

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

GUSTAVO OLIVEIRA AMARAL ÁVILA

ANÁLISE DE SISTEMAS HÍBRIDOS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS

FORMIGA – MG

2022

GUSTAVO OLIVEIRA AMARAL ÁVILA

ANÁLISE DE SISTEMAS HÍBRIDOS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura

FORMIGA – MG

2022

Ávila, Gustavo Oliveira Amaral
A958a Análise de sistemas híbridos fotovoltaicos em residências / Gustavo Oliveira
Amaral Ávila -- Formiga : IFMG, 2022.
49p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Energia solar. 2. Sistemas híbridos. 3. Geração renovável.
4. Sistemas on-grid. 5. Fotovoltaica. I. Moura, Renan Souza. II. Título.

CDD 621.3

GUSTAVO OLIVEIRA AMARAL ÁVILA

ANÁLISE DE SISTEMAS HÍBRIDOS FOTOVOLTAICOS EM RESIDÊNCIAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica do Instituto Federal de Minas
Gerais como requisito para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Avaliado em: 01 de dezembro de 2022.
Nota: 70

BANCA EXAMINADORA

Renan Souza Moura

Prof. Dr. Renan Souza Moura
(Orientador)

Felipe de Sousa Silva

Prof. Me. Felipe de Sousa Silva

Lucas Frederico Jardim Meloni

Prof. Dr. Lucas Frederico Jardim Meloni

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus, pois sem ele nada sou. Passei por enormes dificuldades, não irei mencionar tudo que passei nesse período da graduação, não foi fácil, mas sempre que pensava em desistir, Deus usava as pessoas para me fazer pensar o contrário.

Ao meu pai Eber, meu grande amigo e herói, que sempre esteve presente em minha vida, me dando suporte e acreditando em mim, a cada nova jornada dizia: “A porta de casa sempre estará aberta, independente do que acontecer”. Infelizmente ele se foi nesse ano para morar com Deus.

A minha mãe Sônia, que assim como meu pai, sempre me deu suporte sempre buscando o meu bem, dizendo sempre: “Pra tudo Deus dá um jeito”.

Ao meu irmão Gabriel, meu irmão mais novo, o qual tenho grande admiração.

A minha noiva Lilian, que tem me ajudado nos momentos mais difíceis, e me deu o meu maior presente, meu filho Rafael.

Ao meu filho Rafael, que me trouxe alegria e me deu forças para seguir na faculdade e na vida, após o falecimento do meu pai.

A todos os meus familiares, tios, primos, avós, que em toda dificuldade que passei, sempre estavam com a mão estendida.

Ao meu orientador Renan, que tem me ajudado muito a evoluir, sempre com paciência, dedicação e uma ótima didática.

Aos professores e aos meus colegas de classe e de república.

A todos os servidores do IFMG - Campus Formiga.

RESUMO

Diante da necessidade crescente do uso de energia elétrica e a obtenção desta a partir da forma renovável, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) visa analisar a viabilidade econômica do uso de sistemas fotovoltaicos puros e híbridos em residências no ano de 2022. De forma mais específica, tais sistemas serão projetados para diferentes tipos de consumidores. A metodologia será baseada em cálculos teóricos. Os resultados obtidos demonstraram que a viabilidade econômica é diretamente proporcional ao consumo do cliente. No presente trabalho, para um consumo médio anual de até 36,33 kWh, se mostrou inviável a instalação de qualquer um dos dois sistemas (100% puro e híbrido). Para os demais casos, onde o consumo médio anual é acima de 100 kWh, o sistema 100% puro demonstrou melhores resultados. Para um consumo médio anual acima de 500 kWh, o sistema híbrido demonstrou melhores resultados.

Palavras chave: Energia solar. Sistemas híbridos. Geração renovável. Sistemas on-grid. Fotovoltaica.

ABSTRACT

Faced with the growing need for the use of electricity and obtaining it from a renewable form, this Course Completion Work (TCC) aims to analyze the economic feasibility of using pure and hybrid photovoltaic systems in homes in the year 2022. More specifically, such systems will be designed for different types of consumers. The methodology will be based on theoretical calculations. The results obtained showed that the economic viability is directly proportional to the customer's consumption. In the present work, for an average annual consumption of up to 36.33 kWh, the installation of either of the two systems (100% pure and hybrid) proved to be unfeasible. For the other cases, where the average annual consumption is above 100 kWh, the 100% pure system showed better results. For an average annual consumption above 500 kWh, the hybrid system showed better results.

Keywords: Solar energy. Hybrid systems. Renewable generation. On-grid systems. Photovoltaics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação pictórica do funcionamento de uma célula fotovoltaica.....	13
Figura 2: Painel fotovoltaico.....	14
Figura 3: Painéis fotovoltaicos.....	17
Figura 4: Controlador de carga.....	18
Figura 5: Banco de baterias.....	19
Figura 6: Inversor de frequência.....	20
Figura 7: Inversor híbrido.....	21
Figura 8: Medidor bidirecional.....	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 MOTIVAÇÃO	12
1.2 HIPÓTESE	12
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
4 MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 SISTEMA 100% PURO	27
4.2 SISTEMA HÍBRIDO	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Não há como se falar em melhoria da qualidade de vida das populações de regiões ou países sem investimento em educação, saúde e cultura, pois o que une esses pontos é o fato de que não se alcançará resultados satisfatórios e concretos sem a universalização da energia para todos os cidadãos de um determinado território, ou seja, o aumento da oferta de energia seja ela primária ou secundária (CARVALHO, 2019).

Pelo sistema de geração convencional, a energia é obtida através de grandes usinas e transportada por extensas linhas de transmissão antes que possa ser fornecida pelos sistemas de distribuição (KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA, 2010).

Entretanto, a construção de grandes obras, como novas usinas e linhas, têm apresentado dificuldades de ordem financeira, ambiental, técnica e social nos últimos anos, pois são grandes empreendimentos, com elevada necessidade de capital, tempo longo para finalização, enormes impactos ambientais, possibilidade de retirada de população local, manutenções caras, entre outros (ZILLES, MACÊDO, GALHARDO e OLIVEIRA, 2012).

Um método muito eficaz para diminuir esses impactos é o uso da geração distribuída, que vem crescendo paulatinamente, e têm se mostrado um novo modelo a ser seguido pelo setor elétrico.

A geração distribuída (também chamada de geração no local ou geração descentralizada) é um termo que descreve a geração de eletricidade para uso no local, em vez de transmitir energia pela rede elétrica a partir de uma instalação grande e centralizada (como uma usina). À medida que o desenvolvimento econômico supera a expansão do fornecimento de eletricidade em algumas áreas do país, e com outras regiões enfrentando restrições na capacidade de fornecer energia, é necessário e importante incentivar opções locais para transmissão de eletricidade (Environmental and Energy Study institute).

Pontos de geração distribuída utilizam a rede elétrica para funcionarem mediante a assinatura de um contrato de compensação de créditos (ANEEL, 2016). No final de um período de medição, os valores de consumo e geração são mensurados. Caso a geração exceda o valor consumido, créditos de energia são obtidos e podem ser utilizados em até 60 meses. Para consumidores do grupo B, os créditos são utilizados até que a fatura de energia atinja o valor mínimo referente ao custo de disponibilidade. Consumidores do grupo

A, por sua vez, podem usar créditos apenas na parcela referente ao consumo, não tendo influência na demanda contratada. Para ambos os tipos de consumidores, existem impostos/taxas adicionais na fatura.

Caso o consumidor queira produzir a sua própria energia elétrica com fontes renováveis, mas não queira fazer algum tipo de contrato com a sua concessionária por meio do sistema de compensação de créditos, isso é possível através dos sistemas não conectados na rede elétrica, usualmente chamados de isolados ou off-grid (VILLALVA, 2012).

