

**VIABILIDADE DO USO DO SISTEMA DE ENERGIA SOLAR EM RESIDÊNCIAS
NA CIDADE DE UNAÍ – MG****VIABILITY OF USING SOLAR ENERGY SYSTEM IN RESIDENCES IN THE CITY
OF UNAÍ - MG**

Natalia Vaz Oliveira ¹
Gevair Campos ²

RESUMO: A energia solar fotovoltaica é uma das principais fontes renováveis de geração de energia elétrica, contudo, o seu elevado custo de instalação ainda é considerado a principal limitação para a difusão desse tipo de fonte de energia no Brasil, sendo que a redução de custos é uma meta traçada por diferentes agentes econômicos da sociedade. O presente trabalho teve como objetivo identificar economicamente a viabilidade (ou não) da geração de energia fotovoltaica em residências no município de Unaí–MG. Para isso, realizou-se uma pesquisa exploratória, por meio de um estudo de caso, com abordagem quantitativa. Os métodos de análise empregados foram o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback simples. Para isso, foram coletados os consumos de cinco residências, três meses antes e três meses após a instalação do sistema fotovoltaico. Dentre os cenários analisados, os resultados revelam que todos se mostraram economicamente viáveis. Segundo os resultados obtidos, nota-se a relação inversamente proporcional entre o tamanho e a capacidade do sistema solar instalado com o tempo de retorno do investimento. Conclui-se que, além de reduzir custos e de apresentar viabilidade econômica para as residências analisadas, a energia solar trará benefícios inestimáveis também ao meio ambiente, por ser uma fonte de captação de energia renovável, limpa, além de ter grande disponibilidade do recurso solar.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico; Geração Distribuída; Viabilidade Econômica.

ABSTRACT: Photovoltaic solar energy is a leading renewable source of electricity generation. However, its high installation cost remains a significant barrier to the widespread adoption of this energy source in Brazil. Reducing these costs is a goal shared by various economic stakeholders in society. The present study aimed to economically identify the viability (or not) of photovoltaic energy generation in residences in the municipality of Unaí–MG. For this, we conducted an exploratory research through a case study with a quantitative approach. The analysis methods employed were Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Simple Payback. For this, we collected the consumption of five residences three months before and three months after the installation of the photovoltaic system. Among the scenarios analyzed, the results reveal that all were economically viable. The results indicate an inverse relationship between the size and capacity of the installed solar system and the time required to return on investment. We concluded that, to reduce

¹ Bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade CNEC Unaí, Faculdade CNEC Unaí. E-mail: natalia.vaz.oliveira@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-4288-7705>

² Mestre em Agronegócios pela Universidade de Brasília (UnB); Docente na Faculdade CNEC Unaí, Faculdade CNEC Unaí. E-mail: javas1989@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6909-6088>

costs and demonstrate economic viability for the analyzed houses, solar energy offers significant environmental benefits. It serves as a renewable and clean energy source, capitalizing on the abundant availability of solar resources.

Keywords: Photovoltaic System; Distributed Generation; Economic Feasibility.

1 INTRODUÇÃO

Diante dos impactos ambientais, a conscientização do homem proporcionou a busca por fontes de energias mais limpas (energias renováveis) por causarem menos impactos ao meio ambiente, como também, promovem o desenvolvimento sustentável.

Durante as últimas décadas, as fontes de energia têm sido cada vez mais estudadas e aperfeiçoadas. Segundo Moreira (2008) a utilização de fontes de energias renováveis foi impulsionada pela crise energética e a necessidade de mudança da matriz energética mundial, uma vez que o estoque de reservas de combustíveis não renováveis é limitado e as exigências na redução da emissão de poluentes são constantes.

A emissão de dióxido de carbono intensificou-se no início do século XX devido à produção de energia, inclusive na produção de energia elétrica. Concomitante a este cenário, a eficiência energética tornou-se papel importante nas políticas mundiais de energia e de meio ambiente, principalmente naquelas voltadas às mudanças climáticas.

Conforme o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (2007), 60% da emissão dos gases de efeito estufa são provenientes da geração de energia. Para estabilizar a concentração dos gases emitidos, é necessário que se reduza até 2030, na mesma proporção de consumo referente à década de 1990, ou seja, é imprescindível haver uma reformulação das formas de produção de energia no planeta.

Diante dos alertas para as alterações climáticas e as consequências provenientes, diversos países passaram a utilizar as fontes de energias renováveis a fim de substituir as fontes tradicionais e minimizar os impactos ambientais causados por essas, bem como ampliar a oferta e a diversificação da matriz energética perante a demanda crescente.

A eficiência energética pautada em fontes de energias renováveis, pode contribuir com o desperdício de energia e a mitigação dos impactos causados ao meio ambiente, provenientes do uso compulsivo e despreocupado do uso da energia pela sociedade, a saber: biomassa, energia eólica, energia geotérmica, energia hidráulica, energia do mar e energia solar.

Os sistemas fotovoltaicos encontram-se em crescente utilização e têm evoluído significativamente em vários países. Por meio deles, obtém-se a energia solar fotovoltaica, em que a célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão. Contudo, a maioria dos países ainda utiliza como elemento principal para geração de energia os combustíveis fósseis.

