

A Viabilidade Econômica da implantação de Energia Solar Fotovoltaica para a redução dos custos com energia elétrica das famílias com diferentes níveis de renda: uma análise para a região norte de Mato Grosso

The Economic Viability of the implantation of Solar Photovoltaic Energy to reduce the costs of the electric energy consumption of families with different levels of income: an analysis for the northern region of Mato Grosso

Wylmor Constantino Tives Dalfovo

Doutor em Economia (UFPE)
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
E-mail: wylmor@unemat-net.br

Paola Carla Zilio

Graduada em Ciências Econômicas (UNEMAT)
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
E-mail: pczilio@gmail.com

Geovane Paulo Sornberger

Doutor em Administração (UNISINOS)
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
E-mail: gps@unemat.br

Arlete Redivo

Doutora em Administração (UNISINOS)
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
E-mail: aredivo@unemat.br

Resumo

A busca por fontes energéticas renováveis tornou-se um dos grandes desafios às economias do mundo, e neste contexto, a utilização da energia solar fotovoltaica é vista como uma alternativa econômica e sustentável em vários setores. No Brasil, esta inovação tem se destacado, pois o país possui condições climáticas favoráveis para sua geração com intensa luminosidade na maioria das regiões do país, contribuindo por diversificar a matriz energética brasileira. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade econômico-financeira da utilização da energia solar fotovoltaica como alternativa para a redução dos gastos com energia elétrica tradicional em domicílios com renda domiciliar alta, média e baixa (considerando os padrões de consumo e renda) no município de Sinop-MT. A metodologia englobou uma análise de viabilidade econômica e do emprego de uma regressão linear múltipla, buscando verificar a relação entre o aumento da renda e consumo de energia tradicional e os indicadores financeiros para a implantação da energia fotovoltaica nos domicílios de acordo com a renda de seus moradores. Os resultados demonstraram que o projeto da implantação de energia solar fotovoltaica é viável economicamente para domicílios com renda domiciliar alta, e inviável economicamente para domicílios de média e baixa renda. Paralelo a isso, o resultado da regressão linear demonstrou que aumentar em 1% a renda familiar aumentaria os gastos com energia em 0,4034%, motivando a implantação do modelo fotovoltaico. A estimação demonstrou significância estatística a 1% e R^2 em 30,91%, demonstrando haver uma relação entre as variáveis analisadas. O teste F indicou rejeição da hipótese nula de não significância conjunta das variáveis com Intervalo de Confiança de 99%. Os testes de *Breush-Pagan* e de *White* indicaram que os resíduos são heterocedásticos, rejeitando a hipótese nula que estes

seriam homocedásticos. O teste *VIF* abaixo de 10 demonstrou não haver multicolineariedade para as variáveis.

Palavras Chave: Energia renovável. Renda domiciliar. Sistema fotovoltaico.

Abstract

The search for renewable energy sources became one of the biggest challenges to world economies. In this context, the use of photovoltaic solar energy is seen as an economic and sustainable alternative in several industries. In Brazil, this innovation has stood out because the country has favorable climate conditions for its generation, with an intense luminosity in the majority of regions, which contributes to the diversity of the Brazilian energy matrix. Thus, the present study aims to analyze the economic-financial viability of the use of photovoltaic solar energy as an alternative for the reduction of the expenses with the traditional electric energy in houses where the household incomes are high, medium and low (considering patterns of consumption and income) in Sinop City – Mato Grosso. The methodology comprised the analysis of the economic viability and the use of a multiple linear regression to verify the relation between the increase of income and the consumption of traditional energy and the financial indexes for the deployment of photovoltaic energy in the houses, according to the residents' income. The results showed that the project of deployment of photovoltaic solar energy is economically feasible for houses with a high household income, but economically unfeasible for houses with a medium or low household income. Along with that, the result of the linear regression indicated that increasing the family income in 1% would increase the expenses with energy in 0.4034%, encouraging the deployment of the photovoltaic model. The estimate presented the statistical significance of 1% and R^2 in 30.91%, suggesting a relation between the analyzed variables. The F test appointed a rejection for the null hypothesis of the joint non-significance of the variables with a Confidence Interval of 99%. The *Breusch-Pagan* and *White* tests indicated that the residuals are heteroskedastic, rejecting the null hypothesis that they would be homoscedastic. The *VIF* test below 10 showed that there is no multicollinearity for the variables.