Um sistema de geração off-grid não apresenta conexão com a rede elétrica. Normalmente, uma fonte renovável produz a energia para consumo imediato ou posterior uso por meio de elementos armazenadores de energia, como bateria(s), por exemplo. Controladores de carga podem ser utilizados para prolongar a vida útil de baterias e proteger painéis fotovoltaicos em sistemas isolados.

As aplicações dos sistemas off-grid estão relacionadas com equipamentos de menores potências como o abastecimento de bombas d'água, sinalizadores de rodovias e equipamentos de medição, por exemplo. Enquanto que em residências, estabelecimentos comerciais e indústrias é comum a instalação de sistemas on-grid.

Dentro deste contexto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) pretende verificar se para o ano de 2022, considerando os sucessivos aumentos existentes na conta de energia elétrica (CNN BRASIL, 2022), a perda de renda do povo brasileiro e a inflação (Diário do Nordeste, 2022) , (Globo.com, 2022), se vale a pena a instalação de sistemas fotovoltaicos híbridos ou 100% on-grid, para suprir as necessidades de energia elétrica de consumidores residenciais.

De uma forma geral, pretende-se realizar cálculos teóricos e análises de viabilidade econômica considerando índices financeiros reais. Serão considerados 5 consumidores com cargas diferentes. Para cada consumidor, projetos de sistemas híbridos e 100% on-grid serão realizados. Payback, Taxa interna de retorno (TIR) e Valor presente líquido (VPL) serão usados como ferramentas de mérito (NETO, 2019), assim como preços atualizados de equipamentos que compõem cada sistema.

1.1 MOTIVAÇÃO

Hodiernamente é praticamente impossível imaginarmos o mundo sem energia elétrica, pois somos inteiramente dependentes dela, e a mesma nos fornece conforto e praticidade.

Levando em consideração fatores econômicos, tendo em vista que a energia solar reduz a conta de energia elétrica em até 95% e também preocupado com a preservação do meio ambiente, pois é uma energia limpa, esse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) visa a demonstrar um comparativo de dois modelos fotovoltaicos, híbridos e 100% on-grid, em consumidores do tipo B.

1.2 HIPÓTESE

Mediante a crescente demanda do uso da energia fotovoltaica e visando um melhor custo x benefício, será que um sistema híbrido fotovoltaico é mais viável economicamente que sistemas fotovoltaicos puros on-grid para consumidores do tipo B?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é projetar e analisar a viabilidade econômica da instalação de energia solar fotovoltaica de dois tipos, híbrida e 100% ongrid, em residências, considerando valores de equipamentos no ano de 2022.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudo teórico dos diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos;
- Estudo teórico das técnicas de viabilidade econômica;
- Comparativo entre os sistemas híbridos e os sistemas puros;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Efeito fotovoltaico

O processo no qual a célula fotovoltaica converte a luz solar absorvida em eletricidade é chamado de efeito fotovoltaico. Uma grande vantagem dos sistemas fotovoltaicos é que eles operam sem emitir dióxido de carbono, o que acarreta benefícios para o meio ambiente.

A energia absorvida pelo fóton através da luz solar é transferida para os elétrons do material por meio da camada semicondutora. Quando possuem energia suficiente, os elétrons se movem para a banda de condução, deixando um gap na banda de valência e criando-se a corrente elétrica. Um potencial elétrico irá surgir caso a corrente entre em contato com alguma carga (HUSSAIN, 2018). Maiores detalhes estão indicados na Figura 1.

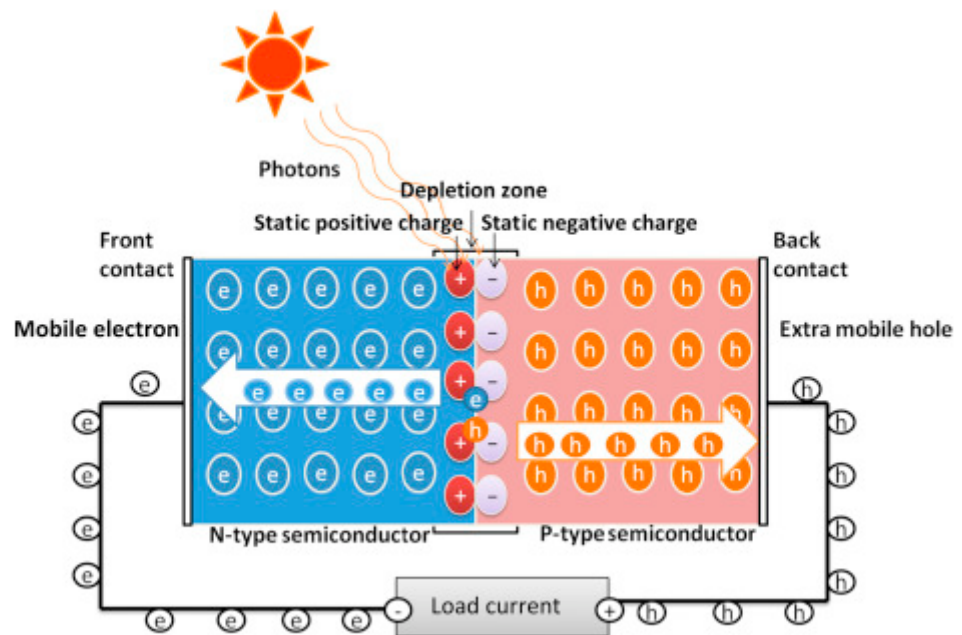


Figura 1- Representação pictórica do funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Fonte: HUSSAIN, 2018

Painel fotovoltaico

Painel fotovoltaico é um conjunto de células fotovoltaicas que normalmente são conectadas em série para produzir maiores tensões. Quanto maior for a área, maior a captação de luz, e maior será a corrente fornecida (VILLALVA, 2012). A figura 2 ilustra um painel fotovoltaico.



Figura 2- Painel fotovoltaico

Fonte: Próprio autor

Sistema totalmente off-grid

Os sistemas off-grid são desenvolvidos para operarem sem conexão com a rede elétrica. Neste caso, é comum o uso de baterias.

O alto custo das baterias é uma grande desvantagem ao usar sistemas solares deste tipo. No entanto, a rápida queda do custo das baterias pode incentivar a implantação de sistemas solares desconectados da rede em cidades e comunidades (BIOENERGY CONSULT, 2021).

Vantagens de um Sistema Solar Off-Grid

- Pode funcionar de forma independente da rede elétrica.
- Eles geram eletricidade que se armazenada pode ser usada à noite.
- Falhas de infraestrutura da rede de distribuição e desligamentos não afetam o sistema

Desvantagens de um Sistema Solar Off-Grid

- Alto custo de aquisição
- Menos eficiente

Sistema totalmente on-grid

Uma diferença deste sistema para o sistema off-grid é que não há a necessidade de baterias, pois estão ligados à rede pública. A energia solar excedente gerada é enviada para a rede e convertida em créditos.

Outra diferença é que os inversores do sistema conectado à rede não podem operar ou gerar eletricidade durante as interrupções da rede por motivos de segurança. Porque se um inversor solar fornecer energia a uma rede com falha, a energia fornecida pode colocar em risco a segurança dos responsáveis pela manutenção da rede (BIOENERGY CONSULT, 2021).

Vantagens dos Sistemas Solares On-Grid

- Os sistemas solares on-grid são incrivelmente econômicos e fáceis de instalar.
- Médio prazo de retorno: entre 3 a 10 anos você pode recuperar o custo de suas despesas.
- Os usuários residenciais podem obter renda passiva com a energia excedente gerada pela instalação.

Desvantagens dos Sistemas Solares On-Grid

- Custo de disponibilidade
- Não é independente

Sistemas híbridos

Este modelo de sistema possui uma arquitetura modular que permite ser ampliado e customizado para se adequar a qualquer situação. Pode consumir diretamente da rede elétrica ou alternar para energia armazenada em um sistema de banco de baterias. Ou seja, funciona como um sistema solar que permite obter energia elétrica de diversas fontes (BIOENERGY CONSULT, 2021).

