABSTRACT

Based on the need to produce electricity from renewable sources, the present economic feasibility study emerged, focusing on grid-connected photovoltaic energy systems in single-family homes. The diffusion of this energy matrix will provide its access to the most socioeconomically vulnerable classes, enabling less environmental and financial impact on energy production and consumption. The sizing of the photovoltaic system was designed in a residence in the southern region of Goiânia, with the collaboration of the company J & A Construtora Sustainable Solutions and the Solar Portal simulator, in compliance with ANEEL Normative Resolutions 482/2012 and 687/2015. Economic viability was analyzed using the tools of financial mathematics (IRR, NPV, IL, Payback). After data analysis, the Photovoltaic System project proved feasible, with an Internal Return Rate (IRR) of 10.31%. In the case of discounted payback, the financial return occurs in 11 years and 9 months.

Keywords: *Photovoltaic Energy. Sustainability. Economic analysis*

¹Ribeiro, Lopes, Silva. Viabilidade Econômica de Sistemas de Energia Fotovoltaica *On Grid* em Habitações Unifamiliares. Aparecida de Goiânia: IFG, 2019.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na atualidade, a energia elétrica cumpre papel essencial na vida das pessoas, tornando-se inimaginável uma residência sem esse produto básico. Em meio aos problemas, seja pela ausência da energia elétrica, seja pelo impacto ambiental causado pela implantação de novas fontes geradoras ou ainda pelos elevados custos das tarifas, encargos e impostos, a propagação da tecnologia de produção de energia oriundas de fontes renováveis torna-se uma saída viável. A soma desses fatores vem estimulando o crescimento da utilização da energia fotovoltaica mundialmente, e com a difusão da tecnologia em larga escala, existe a tendência de tornarem-se acessíveis a maioria da população, diminuindo a dependência dos grandes grupos econômicos.

Nacionalmente, apesar do grande potencial, Goiás tem muito a contribuir com a utilização dos sistemas fotovoltaicos. Em recente estudo realizado pela Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento – Goiás (SEGPLAN), até dezembro de 2018, o estado ocupava a 9ª posição no ranking nacional, em potência instalada com geração distribuída pela fonte solar. Isso significa que foram gerados 15,91 MW, ou seja, 3,38 % de toda energia fotovoltaica gerada no território nacional (ALVES, 2018).

Em relação a utilização da geração distribuída, uma das principais vantagens é a de não necessitar de linhas de transmissão, contribuindo com a diminuição dos impactos ambientais gerados com o desmatamento das faixas de domínio por onde passam (TORRES, 2012). Possibilita ainda a instalação de sistemas de potências variadas e integradas às edificações urbanas, à medida que não necessitam de áreas extras para instalação (RÜTHER, 2004). Atrelado ao uso de energias limpas, existe a geração de novos postos de trabalho com o surgimento das empresas, capacitação profissional, desenvolvimento de projetos, gerando desenvolvimento e renda, além da geração de impostos. Estima-se que para cada MW gerado pela energia FV, são criados entre 25 a 30 novos empregos diretos (RENOVIGI, 2018).

Nesse contexto, a popularização da utilização da energia fotovoltaica em habitações unifamiliares, mostra-se como fonte alternativa ao uso de energia elétrica gerada principalmente por usinas hidrelétricas. Em função dos altos e constantes reajustes das tarifas de energia elétrica, esses consumidores têm o orçamento familiar significativamente comprometido. Da mesma forma, a ampliação do número de instalações contribuirá relevantemente com os aspectos socioeconômicos, nesse caso com ênfase às populações de menor poder aquisitivo.

Por fim, o referido projeto é relevante pelo fato de poder analisar e compreender o Sistema Fotovoltaico, verificando nele uma alternativa economicamente viável. Por meio de pesquisas bibliográficas e visitas técnicas a empresas especializadas nesse tipo de sistema, iniciou-se um levantamento dos principais requisitos para a instalação em habitações populares. Com isso, foi possível dimensionar e calcular os custos de instalação de um sistema para uma habitação unifamiliar.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O aproveitamento artificial da energia solar pode ser feito de três modos: a arquitetura bioclimática, a energia solar térmica e a energia fotovoltaica. O primeiro consiste em aproveitamento da luz natural do Sol por meio de integração arquitetônica às condições locais, como a utilização de telhas de material transparente, propiciando a iluminação natural de ambientes de uma edificação. A energia solar térmica compreende o efeito foto térmico, descoberto por Heinrich Rudolph Hertz em 1806 e teorizado por Albert Einstein em 1905 (SILVA, 2000), que consiste na captação da irradiação solar e conversão direta em calor. Já

a energia fotovoltaica é explicada pelo efeito observado por Edmond Becquerel em 1839, que consiste no aparecimento de diferença de potencial nos extremos de um semicondutor, quando esse absorve a luz visível (SOUZA, 2016).