Keywords: Renewable energy. Household income. Photovoltaic system.

1 Introdução

A utilização da energia elétrica sem dúvida foi um passo importante para a melhoria da qualidade de vida da humanidade. Sua utilização tornou-se essencial para países em desenvolvimento, uma vez que, quanto maior for a oferta de energia elétrica maior será o crescimento econômico, sendo a sua utilização também relacionada a questões sociais, tais como: a redução da pobreza, o crescimento populacional e o grau de urbanização. Dada a importância da energia elétrica para o ser humano, sua utilização tornou-se vital e seu uso indispensável para todas as classes sociais, até mesmo para os que dispõem de menos recursos financeiros. (NADIMI; TOKIMATSU, 2018a).

Para a população, energia elétrica significa qualidade de vida, e está ligada às condições de saúde, trabalho, habitação, etc. Portanto, não podendo ser relacionado tão somente ao conforto, logo a quantidade de energia que cada família utiliza influencia na renda e no nível de pobreza. Assim, os consumidores com menor renda enfrentam diversos obstáculos, pois o consumo de energia elétrica é inevitável e, parte da sua renda está vinculada com as despesas desta. (NADIMI; TOKIMATSU, 2018b; PASTEN; SANTAMARINA, 2012).

Um outro tema que vem sendo discutido com maior intensidade nos dias atuais é a preocupação socioambiental dos impactos ambientais causados durante os processos de geração de energia elétrica no mundo, no qual as atuais preocupações perpassam a atual forma de sua geração, entretanto, faz-se necessário encontrar outras formas de geração de energia que

reduzam ou limitem a degradação ambiental, em que pese respeitar os recursos naturais torna-se uma questão fundamental para a vida humana (HOSENUZZAMAN et al., 2015).

O racionamento enfrentado no ano de 2001 evidenciou que o setor elétrico brasileiro, necessitava ser modificado. Novas fontes de energia elétrica precisavam ser incentivadas. Neste sentido, buscou-se a implantação de um novo modelo, este efetivado a partir do ano de 2004 através das leis nº 10.847 e 10.848 buscando alterar e fundamentar o sistema elétrico brasileiro em prol de uma melhor segurança energética, diferentes tarifas e atendimento universalizado.

Embora tenha ocorrido uma maior diversificação da matriz elétrica brasileira, os dados apresentados no Balanço Energético Nacional (BEN), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2018a), a composição da matriz energética brasileira está pautada na exploração dos recursos hídricos (65,2% da capacidade instalada), seguida pela geração termoeleétrica (25,3%) e o restante (9,43%) pela geração de energia nuclear, eólica e solar. Números que evidenciam uma matriz energética com predominância hidráulica na sua geração.

Na contramão, a escassez de chuvas no período entre 2013-2015 contribuiu para aumentar a crise hídrica e por consequência impactando negativamente a produção da energia elétrica, sendo necessário o acionamento de inúmeras usinas termoeletricas para suprir a demanda por energia, porém, a custos mais elevados. Além disso, a decisão governamental a partir da medida provisória 579 do ano de 2012 contribuiu para acelerar o problema estrutural na geração de energia elétrica no Brasil, pois promoveu a redução das tarifas de energia elétrica reduzindo assim a receita, sendo essas tarifas, modificadas apenas no ano de 2015 com a criação das bandeiras tarifárias de energia.

Em detrimento das modificações políticas relacionadas ao consumo de energia elétrica no Brasil, dados da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*) apontam que a demanda global por energia deverá aumentar aproximadamente 36% entre 2015 e 2050, sendo que, deste total, as fontes renováveis deverão representar em torno de 29,6% do fornecimento da matriz energética mundial em 2050, e, considerando esse prognóstico para o Brasil, a demanda por energia deverá aumentar em 40% no período entre 2015 e 2050 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA, 2014).

Dentre as fontes consideradas renováveis, a energia solar vem se consolidando no mercado, despertando interesse mundial. Sua exploração recebeu inúmeras melhorias tecnológicas possibilitando seu máximo proveito energético. Entretanto, a energia solar abastece apenas uma pequena parcela na matriz energética. (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015).