Vantagens dos Sistemas Solares híbridos

- Armazenamento de energia solar para uso noturno.
- Maior independência energética por estar sempre disponível mesmo durante quedas de energia.
- As contas de energia elétrica são ainda mais reduzidas, pois consome-se a energia das baterias no período noturno sempre que necessário

Desvantagens dos Sistemas Solares híbridos

- .Pode limitar a quantidade de equipamentos dependendo da capacidade do inversor
- Custo relativamente alto

Para o presente trabalho, o sistema híbrido utilizará um inversor híbrido que aceita duas fontes de energia: painéis fotovoltaicos e baterias. Como não há um parâmetro definitivo do consumo diurno e noturno, será utilizado 70% da energia nos painéis fotovoltaicos e 30% nas baterias.

Componentes dos sistemas fotovoltaicos

O primeiro passo para geração de energia solar é a captação da energia solar através de painéis fotovoltaicos. A figura 3 ilustra os painéis fotovoltaicos .



Figura 3 - Painéis fotovoltaicos

Fonte: Próprio autor

Uma central fotovoltaica consiste em vários módulos fotovoltaicos conectados eletricamente.

Sistemas fotovoltaicos devem ser instalados em estruturas de montagem estáveis que possam suportar as condições climáticas, como vento, chuva e corrosão, por exemplo.

A flexibilidade dos módulos fotovoltaicos institui aos sistemas fotovoltaicos uma variedade de designs e diferentes requisitos elétricos para pequenas e grandes dimensões.

Os sistemas off-grid usam controladores de carga que regulam a corrente contínua do painel solar para evitar a sobrecarga da bateria. Um controlador de carregamento pode medir se uma bateria está totalmente carregada e interromper o fluxo de corrente para evitar danos permanentes à bateria. Estes controladores de carga podem ser divididos em dois tipos: modulação por largura de pulso (PWM) e rastreamento de ponto de potência máxima (MPPT). A figura 4 ilustra um controlador de carga.



Figura 4 - Controlador de carga

Fonte: EPEVER

Os sistemas off-grid também possuem bancos de baterias que armazenam a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, garantindo que a energia não utilizada não seja desperdiçada. Isso permite que uma unidade consumidora seja alimentada por baterias, por exemplo, à noite ou em tempo nublado quando não há luz solar suficiente para se gerar eletricidade pelos painéis solares. A figura 5 ilustra um banco de baterias.



Figura 5 - Banco de baterias

Fonte: SUNHYBRID

Para o presente trabalho, os bancos de baterias serão formados por baterias estacionárias de chumbo-ácido, tensão de 12 V e capacidade de 150 Ah.

Um sistema on-grid, por sua vez, requer um conversor de frequência. Este equipamento não apenas converte corrente contínua em corrente alternada, mas também conecta painéis solares à rede elétrica pública (GREENMATCH, 2021). A figura 6 ilustra um inversor de frequência.



Figura 6 - Inversor de frequência

Fonte: WEG

Para os sistemas híbridos, são utilizados os inversores híbridos. Eles são projetados para converter energia CC em CA em matrizes fotovoltaicas, mas diferem de outros inversores em sua capacidade de trabalhar simultaneamente com diversas fontes de energia. A figura 7 ilustra um inversor híbrido.



Figura 7 - Inversor híbrido

Fonte: MUST

Para os sistemas on-grid e híbrido, há a necessidade do medidor bidirecional. Um medidor bidirecional é um componente essencial de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Ao contrário dos medidores tradicionais, os medidores bidirecionais medem não apenas a energia consumida pelo sistema, mas também a quantidade de energia fornecida à rede elétrica.

Portanto, a empresa fornecedora de energia local faz leituras mensais de energia consumida e energia fornecida. A ideia de um sistema de energia solar fotovoltaica on-grid é que as duas medições de energia consumida e fornecida sejam as mesmas. Dessa forma, os clientes podem obter economia em relação à quantidade de energia fornecida pelo seu sistema fotovoltaico. Não confunda energia de alimentação com energia gerada porque sempre que seu sistema produz eletricidade, sua casa ou propriedade tem precedência sobre a rede no consumo dessa energia elétrica. A rede só recebe energia do sistema solar se houver excedente de energia. Ao mesmo tempo, se o sistema não puder cobrir 100% do

consumo de energia da casa, a concessionária fornecerá a energia necessária para abastecer a casa (SOLIS ENERGIA, 2019). A figura 8 ilustra um medidor bidirecional.



Figura 8 - Medidor bidirecional

Fonte: CRONOS, 2022

Sistema de Compensação de Energia Elétrica

Por meio do sistema de compensação de créditos, se a produção exceder o consumo, créditos de energia são criados e podem ser usados para reduzir o consumo no mês seguinte. Os Créditos de Energia Gerados são válidos por 60 meses e devem ser aplicados para se obter a energia equivalente ao custo de disponibilidade da(s) unidade(s) consumidora(s).

Os consumidores também têm a oportunidade de utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas na mesma área de concessão e identificadas como parte de projeto remoto de autoconsumo, cogeração ou unidade multi consumidora (condomínio) (CEMIG, 2022).

Técnicas financeiras

Para quantificar as viabilidades econômicas dos projetos teóricos desenvolvidos neste TCC, serão utilizadas as seguintes ferramentas:

Payback

O payback é o período de tempo necessário para que a entrada de caixa do projeto corresponda ao valor investido, ou seja, o período de retorno do investimento. Dado que quanto maior o período, maior a incerteza, não surpreende que as empresas busquem reduzir o risco escolhendo projetos que se paguem em um prazo razoável.

Uma economia estável significa menos risco, o que pode favorecer projetos com maior retorno do investimento. Uma economia instável, por outro lado, exige projetos com baixo retorno sobre o investimento. Empresas procuram dar prioridade a projetos com retorno mais rápido, quando enfrentam problemas de liquidez (LUNELLI, 2008).

Como critério de decisão, aplicam-se as seguintes regras:

- Período de payback menor ou igual ao máximo permitido, então o projeto poderá ser aprovado.
- Período de payback maior que o período de recuperação aceitável, então o projeto será descartado.

O período de retorno máximo permitido para um projeto é determinado pela administração com base na interpretação das variáveis ambientais, econômicas, sociais e políticas.

Em outras palavras, não existe uma regra ou fórmula clara para determinar o período máximo de recuperação aceitável. Isso porque depende de um alto grau de subjetividade. Este método é fácil de entender, mas tem algumas limitações:

- Ele não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, pois trabalha em valores nominais de fluxo de caixa.
- Será definido arbitrariamente os prazos sob os quais certos projetos são aceitos.
- Ignora os fluxos de caixa que ocorrem após o período de payback.

Valor presente líquido – VPL

Este cálculo leva em consideração o valor do dinheiro no tempo. Teremos todas as entradas e saídas de dinheiro tratadas no tempo presente. O VPL de um investimento é igual ao valor presente dos fluxos de caixa líquidos do projeto analisado, descontado pelo custo médio ponderado de capital (LUNELLI, 2008). Assim, a sua fórmula de cálculo é representada por:

$$\text{VPL} = \text{FC}_0 + \frac{\text{FC}_1}{(1+i)^1} + \frac{\text{FC}_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{\text{FC}_n}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Fonte: LUNELLI, 2008

Onde:

FC0 = Fluxo de caixa líquido no momento zero (inicial).

FCn = Fluxo de caixa líquido no período n.

n = último período de tempo considerado na análise.

i = taxa considerada para desconto ao valor presente dos fluxos de caixa líquidos do projeto (custo médio ponderado de capital ou TMA).