Os semicondutores são os elementos localizados no Grupo IV da tabela periódica e possuem suas bandas de valência e de condução separados por uma faixa proibida de energia (*gap*) na ordem de elétron-volt. Na temperatura teórica de 0 Kelvin, todos os estados da banda de valência estão ocupados e todos os estados da banda de condução estão desocupados. Quando excitados termicamente, há a movimentação de elétrons (ALVES, SILVA, 2008). O elemento semicondutor silício (Si) é utilizado em cerca de 90% da composição de módulos solares e encontrando em abundância na natureza. Além de parte da areia, também é encontrado em rochas e minérios (quartzo, feldspato e mica) (BITTENCOURT, 2011).

Desde o desenvolvimento da primeira célula fotovoltaica, a composição do sistema é basicamente a mesma. Porém, com a ampliação da tecnologia aplicada atualmente, componentes que formam este sistema propiciam melhor eficiência. A primeira célula solar moderna foi apresentada em 1954 e tinha apenas dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, gerando 5 mW. Em 1955, a primeira aplicação de uma célula fotovoltaica de silício foi como fonte de alimentação de uma rede telefônica local na Geórgia, EUA (CIER, 2003). Cinquenta anos depois, em 2004, foram produzidos cerca de um bilhão de células com eficiência da ordem de 16%, ultrapassando pela primeira vez a barreira de 1 GW de potência elétrica anual instalada (VALLÉRA, BRITO, 2006).

No Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL é responsável por regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, atendendo a legislação conforme as diretrizes e as políticas do governo federal. Em 2015, a Resolução Normativa 482/2012 e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST, tiveram alterações importantes por meio da Resolução Normativa 687/2015. Entre elas, destaca-se a classificação da potência instalada da mini geração distribuída superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas. No caso de cogeração qualificada, esta deve estar compreendida em valores iguais ou menores a 5 MW. A potência instalada de geração deve ser, no máximo, o valor da demanda contratada junto a concessionária (ANEEL, 2015).

Com a regulamentação do setor, houve crescimento significativo da utilização de sistemas fotovoltaicos no país. Outro fator importante que colaborou para o melhor aproveitamento da implementação do sistema, é a quantidade disponível do valor médio de irradiação solar. A irradiação média no Brasil atinge patamares entre 1200 a 2400 kWh/m²/ano, valores acima da média do continente europeu e principais países geradores de energia fotovoltaica, como Canadá e Estados Unidos, com exceção de sua região sudoeste (MME, 2016).

Em relação à eficiência do sistema, é recomendado a utilização de micro inversores nas instalações residenciais que demandam menor consumo de energia, apesar de terem custo mais elevado que os inversores. Cada micro inversor gerencia a potência mínima de dois módulos fotovoltaicos de 330W, além de 2 pontos de rastreamento de máxima potência em ligações monofásicas, bifásicas e trifásicas. Com isso, se um módulo ficar sob efeito de sombreamento ou qualquer outro fator, o outro funcionará com eficiência máxima. Isto ocorre porque enquanto o inversor atua em conexões em série com os módulos, o micro inversor atua em paralelo, garantindo a máxima eficiência do sistema.

Existem no mercado micro inversores com potências variadas, sendo os mais utilizados os de 330W, 500W e 1000W. São eles quem definem a quantidade de energia produzida que será injetada à rede da distribuidora. Adicionalmente, o micro inversor possui um dispositivo de proteção que limita a potência recebida pelos módulos para que não haja sobrecarga, evitando danos ao equipamento. O ponto negativo da utilização de micro inversores é o alto custo de aquisição, pois enquanto um sistema composto de 40 painéis poderia ser montado

com 1 inversor *string*, seriam necessários 20 micros inversores de 2 painéis cada (SOLIS ENERGIA, 2018).

O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede é composto por painéis solares, equipamentos de suporte, inversores de frequência, medidor bidirecional e sistemas de proteções. Para que a concessionária faça a ligação, todos os equipamentos necessitam da homologação com selo do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). A energia dos raios solares é captada pelos painéis e convertida em corrente contínua. Posteriormente, a potência gerada é enviada ao inversor de frequência, responsável por transformar a corrente contínua em alternada. Então, a energia gerada é utilizada pela unidade consumidora e, caso haja geração excedente, esta é injetada à rede da concessionária por meio de um medidor bidirecional. Quando não há produção, a unidade consumidora é alimentada pela rede da concessionária (FILHO, TORRES, 2018).