Neste sentido, a energia solar é caracterizada por ser uma fonte de energia limpa e renovável, cujos impactos causados ao meio ambiente são menores do que as de uma usina hidrelétrica, nuclear ou termelétrica no ato da geração elétrica, que são responsáveis por grande parte das emissões de CO₂ na atmosfera. O objetivo da revolução energética é reduzir as emissões de CO₂ em torno de 50% e 80% até 2050. (MENEGUZZO et al., 2015).

Dentre as demais fontes renováveis, a energia solar revela ser uma fonte com recursos inesgotáveis, se tornando a fonte energética mais abundante do planeta (KEMERICH et al., 2016). Segundo Nakabayashi (2014) e Medeiros, Villalva e Siqueira (2018), por se tratar de uma fonte renovável em expansão, seu custo de geração continua elevado comparado a outras fontes energéticas. No entanto, um novo cenário demonstra as perspectivas de competitividade da energia fotovoltaica no Brasil, motivado por diversos fatores tais como rápida redução dos custos e, principalmente, questões relacionadas a mudanças climáticas.

Em função da interligação entre a maior parte do país, os aproveitamentos mais baratos tendem a ser priorizados e complementados por soluções que garantam a segurança. A incidência dessa transmissão, da distribuição, de encargos e tributos leva, atualmente, a eletricidade representar cerca de 1/3 do valor pago pelo consumidor final em suas contas mensais. Os recentes avanços tecnológicos internacionais, associados à introdução da

compensação energética, através da Resolução 482/2012, da ANEEL, possibilitaram a geração distribuída a custos competitivos para o consumidor final, que também passou a exercer o papel de produtor.

Diante do exposto, este estudo busca verificar a existência de viabilidade econômica para a geração de energia elétrica a partir de um sistema solar fotovoltaico visando a redução dos custos com a energia elétrica para famílias de classe baixa, média e alta localizadas no município do Sinop/MT. De forma complementar, buscou-se verificar também a existência de uma relação econométrica entre o aumento da renda e consumo de energia tradicional e os indicadores financeiros para a implantação da energia fotovoltaica nos domicílios de acordo com a renda familiar.

2 Energias Renováveis

A preservação do meio ambiente se tornou uma preocupação dos habitantes de todos os recantos do planeta, pois a estrutura energética se encontra constituída basicamente por combustíveis não renováveis, considerados uma ameaça ao meio ambiente. A fim de que haja desenvolvimento sustentável se faz necessária a ampliação das fontes renováveis na matriz energética mundial. A busca por fontes alternativas se tornou uma solução viável tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, tornando-se fator essencial para o desenvolvimento econômico de um país causando o mínimo impacto possível ao meio ambiente. Além dos benefícios sociais, econômicos e ambientais, o uso das fontes renováveis diversifica a matriz energética, reduzindo os riscos em abastecimento e possíveis crises energéticas (BORAN; BORAN; MENLIK, 2012; KABAK; DAĞDEVIREN, 2014).

As pesquisas de Andrade Guerra et al., (2015) e Goldemberg e Lucon (2007) evidenciam que os padrões de produção e consumo de energia são representados por combustíveis fósseis, ou seja, energia não renovável. Encontrados na natureza em quantidades limitadas e não regeneráveis, os combustíveis fósseis, em sua maioria provenientes da extração de carvão, petróleo e gás natural, emitem gases poluentes locais e globais, tais como o dióxido de carbono, provocando mudanças climáticas que causam danos ao meio ambiente. A inserção das fontes de energia renováveis na matriz energética tem papel fundamental para que os padrões de consumo sejam alterados.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2017) as fontes de energia renováveis são fontes inesgotáveis geradas a partir de recursos naturais, podendo se renovar naturalmente e serem rapidamente repostas. A composição atual da matriz energética nacional tem destacada participação da energia hidráulica, ainda que o país tenha grande potencial para exploração de outras fontes de energias renováveis, como a eólica, a solar e a biomassa. Energia eólica - produzida a partir do vento; biomassa, energia gerada através do processo de combustão de produtos (insumos ou resíduos) orgânicos; e energia solar, aquela proveniente do efeito da luz e do calor do sol sobre materiais semicondutores, que podem ser transformados em energia térmica ou elétrica (GUERRA et al., 2015).

