



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**CARLOS RODOLFO VICENTE DA SILVA
BRENO DA SILVA AMARAL**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO**

Belém
Março/2023

CARLOS RODOLFO VICENTE DA SILVA
BRENO DA SILVA AMARAL

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Felipe de Sá Moreira

Belém
Março/2023

CARLOS RODOLFO VICENTE DA SILVA
BRENO DA SILVA AMARAL

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO**

Belém, 03 de março de 2023

Prof. Felipe de Sá Moreira
Dr. pela UFPA
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Maurício Furtado Maués (UFPA)
Dr. pela Universidade Federal do Pará

Prof. Mariana Domingues Von Paumgarten (UFPA)
Dr. pela Universidade Federal do Pará

CONCEITO FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Eu, Carlos Rodolfo, agradeço a Deus o qual, me permitiu a graça da vida, aos meus pais Ademir Vicente da Silva e Davina Vicente Martins da Silva pela educação e orientação baseada em princípios morais, éticos e respeito independente da condição social, raça ou credo, a minha esposa e companheira Luciana de Vasconcellos Aviz da Silva pelo apoio de todos os dias em qualquer caminho ou escolha que tenho feito ao longo da vida, à toda a minha família, à todos os professores da UFPA aos quais, tive o privilégio de conhecer engrandecendo o meu conhecimento assim como, fazendo com que eu seja uma pessoa cada vez melhor.

Eu, Breno, primeiramente agradeço a Deus, que me deu forças e graças pra eu chegar até aqui, agradeço aos meus pais Ivo e Helen, minhas maiores forças motivadoras, a minha esposa Caroline, melhor engenheira que conheço e minha maior incentivadora e maior admiradora, a qual tenho toda a minha admiração e amor, a minha família Souza e minha família Amaral, que foram peças importantes no meu desenvolvimento como pessoa e profissional. Agradeço a todos os professores do qual fui aluno nessa instituição, do qual eu consegui um alto conhecimento para minha vida profissional, para todos meus ex-companheiros de classe, que de alguma forma me ajudaram e muito a chegar até o fim dessa longa caminhada. A todos meus amigos mais íntimos (Rolê), que me deram conselhos, puxões de orelha e principalmente um abraço nos momentos mais difíceis. EU CONSEGUI.

VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO

Carlos Rodolfo Vicente da Silva¹, Breno da Silva Amaral¹

(1) Universidade Federal do Pará

RESUMO

A utilização de energia solar fotovoltaica tem se tornado cada vez mais comum devido a tendência mundial por utilização de energias renováveis, respeito ao meio ambiente e sustentabilidade. A sociedade está voltando seus olhos para intensificar o uso de recursos renováveis e a preservação do meio ambiente e, não obstante, a utilização de energias limpas estão, cada vez mais, fazendo parte do cotidiano do cenário mundial. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de viabilidade econômica de um sistema de energia solar fotovoltaica através de um estudo em uma residência familiar com 220 m² de área construída, localizada num Condomínio de classe média/alta, na cidade de Belém do Pará. Na edificação foram instaladas 20 placas de 550W de potência e 5 inversores de 2.000W com a finalidade de gerar energia, injetando-a no sistema de distribuição da concessionária para descontar da energia consumida, reduzindo assim os gastos com a conta de energia. Foi estabelecido um cenário de referência, sem o sistema de energia fotovoltaica instalado e considerando o valor das contas de energia integrais. Após esse parâmetro ter sido criado, foram criados mais três cenários. No cenário 1 foi considerado a instalação do sistema com financiamento em 24 parcelas, no cenário 2 considerou-se o financiamento em 48 parcelas, e por último, o cenário 3 com financiamento em 60 parcelas. Quando comparados estes cenários, foram encontrados resultados de maneira a comprovar a viabilidade de se instalar esse tipo de sistema para a redução do custo mensal com as faturas de energia elétrica.

Palavras-chave: sustentabilidade, energia renovável, energia fotovoltaica, viabilidade financeira, placas solares, corrente contínua, corrente alternada, inversor, fatura de energia.

ABSTRACT

The use of photovoltaic solar energy has become increasingly common due to the worldwide trend towards the use of renewable energies, respect for the environment and sustainability. Society is turning its eyes to intensify the use of renewable resources and the preservation of the environment and, nevertheless, the use of clean energies are increasingly part of the daily life of the world scenario. The objective of this work is to perform an economic feasibility analysis of a photovoltaic solar energy system through a study in a family residence with 220 m² of built area, located in a middle/upper class condominium in the city of Belém of Pará. In the building, 20 plates of 550W of power and 5 inverters of 2,000W were installed in the building in order to generate energy, injecting it into the distribution system of the concessionaire to deduct the energy consumed, thus reducing the costs of the energy bill. A reference scenario was established, without the photovoltaic system installed and considering the value of the integral energy bills. After this parameter was created, three more scenarios were created. In scenario 1, the installation of the system with financing in 24 installments was considered, in scenario 2, the financing was considered in 48 installments, and finally, scenario 3 with financing in 60 installments. When these scenarios were compared, results were found in order to prove the feasibility of installing this type of system to reduce the monthly cost with electricity bills.

Keywords: sustainability, photovoltaics, direct current, alternating current, inverter, solar panels, energy bill

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO	8
3. METODOLOGIA.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
5. CONCLUSÃO.....	22
REFERÊNCIAS.....	23

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica, pode ser gerada através de várias fontes, sendo elas renováveis ou não. Embora as fontes não renováveis ainda serem muito utilizadas, como exemplo o petróleo, oriundo de recursos fósseis e devido ao fato de possuir grandes estoques disponíveis. Segundo Câmara (2011), a utilização de tecnologias “limpas” e renováveis apresenta-se como uma solução para enfrentar o caráter danoso e limitado das atuais fontes primárias de energia. As fontes de energia renováveis são fontes naturais capazes de se regenerar e, portanto, virtualmente inesgotáveis, ao contrário dos recursos não renováveis. Além disso, as energias renováveis são encaradas como decisivas no combate ao efeito estufa e na redução da dependência de fontes energéticas externas (ECOTURISMO, 2009).