Interpretação do VPL (do ponto de vista financeiro):

- São vantajosos os projetos com VPL positivo porque proporcionam maior retorno sobre o investimento dada a taxa de desconto aplicada. Ou seja, o projeto recuperará o investimento na taxa exigida e ainda produzirá um superávit. Um projeto com VPL positivo pode ser aceito se não houver outras condições a serem consideradas.

- Podem ser aceitos os projetos com VPL igual a zero, pois remuneraram o investimento exatamente pela taxa exigida, sem excedente.
- Devem ser descartados os projetos com VPL menor que zero, pois sequer recuperam o investimento pela taxa exigida.
- Ao considerar projetos mutuamente exclusivos, aquele com o maior VPL deve ser escolhido.

Taxa interna de retorno – TIR

É a taxa i que se iguala aos valores de entradas de caixa ao valor a ser investido no projeto. Ou seja, a taxa na qual o VPL do projeto é igual a zero. É dita interna no sentido de que independe das taxas de juros de mercado e TMA, pois depende exclusivamente dos fluxos de caixa do projeto em análise (LUNELLI, 2008) .

. Sua expressão é:

$$FC_0 + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} = 0 \quad (2)$$

Fonte: LUNELLI, 2008

Onde:

FC_0 = Fluxo de caixa líquido no momento zero (inicial).

FC_n = Fluxo de caixa líquido no período n .

n = último período de tempo considerado na análise.

i = taxa que torna o valor da equação igual a zero, ou seja, a TIR do fluxo em análise.

Para decisão, a TIR deve ser utilizada apenas para fluxos de caixa convencionais e será avaliada seguindo as seguintes regras:

$TIR > TMA$ – Aceita-se o projeto;

$TIR = TMA$ – Aceita-se o projeto;

$TIR < TMA$ – Rejeita-se o projeto.

Vale ainda notar que todos os projetos que tenham VPL positivo, têm também a TIR maior que a TMA.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente foram coletadas as faturas de energia de cinco consumidores, aqui mencionados como: Consumidor A, Consumidor B, Consumidor C, Consumidor D e Consumidor E. Para cada consumidor, o consumo médio anual foi calculado.

Segundo a resolução normativa 414 de 2010 da ANEEL, Art. 98, o custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, é o valor em moeda corrente equivalente a: I - 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores; II - 50 kWh, se bifásico a 3 (três) condutores; ou III - 100 kWh, se trifásico.

Para o estudo em questão, os medidores de todos os consumidores são monofásicos, logo, a taxa de disponibilidade é de 30 kWh.

De posse do consumo médio anual de cada consumidor e da taxa de disponibilidade dos mesmos, pode-se calcular a energia consumida pela Equação (3):

$$\text{Energia consumida (mês)} = \text{Consumo médio anual} - \text{Taxa de disponibilidade} \quad (3)$$

Após calculados os valores de energia consumida mensal, deve-se calcular a energia consumida diária pela Equação (4):

$$\text{Energia consumida (dia)} = (\text{Energia consumida (mês)} / 30) * 1000 \quad (4)$$

Para o próximo passo, que é calcular a potência de pico, deve-se encontrar o valor de horas de sol pleno (HSP), que é o valor de insolação diária. Para isso, deve-se pesquisar a latitude e longitude da região dos consumidores e utilizar estas informações no site do Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica, Sérgio S. de Brito, onde encontrou-se o valor de 5,27 h. A tabela 1 ilustra o valor do HSP encontrado.

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Guape
Município: Guape, MG - BRASIL
Latitude: 20,701° S
Longitude: 45,949° O
Distância do ponto de ref. (20,748056° S; 45,902778° O): 7,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,58	5,79	4,92	4,84	4,21	3,97	4,24	5,11	5,20	5,52	5,26	5,60	5,02	1,83
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	21° N	5,07	5,52	5,01	5,42	5,12	5,06	5,32	5,99	5,50	5,38	4,85	5,02	5,27	1,13
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	5,07	5,52	5,01	5,42	5,12	5,06	5,32	5,99	5,50	5,38	4,85	5,02	5,27	1,13
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	18° N	5,17	5,60	5,03	5,37	5,02	4,93	5,20	5,90	5,49	5,43	4,94	5,13	5,27	,97

Tabela 1- Irradiação solar no plano inclinado para a cidade de Guapé-MG

Fonte: CRESESB

Para o cálculo da potência de pico, iremos usar a Equação (5) :

$$W_p = \text{Energia consumida (dia)} / \text{HSP} \quad (5)$$

A partir do valor da potência de pico, iremos dimensionar as placas fotovoltaicas e o inversor. Iremos utilizar uma margem de aproximadamente 20 % acima da potência de pico, para dimensionar as placas fotovoltaicas e o inversor.

4.1 SISTEMA 100 % PURO

Os cinco consumidores estão situados na cidade de Guapé - MG, onde a Latitude é 20° 44' 53" Sul, e a Longitude: 45° 54' 10" Oeste. De posse destes dados foram realizados os cálculos mencionados anteriormente.

Sabe-se que o cliente não ficará isento da conta de energia devido a taxa de disponibilidade. Será realizada uma estimativa de qual será o lucro de cada consumidor, para isso serão realizados os seguintes cálculos:

Consumo mensal, que será a média do consumo anual multiplicado pela tarifa de energia. Sendo assim, utilizando a equação (6):

$$\text{Consumo mensal} = \text{Consumo médio} * \text{Tarifa de energia} \quad (6)$$

O próximo passo será calcular o consumo anual a partir da equação 7.

$$\text{Consumo anual (médio)} = \text{Consumo mensal} * 12 \quad (7)$$

Após estimar o gasto médio anual de cada consumidor, será calculada a diferença antes e depois da instalação do sistema, ou seja, calcular o consumo anual com base na tarifa mínima. Será usada a taxa de disponibilidade de 30 kWh multiplicada pela tarifa de energia ao longo dos 12 meses:

$$\text{Consumo anual (tarifa mínima)} = 30 * 12 * \text{Tarifa de energia} \quad (8)$$

De posse dos dois valores, iremos realizar uma subtração para estimar o lucro anual:

$$\text{Lucro anual} = \text{Consumo anual(médio)} - \text{Consumo anual(tarifa mínima)} \quad (9)$$

Em seguida, serão aplicadas as técnicas financeiras, para assim saber se o projeto é viável ou não.

4.2 SISTEMA HÍBRIDO

Para o sistema híbrido será necessário utilizar inversor híbrido para obter energia de painéis solares e banco de baterias. Como citado anteriormente, iremos utilizar 70% da potência total para os painéis solares e os 30% restantes serão armazenados no banco de baterias.

Serão aproveitados os cálculos do sistema 100% puro, pois a potência total energética do sistema não se altera. É importante observar no datasheet do inversor qual a corrente máxima que ele suporta.

De posse do valor da corrente máxima, será calculado a quantidade e a tensão do banco de baterias. Será considerado para as baterias uma descarga profunda de 30%.

Será necessário fazer o dimensionamento do banco de baterias, para isso, partiremos da premissa que o consumo de energia será 30% da energia consumida (E_c). Como usaremos o banco de baterias para armazenar parte da energia, como efeito, a potência dos painéis solares será menor.

Para o dimensionamento do banco de baterias, será usada a equação para o número de baterias em série, onde será definida a tensão do banco de baterias (12 ou 24 V), este valor será dividido pela escolha das baterias que serão usadas em cada caso.

O número de baterias em série pode ser calculado pela equação 10:

$$NBS = \frac{V_{BANCO}}{V_{VBAT}} \quad (10)$$

Fonte: VILLALVA, 2012

Onde:

NBS = Número de baterias em série.

V BANCO = Tensão do banco de baterias [V].

V VBAT = Tensão da bateria utilizada [V].