Em se tratando da energia solar, dois processos de geração merecem destaque. O primeiro resulta a partir do efeito termoelétrico que ocorre através da conversão da temperatura em tensão elétrica. O segundo processo de transformação ocorre a partir do efeito fotovoltaico, onde a irradiação solar é convertida em energia elétrica, por meio de células solares. A utilização destas duas tecnologias ainda representa uma pequena parcela na matriz energética mundial, no entanto, suas perspectivas de crescimento se mostram positivas. A energia fotovoltaica em especial, tem sido reconhecida internacionalmente como uma tecnologia bastante promissora. Experiências em outros países contribuíram para a expansão da capacidade instalada deste mercado nos últimos anos, apontando ganhos na escala de produção e uma redução de custos para os investidores, razões pelas quais a energia solar fotovoltaica passou a ser vista como alternativa rentável no suprimento de energia (EPE, 2012).

2.1 A Matriz Elétrica Brasileira

Frente às demandas ambientais o governo brasileiro instituiu em 2002 o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), com a finalidade de aumentar o aproveitamento das fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas disponíveis na matriz energética brasileira. Considerando o ano base 2017, as principais fontes energéticas são: hidráulica, gás natural, biomassa, petróleo, carvão e energia eólica. Os combustíveis fósseis representam 17,1% (2,5% petróleo e derivados, 10,5% gás natural e 4,1% carvão e derivados), e as energias renováveis representam cerca de 80,4% da matriz elétrica nacional, evidenciando a grande vantagem do Brasil, que se posiciona com uma menor dependência de recursos energéticos não renováveis. (EPE, 2018a). Em 2002, ano de criação do PROINFA, essa composição apresentava dados bem diferentes. A Figura 1 evidencia a composição da matriz elétrica brasileira em 2002 e 2017.

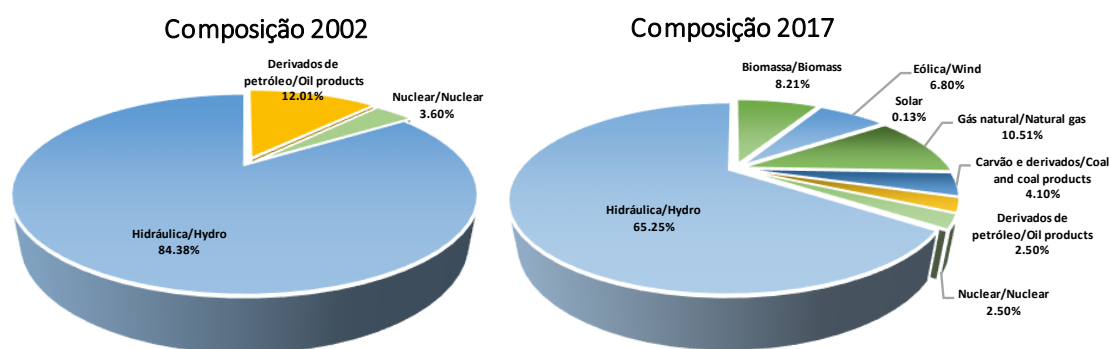


Figura 1- Composição da matriz elétrica brasileira 2002 e 2017 (%)

Fonte: Elaborado com base em Brasil (2003) e EPE (2018a)

Passados 15 anos, a diversificação das fontes da matriz elétrica brasileira é significativa. Com base na ilustração, verifica-se a predominância ainda da fonte hidráulica, com 65,2% de participação, sendo, as fontes renováveis (biomassa, eólica, solar e hidráulica) responsáveis por 80,4% da oferta de eletricidade brasileira, contrastando significativamente com a média mundial, que é de 12,6% (EPE, 2018a). Segundo IEA (2014) a demanda por energia no Brasil deverá aumentar em 40% entre 2015 e 2050. Nesse período, o petróleo deverá sofrer uma redução de aproximadamente 12%, o que é um indicativo de que as fontes renováveis de energia elétrica devam intensificar sua participação.