A discussão acerca da necessidade da mudança do paradigma da matriz energética brasileira tem se tornado cada vez mais necessária. Ela vem sendo impulsionada por diversos fatores, como o aumento significativo do preço da energia elétrica causado por razões que vão desde a sua distribuição até os custos gerenciais das empresas distribuidoras. Além da diminuição das chuvas, em razão da geração de energia elétrica se basear notadamente na utilização da força da água por meio das usinas hidrelétricas.

A questão energética constitui um dos grandes desafios da atualidade, impondo-se fortes preocupações ambientais, considerando a necessidade de explorar recursos renováveis que trazem flexibilidade e sustentabilidade quanto à sua utilização, uma vez que o aumento do consumo de energia vem se acentuando na maioria dos países desenvolvidos e em muitos países em desenvolvimento. As preocupações relacionadas a esse aumento referem-se principalmente à viabilização do atendimento dessa demanda crescente e à sustentabilidade ambiental desse processo.

São constantes os desafios para identificar as fontes de geração de eletricidade capazes de atender à demanda de maneira sustentável. Além de promover a sustentabilidade, por meio da eficiência energética, a energia solar fotovoltaica é também destacada para solucionar o desperdício. Assim sendo, a questão motivadora deste estudo foi: “Economicamente, é viável (ou não) implantar um sistema de energia solar em uma residência quando comparado ao valor da tarifa pago à distribuidora?”

Para responder ao problema de pesquisa, buscou-se com o estudo o seguinte objetivo: identificar economicamente a viabilidade (ou não) da geração de energia fotovoltaica em residências no município de Unaí–MG.

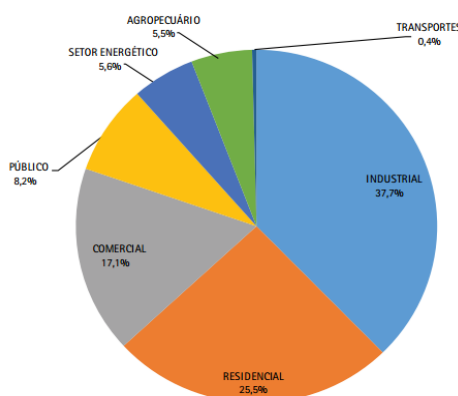
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um sistema de energia solar fotovoltaico é capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar. Esse tipo de sistema vem ganhando destaque em relação às fontes tradicionais de energia devido ao incentivo à utilização de fontes de energia renováveis. As vantagens, o funcionamento e os seus componentes básicos serão explicitados nos tópicos a seguir.

2.1. MATRIZ ENERGÉTICA

Ao final de 2014, a matriz elétrica brasileira no que se trata de fontes renováveis sofreu um regresso de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013 e 65,2% em 2014. O consumo de eletricidade obteve um aumento de 2,9%, ocasionando a expansão da geração termelétrica, principalmente de usinas de carvão mineral, gás natural e biomassa. Tais mudanças são oriundas devido ao aumento dos impactos de gases de efeito estufa. Em 2017, os setores industrial, residencial e comercial respondem por mais de 80% na participação do consumo de energia elétrica, conforme mostra a Figura 1 (EPE, 2018).

Figura 1 – Participação Setorial no Consumo de Eletricidade



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2018).

Conforme Gore (2010, p. 27), o efeito estufa e consequente aumento de temperatura do planeta impulsionaram-se com o desenvolvimento econômico no século XX baseado no uso de combustíveis fósseis:

O uso de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), no qual se baseou o desenvolvimento econômico do século XX, está lançando na atmosfera enormes quantidades de dióxido de carbono, alterando a sua composição e provocando o aquecimento do globo terrestre, que já está levando a sérios problemas climáticos. Alguns dos efeitos destes problemas, como o derretimento das calotas polares ou o aumento do nível do mar, já são visíveis (GORE, 2010, p.27).

Atualmente, em muitos países, as políticas governamentais desempenham um papel importante no estímulo aos investimentos em energia renovável, motivadas pelos altos níveis de consumo de energia existente em muitos países industrializados, o crescimento contínuo da população e também com as mudanças climáticas. A dinâmica que rege as tendências atuais de energia trata-se das necessidades energéticas voltadas a questões sustentáveis, por meio de soluções efetivas pelo lado da demanda e pelo lado do fornecimento (GORE, 2010).

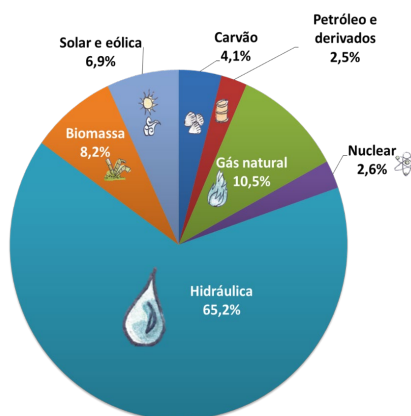
A esse respeito, é preciso considerar que:

Atingir os objetivos de sustentabilidade exigirá mudanças não apenas no modo pelo qual a energia é fornecida, mas no modo como é usada. Reduzir a quantidade de energia necessária para a entrega de vários bens, serviços ou amenidades é uma forma de abordar as externalidades negativas associadas aos sistemas energéticos atuais e fornece um complemento essencial aos esforços que visam à mudança do conjunto de tecnologias de fornecimento de energia e recursos (FAPESP, 2010, p. 29).