A capacidade de carga do banco de baterias se dará pela razão da energia armazenada no banco de baterias e a capacidade do banco de baterias em ampére-hora. A capacidade do banco de baterias pode ser calculada pela equação 11:

$$C_{BANCO} = \frac{EA}{V_{BANCO}} \quad (11)$$

Fonte: VILLALVA, 2012

Onde:

C BANCO = Capacidade de carga do banco de baterias em ampére-hora [Ah].

EA = Energia armazenada no banco de baterias [Wh].

V_{BANCO} = Tensão do banco de baterias [V].

A energia armazenada no banco de baterias se dará pela razão entre a energia consumida e a profundidade de descarga. Neste TCC, a descarga profunda é de 30 %. Assim, a energia armazenada pode ser calculada pela equação 12:

$$EA = \frac{EC}{PD} \quad (12)$$

Fonte: VILLALVA, 2012

Onde:

EC = Energia consumida [Wh].

PD = Profundidade de descarga permitida [%].

EA = Energia armazenada no banco de baterias [Wh].

O número de conjuntos de baterias a serem ligados em paralelo se dará pela razão entre a capacidade de carga do banco de baterias e a capacidade de carga de cada bateria. O número de conjuntos de baterias ligado em paralelo pode ser calculado pela equação 13:

$$NBP = \frac{C_{BANCO}}{C_{BAT}} \quad (13)$$

Fonte: VILLALVA, 2012

Onde:

NBP = Número de conjuntos de baterias ligados em paralelo.

C BANCO = Capacidade de carga do banco de baterias em ampére-hora [Ah].

C BAT = Capacidade de carga de cada bateria em ampére-hora [Ah].

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo irá apresentar os resultados obtidos. Para a análise dos índices financeiros, a taxa mínima de atratividade será referente a taxa selic, equivalente a 13,75 % a.a. do dia 08/09/2022. O tempo máximo para todas as estimativas é de 25 anos. Para todos os consumidores, existem comparações entre os sistemas 100% on-grid e híbrido.

Projeto 100% puro para o consumidor A:

		Consumidor A			
Mês	Consumo (kWh)			E_c (mês) = Cons. med - Taxa de dispon (kWh)	95,33333333
1	103	Classe do medidor:	Monofásico	E_c (dia) = E_c (mês) / 30 (kWh)	3,177777778
2	123	Taxa de disponibilidade(kWh):	30	$W_p = (E_c$ (dia) / HSP) * 1000 (Wh)	602,9938857
3	102	HSP(h):	5,27	Potência da placa solar escolhida :	380 W
4	120	Tarifa (R\$)	1,12	Quantidade de placas do sistema	2
5	132			Potência do inversor	0,8 kW
6	119				
7	125				
8	122				
9	114				
10	176				
11	131				
12	137				
Cons. médio	125,3333333				

Tabela 2 - Dados e cálculos do consumidor A para o sistema 100% puro.

Valores			
Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total
Painel fotovoltaico 380W	849,00	2	R\$ 1.698,00
Inversor 0,8 kW	1.172,58	1	R\$ 1.172,58
Total geral R\$			R\$ 2.870,58

Tabela 3 - Orçamento realizado do consumidor A para o sistema on-grid.

Cálculos para a análise do lucro anual para o consumidor A:

Cons mensal = Cons médio x Tarifa energia	R\$ 140,37
Consumo anual = Cons mensal x 12	R\$ 1.684,48
Cons. anual da tarifa mín = 12 x (30 x 1,12)	R\$ 403,20
Lucro anual = Cons anual - cons anual tarifa mín	R\$ 1.281,28

Tabela 4 - Cálculos para a análise do lucro anual do consumidor A para o sistema 100% puro.

Análise da viabilidade econômica para o consumidor A :

Payback simples		VPL		08/09/2022 Taxa selic taxa % (aa) 13,75%	TIR 16%	TMA < TIR Fazer o projeto
Ano	Fluxo	Ano	Valor Futuro			
0	-R\$ 2.870,58	0	-R\$ 2.870,58			
1	R\$ 1.281,28	1	R\$ 1.281,28			
2	R\$ 1.281,28	2	R\$ 1.281,28			
3	R\$ 1.281,28	3	R\$ 1.281,28			
Payback (anos)	2,2404					
		VPL	R\$ 116,60			
		Apresentou superávit no 3º ano				

Tabela 5 - Aplicação das técnicas financeiras do consumidor A para o sistema 100% puro.

Projeto híbrido para o consumidor A:

Consumidor A		Valores		
Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total	
Potência do inversor híbrido	1kW			
Corrente máx do inversor híbrido	50 A			
30 % da energia consumida para o banco de baterias (Wh)	180.898			
NBS	2			
EA = 30% energia cons / 0,3 (Wh)	602.994			
C Banco = EA / V Banco (Ah)	83.7491508			
NBP = C Banco / C Bat	1			
Total de baterias	3			
Placas Solares 70 % (Wh)	422.09572			
Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total	
Painel fotovoltaico 505 W	1249	1	R\$ 1.249,00	
Inversor híbrido	1.314	1	R\$ 1.314,00	
Bateria 150Ah /12 V	1249	3	R\$ 3.747,00	
Total geral R\$			R\$ 6.310,00	

Tabela 6 - Cálculos e orçamento realizado do consumidor A para o sistema híbrido.

Análise da viabilidade econômica para o consumidor A :

Payback simples		VPL		Taxa selic	TIR	TMA < TIR
Ano	Fluxo	Ano	Valor Futuro	taxa % (aa)		
0	-R\$ 6.310,00	0	-R\$ 6.310,00	13,75%	14%	Fazer o projeto
1	R\$ 1.281,28	1	R\$ 1.281,28			
2	R\$ 1.281,28	2	R\$ 1.281,28			
3	R\$ 1.281,28	3	R\$ 1.281,28			
		4	R\$ 1.281,28			
		5	R\$ 1.281,28			
Payback (anos)	4,9248	6	R\$ 1.281,28			
		7	R\$ 1.281,28			
		8	R\$ 1.281,28			
		9	R\$ 1.281,28			
					VPL	R\$ 85,74
					Apresentou superávit no 9º ano	

Tabela 7 - Aplicação das técnicas financeiras do consumidor A para o sistema híbrido.

Finalizado o projeto, para o consumidor A no sistema 100% puro, foram utilizados 2 painéis de 380 W e um inversor de 0,8 kW. Para o sistema híbrido onde foi considerado que 30 % da energia será armazenada nas baterias, foi utilizado um painel de 505 W e um inversor híbrido de 1 kW. Para o banco de baterias, foi definida uma tensão de 24 V. Foram utilizadas baterias solares estacionárias do tipo chumbo-ácido, tensão de 12 V e capacidade de 150 Ah. Serão utilizadas 2 baterias em série ligadas a uma outra bateria em paralelo, considerando que este inversor tem entradas independentes de strings, formando assim um banco com 3 baterias.

Projeto 100% puro para o consumidor B:

		Consumidor B			
Mês	Consumo (kWh)			E_c (mês) = Cons. med - Taxa de dispon (kWh)	6,333333333
1	35	Classe do medidor:	Monofásico	E_c (dia) = E_c (mês) / 30 (kWh)	0,2111111111
2	38	Taxa de disponibilidade(kWh):	30	$W_p = (E_c \text{ (dia)} / HSP) * 1000$ (Wh)	40,05903437
3	43	HSP(h):	5,27	Potência da placa solar escolhida :	60 W
4	43	Tarifa (R\$)	1,12	Quantidade de placas do sistema	1
5	25			Potência do inversor	0,35 kW
6	28				
7	32				
8	38				
9	34				
10	33				
11	53				
12	34				
Cons. médio	36,33333333				

Tabela 8 - Dados e cálculos do consumidor B para o sistema 100% puro.

Valores			
Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total
Painel fotovoltaico 60 W	259	1	R\$ 259,00
Inversor 0,35 kW	460,08	1	R\$ 460,08
Total geral R\$			R\$ 719,08

Tabela 9 - Orçamento realizado do consumidor B para o sistema 100% puro.