Ao longo das últimas décadas, o ser humano vem buscando outras fontes de geração de energia, entre elas, a hidrelétrica, a qual, não depende de recursos fósseis, que não gera a grande emissão de poluentes quando comparada ao petróleo, porém causa um impacto ambiental muito grande no momento de sua implantação devido a necessidade de uma área muito extensa e geralmente, o desvio do curso dos rios, ou até mesmo, a inundação de áreas representativas causando influência muito grande na vida da população em seu entorno. O mundo moderno está direcionando seus esforços para a geração de energia limpa, sem a degradação do meio ambiente e com baixa emissão de carbono. Dentre as diversas possibilidades de geração de energia renovável destaca-se a solar, dada suas características: ser uma fonte limpa, disponível e inesgotável (ZHAO et al., 2020). De acordo com o relatório da International Energy Agency (2018), estima-se que a geração de energia solar já reduz as emissões globais de CO₂ em 200-300 milhões de toneladas por ano.

Atualmente são considerados mais usuais 2 tipos de sistemas para geração de energia fotovoltaica, o sistema ON-GRID, na qual o sistema é ligado à rede local de distribuição de energia, e o OFF-GRID na qual a geração de energia é armazenada em baterias estacionárias. No sistema conectado à rede, a energia concebida é baixada na conta de energia e a geração excedente é convertida em créditos para o consumidor, podendo ser utilizado em até 60 meses, em acordo com a concessionária

contratada, isso é conhecido como o sistema de “Créditos de Energia Solar” regulamentada pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Agência), para consumidores cativos que instalem esta espécie de sistema (HOLZBACH; CARVALHO; RESENDE, 2021). Um dos principais empecilhos para o aumento da utilização de painéis fotovoltaicos em unidades consumidoras residenciais e comerciais de pequeno porte no Brasil é o alto investimento inicial, que é mais elevado principalmente na confecção da infraestrutura de geração (SOUZA SILVA et al., 2019).

O objetivo do trabalho é realizar, através de um estudo de caso, uma análise de viabilidade econômica para implantação de um sistema de energia fotovoltaica em uma residência familiar no município de Belém, com a criação de um cenário de referência (sem o sistema de energia fotovoltaica instalado) e considerando o valor das contas de energia integrais, em seguida a criação de 3 cenários para a instalação do sistema através do uso do financiamento: cenário 1 parcelamento em 24 vezes, cenário 2 parcelamento em 48 vezes e cenário 3 com parcelamento em 60 vezes. Após a criação desses cenários, avaliou-se o desembolso realizado em um período de 25 anos correspondente a vida útil do sistema de acordo com os fabricantes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Ao lado do vento, que gera a chamada energia eólica, o sol pode ser considerado uma das mais limpas fontes de energia. A partir desses recursos naturais, é possível produzir energia sem a queima de combustíveis fósseis (energia termelétrica) ou a construção de barragens (energia hidrelétrica), que em geral, geram impactos negativos sobre o meio ambiente (FERRO, 2010). Há diversos benefícios dessa fonte energética, como: gases não poluentes na atmosfera quando comparada a outras energias, a mínima manutenção em suas centrais, e uma grande vida útil de seus sistemas implantados (AGUILAR et al., 2012). As implicações ambientais da produção e uso de recursos energéticos representam um grande desafio para os países desenvolvidos e em desenvolvimento, uma vez que a produção, distribuição, processamento e consumo de energia devem ser direcionados para garantir o desenvolvimento, sem aumentar seus efeitos negativos sobre a sociedade e o meio ambiente (CAMIOTO; MARIANO; REBELATTO, 2014). De acordo com Ruther (2011)

são vários os benefícios que podem ser citados: a redução de perdas por transmissão e distribuição de energia, redução de investimento em linhas de transmissão e distribuição, edifícios com tecnologia fotovoltaica integrada não exige recursos físicos específicos e fornecem maiores volumes de eletricidade em momentos de alta demanda.

Na maioria dos grandes países do mundo em desenvolvimento, é amplamente reconhecido que os recursos energéticos distribuídos são a única forma de tornar a eletricidade disponível para bilhões de pessoas que atualmente não têm acesso a ela. Não há capital disponível e não é rentável fornecer energia elétrica da maneira tradicional (MARTINS et al., 2008). Em 2017, a capacidade fotovoltaica solar acumulada atingiu quase 398 GW e gerou mais de 460 TWh, representando cerca de 2% da produção global de energia. Projetos centralizados respondem por pouco mais de 60% da capacidade instalada total de energia fotovoltaica, com o restante em aplicações distribuídas (residencial, comercial e fora da rede). Nos próximos cinco anos, a energia solar fotovoltaica deverá liderar o crescimento da capacidade de eletricidade renovável, expandindo em quase 580 GW (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018).

Espera-se que a participação das energias renováveis no atendimento da demanda global de energia cresça um quinto nos próximos cinco anos, atingindo 12,4% em 2023. As energias renováveis terão o crescimento mais rápido no setor de eletricidade, fornecendo quase 30% da demanda de energia em 2023, acima dos 24% em 2017. PV é seguido por energia eólica, hidrelétrica e bioenergia. A energia hidrelétrica continua sendo a maior fonte renovável, atendendo a 16% da demanda global de eletricidade até 2023, seguida pela eólica (6%), solar fotovoltaica (4%) e bioenergia (3%) (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018).