De acordo com Bandeira (2012), o Brasil possui no seu território significativas reservas de fontes não renováveis (petróleo, gás natural, carvão, urânio, etc.), como também possui diversificadas fontes de energia renovável, destacando-se a energia eólica, solar e de biomassa para a geração de energia elétrica. Apesar do grande potencial na produção de combustíveis fósseis, o Brasil possui a maior bacia hidrográfica do mundo, que, conseqüentemente, reflete na produção de energia elétrica sendo na sua maior parte oriunda de usinas hidrelétricas.

A matriz elétrica brasileira é predominantemente renovável, e 80,4%, representam as fontes renováveis da oferta interna de eletricidade. Nesse contexto, destaca-se a fonte hídrica, que representa 65,2% dessa oferta conforme a Figura 2 (EPE, 2018).

Figura 2 – Oferta de Energia Elétrica no Brasil



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2018).

A energia solar tem participação pouco expressiva na matriz energética mundial, contudo, o potencial para a energia solar no Brasil é muito grande, apesar das diferentes características climáticas do país. Conforme a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (2010), o local em que ocorre a menor radiação solar é no estado de Santa Catarina ($4,25 \text{ kWh/m}^2$), valor quatro vezes maior que o território da Alemanha (país líder mundial no aproveitamento de energia solar). As áreas localizadas no Nordeste brasileiro têm valores de radiação solar diária, média anual, comparáveis às melhores regiões do mundo (regiões desérticas).

O aproveitamento da energia solar atualmente é mais utilizado para o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. Com o passar dos anos, muitos países começaram a exigir a participação da energia solar no aquecimento de água, destacando-se primeiramente Israel e, posteriormente, a Espanha. No Brasil, o aproveitamento da energia solar para aquecimento de água é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, sendo uma parcela expressiva do consumo de energia elétrica destinada a esse fim, principalmente no setor residencial, devido às características climáticas das regiões. Já para a geração fotovoltaica de energia elétrica, destacam-se as regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica (CRESESB, 2006).

2.2. A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A humanidade está ligada à energia solar desde os tempos remotos. Há muitos séculos, o homem já utilizava o sol para suprir as suas necessidades (por ex.: secar peles). No século VII a.C., conforme achados históricos de arqueólogos, obtinha-se o fogo pela concentração da luz solar em lentes de vidro, que, quando direcionada a pedaços de madeira, ocorria a queima e, conseqüentemente, o fogo. Por praticar a maioria das atividades no período diurno, o homem preocupava-se com a obtenção de uma forma de luz artificial. No período Paleolítico, têm-se os primeiros relatos referentes ao aproveitamento da energia solar para fins de iluminação, impulsionada com a descoberta do fogo (Farias; Sellitto, 2011).

Devido às políticas governamentais, motivadas pelas mudanças climáticas, o gradativo aumento do custo do petróleo, as preocupações com a segurança energética, bem como a consciência ecológica, o uso de fontes renováveis de energia encontra-se cada vez mais comum entre os países. Define-se como energia renovável toda a energia proveniente de recursos naturais e renováveis no meio ambiente, sendo eles: sol, vento, chuva, marés e calor. Toda a energia que utiliza como fonte principal esse recurso é denominado como energia “limpa”. Diante desse cenário, a energia solar tem desenvolvido importante papel como uma fonte renovável e segura de energia, aumentando-se os estímulos para se investir nesse setor (FAPESP, 2010).

A Agência Nacional de Energia Elétrica estabelece a Resolução Normativa ANEEL n.º 482/2012, que fomenta a utilização de fontes renováveis de energia e permite que o usuário e consumidor possa gerar a sua própria energia elétrica a partir de fontes não convencionais e que o excedente de energia elétrica possa ser vendido para a concessionária da rede de distribuição, ou seja, a sobra se converte em um crédito para ser abatido da conta de luz seguinte (ANEEL, 2012).

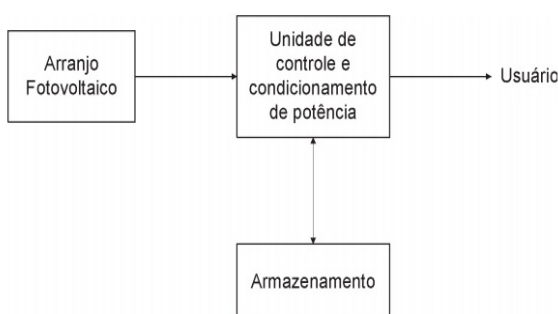
Conforme o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004), a célula fotovoltaica é a unidade responsável pelo processo de conversão em que ocorre uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor, ou seja, no momento em que a radiação solar interage com o material semicondutor, tem-se a liberação de elétrons pelo material, ocorrendo então a diferença de potencial. A célula fotovoltaica mantém o fluxo de elétrons no circuito elétrico somente enquanto houver radiação solar sobre ela, ou seja, não se armazena energia elétrica.