A injeção de energia elétrica na rede da concessionária denomina-se balanço energético. Quando o balanço é positivo, ou seja, produz mais energia do que consome, ao final do fechamento da fatura mensal, haverá o acúmulo para utilização nos meses subsequentes, ficando limitado sua utilização em até 60 meses, segundo a Resolução Normativa (RN) nº 482 da ANEEL, de 27 de abril de 2012. O fato de não utilizar baterias para armazenar a energia produzida, desonera os custos de instalação do sistema, podendo atingir todas as classes sociais.

Para obter-se maior rendimento dos sistemas fotovoltaicos, alguns aspectos devem ser considerados. A posição do telhado em relação a orientação dos pontos cardiais norte, sul, leste, oeste, interfere de maneira significativa na eficiência e produção de energia solar. O norte geográfico é a melhor orientação para instalação dos módulos quando o sistema estiver no hemisfério sul, tendo em vista que 93% do território brasileiro encontrar-se nessa condição. Quando o sistema estiver instalado no hemisfério norte, os módulos devem estar orientados para o sul geográfico (CAIRES, 2014).

Outro aspecto importante é a inclinação dos módulos. Para calcular a inclinação real, a posição geográfica é de grande importância pois considera fatores como a oferta de luz diária, que de acordo com a estação do ano pode variar, além da latitude. Na região centro oeste, a angulação dos módulos pode ser ajustada numericamente igual a latitude do local da implementação do sistema. Nas demais regiões, é necessário ajustar o ângulo de inclinação para mais ou menos. Na região norte por exemplo, acompanhando a latitude a inclinação do sistema seria próxima de zero, impossibilitando o mesmo de operar na sua capacidade máxima por maior período diário. Assim, a inclinação das placas em relação ao nível do mar deve ser ajustada de acordo com a orientação de um profissional habilitado e capacitado (PORTAL SOLAR, 2018).

Não menos importante, os materiais de construção dos telhados e coberturas devem ser observados para o correto dimensionamento e instalação dos módulos. A cobertura de uma edificação pode ser executada com a utilização de telhas de material cerâmico, de fibrocimento ou metálico, além de lajes impermeabilizadas. Para que haja ventilação, a distância entre os módulos e o telhado deve ser entre 10 cm e 30 cm de altura, para os telhados compostos por telhas cerâmicas ou de fibrocimento. Para as telhas metálicas, os painéis podem ficar diretamente apoiados, pois estas dissipam o calor mais facilmente. Por fim, se a base da estrutura for constituída de laje ou superfícies cimentícias, a inclinação dos painéis fotovoltaicos deve ser de forma que gere o maior rendimento verificando a localidade da instalação (KOMECCO, 2019).

Na fase de projeto, sempre que possível, a concepção da edificação deve ser de acordo com sua posição geográfica. O ideal é que sua cobertura tenha uma situação ideal para implementação do sistema de energia solar com suas águas orientadas de maneira que

obtenha o maior aproveitamento da irradiação solar, seja pelo menor desvio azimutal ou pelo ângulo de inclinação. Cabe aos profissionais da construção civil, se atentarem a este fato, garantindo assim, a construção de uma edificação já adaptada a receber o sistema fotovoltaico em seu telhado.

3. ESTUDO DE CASO

A análise de viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede terá como objeto de estudo uma edificação unifamiliar, cujo consumo médio de energia elétrica mensal é de 100 kWh. Com o auxílio das ferramentas da matemática financeira, é possível determinar em quanto tempo haverá o retorno do investimento em função da economia de energia, bem como verificar o ganho financeiro pela utilização do sistema, que possui vida útil de 25 anos, desde que as manutenções periódicas sejam realizadas.

Apesar de não estar inscrita, a família que reside no imóvel estudado reúne os pré-requisitos para participar do programa Tarifa Social de Energia Elétrica. Esse programa foi criado pelo Ministério da Cidadania que fornece descontos na conta de luz para famílias com renda de até meio salário mínimo *per capita*, desde que estejam inscritas no Cadastro Único, e para famílias que tenham algum beneficiário do Benefício de Prestação Continuada, entre situações previstas em regulamento da ANEEL (MINISTÉRIO DA CIDADANIA, 2015).