Em análise da capacidade instalada internacional até o ano de 2017, a China, como maior país gerador de energia elétrica provinda de fonte solar mundial, alcançou 131 GW, equivalente a aproximadamente 33% de toda a geração solar mundial. Na sequência observa-se os Estados Unidos com potência instalada de 51 GW, o Japão com 49 GW e a Alemanha com 42 GW (ABRANCHES FELIX CARDOSO JUNIOR et al., 2021). Também segundo Abranches (2021) os incentivos fiscais para o estabelecimento de energias renováveis constituem importante forma de promoção

desse tipo de tecnologia. A tarifa feed-in, por exemplo, se trata de um mecanismo de políticas públicas que objetiva incrementar investimentos em tecnologias renováveis através de contratos de longo prazo (20 anos) com geradores de energia elétrica, apoiado no custo de geração renovável.

A China é o maior produtor de tecnologia solar do mundo, de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), e mais de 60% dos painéis solares do mundo são fabricados na China, justificando por exemplo a implantação de grandes usinas. Estas ações estão alinhadas com as políticas de incentivo e com a diversificação da matriz, a qual ainda conta com quase 2/3 da eletricidade gerada a partir da queima do carvão. Na Alemanha, foram identificadas políticas de incentivo como as tarifas feed-in e a queda dos preços dos sistemas. O país também estabeleceu a meta de alcançar 40 a 45% de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis até 2025 e pelo menos 80% até 2050, tendo como ator principal dessa transição a disseminação dos recursos energéticos distribuídos, principalmente fotovoltaicos. Em 2000 foi implementada a Lei de Fontes de Energia Renovável (EEG, em alemão), marcando o início de uma nova dinâmica na difusão de energia renovável a partir das tarifas feed-in, que adicionadas ao incentivo à compra de sistemas individuais foram os principais fatores de sucesso da expansão da geração distribuída na Alemanha (ABRANCHES FELIX CARDOSO JUNIOR et al., 2021).

O Brasil tem a matriz energética mais verde e a China lidera o crescimento absoluto. Dos maiores consumidores de energia do mundo, o Brasil emprega de longe a maior parcela de fontes renováveis – quase 45% do consumo final total de energia em 2023. Enquanto isso, por causa de políticas para descarbonizar todos os setores e reduzir a poluição atmosférica local prejudicial, a China lidera o crescimento global em termos absolutos durante o período de previsão, superando a União Europeia para se tornar o maior consumidor de energia renovável. Na União Europeia, o maior uso de energias renováveis é estimulado por metas obrigatórias de energia renovável para 2020 e 2030, bem como pela implementação de políticas em nível de país e maior eficiência energética (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018).

A conversão direta da luz solar em eletricidade com geradores fotovoltaicos (PV) conectados à rede leva a uma série de benefícios tanto para o meio ambiente quanto para o sistema elétrico. A principal vantagem técnica é a possibilidade de produzir

energia elétrica limpa e renovável perto dos consumidores ou mesmo no ponto de uso, integrando geradores fotovoltaicos em edifícios ou em torno de áreas urbanas. Nesse contexto, sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede em áreas urbanas podem oferecer uma alternativa atraente para compor a matriz energética em um país em desenvolvimento como o Brasil.

O elevado preço das tarifas residenciais, a grande disponibilidade de recursos de radiação solar, a natureza complementar da disponibilidade solar versus hídrica (sazonalidade dos ciclos hidrológicos × disponibilidade solar) e a natureza distribuída em escala urbana devem ser levadas em consideração para agregar valor à essa fonte de energia ainda cara (RÜTHER; ZILLES, 2011). A energia solar fotovoltaica conta com um alto potencial de aproveitamento em todo o território nacional, fato que se deve pela proximidade geográfica com a Linha do Equador, onde até mesmo o estado de Santa Catarina, situado em uma das regiões menos favoráveis do país, apresenta um potencial superior ao de países como a Alemanha e a Itália, que têm investido nesta tecnologia (TOLMASQUIM, 2016). Outra vantagem é o fato do Brasil possuir uma das maiores fontes de silício, que é uma das principais matérias primas usadas nas placas que transformam energia solar em elétrica. Outro fato importante é que o Brasil, na maior parte do seu território, possui uma alta taxa de intensidade de luz solar, o que torna o processo mais eficiente (CAMIOTO; GOMES, 2018).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2020), cerca de 46,2% da oferta interna de energia no Brasil, em 2019, foram provenientes de fontes renováveis. Este índice é um dos mais altos do mundo, considerando uma média mundial de 14%. Países que geram eletricidade a partir de fontes principais renováveis têm menor nível de emissão de gases de efeito estufa (GEE) que países cuja energia principal é proveniente da queima de combustíveis fósseis. No caso brasileiro, a rede elétrica possui baixa intensidade de carbono, devido sua matriz energética ser dominada por fontes renováveis.