Dentre as fontes renováveis existentes, a energia solar vem despertando grande interesse mundial. A exploração desta fonte recebeu inúmeras melhorias tecnológicas possibilitando seu máximo proveito energético. A energia solar é caracterizada por ser uma fonte de energia limpa e renovável, cujos impactos causados no meio ambiente são significativamente menores do que as de uma usina hidrelétrica, nuclear ou termelétrica, que são as grandes responsáveis pela maioria das emissões de CO₂ na atmosfera. O objetivo da revolução energética é reduzir as emissões de CO₂ em torno de 50% e 80% até 2050 (TESKE et al., 2010). Ademais, a energia solar conta com recursos energéticos inesgotáveis, se tornando a fonte energética mais abundante do planeta (KEMERICH et al. 2016). Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2015), por se tratar de uma fonte renovável em expansão, seu custo de geração, embora elevado, se comparado a outras fontes energéticas, demonstra perspectivas de competitividade na modalidade de exploração fotovoltaica no Brasil.

2.2 Principais políticas públicas voltadas à produção de energia renovável no Brasil

O Brasil possui grande potencial para exploração das fontes eólica, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e solar fotovoltaica. Entretanto essas fontes enfrentam dificuldades,

principalmente da ordem econômica para se inserir no mercado e expandir a sua atuação na matriz energética brasileira. Neste contexto, se faz necessário que o poder público crie programas de incentivos que possibilitem condições para que hajam desenvolvimentos tecnológicos que possibilitem a implantação dessas fontes renováveis (WORLD WIDE FUND FOR NATURE - WWF-BRASIL, 2012).

Já foram implantados programas de incentivos às fontes renováveis de energia no país, a exemplo do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criado em 2002 pelo Ministério de Minas e Energia, essa política tem como objetivos diversificar a matriz energética brasileira, aumentar a segurança no abastecimento, valorizar as capacidades regionais e locais (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos termelétricos a biomassa), e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (ANEEL, 2017).

Outra ação institucional que possibilitou a inserção de projetos de geração solar, especificamente a fotovoltaica no Brasil, foi o Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) estratégico, que deu origem à chamada nº 013/2011, da ANEEL, que tem como principal finalidade a geração de energia elétrica de modo integrado e sustentável, visando alcançar o desenvolvimento tecnológico necessário para que esta fonte possa ser inserida na matriz energética brasileira (ANEEL, 2011). Na mesma linha de atuação, o Ministério de Minas e Energia promoveu o primeiro leilão para contratar de energia solar fotovoltaica no ambiente de contratação regulada – ACR (EPE, 2014).

Com propósito adverso, mas não menos importante, a criação e aprovação em 2012, da Resolução Normativa nº 482, estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída. Dentre as oportunidades ofertadas por esta resolução, a principal foi à possibilidade de conexão dos sistemas que utilizam fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada à rede de distribuição das concessionárias, gerando um sistema de compensação às centrais geradoras e que possibilitou o consumo por meio de instalações de unidades consumidoras à população (ANEEL, 2012).

Esse sistema de compensação ofertado pela Resolução nº 482 é conhecido como *On Grid*. Ele possibilita que toda energia excedente proveniente de uma central geradora de até 1 MW, seja injetada de imediato à rede das concessionárias. Portanto, caso a quantidade de *quilowattoras* de energia gerada por uma fonte local (residencial) seja superior à demanda, o sistema envia esse excedente de energia para a rede da concessionária responsável, e poderá ser compensado, caso haja necessidade, no período de trinta e seis meses, em qualquer ponto de consumo registrado com mesmo CPF ou CNPJ do ponto de injeção, desde que na área de concessão da distribuidora. Em sendo a geração de energia inferior à demanda, a diferença é fornecida e cobrada pela concessionária. Este projeto foi de extrema importância para o Brasil, pois permitiu que o país fosse percebido por investidores e grandes empresas multinacionais (CASTRO; JANNUZZI; DRUMOND JUNIOR, 2016).

Em 2015 ocorreu uma alteração na Resolução Normativa nº 482, dando origem a Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015. Esta nova resolução possibilitou uma ampliação do sistema de micro e mini geração, até 75 kW e daí até 5 MW, respectivamente, possibilitando que outros consumidores compensem a energia injetada, de acordo com alguns critérios. Uma outra alteração refere-se à ampliação do sistema de compensação da energia injetada que passa a expirar em sessenta meses. Esta resolução entrou em vigor 1º de março de 2016 (ANEEL, 2015).