Os descontos são aplicados de forma cumulativa sobre cada parcela do consumo mensal de energia, conforme Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Desconto

Parcela do consumo mensal	Percentual de desconto
Até 30 kWh	65%
De 31 a 100 kWh	40%
De 101 a 220 Kwh	10%
Acima de 220 kWh	0%

Fonte: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome 2015

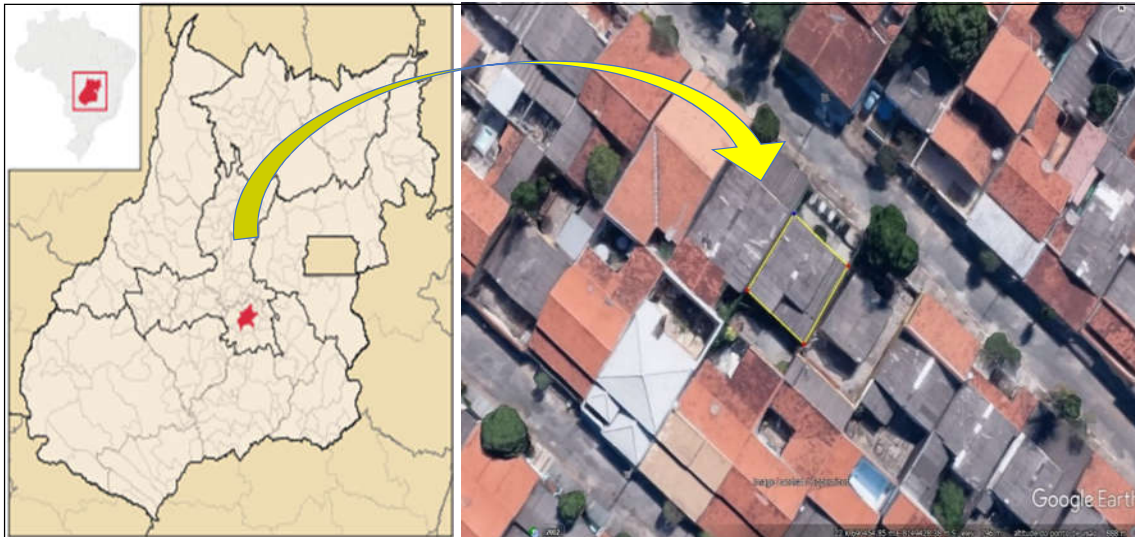
3.1 Característica da Edificação

A edificação situa-se à rua 7, Quadra 13, Lote 09, Conjunto Fabiana, em Goiânia (GO). O Conjunto Fabiana é um bairro formado por casas construídas pelo sistema de conjunto habitacional, construído no final da década de 1970 pela extinta Encol. Localiza-se na periferia de Goiânia, região sul da cidade.

O imóvel possui dois quartos, sendo um suíte, duas salas, cozinha e banheiro social, com área de 72 m². Possui ainda garagem e área de serviço cobertos, totalizando uma área total de 130 m² de cobertura, sendo esta construída com telha ondulada 6mm de fibrocimento e azimute aproximado de 306° (Google Earth, 2019). Devido a posição geográfica do imóvel, 58 m² de cobertura encontram-se em melhores condições para implantação do sistema.

A Figura 1 mostra a localização do imóvel.

Figura 1 – Localização do imóvel



Fonte: Wikipedia / Google Earth (2019)

3.2 Caracterização do Consumo de Energia

O estudo do consumo anual de energia elétrica da residência, restringiu-se entre os meses de outubro de 2018 a setembro de 2019. Nesse período, foi analisado o histórico de consumo que totalizou 1200kWh, gerando um consumo médio mensal de 100 kWh. Não foram considerados valores das bandeiras tarifárias quando houveram, mantendo-se o consumo médio igual a 100 kWh. Também não foram analisadas as tarifas referentes a valores de consumo nos horários tanto de ponta quanto fora de ponta. Com isso, o valor base de referência foi de R\$ 0,86 / kWh consumido, de acordo com a ENEL Distribuidora. A residência enquadra-se do grupo tarifário B1 e é atendida no nível de tensão de 220V.

3.3 Irradiação Solar

A irradiação solar na localidade do estudo de caso, é em média 5,45 kWh/m²/dia, conforme dados adquiridos através do programa *SunData*, hospedado no Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), sendo a mesma irradiação solar do Estado de Goiás e da região centro oeste do Brasil, de acordo com a 2ª edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2018).

Para exemplificar, a Figura 2 demonstra através do quadro e gráfico abaixo, dados sobre a irradiação solar incidente sobre o imóvel ao longo do ano.