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) instituiu a Resolução Normativa nº 482 com o objetivo de “estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia” (CAMIOTO; GOMES, 2018). Essa resolução autoriza o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao

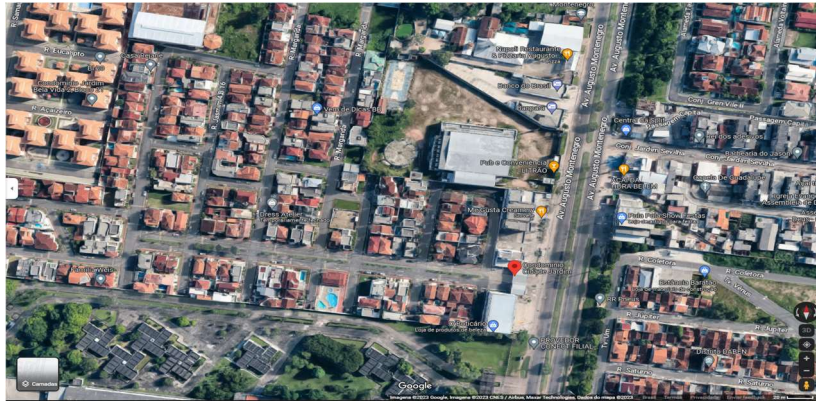
consumidor instalar geradores fotovoltaicos conectados à rede. Dessa forma, o consumidor pode instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. O consumidor que instalar micro ou minigeração distribuída será responsável, inicialmente, pelos custos de adequação do sistema de medição necessário para implantar o sistema de compensação. Após a adaptação, a própria distribuidora será responsável pela manutenção, incluindo os custos de eventual substituição. O conceito consiste em armazenar na rede elétrica o excedente de energia produzida durante o dia na forma de crédito e, durante a noite, quando o gerador não funciona devido à ausência de luz solar, a rede elétrica supre a demanda (CAMIOTO; GOMES, 2018). O excedente produzido durante o dia será abatido na conta de energia (ANEEL, 2014).

A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica – ABSOLAR (2021) informa uma combinação de políticas governamentais iniciais para a expansão do setor: isenções fiscais e tributárias, apoios financeiros para a aquisição dos equipamentos e criação de demanda para atrair investimentos.

3. METODOLOGIA

O estudo de caso foi desenvolvido em uma residência de dois pavimentos, com sala de estar e jantar, cozinha, área de churrasqueira e quatro quartos, com 220m² de área construída, localizada no Condomínio Cidade Jardim I, com endereço à Av. Augusto Montenegro, Bairro Parque Verde, na cidade de Belém, estado do Pará. O condomínio caracteriza-se por ter residências com padrão de classe média/alta, localizado em uma avenida de elevado fluxo de veículos e grande concentração de estabelecimentos comerciais e residenciais. A Figura 1 apresenta a localização do condomínio.

Figura 1: Localização da residência que será feita a instalação do sistema



Fonte: Google Earth (2023)

O sistema utilizado para este estudo de caso é o *On Grid*, ou seja, conectado à rede de distribuição de energia elétrica, com o objetivo de gerar energia, devolver à concessionária e utilizar estes como crédito em futuras faturas de energia.

O sistema consiste em módulos solar fotovoltaicos de modelo SS-555-72MDH de 555W de potência, do fabricante SUNOVA SOLAR e micro inversor modelo SUN2000 de 2.000W, do fabricante DEYE. A figura 2 mostra o sistema fotovoltaico sendo montado, incluindo os módulos solares e os micros inversores.

Figura 2: Instalação dos módulos solares fotovoltaicos e micro inversores.



Fonte: Própria dos autores (2022)

Para suprir a necessidade da residência, foi dimensionada através de um projeto elaborado pela empresa contratada, a quantidade de 20 módulos e 5 micros

inversores, totalizando um sistema de 11.10kWp necessário para suprir a demanda de energia da residência. Para realizar a análise financeira de viabilidade do sistema implementado, foram utilizados os seguintes parâmetros:

Quadro 1: Parâmetros utilizados para análise de viabilidade.

Parâmetro	Descrição
Características do cliente, segundo a concessionária	Grupo B (unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 KV), com entrada de energia em padrão trifásico.
Valor do kWh tributado	R\$1,124091/kWh (média aritmética dos últimos 12 meses)
Quantidade kWh consumido	929 kWh (média aritmética unitária dos últimos 12 meses de consumo da residência)
Vida útil do sistema	25 anos
Reajuste médio anual da tarifa	8,29% (para esse parâmetro, pesquisamos no site da concessionária local de energia elétrica e calculamos a média de reajustes dos últimos 10 anos (2013 a 2022))
Valor total para implementação do sistema	R\$47.693,80 (esse valor já inclui tanto o custo de material quanto a mão de obra e demais custos necessários para instalação do sistema)
Taxa de disponibilidade	100 kWh (O custo de disponibilidade é uma taxa mínima cobrada pelas distribuidoras de energia para levar o serviço de eletricidade até os consumidores. A cobrança ocorre mesmo que o consumo mensal seja zero (Agência Câmara de Notícias, 2023))
Taxa de financiamento BNDES	6,53% (valor foi retirado do site BNDES)

Fonte: Própria dos autores (2023)

A vida útil adotada representa os dados de garantia indicados pelos fabricantes, mas algumas pesquisas mostram que os módulos solares podem chegar a até 40 anos de vida útil. A taxa de disponibilidade de serviço é um valor mínimo obrigatório definido pela Agência Reguladora para custear a manutenção do sistema da Distribuidora de energia a qual será aplicada durante toda a vida útil do sistema (Resolução ANEEL, 2021).

O reajuste médio anual da tarifa foi obtido da média de reajustes dos últimos dez anos, pela regra de revisões tarifárias ou extraordinárias aplicadas pela legislação do setor elétrico e pode ser obtida através do endereço eletrônico (Equatorial Energia, 2022).

A análise financeira se deu através da comparação dos resultados obtidos do cenário de referência com outros 3 cenários durante um período de 25 anos (vida útil do sistema), avaliando-se os custos totais e anuais de cada cenário.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados em três cenários baseados nos períodos de financiamento determinados (24, 48 e 60 meses). A análise foi realizada individualmente, comparando-se cada um dos cenários com o modelo base (concebido a partir da hipótese do pagamento integral da conta de energia). A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o cenário base, que simula o pagamento integral da conta de energia reajustada à uma taxa de 8,29% ao ano.