Cálculos para a análise do lucro anual para o consumidor B:

Cons mensal = Cons médio x Tarifa energia	R\$ 40,69
Consumo anual = Cons mensal x 12	R\$ 488,32
Cons. anual da tarifa mín = 12 x (30 x 1,12)	R\$ 403,20
Lucro anual = Cons anual - cons anual tarifa mín	R\$ 85,12

Tabela 10 - Cálculos para a análise do lucro anual do consumidor B para o sistema 100% puro.

Análise da viabilidade econômica para o consumidor B :

Payback simples		VPL		08/09/2022	TIR	TMA >> TIR
Ano	Fluxo	Ano	Valor Futuro	Taxa selic 13,75%	11%	Não Fazer o projeto
0	-R\$ 719,08	0	-R\$ 719,08			
1	R\$ 85,12	1	R\$ 85,12			
2	R\$ 85,12	2	R\$ 85,12			
3	R\$ 85,12	3	R\$ 85,12			
4	R\$ 85,12	4	R\$ 85,12			
		5	R\$ 85,12			
Payback (anos)	8,4478	6	R\$ 85,12			
		7	R\$ 85,12			
		8	R\$ 85,12			
		9	R\$ 85,12			
		10	R\$ 85,12			
		11	R\$ 85,12			
		12	R\$ 85,12			
		13	R\$ 85,12			
		14	R\$ 85,12			
		15	R\$ 85,12			
		16	R\$ 85,12			
		17	R\$ 85,12			
		18	R\$ 85,12			
		19	R\$ 85,12			
		20	R\$ 85,12			
		21	R\$ 85,12			
		22	R\$ 85,12			
		23	R\$ 85,12			
		24	R\$ 85,12			
		25	R\$ 85,12			
					VPL	-R\$ 124,74
					Apresentou déficit	

Tabela 11 - Aplicação das técnicas financeiras do consumidor B para o sistema 100% puro.

Projeto híbrido para o consumidor B:

Consumidor B	
Potência do inversor híbrido	1kW
Corrente máx do inversor híbrido	50 A
30 % da energia consumida para o banco de baterias (Wh)	12.018
NBS = 12/12	1
EA = 30% energia cons / 0,3 (Wh)	40.059
C Banco = EA / (12*0,3) (Ah)	11,12750955
NBP = C Banco / 150ah	1
Total de baterias	1
Placas Solares 70 % (Wh)	28,04132406

Descrição	Valores		
	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total
Painel fotovoltaico 30 W	189	1	R\$ 189,00
Inversor híbrido	1.314	1	R\$ 1.314,00
Bateria 150Ah/12V	1249	1	R\$ 1.249,00
Total geral R\$			R\$ 2.752,00

Tabela 12 - Cálculos e orçamento realizado do consumidor B para o sistema híbrido.

Análise da viabilidade econômica para o consumidor B :

Payback simples		VPL		Taxa selic	TIR	TMA >> TIR
				13,75%		
Ano	Fluxo	Ano	Valor Futuro		-1%	Não Fazer o projeto
0	-R\$ 2.572,00	0	-R\$ 2.572,00			
1	R\$ 85,12	1	R\$ 85,12			
2	R\$ 85,12	2	R\$ 85,12			
3	R\$ 85,12	3	R\$ 85,12			
4	R\$ 85,12	4	R\$ 85,12			
		5	R\$ 85,12			
Payback (anos)	30,2162	6	R\$ 85,12			
		7	R\$ 85,12			
		8	R\$ 85,12			
		9	R\$ 85,12			
		10	R\$ 85,12			
		11	R\$ 85,12			
		12	R\$ 85,12			
		13	R\$ 85,12			
		14	R\$ 85,12			
		15	R\$ 85,12			
		16	R\$ 85,12			
		17	R\$ 85,12			
		18	R\$ 85,12			
		19	R\$ 85,12			
		20	R\$ 85,12			
		21	R\$ 85,12			
		22	R\$ 85,12			
		23	R\$ 85,12			
		24	R\$ 85,12			
		25	R\$ 85,12			

VPL	-R\$ 1.977,66
Apresentou déficit	

Tabela 13 - Aplicação das técnicas financeiras do consumidor B para o sistema híbrido.

Finalizado o projeto, para o consumidor B no sistema 100% puro, foi utilizado um painel de 60 W e um inversor de 0,35 kW. Para o sistema híbrido onde foi considerado que 30 % da energia será armazenada nas baterias, foi utilizado um painel de 30 W e um inversor híbrido de 1 kW. Para o banco de baterias, foi definida uma tensão de 12 V. Foram

utilizadas baterias solares estacionárias do tipo chumbo-ácido, tensão de 12 V e capacidade de 150 Ah. Será utilizada apenas uma bateria.

Projeto 100% puro para o consumidor C:

		Consumidor C			
Mês	Consumo (kWh)			E_c (mês) = Cons. med - Taxa de dispon (kWh)	566,6666667
1	633	Classe do medidor:	Monofásico		
2	660			E_c (dia) = E_c (mês) / 30 (kWh)	18,88888889
3	558	Taxa de disponibilidade(kWh):	30		
4	572			$W_p = (E_c \text{ (dia)} / HSP) * 1000$ (Wh)	3584,229391
5	628	HSP(h):	5,27		
6	623			Potência da placa solar escolhida :	450 W
7	523	Tarifa (R\$)	1,12		
8	471			Quantidade de placas do sistema	8
9	612				
10	576			Potência do inversor	4 kW
11	633				
12	671				
Cons. médio	596,6666667				

Tabela 14 - Dados e cálculos do consumidor C para o sistema 100% puro.

Valores			
Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total
Painel fotovoltaico 450 W	1229	8	R\$ 9.832,00
Inversor 4 kW	9.578,07	1	R\$ 9.578,07
Total geral R\$			R\$ 19.410,07

Tabela 15 - Orçamento realizado do consumidor C para o sistema 100% puro.

Cálculos para a análise do lucro anual para o consumidor C:

Cons mensal = Cons médio x Tarifa energia	R\$ 668,27
Consumo anual = Cons mensal x 12	R\$ 8.019,20
Cons. anual da tarifa mín = 12 x (30 x 1,12)	R\$ 403,20
Lucro anual = Cons anual - cons anual taria mín	R\$ 7.616,00

Tabela 16 - Cálculos para a análise do lucro anual do consumidor C para o sistema 100% puro.

Valores			
Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total
Painel fotovoltaico 465 W	1.049	2	R\$ 2.098,00
Inversor 1,5 kW	3.099	1	R\$ 3.099,00
Total geral R\$			R\$ 5.197,00

Tabela 21 - Orçamento realizado do consumidor D para o sistema 100% puro.

Cálculos para a análise do lucro anual para o consumidor D:

Cons mensal = Cons médio x Tarifa energia	R\$ 162,77
Consumo anual = Cons mensal x 12	R\$ 1.953,28
Cons. anual da tarifa mín = 12 x (30 x 1,12)	R\$ 403,20
Lucro anual = Cons anual - cons anual tarifa mín	R\$ 1.550,08

Tabela 22 - Cálculos para a análise do lucro anual do consumidor D para o sistema 100% puro.

Análise da viabilidade econômica para o consumidor D :

Payback simples		VPL		08/09/2022	TIR	TMA < TIR
				Taxa selic		
				13,75%		
Ano	Fluxo	Ano	Valor Futuro		15%	Fazer o projeto
0	-R\$ 5.197,00	0	-R\$ 5.197,00			
1	R\$ 1.550,08	1	R\$ 1.550,08			
2	R\$ 1.550,08	2	R\$ 1.550,08			
3	R\$ 1.550,08	3	R\$ 1.550,08			
4	R\$ 1.550,08	4	R\$ 1.550,08			
5		5	R\$ 1.550,08			
Payback (anos)	3,3527					
		VPL	R\$ 156,68			
		Apresentou superávit no 5º ano				

Tabela 23 - Aplicação das técnicas financeiras do consumidor D para o sistema 100% puro.