Para produzir uma maior quantidade de energia, são necessárias várias células fotovoltaicas, uma vez que uma célula fotovoltaica sozinha produz pouca energia. O conjunto de células conectadas eletricamente em série sobre uma estrutura rígida permite que se produza tensões maiores. Esse agrupamento de células fotovoltaicas é chamado módulo fotovoltaico (CRESEB, 2004).

Conforme o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004), os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em duas categorias, sendo Sistema Isolado (Off Grid) e Sistema Conectado à Rede (On Grid).

Sistema Isolado (Off Grid): utiliza-se de uma forma de armazenamento (baterias). A energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é direcionada à alimentação dos aparelhos elétricos da propriedade e armazenada para que se tenha energia disponível quando não há geração pelo sistema, conforme mostra a Figura 3. Esse sistema é uma solução para atender a um propósito específico, como trazer energia a locais remotos e de difícil acesso, ou ainda, para o acionamento de equipamentos elétricos em períodos em que não há geração do sistema fotovoltaico. Até aqui

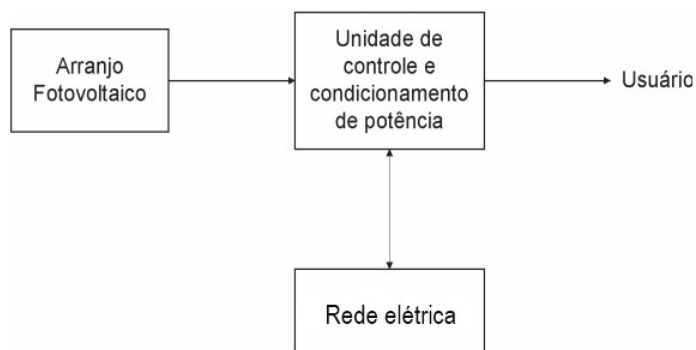
Figura 3 - Configuração Básica de um Sistema Fotovoltaico Isolado



Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004).

Sistema conectado à rede (On Grid): o fornecimento de energia é constante e dispensa a utilização de baterias e controladores de carga, tornando-se mais eficiente que o Off Grid. A energia solar fotovoltaica se comporta como uma fonte complementar à geração convencional. Geralmente não se utiliza equipamentos para armazenamento, uma vez que a potência gerada é conduzida à rede elétrica como mostra a Figura 4. Um relógio bidirecional registra os momentos de produção maior que o consumo (horários de mais sol) o que é injetado na rede.

Figura 4 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004).

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESEB (2004) o correto dimensionamento do sistema solar fotovoltaico traz inúmeros benefícios ao usuário, como a economia em componentes a serem utilizados, sendo a produção de energia segundo a necessidade do usuário. As instalações podem variar conforme a necessidade do usuário.

Segundo CRESEB (2004) o projeto de um sistema fotovoltaico envolve algumas etapas fundamentais que devem ser seguidas para que o sistema produza energia suficiente para atender a demanda de consumo de energia elétrica, sendo elas: Obtenção dos dados do recurso solar e temperatura para o local de instalação do sistema, uma vez que o sistema solar fotovoltaico tem as suas características elétricas dependentes da radiação solar que atinge a superfície do módulo fotovoltaico e da temperatura do ambiente a qual o sistema está submetido; Levantamento do consumo de energia elétrica (demanda a ser atendida); Levantamento da quantidade de dias de autonomia do sistema; Seleção dos componentes; e, Dimensionamento dos principais componentes do sistema.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os métodos e técnicas de pesquisas serão tratados a seguir, explicitando-se, concisamente, os elementos utilizados para o desenvolvimento da presente pesquisa e demais aspectos que a constitui.

O presente estudo caracteriza-se como um estudo de caso múltiplo, de caráter exploratório e bibliográfico. Conforme Zikmund (2000), a pesquisa exploratória é útil para diagnosticar situações e descobrir novas ideias, dessa forma, caracteriza-se como ampla e versátil. Esse tipo de pesquisa enquadra-se em descobrir ideias, a fim de adquirir maior familiaridade com o fenômeno pesquisado. Empregam-se estudos de casos selecionados, levantamentos em fontes secundárias e levantamentos de experiências.

Segundo Yin (2001), o estudo de caso múltiplo visa analisar um objeto de estudo de maneira única, em que ocorre um estudo completo, para posteriormente, observar as semelhanças com outros casos, com seus respectivos eventos relevantes e conclusões. Não há generalização dos resultados para toda a população, mas apresentam-se as causas pelas quais alguns fatos ocorreram e outros não, como também há previsão de resultados similares. O pesquisador pode ter a possibilidade de estudar dois ou mais objetos de estudo.

Quanto à abordagem, a pesquisa caracterizou-se como quantitativa, uma vez que há coleta de dados (caráter quantitativo), que foram analisados qualitativamente (especulações das causas dos resultados).