A análise do cenário base apresentado na Tabela 1 demonstra um desembolso de R\$955.850,61 ao final de 25 anos. Tal resultado reflete o volume financeiro desembolsado pelo proprietário sem a utilização de um sistema de energia fotovoltaico. Apesar da tecnologia já ser conhecida pela maior parte dos cidadãos, além de ser incentivada pelo governo, a realidade de maior parte da população ainda contempla a energia fornecida pelas concessionárias de energia.

Tabela 1: Cenário base.

Ano	Fatura (R\$)	Ano	Fatura (R\$)	Ano	Fatura (R\$)
1º Ano	R\$ 12.531,37	11º Ano	R\$ 27.789,58	21º Ano	R\$ 61.626,22
2º Ano	R\$ 13.570,22	12º Ano	R\$ 30.093,34	22º Ano	R\$ 66.735,03
3º Ano	R\$ 14.695,19	13º Ano	R\$ 32.588,07	23º Ano	R\$ 72.267,36
4º Ano	R\$ 15.913,42	14º Ano	R\$ 35.289,62	24º Ano	R\$ 78.258,33
5º Ano	R\$ 17.232,64	15º Ano	R\$ 38.215,13	25º Ano	R\$ 84.745,94
6º Ano	R\$ 18.661,23	16º Ano	R\$ 41.383,17	-	-
7º Ano	R\$ 20.208,24	17º Ano	R\$ 44.813,83	-	-
8º Ano	R\$ 21.883,51	18º Ano	R\$ 48.528,90	-	-
9º Ano	R\$ 23.697,65	19º Ano	R\$ 52.551,95	-	-
10º Ano	R\$ 25.662,18	20º Ano	R\$ 56.908,50	-	-
Total				R\$ 955.850,61	

Fonte: Própria dos autores (2023)

A seguir, a Tabela 2, apresenta a comparação do Cenário base com o Cenário 1, que simula os custos com a aquisição do sistema de energia fotovoltaico financiado em 24 meses mais a taxa de disponibilidade (que será aplicada durante todo o período de utilização do sistema, mesmo após o período de financiamento), obrigatória pela agência reguladora (ANEEL).

Tabela 2: Resultados comparativos do Cenário 1.

Ano	Custo do Financiamento (R\$)	Tx de Disponibilidade (R\$)	Cenário 1 (R\$)	Cenário base (R\$)	Diferença (R\$)
1º Ano	R\$ 25.454,16	R\$ 2.549,63	R\$ 28.003,79	R\$ 12.531,37	-R\$ 15.472,42
2º Ano	R\$ 25.454,16	R\$ 2.760,99	R\$ 28.215,15	R\$ 13.570,22	-R\$ 14.644,94
3º Ano	-	R\$ 2.989,88	R\$ 2.989,88	R\$ 14.695,19	R\$ 11.705,31
4º Ano	-	R\$ 3.237,74	R\$ 3.237,74	R\$ 15.913,42	R\$ 12.675,68
5º Ano	-	R\$ 3.506,15	R\$ 3.506,15	R\$ 17.232,64	R\$ 13.726,49
6º Ano	-	R\$ 3.796,81	R\$ 3.796,81	R\$ 18.661,23	R\$ 14.864,42
7º Ano	-	R\$ 4.111,56	R\$ 4.111,56	R\$ 20.208,24	R\$ 16.096,68
8º Ano	-	R\$ 4.452,41	R\$ 4.452,41	R\$ 21.883,51	R\$ 17.431,09
9º Ano	-	R\$ 4.821,52	R\$ 4.821,52	R\$ 23.697,65	R\$ 18.876,13
10º Ano	-	R\$ 5.221,22	R\$ 5.221,22	R\$ 25.662,18	R\$ 20.440,96
11º Ano	-	R\$ 5.654,06	R\$ 5.654,06	R\$ 27.789,58	R\$ 22.135,52
12º Ano	-	R\$ 6.122,78	R\$ 6.122,78	R\$ 30.093,34	R\$ 23.970,55
13º Ano	-	R\$ 6.630,36	R\$ 6.630,36	R\$ 32.588,07	R\$ 25.957,71
14º Ano	-	R\$ 7.180,02	R\$ 7.180,02	R\$ 35.289,62	R\$ 28.109,60
15º Ano	-	R\$ 7.775,24	R\$ 7.775,24	R\$ 38.215,13	R\$ 30.439,89
16º Ano	-	R\$ 8.419,81	R\$ 8.419,81	R\$ 41.383,17	R\$ 32.963,36
17º Ano	-	R\$ 9.117,81	R\$ 9.117,81	R\$ 44.813,83	R\$ 35.696,02
18º Ano	-	R\$ 9.873,68	R\$ 9.873,68	R\$ 48.528,90	R\$ 38.655,22
19º Ano	-	R\$ 10.692,21	R\$ 10.692,21	R\$ 52.551,95	R\$ 41.859,74
20º Ano	-	R\$ 11.578,59	R\$ 11.578,59	R\$ 56.908,50	R\$ 45.329,91
21º Ano	-	R\$ 12.538,46	R\$ 12.538,46	R\$ 61.626,22	R\$ 49.087,76
22º Ano	-	R\$ 13.577,90	R\$ 13.577,90	R\$ 66.735,03	R\$ 53.157,13
23º Ano	-	R\$ 14.703,50	R\$ 14.703,50	R\$ 72.267,36	R\$ 57.563,86
24º Ano	-	R\$ 15.922,42	R\$ 15.922,42	R\$ 78.258,33	R\$ 62.335,91
25º Ano	-	R\$ 17.242,39	R\$ 17.242,39	R\$ 84.745,94	R\$ 67.503,55
Total	R\$ 50.908,32	R\$ 194.477,17	R\$ 245.385,49	R\$ 955.850,61	R\$ 710.465,13