Projeto híbrido para o consumidor D:

Consumidor D	
Potência do inversor híbrido	1kW
Corrente máx do inversor híbrido	50 A
30 % da energia consumida para o banco de baterias (Wh)	218.849
NBS	2
EA = 30% energia cons / 0,3 (Wh)	729,496
C Banco = EA / V Banco (Ah)	101,3189027
NBP = C Banco / C Bat	1
Total de baterias	3
Placas Solares 70 % (Wh)	510,6472697

Valores			
Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total
Painel fotovoltaico 330 W	849	2	R\$ 1.698,00
Inversor híbrido 1kW	1.314	1	R\$ 1.314,00
Bateria 150Ah/12V	1349	3	R\$ 4.047,00
Total geral R\$			R\$ 7.059,00

Tabela 24 - Cálculos e orçamento realizado do consumidor D para o sistema híbrido.

Análise da viabilidade econômica para o consumidor D :

Payback simples		VPL		Taxa selic	TIR	TMA < TIR
				13,75%		
Ano	Fluxo	Ano	Valor Futuro		15%	Fazer o projeto
0	-R\$ 7.059,00	0	-R\$ 7.059,00			
1	R\$ 1.550,08	1	R\$ 1.550,08			
2	R\$ 1.550,08	2	R\$ 1.550,08			
3	R\$ 1.550,08	3	R\$ 1.550,08			
4	R\$ 1.550,08	4	R\$ 1.550,08			
		5	R\$ 1.550,08			
Payback (anos)	4,5540	6	R\$ 1.550,08			
		7	R\$ 1.550,08			
		8	R\$ 1.550,08			
				VPL	R\$ 192,33	
				Apresentou superávit no 8º ano		

Tabela 25 - Aplicação das técnicas financeiras do consumidor D para o sistema híbrido.

Finalizado o projeto, para o consumidor D no sistema 100% puro, foram utilizados 2 painéis de 465 W e um inversor de 1,5 kW. Para o sistema híbrido onde foi considerado que 30 % da energia será armazenada nas baterias, foram utilizados 2 painéis de 330 W e um inversor híbrido de 1 kW. Para o banco de baterias, foi definida uma tensão de 24 V. Foram utilizadas baterias solares estacionárias do tipo chumbo-ácido, tensão de 12 V e capacidade de 150 Ah. Serão utilizadas 2 baterias em série ligadas a uma outra bateria em paralelo, considerando que o inversor apresenta entradas de string independentes, formando assim um banco com 3 baterias.

Projeto 100% puro para o consumidor E:

		Consumidor E			
Mês	Consumo (kWh)			$E_c \text{ (mês)} = \text{Cons. med} - \text{Taxa de dispon (kWh)}$	193,0833333
1	250	Classe do medidor:	Monofásico	$E_c \text{ (dia)} = E_c \text{ (mês)} / 30 \text{ (kWh)}$	6,436111111
2	211	Taxa de disponibilidade(kWh):	30	$W_p = (E_c \text{ (dia)} / HSP) * 1000 \text{ (Wh)}$	1221,273456
3	216	HSP(h):	5,27	Potência da placa solar escolhida :	380 W
4	240	Tarifa (R\$)	1,12	Quantidade de placas do sistema	4
5	204			Potência do inversor	1,5 kW
6	222				
7	225				
8	196				
9	201				
10	220				
11	207				
12	285				
Cons. médio	223,0833333				

Tabela 26 - Dados e cálculos do consumidor E para o sistema 100% puro.

Valores			
Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total
Painel fotovoltaico 380W	849	4	R\$ 3.396,00
Inversor 1,5 kW	3.099,00	1	R\$ 3.099,00
Total geral R\$			R\$ 6.495,00

Tabela 27 - Orçamento realizado do consumidor E para o sistema 100% puro.

Cálculos para a análise do lucro anual para o consumidor E:

$\text{Cons mensal} = \text{Cons médio} \times \text{Tarifa energia}$	R\$ 249,85
$\text{Consumo anual} = \text{Cons mensal} \times 12$	R\$ 2.998,24
$\text{Cons. anual da tarifa mín} = 12 \times (30 \times 1,12)$	R\$ 403,20
$\text{Lucro anual} = \text{Cons anual} - \text{cons anual tarifa mín}$	R\$ 2.595,04

Tabela 28 - Cálculos para a análise do lucro anual do consumidor E para o sistema 100% puro.

Análise da viabilidade econômica para o consumidor E :

Payback simples		VPL		08/09/2022 Taxa selic 13,75%	TIR	TMA < TIR
Ano	Fluxo	Ano	Valor Futuro		22%	Fazer o projeto
0	-R\$ 6.495,00	0	-R\$ 6.495,00			
1	R\$ 2.595,04	1	R\$ 2.595,04			
2	R\$ 2.595,04	2	R\$ 2.595,04			
3	R\$ 2.595,04	3	R\$ 2.595,04			
4	R\$ 2.595,04	4	R\$ 2.595,04			
Payback (anos)	2,5029					
		VPL	R\$ 1.105,12			
		Apresentou superávit no 4º ano				

Tabela 29 - Aplicação das técnicas financeiras do consumidor E para o sistema 100% puro.

Projeto híbrido para o consumidor E:

Consumidor E			
Potência do inversor híbrido	1,5kW		
Corrente máx do inversor híbrido	30 A		
30 % da energia consumida para o banco de baterias (Wh)	366,382		
NBS	2		
EA = Ec / Pd (Wh)	1221,273		
C Banco = EA / V Banco (Ah)	169,6213133		
NBP = C Banco / C Bat	2		
Total de baterias	4		
Placas Solares 70 % (Wh)	854,8914189		
		Valores	
Descrição	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Total
Painel fotovoltaico 300 W	849	3	R\$ 2.547,00
Inversor híbrido 1,5 kW	2.098	1	R\$ 1.314,00
Bateria 150Ah/12V	1349	4	R\$ 5.396,00
		Total geral R\$	R\$ 9.257,00

Tabela 30 - Cálculos e orçamento realizado do consumidor E para o sistema híbrido.

Análise da viabilidade econômica para o consumidor E :

Payback simples		VPL		08/09/2022 Taxa selic 13,75%	TIR	TMA < TIR
Ano	Fluxo	Ano	Valor Futuro		17%	Fazer o projeto
0	-R\$ 9.257,00	0	-R\$ 9.257,00			
1	R\$ 2.595,04	1	R\$ 2.595,04			
2	R\$ 2.595,04	2	R\$ 2.595,04			
3	R\$ 2.595,04	3	R\$ 2.595,04			
4	R\$ 2.595,04	4	R\$ 2.595,04			
		5	R\$ 2.595,04			
Payback (anos)	3,5672	6	R\$ 2.595,04			
		VPL	R\$ 903,72			
		Apresentou superávit no 6º ano				

Tabela 31 - Aplicação das técnicas financeiras do consumidor E para o sistema híbrido.

Finalizado o projeto, para o consumidor E no sistema 100% puro, foram utilizados 4 painéis de 380 W e um inversor de 1,5 kW. Para o sistema híbrido onde foi considerado que 30 % da energia será armazenada nas baterias, foram utilizados 3 painéis de 380 W e um inversor híbrido de 1,5 kW. Para o banco de baterias, foi definida uma tensão de 24 V. Foram utilizadas baterias solares estacionárias do tipo chumbo-ácido, tensão de 12 V e capacidade de 150 Ah. Serão utilizadas 2 baterias em série ligadas a duas outras baterias em paralelo, considerando que o inversor apresenta entradas de string independentes formando assim um banco com 4 baterias.