Para a realização da análise da viabilidade da instalação do sistema de energia solar fotovoltaica nas residências foi necessário identificar o valor gasto com a utilização do serviço de fornecimento de energia da concessionária CEMIG em cinco residências, considerando três meses antes e três meses após a instalação do sistema fotovoltaico. Após a identificação desses valores, foi calculada a média do valor antes e depois da instalação para encontrar o valor economizado no mês (subtração do valor médio a ser pago antes e do valor médio a ser pago depois da instalação do sistema) e em seguida, encontrar o valor economizado no ano. O valor médio a ser pago nas residências antes da instalação do sistema é especificado no Quadro 1.

Quadro 1 – Custo com Energia Elétrica das Residências antes da Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica nas Residências

	Residência 1	Residência 2	Residência 3	Residência 4	Residência 5
Mês 1	R\$ 840,53	R\$ 303,82	R\$ 150,02	R\$ 398,54	R\$ 1709,52
Mês 2	R\$ 1078,18	R\$ 448,37	R\$ 162,64	R\$ 430,58	R\$ 1658,49
Mês 3	R\$ 740,64	R\$ 367,76	R\$ 218,23	R\$ 429,56	R\$ 1724,41
Médias	R\$ 886,45	R\$ 373,31	R\$ 176,96	R\$ 419,56	R\$ 1697,47

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

O valor médio a ser pago nas residências depois da instalação do sistema é especificado no Quadro 2.

Quadro 2 – Custo com Energia Elétrica das Residências depois da Instalação do Sistema de Energia Solar Fotovoltaica nas Residências

	Residência 1	Residência 2	Residência 3	Residência 4	Residência 5
Mês 1	R\$ 109,72	R\$ 126,55	R\$ 47,29	R\$ 47,28	R\$ 169,23
Mês 2	R\$ 111,89	R\$ 156,94	R\$ 42,80	R\$ 55,39	R\$ 181,14
Mês 3	R\$ 98,53	R\$ 109,71	R\$ 46,17	R\$ 50,21	R\$ 173,64
Médias	R\$ 106,70	R\$ 130,89	R\$ 45,42	R\$ 50,96	R\$ 174,67

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

No valor que compõe cada sistema estão inclusos: o inversor, as placas, o projeto, a instalação e a manutenção. A potência instalada, ou seja, a capacidade de produção, irá depender do tamanho do projeto e, conseqüentemente, da quantidade de placas. No Quadro 3 têm-se as respectivas potências instaladas nas residências.

Quadro 3 – Capacidade de Produção (kW pico) das Residências

	Capacidade de produção (kW pico)
Residência 1	8,80
Residência 2	4,62
Residência 3	2,30
Residência 4	4,44
Residência 5	14,06

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Foi considerado o período de 25 anos do projeto, que se refere a garantia dada pelo fabricante das placas fotovoltaicas. Finalmente, a partir do valor economizado no ano com o valor total da instalação do sistema, foi possível realizar os cálculos, utilizando o Excel, para saber a viabilidade da implantação, com base em três indicadores de viabilidade econômica, explicados a seguir:

VPL (Valor Presente Líquido), é a diferença entre o valor investido e o valor resgatado ao fim do investimento, trazidos ao valor presente. Basicamente, tem como objetivo medir o lucro (Lapponi, 2000). Para saber se o valor investido será recuperado e haverá ganho, o VPL terá que ser positivo, caso contrário, quando for negativo, o investidor resgatará um valor menor que o valor investido, ou seja, o projeto custa mais do que vale, obtendo prejuízo. Quando o VPL for zero, significa que não fará diferença em aplicar.

TIR (Taxa Interna de Retorno), é a taxa que relaciona o valor investido com o valor resgatado ao fim do investimento. A TIR é utilizada para verificar se a taxa de retorno do projeto é melhor do que outros investimentos a uma taxa estabelecida pelo dono do capital a ser investido. Essa taxa representa a rentabilidade relativa de um projeto de investimento e deverá ser comparada com a taxa de atratividade (TMA) da empresa (LAPPONI, 2000). Se a TIR for maior que a TMA, logo, o investimento é considerado como viável economicamente. Caso contrário ($TIR < TMA$), o investimento é classificado como inviável economicamente. A TMA utilizada foi a taxa IPCA do ano de 2019, utilizada para medir a variação de preços do mercado para o consumidor final e representa o índice oficial da inflação no Brasil.

E o payback permite verificar quando um investimento se pagará e trará ganhos efetivos. Segundo Abreu (2007, p. 78), “o critério consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. O payback é o tempo necessário para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito”. Em suma, esse indicador estima quanto tempo levará para que o investidor recupere a sua aplicação inicial.

O payback pode ser simples (considera o valor investido sem considerar o valor do dinheiro no tempo) ou, descontado (o valor do dinheiro é levado em conta no decorrer do tempo). O modelo utilizado na pesquisa foi o payback simples.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Considerando um período de vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos, pôde-se observar por meio dos resultados que todos os sistemas seriam pagos antes desse período. Outro aspecto a ser considerado ao se tratar da energia fotovoltaica se refere à regressividade na tarifa de energia, uma vez que, com a instalação do sistema, em todos os casos houve uma diminuição significativa do valor a ser pago para a concessionária.