Em 2015 foi alterada a legislação sobre chamadas públicas, permitindo que as distribuidoras contratem empreendimentos mais caros que os ofertados nos leilões, limitados a 10% de seus mercados, para resolver questões locacionais. Em 2018 foram publicados valores para diversas fontes (EPE, 2018b).

A redução de impostos estaduais e federais também é um estímulo às fontes renováveis na medida e que reduz os custos de uma nova instalação. Percebe-se que, em virtude da abundância de fontes energéticas renováveis e baratas, os incentivos advindos de políticas públicas são cruciais para o desenvolvimento e uso de tecnologias mais eficientes e assim, promover a inserção das fontes renováveis distribuídas diversificando a matriz energética brasileira (EPE, 2018d; WWF-BRASIL, 2015).

2.3 Crescimento Econômico, Classes de Renda e Consumo de Energia

O consumo de energia elétrica é considerado um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e social de um país (AHMED; AZAM, 2016; NADIMI; TOKIMATSU, 2018a). O aumento no consumo de energia influencia o nível de produção e da renda da população, impactando todos os setores da economia, tais como o setor industrial, comercial e de serviços. A população passa a adquirir bens e serviços com tecnologia mais avançada e com aparelhos mais sofisticados que exigem o acesso à rede elétrica, fazendo com que ocorra um aumento no consumo de energia. Fatores estes que foram fundamentais para o crescimento acelerado no consumo mundial de energia registrado nos últimos anos (ANEEL, 2008).

Uma vez que o consumo de energia elétrica exerce um papel fundamental no crescimento econômico e no nível de renda da população, as diferentes classes sociais se distinguem através de seu padrão de consumo, que demonstram o estilo de vida e o padrão de renda da sociedade (NADIMI; TOKIMATSU, 2018a), estando direta e indiretamente ligado ao processo de produção, pois o aumento no consumo de energia acarreta um aumento no PIB (FRANCISCO, 2010; NETO; CORRÊA; PEROBELLI, 2016), comprovando mais uma vez a importância da energia na economia de um país.

Embora a expansão do consumo de energia esteja diretamente relacionada a expansão da economia de um país e a qualidade de vida da sua população, ela também pode afetar negativamente por três motivos. O primeiro se refere à possibilidade de esgotamento das fontes utilizadas para a produção de energia, que é o caso das fontes não renováveis. Um segundo motivo se refere ao impacto que estas fontes causam no meio ambiente e, por fim, um último motivo refere-se aos elevados investimentos em pesquisa de novas fontes alternativas e para a construção de novas usinas geradoras de energia elétrica (ANNEEL, 2008). Tais motivações sugerem que novos investimentos no setor deem preferência às fontes renováveis de energia elétrica, no sentido de alinhar crescimento econômico, bem-estar da população e conservação do meio ambiente.

3 Descrições dos Dados, Procedimentos e Instrumentos de Pesquisa

O universo da pesquisa consiste em identificar a viabilidade econômica para a implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede concessionária (*On Grid*) para geração de energia elétrica, com o intuito de reduzir o custo deste serviço convencional para famílias de baixa, média e alta renda no município de Sinop/MT.

Para tanto, foram selecionados domicílios localizados nos bairros Jardim Maringá (alta renda), Jardim Botânico (média renda) e Jardim Boa Esperança (baixa renda), escolhidos de acordo com as características socioeconômicas das famílias ali residentes no ano de 2017. Esses dados dividem-se entre investimento para instalação do sistema fotovoltaico (custos dos equipamentos) coletados junto às empresas A e B instaladas no município de Sinop/MT, estratificação de classes (baixa, média e alta) com base na renda domiciliar a partir dos dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016), e as médias de energia elétrica faturada em 2017 em cada bairro, fornecidas pela concessionária de distribuição de energia elétrica no Estado de Mato Grosso, a empresa Energisa Mato Grosso – Distribuidora de Energia S.A..

Utilizou-se também uma análise de regressão para estimar os resultados dos coeficientes do modelo, a fim de verificar a existência de uma relação entre as variáveis: despesas com energia elétrica, quantidade de cômodos, quantidade de moradores, renda total do domicílio, material que predomina as paredes dos domicílios, material da cobertura dos domicílios, todas extraídas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011) através dos dados disponibilizados pelo IBGE em sua última Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF 2008-2009).