Comparativo

Consumidor A				
Sistema 100 % puro			Sistema híbrido	
Payback	2,24 anos		Payback	4,92 anos
		x		
VPL	Superávit 3° ano		VPL	Superávit 9° ano
TIR	16 %		TIR	14%

Tabela 32 - Comparativo dos índices financeiros para os sistemas 100% puro e o sistema híbrido do consumidor A.

Consumidor B				
Sistema 100 % puro			Sistema híbrido	
Payback	8,45 anos		Payback	30,22 anos
		x		
VPL	Déficit		VPL	Déficit
TIR	11 %		TIR	-1%

Tabela 33 - Comparativo dos índices financeiros para os sistemas 100% puro e o sistema híbrido do consumidor B.

Consumidor C				
Sistema 100 % puro			Sistema híbrido	
Payback	2,55 anos		Payback	2,09 anos
		x		
VPL	Superávit 4º ano		VPL	Superávit 3º ano
TIR	28 %		TIR	21%

Tabela 34 - Comparativo dos índices financeiros para os sistemas 100% puro e o sistema híbrido do consumidor C.

Consumidor D				
Sistema 100 % puro			Sistema híbrido	
Payback	3,35 anos		Payback	4,55 anos
		x		
VPL	Superávit 5º ano		VPL	Superávit 8º ano
TIR	15 %		TIR	15%

Tabela 35 - Comparativo dos índices financeiros para os sistemas 100% puro e o sistema híbrido do consumidor D.

Consumidor E				
Sistema 100 % puro			Sistema híbrido	
Payback	2,50 anos		Payback	3,57 anos
		x		
VPL	Superávit 4º ano		VPL	Superávit 6º ano
TIR	22 %		TIR	17%

Tabela 36 - Comparativo dos índices financeiros para os sistemas 100% puro e o sistema híbrido do consumidor E.

6 CONCLUSÃO

Em suma, o presente trabalho comparou sistemas fotovoltaicos puros e híbridos por meio de índices financeiros.

Percebe-se que o fator determinante para a instalação dos sistemas fotovoltaicos é o consumo de energia. No presente trabalho, para o consumidor B, o qual possui consumo médio anual de 36,33 kWh, os índices financeiros demonstraram que é inviável a instalação tanto para o sistema 100% puro, como para o sistema híbrido. Para os consumidores A, D e E, os quais possuem um consumo médio anual entre 125 a 225 kWh, os índices financeiros já demonstraram que é viável a instalação dos dois sistemas, porém, o sistema 100% puro se mostrou mais eficiente, tendo um retorno financeiro mais rápido que o sistema híbrido. Já para o consumidor C, o qual possui consumo médio anual de 596,66 kWh, os índices financeiros demonstraram que é viável a sua instalação, porém, o sistema híbrido se mostrou mais eficiente, tendo um retorno financeiro mais rápido que o 100% puro.

Conclui-se que para a instalação de um sistema fotovoltaico, o que levará em conta será o consumo. No presente trabalho, para um consumo médio anual de até 36,33 kWh, se mostrou inviável a instalação de qualquer um dos dois sistemas (100% puro e híbrido). Para os demais casos, onde o consumo médio anual é acima de 100 kWh, o sistema 100% puro, demonstrou melhores resultados. Para um consumo médio anual acima de 500 kWh, o sistema híbrido demonstrou melhores resultados.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Cássio Cardoso. **O acesso à energia elétrica relacionado ao IDH dos domicílios no estado de Rondônia, anterior a construção das usinas hidrelétricas de Santo Antonio e Jirau.** Fórum Universitário Mercosul. Disponível em:

https://www.congresso2019.fomerco.com.br/resources/anais/9/fomerco2019/1568827778_ARQUIVO_baeb9d9649898409c0c14755768c2d9c.pdf. Acesso em 17/05/2022.

KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos César Barioni de; ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica.** Editora Blucher, ISBN-10: 8521205392, ISBN-13: 978-8521205395, 2ª Edição, 1 de janeiro de 2010.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira de. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** Editora Oficina de Textos, ISBN-10: 8579750520, ISBN-13: 978-8579750526, 1ª Edição, 1 janeiro de 2012.

Environmental and Energy Study institute. **Distributed Generation.** Disponível em: <https://www.eesi.org/topics/distributed-generation/description>. Acesso em 17/05/2022

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), **Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Cadernos Temáticos ANEEL, 2ª Edição,** Brasília, 2016.

VILLALVA, Marcelo Gradella, **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** Editora Érica, ISBN-10: 8536514892, ISBN-13: 978-8536514895, 2ª Edição, 4 de junho de 2012.

CNN BRASIL. **Energia elétrica aumentou mais do que o dobro da inflação nos últimos anos.** Disponível

em:<<https://www.cnnbrasil.com.br/business/energia-eletrica-aumentou-mais-do-que-o-dobro-da-inflacao-nos-ultimos-anos/>>. Acesso em 17/05/2022.

Diário do Nordeste. **Aumento do salário mínimo não repõe perda na renda do trabalhador.** Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/aumento-do-salario-minimo-nao-repoe-perda-na-renda-do-trabalhador-1.3179276>>. Acesso em 17/05/2022.

Globo.com. **IPCA: inflação oficial fecha 2021 em 10,06%, maior alta desde 2015.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2022/01/11/ipca-inflacao-oficial-fecha-2021-e-m-1006percent.ghtml>>. Acesso em 17/05/2022.

NETO, Alexandre Assaf. **Matemática Financeira e suas aplicações.** Editora Atlas, ISBN-10: 8597020954, ISBN-13: 978-8597020953, 14ª Edição, 3 de maio de 2019.

HUSSAIN, Chaudhery Mustansar. **Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications** -1st Edition - July 19, 2018

BIOENERGY CONSULT. **On-Grid Vs Off Grid: Choose the Best Power for Your Home.** Disponível em: <<https://www.bioenergyconsult.com/on-grid-vs-off-grid-power/>>. Acesso em 25/05/2022.

EPEVER. **Controlador de carga Epever XTRA.**

WEG. **Inversor de Frequência Weg CFW500 Mono/Tri 2CV 220V 7,3A**

SUNHYBRID. **Banco de baterias Fazenda - Barreiras.** Disponível em: <<https://sunhybrid.com.br/portfolio/gerador-solar-offgrid-sunhybrid/>>. Acesso em 01/06/2022.

GREENMATCH. **Photovoltaic System What Are Photovoltaic Systems and How Do They Work?** Disponível

em:<[https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system#:~:text=Photovoltaic%20systems%20\(PV%20systems\)%20are,a%20reliable%20green%20energy%20solution.](https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system#:~:text=Photovoltaic%20systems%20(PV%20systems)%20are,a%20reliable%20green%20energy%20solution.)>. Acesso em 02/06/2022.

SOLIS ENERGIA. **Como funciona o medidor bidirecional da energia solar?**.

Disponível em:
<<https://solisenergia.com.br/como-funciona-o-medidor-bidirecional-da-energia-solar/>>. Acesso em 02/05/2022.

CRONOS. **Medidor De Energia Elétrica Bifásico Bidirecional Cronos.**

CEMIG. **MINI E MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA – CONECTE-SE A NOSSA REDE!**. Disponível em:

<<https://www.cemig.com.br/mini-e-microgeracao-distribuida/>>. Acesso em 19/06/2022.

LUNELLI, Reinaldo Luiz . **Análise das Demonstrações Financeiras**. 1. ed. Curitiba: Portal Tributário, 2008. v. 1. 125p .

Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica, Sérgio S. de Brito. **Potencial solar**. Disponível em:< <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 10/07/2022.

LEGISWEB. **Resolução Normativa ANEEL Nº 414 DE 09/09/2010**. Disponível em:<<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=112868> >. Acesso em 20/07/2022.

MUST. **Inversor solar híbrido.**

OSDA SOLAR. **Painel solar fotovoltaico.**

FULGURIS. **Bateria estacionária Fulguris.**

Growatt. **Inversor híbrido.**