Utilizando-se do payback, foi possível identificar o tempo necessário para a obtenção de retorno sobre o investimento. Observa-se que o investimento obteve retorno a partir do quinto ano. Na residência 1, o valor investido foi de R\$ 43.000,00, conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4 – Fluxo de Caixa e Payback (Residência 1)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 43.000,00	-R\$ 43.000,00	13	R\$ 9.356,84	R\$ 78.638,92
1	R\$ 9.356,84	-R\$ 33.643,16	14	R\$ 9.356,84	R\$ 87.995,76
2	R\$ 9.356,84	-R\$ 24.286,32	15	R\$ 9.356,84	R\$ 97.352,60
3	R\$ 9.356,84	-R\$ 14.929,48	16	R\$ 9.356,84	R\$ 106.709,44
4	R\$ 9.356,84	-R\$ 5.572,64	17	R\$ 9.356,84	R\$ 116.066,28

5	R\$ 9.356,84	R\$ 3.784,20	18	R\$ 9.356,84	R\$ 125.423,12
6	R\$ 9.356,84	R\$ 13.141,04	19	R\$ 9.356,84	R\$ 134.779,96
7	R\$ 9.356,84	R\$ 22.497,88	20	R\$ 9.356,84	R\$ 144.136,80
8	R\$ 9.356,84	R\$ 31.854,72	21	R\$ 9.356,84	R\$ 153.493,64
9	R\$ 9.356,84	R\$ 41.211,56	22	R\$ 9.356,84	R\$ 162.850,48
10	R\$ 9.356,84	R\$ 50.568,40	23	R\$ 9.356,84	R\$ 172.207,32
11	R\$ 9.356,84	R\$ 59.925,24	24	R\$ 9.356,84	R\$ 181.564,16
12	R\$ 9.356,84	R\$ 69.282,08	25	R\$ 9.356,84	R\$ 190.921,00

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

O VPL foi utilizado para indicar os rendimentos do projeto em relação ao custo de capital. No sistema solar fotovoltaico da residência 1, obteve-se o VPL no valor de R\$106.632,51, indicando que o projeto é viável e capaz de gerar retorno financeiro.

Com base nessas premissas, o fluxo de caixa projetado para o período de 25 anos. Ressalta-se que, para o bom funcionamento do sistema, é crucial serem realizadas manutenções preventivas (limpeza do sistema), antecipando possíveis problemas e monitorando as condições de desempenho do sistema.

Com uma economia anual de R\$ 2.907,00 na residência 2, foi possível analisar a viabilidade do sistema, quando comparado aos custos de implantação, como mostra o Quadro 5.

Quadro 5 – Fluxo de caixa e Payback (Residência 2)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 23.000,00	-R\$ 23.000,00	13	R\$ 2.907,00	R\$ 14.791,00
1	R\$ 2.907,00	-R\$ 20.093,00	14	R\$ 2.907,00	R\$ 17.698,00
2	R\$ 2.907,00	-R\$ 17.186,00	15	R\$ 2.907,00	R\$ 20.605,00
3	R\$ 2.907,00	-R\$ 14.279,00	16	R\$ 2.907,00	R\$ 23.512,00
4	R\$ 2.907,00	-R\$ 11.372,00	17	R\$ 2.907,00	R\$ 26.419,00
5	R\$ 2.907,00	-R\$ 8.465,00	18	R\$ 2.907,00	R\$ 29.326,00
6	R\$ 2.907,00	-R\$ 5.558,00	19	R\$ 2.907,00	R\$ 32.233,00
7	R\$ 2.907,00	-R\$ 2.651,00	20	R\$ 2.907,00	R\$ 35.140,00
8	R\$ 2.907,00	R\$ 256,00	21	R\$ 2.907,00	R\$ 38.047,00
9	R\$ 2.907,00	R\$ 3.163,00	22	R\$ 2.907,00	R\$ 40.954,00
10	R\$ 2.907,00	R\$ 6.070,00	23	R\$ 2.907,00	R\$ 43.861,00
11	R\$ 2.907,00	R\$ 8.977,00	24	R\$ 2.907,00	R\$ 46.768,00
12	R\$ 2.907,00	R\$ 11.884,00	25	R\$ 2.907,00	R\$ 49.675,00

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Dessa forma, conforme o fluxo de caixa apresentado, percebe-se que o investimento trará retorno no oitavo ano. O VPL positivo no valor de R\$ 23.488,10 mostra que o projeto é economicamente viável.

Cabe salientar que o sistema solar da residência 3 possui o menor valor investido e maior tempo de retorno. A economia gerada anualmente proporciona um valor de R\$ 1.574,52, conforme mostra o Quadro 6.

De acordo com Kebede (2015), o estudo da viabilidade econômica dos painéis fotovoltaicos objetiva informar aos investidores a respeito dos benefícios de se utilizar o sistema, uma vez que a falta de informação sobre a verdadeira economia gerada com a utilização do sistema de energia solar fotovoltaica no uso doméstico é o maior obstáculo para a expansão da implantação dos sistemas em residências. Ressalta-se que, assim como qualquer outra empresa, uma usina fotovoltaica também tem que obter lucro sobre o investimento.