Fonte: Própria dos autores (2023)

A Tabela 2 demonstra que o desembolso ao se implantar o sistema de energia fotovoltaico a partir de um financiamento de 24 meses seria de R\$245.385,49 ao final de 25 anos. O retorno do investimento do projeto ocorrerá 5 anos após sua implantação. Apesar do modelo apresentado não considerar outros fatores, como custos com manutenção e custos de oportunidade, o valor do cenário base ainda é muito superior (cerca de 3,90 vezes o Cenário 1). A diferença entre estes cenários representa uma economia de R\$710.465,13. A partir do terceiro ano, percebe-se uma diminuição do desembolso anual o qual passar a ser de R\$11.705,31, chegando no vigésimo quinto ano com uma diferença de R\$67.503,55.

A Tabela 3, apresenta a comparação do cenário base com o cenário 2, que simula os custos com a aquisição do sistema de energia fotovoltaico financiado em 48 vezes. Esta tabela demonstra que o desembolso ao se implantar o sistema de energia fotovoltaico a partir de um financiamento de 48 meses seria de R\$248.601,49 ao final de 25 anos, não considerando custos como manutenção e custos de oportunidade, o valor do cenário base ainda é superior (cerca de 3,84 vezes o Cenário 2). A diferença do cenário 2 com o cenário base representa uma economia após os 25 anos de R\$707.249,13, com retorno do investimento a partir do 5º ano da sua instalação.

Tabela 3: Resultados comparativos do Cenário 2.

Ano	Custo do Financiamento (R\$)	Tx de Disponibilidade (R\$)	Cenário 2 (R\$)	Cenário base (R\$)	Diferença (R\$)
1º Ano	R\$ 13.531,08	R\$ 2.549,63	R\$ 16.080,71	R\$ 12.531,37	-R\$ 3.549,34
2º Ano	R\$ 13.531,08	R\$ 2.760,99	R\$ 16.292,07	R\$ 13.570,22	-R\$ 2.721,86
3º Ano	R\$ 13.531,08	R\$ 2.989,88	R\$ 16.520,96	R\$ 14.695,19	-R\$ 1.825,77
4º Ano	R\$ 13.531,08	R\$ 3.237,74	R\$ 16.768,82	R\$ 15.913,42	-R\$ 855,40
5º Ano	-	R\$ 3.506,15	R\$ 3.506,15	R\$ 17.232,64	R\$ 13.726,49
6º Ano	-	R\$ 3.796,81	R\$ 3.796,81	R\$ 18.661,23	R\$ 14.864,42
7º Ano	-	R\$ 4.111,56	R\$ 4.111,56	R\$ 20.208,24	R\$ 16.096,68
8º Ano	-	R\$ 4.452,41	R\$ 4.452,41	R\$ 21.883,51	R\$ 17.431,09
9º Ano	-	R\$ 4.821,52	R\$ 4.821,52	R\$ 23.697,65	R\$ 18.876,13
10º Ano	-	R\$ 5.221,22	R\$ 5.221,22	R\$ 25.662,18	R\$ 20.440,96
11º Ano	-	R\$ 5.654,06	R\$ 5.654,06	R\$ 27.789,58	R\$ 22.135,52
12º Ano	-	R\$ 6.122,78	R\$ 6.122,78	R\$ 30.093,34	R\$ 23.970,55
13º Ano	-	R\$ 6.630,36	R\$ 6.630,36	R\$ 32.588,07	R\$ 25.957,71
14º Ano	-	R\$ 7.180,02	R\$ 7.180,02	R\$ 35.289,62	R\$ 28.109,60
15º Ano	-	R\$ 7.775,24	R\$ 7.775,24	R\$ 38.215,13	R\$ 30.439,89
16º Ano	-	R\$ 8.419,81	R\$ 8.419,81	R\$ 41.383,17	R\$ 32.963,36
17º Ano	-	R\$ 9.117,81	R\$ 9.117,81	R\$ 44.813,83	R\$ 35.696,02
18º Ano	-	R\$ 9.873,68	R\$ 9.873,68	R\$ 48.528,90	R\$ 38.655,22
19º Ano	-	R\$ 10.692,21	R\$ 10.692,21	R\$ 52.551,95	R\$ 41.859,74
20º Ano	-	R\$ 11.578,59	R\$ 11.578,59	R\$ 56.908,50	R\$ 45.329,91
21º Ano	-	R\$ 12.538,46	R\$ 12.538,46	R\$ 61.626,22	R\$ 49.087,76
22º Ano	-	R\$ 13.577,90	R\$ 13.577,90	R\$ 66.735,03	R\$ 53.157,13
23º Ano	-	R\$ 14.703,50	R\$ 14.703,50	R\$ 72.267,36	R\$ 57.563,86
24º Ano	-	R\$ 15.922,42	R\$ 15.922,42	R\$ 78.258,33	R\$ 62.335,91
25º Ano	-	R\$ 17.242,39	R\$ 17.242,39	R\$ 84.745,94	R\$ 67.503,55
Total	R\$ 54.124,32	R\$ 194.477,17	R\$ 248.601,49	R\$ 955.850,61	R\$ 707.249,13

Fonte: Própria dos autores (2023)

A Tabela 4, apresenta a comparação do Cenário base com o Cenário 3, considerando um financiamento realizado em 60 parcelas. A mesma demonstra que o desembolso ao se implantar o sistema seria de R\$250.256,77 ao final de 25 anos. Com uma economia a partir do quarto ano de R\$ 1.519,76 e no vigésimo quinto ano de R\$ 67.503,55. O valor do cenário base continua superior (cerca de 3,82 vezes o Cenário 3) e a diferença representa uma economia no final do projeto de R\$705.593,85. Nesse cenário o projeto oferece retorno do investimento a partir do quarto ano, onde o valor do desembolso anual (R\$14.393,66) será menor que o valor do cenário de referencia (R\$15.913,42).