Figura 2 - Irradiação na cidade de Goiânia

Cálculo no Plano Inclinado

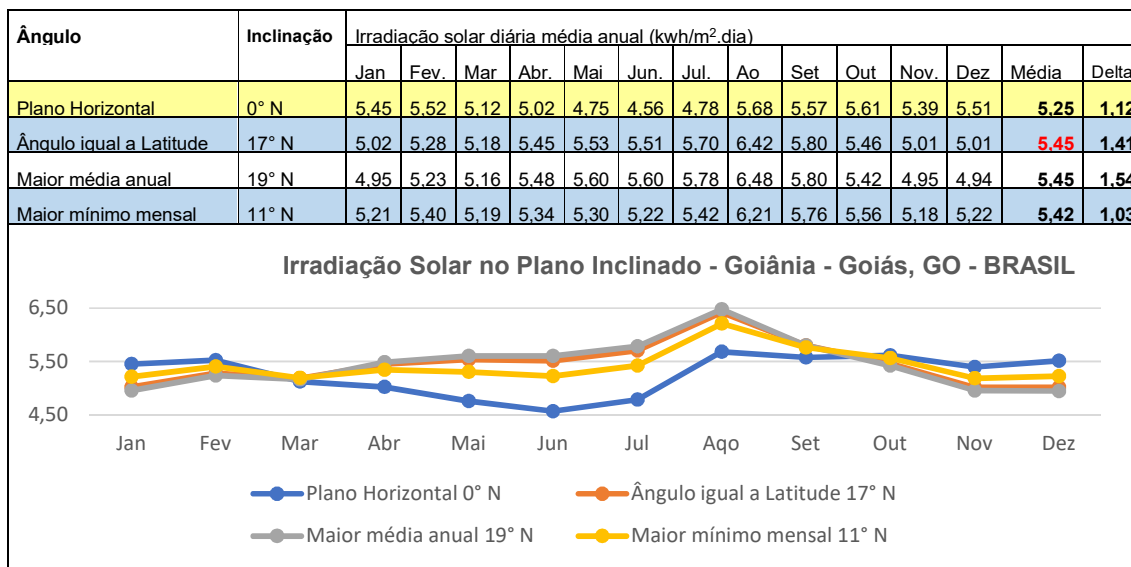
Estação: Goiânia

Município: Goiânia, GO - BRASIL

Latitude: 16,701° S

Longitude: 49,249° O

Distância do ponto de ref. (16,7299992° S; 49,213786° O): 5,0km



Fonte: CRESESB Adaptado

3.4 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

O sistema fotovoltaico foi dimensionado de acordo com o consumo de doze meses entre outubro de 2018 e setembro de 2019, com previsão de geração de 0,66kWp, capaz de produzir o valor aproximado de 85kWh/mês, ocupando uma área de 4,00m² sobre a cobertura. A unidade consumidora está enquadrada na categoria B1, a qual prevê um custo de disponibilidade de 30kWh / mês, de acordo com o art. 98, inciso I, da Resolução Normativa 414, de 9 de setembro de 2010. Dessa forma, a produção de energia necessária será de 70kWh/mês, ou seja, haverá uma margem de segurança entre a produção dimensionada e o consumo histórico.

Por tratar-se de uma habitação unifamiliar com poder aquisitivo reduzido e baixo consumo de energia elétrica, o monitoramento via *Wi-Fi* dos dados de produção não foi contemplado. Considerando os fatores apresentados, os equipamentos mínimos necessários para instalação do sistema estão ilustrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Estrutura Sistema Solar Fotovoltaico

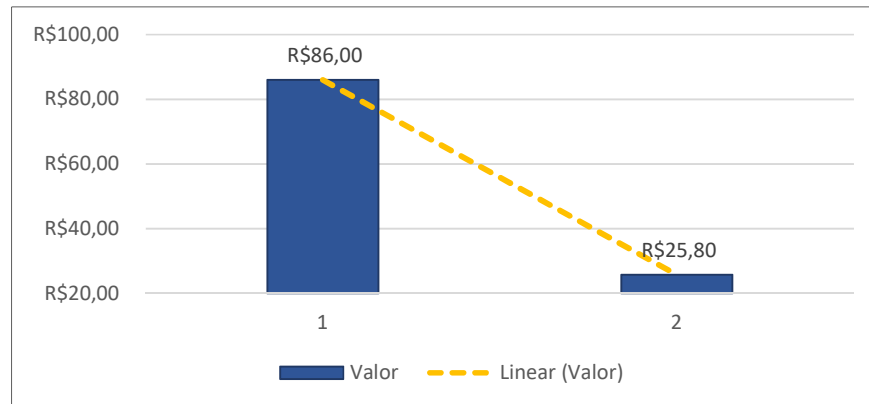
Equipamentos	Unidade	Quantidade
Módulo Solar 330W	Unid.	2
Micro Inversor 500W	Unid.	1
Estrutura de fixação em alumínio	Unid.	1
Sistema de proteção elétrica	Unid.	1