Quadro 6 – Fluxo de Caixa e Payback (Residência 3)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 15.000,00	-R\$ 15.000,00	13	R\$ 1.574,52	R\$ 5.468,76
1	R\$ 1.574,52	-R\$ 13.425,48	14	R\$ 1.574,52	R\$ 7.043,28
2	R\$ 1.574,52	-R\$ 11.850,96	15	R\$ 1.574,52	R\$ 8.617,80
3	R\$ 1.574,52	-R\$ 10.276,44	16	R\$ 1.574,52	R\$ 10.192,32
4	R\$ 1.574,52	-R\$ 8.701,92	17	R\$ 1.574,52	R\$ 11.766,84
5	R\$ 1.574,52	-R\$ 7.127,40	18	R\$ 1.574,52	R\$ 13.341,36
6	R\$ 1.574,52	-R\$ 5.552,88	19	R\$ 1.574,52	R\$ 14.915,88
7	R\$ 1.574,52	-R\$ 3.978,36	20	R\$ 1.574,52	R\$ 16.490,40
8	R\$ 1.574,52	-R\$ 2.403,84	21	R\$ 1.574,52	R\$ 18.064,92
9	R\$ 1.574,52	-R\$ 829,32	22	R\$ 1.574,52	R\$ 19.639,44
10	R\$ 1.574,52	R\$ 745,20	23	R\$ 1.574,52	R\$ 21.213,96
11	R\$ 1.574,52	R\$ 2.319,72	24	R\$ 1.574,52	R\$ 22.788,48
12	R\$ 1.574,52	R\$ 3.894,24	25	R\$ 1.574,52	R\$ 24.363,00

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Na análise do sistema da residência 3, também foi considerado viável economicamente, uma vez que o resultado do VPL foi positivo ao final do período, no valor de R\$ 10.179,37. O tempo de retorno estimado para a residência 3 foi de 10 anos.

No Quadro 7, observa-se que a residência 4 terá economia de R\$ 4.423,20 no ano com a obtenção do sistema de energia solar fotovoltaica. Segundo Almeida (2016), atualmente é extremamente importante estudar a viabilidade de implantação do sistema de energia solar fotovoltaica, uma vez que o custo da implantação do sistema é relativamente elevado. Utilizar essa tecnologia tornou-se uma alternativa com grande potencial, principalmente no que se refere às questões ambientais, sendo que as fontes de energia atuais, na sua maioria, não são renováveis e contribuem expressivamente para os impactos negativos ambientais.

Salienta-se ainda que incentivos governamentais na isenção de impostos aliados ao aumento do custo da energia elétrica nos últimos anos impulsionaram a utilização da energia fotovoltaica. A viabilidade do investimento pode ser promissora, no entanto, devem ser mantidos os incentivos financeiros em correspondência com a redução de preços anuais da tecnologia fotovoltaica.

Quadro 7 – Fluxo de Caixa e Payback (Residência 4)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 25.697,39	-R\$ 25.697,39	13	R\$ 4.423,20	R\$ 31.804,21
1	R\$ 4.423,20	-R\$ 21.274,19	14	R\$ 4.423,20	R\$ 36.227,41
2	R\$ 4.423,20	-R\$ 16.850,99	15	R\$ 4.423,20	R\$ 40.650,61
3	R\$ 4.423,20	-R\$ 12.427,79	16	R\$ 4.423,20	R\$ 45.073,81
4	R\$ 4.423,20	-R\$ 8.004,59	17	R\$ 4.423,20	R\$ 49.497,01
5	R\$ 4.423,20	-R\$ 3.581,39	18	R\$ 4.423,20	R\$ 53.920,21
6	R\$ 4.423,20	R\$ 841,81	19	R\$ 4.423,20	R\$ 58.343,41
7	R\$ 4.423,20	R\$ 5.265,01	20	R\$ 4.423,20	R\$ 62.766,61
8	R\$ 4.423,20	R\$ 9.688,21	21	R\$ 4.423,20	R\$ 67.189,81
9	R\$ 4.423,20	R\$ 14.111,41	22	R\$ 4.423,20	R\$ 71.613,01
10	R\$ 4.423,20	R\$ 18.534,61	23	R\$ 4.423,20	R\$ 76.036,21
11	R\$ 4.423,20	R\$ 22.957,81	24	R\$ 4.423,20	R\$ 80.459,41
12	R\$ 4.423,20	R\$ 27.381,01	25	R\$ 4.423,20	R\$ 84.882,61

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Segundo o fluxo de caixa, observa-se que o investimento dará retorno no sexto ano. Com base no valor do VPL de R\$ 45.037,44, considera-se a instalação do sistema solar economicamente viável.

Observa-se no Quadro 8 que o quinto caso estudado irá obter retorno financeiro no quarto ano.