Tabela 4: Resultados comparativos do Cenário 3.

Ano	Custo do Financiamento (R\$)	Tx de Disponibilidade (R\$)	Cenário 3 (R\$)	Cenário base (R\$)	Diferença (R\$)
1º Ano	R\$ 11.155,92	R\$ 2.549,63	R\$ 13.705,55	R\$ 12.531,37	-R\$ 1.174,18
2º Ano	R\$ 11.155,92	R\$ 2.760,99	R\$ 13.916,91	R\$ 13.570,22	-R\$ 346,70
3º Ano	R\$ 11.155,92	R\$ 2.989,88	R\$ 14.145,80	R\$ 14.695,19	R\$ 549,39
4º Ano	R\$ 11.155,92	R\$ 3.237,74	R\$ 14.393,66	R\$ 15.913,42	R\$ 1.519,76
5º Ano	R\$ 11.155,92	R\$ 3.506,15	R\$ 14.662,07	R\$ 17.232,64	R\$ 2.570,57
6º Ano	-	R\$ 3.796,81	R\$ 3.796,81	R\$ 18.661,23	R\$ 14.864,42
7º Ano	-	R\$ 4.111,56	R\$ 4.111,56	R\$ 20.208,24	R\$ 16.096,68
8º Ano	-	R\$ 4.452,41	R\$ 4.452,41	R\$ 21.883,51	R\$ 17.431,09
9º Ano	-	R\$ 4.821,52	R\$ 4.821,52	R\$ 23.697,65	R\$ 18.876,13
10º Ano	-	R\$ 5.221,22	R\$ 5.221,22	R\$ 25.662,18	R\$ 20.440,96
11º Ano	-	R\$ 5.654,06	R\$ 5.654,06	R\$ 27.789,58	R\$ 22.135,52
12º Ano	-	R\$ 6.122,78	R\$ 6.122,78	R\$ 30.093,34	R\$ 23.970,55
13º Ano	-	R\$ 6.630,36	R\$ 6.630,36	R\$ 32.588,07	R\$ 25.957,71
14º Ano	-	R\$ 7.180,02	R\$ 7.180,02	R\$ 35.289,62	R\$ 28.109,60
15º Ano	-	R\$ 7.775,24	R\$ 7.775,24	R\$ 38.215,13	R\$ 30.439,89
16º Ano	-	R\$ 8.419,81	R\$ 8.419,81	R\$ 41.383,17	R\$ 32.963,36
17º Ano	-	R\$ 9.117,81	R\$ 9.117,81	R\$ 44.813,83	R\$ 35.696,02
18º Ano	-	R\$ 9.873,68	R\$ 9.873,68	R\$ 48.528,90	R\$ 38.655,22
19º Ano	-	R\$ 10.692,21	R\$ 10.692,21	R\$ 52.551,95	R\$ 41.859,74
20º Ano	-	R\$ 11.578,59	R\$ 11.578,59	R\$ 56.908,50	R\$ 45.329,91
21º Ano	-	R\$ 12.538,46	R\$ 12.538,46	R\$ 61.626,22	R\$ 49.087,76
22º Ano	-	R\$ 13.577,90	R\$ 13.577,90	R\$ 66.735,03	R\$ 53.157,13
23º Ano	-	R\$ 14.703,50	R\$ 14.703,50	R\$ 72.267,36	R\$ 57.563,86
24º Ano	-	R\$ 15.922,42	R\$ 15.922,42	R\$ 78.258,33	R\$ 62.335,91
25º Ano	-	R\$ 17.242,39	R\$ 17.242,39	R\$ 84.745,94	R\$ 67.503,55
Total	R\$ 55.779,60	R\$ 194.477,17	R\$ 250.256,77	R\$ 955.850,61	R\$ 705.593,85

Fonte: Própria dos autores (2023)

Ao final dos 25 anos a diferença entre os cenários 1 (R\$245.385,49) e 2 (R\$248.601,49) é de apenas R\$3.216,00, não muito representativa, considerando um acréscimo no prazo de pagamento de mais dois anos. Já comparando o cenário 1 (R\$245.385,49) com o cenário 3 (R\$250.256,77), a diferença é de R\$4.871,28. Devido ao BNDES oferecer valores de financiamento com subsídio para sistemas de geração de energia renováveis, a viabilidade de implantação do sistema torna-se mais favorável uma vez que, o desembolso se assemelha ao pagamento normal da conta de energia.

A análise permite identificar que o cenário 3 fornece a menor exposição de caixa (R\$ 1.520,88) devido ao maior prazo para financiamento do sistema. Uma vez que a taxa de juros disponível pelo BNDES reflete o fator subsídio, este cenário mostra-se atrativo frente aos outros analisados (Cenário 2 apresenta R\$ 8.952,37 de exposição de caixa e o Cenário 1, R\$ 30.117,36).

Por isso, considerando-se um sistema no qual o proprietário tenha um desembolso igual ou inferior ao cenário base (o qual utiliza energia da concessionária), recomenda-se um financiamento de 60 meses.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo analisou a viabilidade econômica para implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma residência no município de Belém-Pará. Utilizou-se alguns parâmetros como a vida útil do sistema, média do consumo de energia da residência, custo total do sistema, juros de financiamento do BNDES e etc. Há de ressaltar que estes parâmetros já foram utilizados em trabalhos anteriormente publicados (CAMIOTO, 2018 e MAFRA, 2019).