Neste aspecto, este estudo utilizou-se do método descritivo e quantitativo. Segundo Sampieri, Collado e Lucio (2013), o método descritivo caracteriza-se em especificar as propriedades, as características e os perfis de pessoas, grupos, comunidades, processos, objetos ou qualquer outro fenômeno que se submeta a uma análise. Já o enfoque quantitativo utiliza a coleta de dados para testar hipóteses, baseando-se na medição numérica e na análise estatística para estabelecer padrões e comprovar teorias.

3.1 Modelo Teórico para Análise de Viabilidade Econômico-financeira

Para a tomada de decisão de um investimento é fundamental a avaliação das variáveis financeiras em conjunto, para isso, utiliza-se uma ferramenta que auxilia no agrupamento das mesmas, denominada “Fluxo de Caixa”. A partir dos fluxos de caixa gerados, obtêm-se os valores de indicadores econômico-financeiros que auxiliam na avaliação da viabilidade de um investimento. Para os fins deste estudo, os indicadores utilizados foram o *payback* descontado, Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), Valor Presente líquido Anualizado (VPLA), Índice Custo Benefício (B/C) e o Índice de Rentabilidade (IR).

3.2 A Estatística Descritiva e o Modelo de Regressão Linear

A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das variáveis coletadas para as informações de média, desvio padrão e os valores mínimos e máximos relativos.

De acordo com os dados da tabela é possível identificar a discrepância entre os valores da média das variáveis¹. Analisando o desvio padrão das variáveis, verifica-se que as variáveis de intervalos mais estreitos tendem a ter um desvio padrão menor que as demais.

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis

Variáveis	Obs.	Média	Des. Padrão	Min.	Max.
Despesa com energia elétrica	2092	3.9669	0.8638	1.07841	7.0800
Material das paredes dos domicílios	2423	0.2005	0.3772	0	1.7917
Quantidade de cômodos	2423	1.6697	0.3563	0	3.0445
Quantidade de moradores no domicílio	2423	1.0059	0.5308	0	2.4849
Material da cobertura dos domicílios	2423	0.1081	0.4120	0	1.9459
Renda Total do domicílio	2421	7.2373	0.8537	3.8137	10.6996

Fonte: Elaborada pelos autores com base no banco de micro dados da POF 2008-2009 – IBGE (2011)

Em relação a análise de regressão, essa diz respeito ao estudo da dependência de uma variável, a variável dependente, em relação a uma ou mais variáveis, as variáveis independentes, visando estimar e/ou prever o valor médio (da população) (GUJARATI; PORTER, 2011). O modelo pode ser representado da seguinte forma:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + u_i \quad (1)$$

Onde: Y_i = Despesa com energia elétrica; X_2 = Material que predomina as paredes dos domicílios; X_3 = Quantidade de cômodos; X_4 = Quantidade de moradores no domicílio; X_5 = Material da cobertura dos domicílios; X_6 = Renda Total do domicílio; u_i = Termo de erro; β_1 = Coeficiente linear; $\beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ = coeficientes angulares.

¹ A média indica o valor esperado em caso de uma estimação. Com isso, para intervalos amplos, a média tende a ser maior que em intervalos estreitos, como no caso da despesa com energia elétrica e renda total do domicílio perante os demais.

O método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) consiste na escolha dos valores dos parâmetros desconhecidos de maneira que a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) $\sum \widehat{u}_i^2$ seja minimizada (GUJARATI; PORTER, 2011). Os estimadores de MQO possuem as seguintes propriedades estatísticas para validar as premissas do MCRL: os estimadores são não viesados; são eficientes, ou seja, variância mínima; são consistentes, pois convergem aos verdadeiros valores da população; e a amostra segue uma distribuição normal, ou seja, com média zero e variância constante $Z \sim N(0, 1)$ (GUJARATI e PORTER, 2011).