Quadro 8 – Fluxo de caixa e Payback (Residência 5)

Ano	Fluxo de caixa	Payback	Ano	Fluxo de caixa	Payback
0	-R\$ 65.000,00	-R\$ 65.000,00	13	R\$ 18.273,65	R\$ 172.557,45
1	R\$ 18.273,65	-R\$ 46.726,35	14	R\$ 18.273,65	R\$ 190.831,10
2	R\$ 18.273,65	-R\$ 28.452,70	15	R\$ 18.273,65	R\$ 209.104,75
3	R\$ 18.273,65	-R\$ 10.179,05	16	R\$ 18.273,65	R\$ 227.378,40
4	R\$ 18.273,65	R\$ 8.094,60	17	R\$ 18.273,65	R\$ 245.652,05
5	R\$ 18.273,65	R\$ 26.368,25	18	R\$ 18.273,65	R\$ 263.925,70
6	R\$ 18.273,65	R\$ 44.641,90	19	R\$ 18.273,65	R\$ 282.199,35
7	R\$ 18.273,65	R\$ 62.915,55	20	R\$ 18.273,65	R\$ 300.473,00
8	R\$ 18.273,65	R\$ 81.189,20	21	R\$ 18.273,65	R\$ 318.746,65

9	R\$ 18.273,65	R\$ 99.462,85	22	R\$ 18.273,65	R\$ 337.020,30
10	R\$ 18.273,65	R\$ 117.736,50	23	R\$ 18.273,65	R\$ 355.293,95
11	R\$ 18.273,65	R\$ 136.010,15	24	R\$ 18.273,65	R\$ 373.567,60
12	R\$ 18.273,65	R\$ 154.283,80	25	R\$ 18.273,65	R\$ 391.841,25

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Com base na análise dos resultados, pode-se observar que, no final do período da vida útil do sistema fotovoltaico na residência 5, o valor economizado será de R\$ 18.273,65.

Os sistemas de energia fotovoltaica das residências 1 e 5 possuem os maiores valores de potência instalada quando comparados aos demais sistemas estudados, sendo 8,80 kWp e 14,06 kWp, respectivamente. Comparando os resultados com o tempo de retorno, nota-se que a relação entre eles é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior o sistema solar (maior potência instalada), menor será o tempo de retorno.

Segundo a Resolução Normativa Número 687 (ANEEL, 2015), a energia elétrica excedente gerada não poderá ser vendida para a concessionária, mas sim retornar como forma de crédito de energia elétrica. Os créditos podem ser abatidos da conta do consumidor conforme a necessidade e possuem prazo de validade de 60 meses, sendo descartados após esse prazo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de conclusão de curso teve como objetivo identificar economicamente a viabilidade (ou não) da geração de energia fotovoltaica em residências no município de Unaí-MG. Para isso, foram utilizados indicadores de viabilidade VPL, TIR e Payback Simples.

Diante das constatações apresentadas na análise de viabilidade econômica, pode-se afirmar que se faz vantajoso o investimento no sistema de geração fotovoltaica aplicado às residências. E, além de garantir o retorno do investimento, cobram-se os custos de instalação e manutenção, gerando ao longo do tempo de utilização uma receita líquida, superior às aplicações financeiras, caracterizando-se como um investimento economicamente viável. Foi possível constatar que o tempo do retorno financeiro se altera conforme o tamanho e capacidade do sistema, visto que terá menor tempo de retorno econômico quanto maior for o sistema e, consequentemente, maior valor investido.

Conclui-se que o sistema fotovoltaico é de suma importância para o processo de desenvolvimento da geração distribuída limpa e sustentável, sendo uma oportunidade de investimento que poderá gerar benefícios ao longo do tempo. A compreensão dessa realidade foi possível devido ao alcance dos objetivos propostos no trabalho. As limitações deste estudo são em relação à quantidade de casos fornecidos. Estudos futuros podem ampliar a análise de viabilidade econômica envolvendo mais casos, sugerindo-se como trabalhos posteriores.

REFERÊNCIAS

ABREU, F. J. C. de. **Finanças corporativas**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.

ALMEIDA, G. D. Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 120, p. 19 – 29, 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n.º 482, de 17 de abril de 2012. **Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências**. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: dez. 2024.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015**. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: nov. 2024

BANDEIRA, F. De P. M. **Aproveitamento da energia solar no Brasil: Aproveitamento e perspectivas**. 2012. Disponível em: http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/9008/aproveitamento_energia_bandeira.pdf?sequence. Acesso em: dez. 2024.

CRESESB. Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica De Salvo Brito. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2004.

CRESESB. Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio De Salvo Brito. **Energia solar: princípios e aplicações**. Tutorial Solar, 2006.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**. 2018. Disponível em: <https://epe.gov.br>.

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. São Paulo: FAPESP, 2010.

FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato** (Novo Hamburgo), v. 12, p. 7/21788820-16, 2011.

GORE, A. **Nossa escolha**: um plano para solucionar a crise climática. Our choice: a plan to solve the climate crisis. Barueri–SP: Manole, 2010.

KEBEDE, K. Viability study of grid-connected solar PV system in Ethiopia. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 10, p. 63 – 70, 2015.

LAPPONI, J. C. **Projetos de Investimentos**: construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em Excel. São Paulo: 2000.

MOREIRA, C. A. M. **Avaliação do desempenho hidro energético de sistemas fotovoltaicos utilizados no bombeamento de água**. 2008, 116 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2008.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA. **Mudança do clima 2007**: a base das ciências físicas. contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar4-wg1-spm.pdf>. Acesso em: nov. 2024

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZIKMUND, W. G. **Business research methods**. 5. ed. Fort Worth, TX: Dryden, 2000.