Fonte: J & A Construtora Soluções Sustentáveis (2019)

Analisando um cenário futuro com o sistema instalado, é possível estimar as médias de

valores atuais e futuros referentes a valores pagos nas faturas mensais de energia elétrica, considerando o valor atual praticado pela ENEL Distribuidora. Para isto, não foram considerados valores das bandeiras tarifárias e também custos relacionados a iluminação pública, os quais totalizam R\$ 6,31 atualmente. A estimativa das faturas está representada na Figura 3.

Figura 3 - Estimativa de valores a pagar



Fonte: J & A Construtora: Soluções Sustentáveis (2019)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Simulação dos Sistema Fotovoltaico

Utilizando-se a ferramenta de simulação no Portal Solar² e dados de entrada para o consumo de 70kWh/mês, o simulador retornou potência instalada de 0,66kWp, composto por 2 placas de 330W e área mínima necessária de 5,28m². Também foi disponibilizado o preço médio de mercado, que nesse caso atingiu o montante de R\$6.816,27.

O cálculo da potência instalada é fornecido a partir da Equação 1:

$$P = \frac{\text{Consumo}(kWh)}{30 * HSP * \eta} \quad (1)$$

Onde, P = potência instalada (kWp), $\text{Consumo}(kWh)$ = média do consumo mensal no período de 12 meses (kWh), HSP = Horas de Sol Pico (h) e η = rendimento do sistema (média 80%). A constante 30 converte o consumo mensal em diário.

4.2 Análise do Retorno Econômico com a Implantação do Sistema

O sistema fotovoltaico da residência foi projetado juntamente com uma empresa localizada no setor central de Aparecida de Goiânia, a qual atua desde 2016 neste mercado. O custo do projeto é de R\$ 7.250,00 com pagamento à vista, o que representa valor superior em 6,36%

²**Portal Solar.** Empresa de tecnologia, que faz parte do grupo Votorantim, com o objetivo de difundir e democratizar a energia solar fotovoltaica no Brasil, oferecendo uma plataforma de serviços, dentre eles o Simulador Solar. Fundado em 2014, o PortalSolar.com.br reúne milhares de instaladores, centenas de milhares de compradores e as melhores marcas de equipamentos para energia solar do mundo, em tempo real.

quando comparado com o obtido no simulador do Portal Solar.

Para implantação do sistema, são oferecidas linhas de crédito no mercado financeiro, específicas para a aquisição, com taxas de juros a partir de 0,8% a.m. (BV FINANCEIRA, 2019). O Quadro 2 demonstra os valores e prazos para financiamento utilizados pela empresa de Aparecida de Goiânia.

Quadro 2 – Valores e condições de parcelas

Número de parcelas	Valor por Parcela	Total
60	R\$ 169,17	R\$ 10.150,20
48	R\$ 227,93	R\$ 10.940,64
36	R\$ 280,23	R\$ 10.088,28
24	R\$ 397,50	R\$ 9.540,00
12	R\$ 736,55	R\$ 8.838,60

Fonte: J & A Construtora: Soluções Sustentáveis (2019)

Para análise de viabilidade econômica do projeto, além do valor do investimento inicial de R\$7250,00, foram utilizadas as principais ferramentas da matemática financeira, entre elas o *VP*, *VPL*, *IL*, *TIR*, *TMA* e *Payback*. O *VP* (Valor Presente) é calculado através da Equação 2.

$$VP = \sum_{t=1}^N \frac{Fc_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

Onde *VP* equivale ao montante dos valores dos Fluxos de caixa (*Fc*) ocorridos nos *N* períodos ao longo do tempo (*t*), convertidos em valor presente, considerando uma taxa (*i*) que nesse caso foi considerada de 0,344% a.m. ou 4,20% a.a. Essa taxa corresponde ao rendimento da Poupança, que foi considerada a Taxa Mínima de Atratividade (*TMA*) do projeto, ou seja, a taxa utilizada como parâmetro para que o investidor avalie se vai ou não investir no projeto. O *VP* encontrado foi de R\$12.144,29, valor maior 67,50% que o Investimento Inicial.