De forma que a geração de energia fotovoltaica, atualmente se destaca no cenário mundial, tanto como uma forma limpa e renovável, tanto em seu valor cada vez mais competitivo com outras formas de geração de energia não renováveis, analisar seus custos e sua viabilidade para implantações em ambientes residenciais no meio urbano de grandes cidades mostra-se essencial na atualidade do setor energético do país.

No estudo visualizou-se a diferença de valores a longo prazo, considerando uma vida útil do equipamento de 25 anos, o que mostrou-se ser totalmente atrativo o cenário de financiamento de 60 meses, que ficou bem aproximado ao custo de desembolso de uma residência sem o sistema implantado.

Portanto, o objetivo desse estudo foi alcançado, demonstrando a viabilidade econômica para implantação de um sistema solar fotovoltaico em residências, visualizou-se alguns cenários de custo e desembolso para o financiamento da instalação do sistema e demonstra uma viabilidade financeira sem exposição elevada de caixa.

Sugerimos para trabalhos futuros a realização de estudos em edificações maiores para que seja possível avaliar a geração de energia em função da área disponível para a instalação do sistema.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Energia solar no Pará ultrapassa 100 megawatts em telhados e pequenos terrenos**, 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-no-para-ultrapassa-100-megawatts-em-telhados-e-pequenos-terrenos/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

ABRANCHES FELIX CARDOSO JUNIOR, R. et al. A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E A REDUÇÃO DE CARBONO NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA. **Revista Internacional de Ciências**, v. 11, n. 1, p. 42–60, 29 abr. 2021.

AGUILAR, R.S; OLIVEIRA, L.C.S; ARCANJO, G.L.F. Energia renovável: os ganhos e os impactos sociais, ambientais e econômicos nas indústrias brasileiras. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 32., 2012. Anais.... Bento Gonçalves. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N°482, 2014**. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/blog/wp-content/uploads/2012/04/ResolucaoANEEL-2012-482-Fotovoltaica-conectada-a-rede-Sistema-de-compensacao-de-energia.pdf>. Acesso em: 10 janeiro 2023.

CAMIOTO, F. D. C.; GOMES, V. P. R. G. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICO NAS RESIDÊNCIAS UBERABENSES. **Revista Produção Online**. Florianópolis, SC, v. 18, n. 4, p. 1159-1180, 2018

CAMIOTO, F. DE C.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. DO N. Efficiency in Brazil's

industrial sectors in terms of energy and sustainable development. **Environmental Science and Policy**, v. 37, p. 50–60, mar. 2014.

ECOTURISMO. **O que é energia renovável**, 2009. Disponível em: <http://revistaecoturismo.com.br/turismo-sustentabilidade/o-que-e-energia-renovavel/>. Acesso em: 20 fevereiro 2023.

Equatorial Energia. **Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão, Norma Técnica 001- revisão 3 - 2020**. 2023. Disponível em: <https://pa.equatorialenergia.com.br/wp-content/uploads/2021/01/NT-001-EQTL-Normas-Qualidade-e-Des-de-Fornecedores-Fornecimento-de-Energia-Eletrica-em-Baixa-Tensao.pdf>. Acessado em: 20 dezembro 2022.

Equatorial Energia. **Valor de Tarifas e Serviços**. 2023. Disponível em: <https://pa.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/>. Acessado em: 20 dezembro 2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2020: ano base 2019**. Ministério de Minas e Energia – MME. Rio de Janeiro, 2020

FERRO, R. **Residências consomem 72% de energia solar gerada no país**. 2010. Disponível em: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável: Residências consomem 72% de energia solar gerada no país (cbcsnoticias.blogspot.com). Acesso em 21 dezembro 2022.

HOLZBACH, M.; CARVALHO, C. C. S. E; RESENDE, A. S. Analysis of the Economic Viability of the Installation of a Photovoltaic System at Jorge de Abreu Regional Hospital in Sinop-MT. **Renewable Energy and Sustainable Development**, v. 7, n. 2, p. 43, 30 dez. 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2018**. [S. l.], 2018. Disponível em: www.iea.org/reports/renewables-2018. Acesso em: 14 de janeiro de 2023.

LAMMOGLIA, J. A. D. M.; BRANDALISE, N. Analysis of economic viability with the use of monte carlo simulation for microgeneration of photovoltaic energy. **Independent Journal of Management & Production**, v. 10, n. 3, p. 1000, 1 jun. 2019.

MARTINS, F. R. et al. Solar energy scenarios in Brazil. Part two: Photovoltaics applications. **Energy Policy**, v. 36, n. 8, p. 2865–2877, 2008.

ROEDEL, T.; MAFRA, G. Viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico: estudo de caso em uma escola de idiomas, de Brusque - SC. **R. Tecnol. Soc.**, Curitiba, v. 15, n. 37, p. 612-634, jul./set. 2019.

RÜTHER, R.; ZILLES, R. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 3, p. 1027–1030, mar. 2011.

SAMANEZ, C.P. **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

SOUZA SILVA, L. et al. Avaliação de Custo Benefício da Utilização de Energia Fotovoltaica. **RCT- REVISTA DE CIENCIA E TECNOLOGIA**, v. V5, n. N9, 2019.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa,**

Eólica, Solar, Oceânica. (Coord.). EPE: Rio de Janeiro, 2016.

ZHAO, P. et al. Technical feasibility assessment of a standalone photovoltaic/wind/adiabatic compressed air energy storage based hybrid energy supply system for rural mobile base station. **Energy Conversion and Management**, v. 206, 15 fev. 2020.