O *VPL* (Valor Presente Líquido) representa o lucro do projeto ao final do tempo considerado do projeto, que nesse caso foi de 300 meses. A diferença entre o *VP* e o Investimento Inicial, que caso seja positivo, também será um indicador de viabilidade. O estudo revelou um *VPL* igual a R\$4.894,29, ou seja, favorável.

Outro importante índice que deve ser considerado é o *IL* (Índice de Lucratividade), que é expresso pela razão entre o *VP* e o Investimento Inicial. Para ser considerado viável, o índice deverá atender a inequação $IL \geq 1$. O índice encontrado foi de 1,675.

A *TIR* (Taxa Interna de Retorno), que é obtida através da Equação 3, é calculada para *VPL* = 0, ou seja, no momento em que o investimento não dá lucro e nem prejuízo.

$$\sum_{i=1}^N \frac{FC_i}{(1+TIR)^i} - Investimento\ Inicial = 0 \quad (3)$$

A *TIR* do investimento foi de 10,31% a.a., que representa 2,45 vezes a *TMA* (4,20%).

E por fim, o *Payback* simples ou descontado calcula o tempo de retorno do valor investido,

considerando o Investimento Inicial deduzidos os fluxos de caixa gerados ao longo do tempo. A diferença básica entre os dois tipos consiste que no *Payback* simples não é levado em conta a TMA, ou seja, a taxa $i = 0$, fazendo que o denominador da expressão seja igual a 1.

Já no cálculo do *Payback* descontado, as deduções dos fluxos de caixa são convertidas em *VP*, considerando a TMA do investimento. Dessa forma, o *Payback* descontado será maior devido à dinâmica do dinheiro no tempo, porém representa melhor parâmetro para tomada de decisões. No presente estudo foi considerado o custo anual de manutenção de R\$100,00, sendo esta a limpeza dos painéis para evitar perdas de eficiência além das consideradas no cálculo da potência. Após as considerações, os valores de *Payback* simples e descontado, foram de 112 meses (9 anos e 4 meses) e 141 meses (11 anos e 9 meses), respectivamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado neste trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade e o retorno econômico da implementação de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma habitação unifamiliar situada a cidade de Goiânia. Portanto, foram realizadas avaliações da incidência solar na região de localização da implantação, o consumo de energia nos 12 meses anteriores por meio de tarifas de energia e a elaboração do projeto e orçamento para aquisição do sistema. Segundo os cálculos de dimensionamento realizados com a cooperação das empresas RMS Energia, J & A Construtora - Soluções Sustentáveis e modelagem no simulador da Portal Solar verificou-se que para uma mesma potência, os valores de investimento encontrados no simulador devem ser acrescidos de 6%, aproximadamente, para obter-se os valores praticados no estado de Goiás.

Os resultados das análises financeiras apontaram para uma economia ao final do projeto de R\$4.894,29, considerando esse valor como Valor Presente. Quando comparado aos juros remuneratórios da Poupança, o investimento no projeto também se mostrou viável, pois foi obtido uma TIR no valor de 10,31%a.a., que pode ser considerada uma boa rentabilidade. Como o período de vida útil dos módulos e micro inversores é de aproximadamente 25 anos (SOL CENTRAL, 2018), e com base nos resultados obtidos, o sistema fotovoltaico em residências unifamiliares apresenta viabilidade econômica e retorno financeiro do investimento, pois, passado o período do *Payback* de 11 anos e 9 meses, o consumidor poderá contar com uma renda extra, ainda que modesta e indireta, para seu sustento.

Apesar de linhas de crédito específicas para financiamentos dos sistemas fotovoltaicos e também a crescente utilização dessa tecnologia, a massificação e acesso poderia ser abreviada com incentivos do poder público. Como exemplo, a aplicação dos subsídios na chamada Tarifa Social terá orçamento de R\$20 bilhões em 2019, segundo notícia do Senado da República. Com esse dinheiro, mais de 2,7 milhões de famílias poderiam ser beneficiadas com a instalação de sistemas fotovoltaicos de potência similar ao presente estudo. Em contrapartida, o governo não necessitaria de manter um benefício eternamente, podendo utilizar os recursos públicos com maior eficiência.

AGRADECIMENTOS

A conclusão da redação final deste trabalho só foi possível por meio da imensurável colaboração de professores e empresas da área de energia fotovoltaica. Assim, agradecemos à empresa RMS Energia sediada em Piranhas-GO de propriedade do Sr. Márcio Rodrigues Soares que contribuiu com dados de um sistema instalado na Cidade de Goiás-GO; à empresa J & A Construtora – Soluções Sustentáveis sediada em Aparecida de Goiânia-GO

de propriedade do Sr. José Arnaldo Nogueira, que contribui com o elaboração do projeto da unidade consumidora de Goiânia-GO; aos Professores do Instituto Federal de Goiás, Professor Dr. Diogo Gonçalves Dias, que contribuiu com os conceitos da matemática financeira e análise dos dados e, ao Professor Dr. Moisés Gregório da Silva pela competente orientação nas duas fases deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. G., SILVA, A. F. **Usando um LED como Fonte de Energia**. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vitoryano/el53n-eletronica-basica/Semicondutores.pdf/at_download/file>. Acesso em: 15 mar. 2019.

ALVES, L. B. **Energias Renováveis: Análise da Geração Fotovoltaica no Brasil e Goiás 2018**. Disponível em: <<http://www.imb.go.gov.br/files/docs/publicacoes/estudos/2018/energias-renovaveis-analise-da-geracao-fotovoltaica-no-brasil-e-goias-2018.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2019.

ANEEL. **Resolução Nº 414 – 9 de setembro de 2010**: Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Goiânia: ANEEL, 2009. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

_____. **Resolução Nº 482 – 17 de abril de 2012**: Estabelece as condições gerais para o acesso de micro geração e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Goiânia: ANEEL, 2012. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

_____. **Resolução Nº 687 – 24 de novembro de 2015**: Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Goiânia: ANEEL, 2015. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

BITTENCOURT, Felipe T. **Estudo Comparativo do Aproveitamento da Energia Solar Fotovoltaica em Relação à Rede de Distribuição na Eletrificação Rural do Estado de Tocantins**. 2011. 15f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. 2011.

BV FINANCEIRA. Disponível em:<<https://www.bv.com.br/financiamento/financiamento-solar>>. Acesso em: 05 out. 2019.

CAIRES, Suzane M. P. **Estudo sobre posicionamento de placas fotovoltaicas**. Vitória da Conquista - BA. 2014. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/tcc_suzane_caires.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2019.

CIER. **Energia Solar Fotovoltaica, Estágio Atual e Perspectiva**. Congresso Internacional de Energia Renovável. Recife-PE, 2003. Disponível em: <http://www.agg.ufba.br/cier_solarfotovoltaica.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

FILHO, Paulo C. F.; TORRES, Paulo F. M. Estudo para a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica no campus Aparecida de Goiânia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. 2018. ??f. **Monografia** (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2018.

INPE. **2ª edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2018. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2019.

KOMECO. **Kit Gerador Solar Fotovoltaico**. Palhoça, 2006. Disponível em: <<http://www.komeco.com.br/modulosfotovoltaicos/wp-content/uploads/2019/03/MANUAL-FOTOVOLTAICO.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2019

MINISTÉRIO DA CIDADANIA. Secretaria Especial do Desenvolvimento Social, 2015. Disponível em: < <http://mds.gov.br/assuntos/cadastro-unico/o-que-e-e-para-que-serve/tarifa-social-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

PORTAL SOLAR. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/financiamento-energia-solar.html>>. Acesso em: 06 out. 2019.

_____. Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/qual-inclinacao-painel-solar/>>. Acesso em: 05 dez. 2019.

RENOVIGI ENERGIA SOLAR. Disponível em: <<https://blog.renovigi.com.br/2018/10/25/energias-renovaveis-geram-mais-empregos-no-brasil/>>. Acesso em: 05 dez. 2019.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis **UFSC / LABSOLAR**, 2004.

SOL CENTRAL. Disponível em: <http://www.solcentral.com.br/faqconc_cat/garantias-e-tempo-de-vida-util/>. Acesso em: 06 out. 2019.

SOLIS ENERGIA. **Micro inversor é melhor que inversor?** Disponível em: <<https://solisenergia.com.br/microinversor-e-melhor-que-o-inversor/>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

SOUZA, Ronilson di. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica**. Ribeirão Preto - SP: Livro Digital, ,2016.

TORRES, Regina C. **Teses e Dissertações**. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

VALLÊRA, A. M., BRITO, M. C. **Meio Século de História Fotovoltaica**. p. 1-4, 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

WIKIPEDIA. Lista de Municípios de Goiás. Disponível em :< https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_munic%C3%ADpios_de_Goi%C3%A1s#/media/Ficheiro:Goiás_Municip_Goiás.svg>. Acesso em: 02 out. 2019.