$$\begin{aligned} \text{Média: } E(\hat{\beta}_2) &= \beta_2 \\ \text{Var}(\hat{\beta}_2): \sigma_{\hat{\beta}_2}^2 &= \frac{\sigma^2}{\sum x_i^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Agora, para estimar os coeficientes do modelo de regressão múltipla com três variáveis considera-se primeiramente o método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), para assim obter os estimadores parciais de regressão populacional $\hat{\beta}_1$, $\hat{\beta}_2$ e $\hat{\beta}_3$ do modelo (GUJARATI; PORTER, 2011).

$$\begin{aligned} \hat{\beta}_1 &= \bar{Y} - \hat{\beta}_2 \bar{X}_2 - \hat{\beta}_3 \bar{X}_3 \\ \hat{\beta}_2 &= \frac{(\sum y_i x_{2i})(\sum x_{3i}^2) - (\sum y_i x_{3i})(\sum x_{2i} x_{3i})}{(\sum x_{2i}^2)(\sum x_{3i}^2) - (\sum y_{2i} x_{3i})^2} \\ \hat{\beta}_3 &= \frac{(\sum y_i x_{3i})(\sum x_{2i}^2) - (\sum y_i x_{2i})(\sum x_{2i} x_{3i})}{(\sum x_{2i}^2)(\sum x_{3i}^2) - (\sum y_{2i} x_{3i})^2} \end{aligned} \quad (3)$$

O modelo de regressão linear múltipla parte da mesma dinâmica do modelo de regressão linear simples, ou seja, continua a operar com base nas premissas do MCRL onde: o modelo é linear nos parâmetros; os valores fixos de X ou valores de X independentes do termo de erro; o termo de erro u_i tem média igual a zero; homocedasticidade ou variância constante de u_i ; ausência de autocorrelação, entre os termos de erro; o número de observações n deve ser maior que o número de parâmetros a serem estimados; não há colinearidade exata entre as variáveis X, não há relação linear exata entre X_2 e X_3 ; e ausência de viés de especificação (GUJARATI; PORTER, 2011).

A velocidade com a qual as variâncias e covariâncias aumentam pode ser vista pelo Fator de Inflação da Variância (FIV), por isso, usa-se o teste de FIV para detectar a presença de multicolinearidade no modelo, definido como (GUJARATI; PORTER, 2011):

$$\text{FIV} = \frac{1}{(1 - r_{23}^2)} \quad (4)$$

O Teste de *White* será usado para verificar a variância do erro do modelo, essa homocedástica ou heterocedástica, neste caso, apresenta-se como hipótese nula a presença de homocedasticidade e como hipótese alternativa a heterocedasticidade. O primeiro passo para executar o teste é obter os coeficientes da regressão, em seguida obter os resíduos, \hat{u}_i . O segundo passo consiste em obter a regressão auxiliar:

$$\hat{u}_i = \alpha_1 + \alpha_2 X_{2i} + \alpha_3 X_{3i} + \alpha_4 X_{2i}^2 + \alpha_5 X_{3i}^2 + \alpha_6 X_{2i} X_{3i} + v_i \quad (5)$$

Sob a hipótese nula de que não há heterocedasticidade, pode-se mostrar que o tamanho da amostra n multiplicado pelo R^2 da regressão auxiliar segue assintoticamente a distribuição qui-quadrada com graus de liberdade iguais ao número de regressores (excluindo-se o termo constante) na regressão auxiliar (GUJARATI; PORTER, 2011).

$$n \cdot R^2 \sim X_{gl}^2 \quad (6)$$

Utilizou-se o teste de *Breusch-Pagan* para detectar se os resíduos são homocedástico ou heterocedástico, ou seja, se a variância do erro se comporta de forma constante (GUJARATI; PORTER, 2011). Para estimar os coeficientes da regressão foi utilizado o *Software Stata*®.

4 As Características de Renda e Consumo de Energia Elétrica nas Residências em Estudo

Para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos a serem instalados, foram adotados procedimentos de análise pautados nos indicadores de renda e de consumo de energia elétrica domiciliar. Para tanto, utilizamos a metodologia comumente empregada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que estratifica as classes com base na renda familiar auferida, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Renda domiciliar por classe socioeconômica

Classe Econômica	Salários-Mínimos* (SM)	Renda Domiciliar (R\$)	Classificação
A	Acima de 20 SM	R\$ 18.740,01 ou mais	Classe alta
B	De 10 a 20 SM	R\$ 9.370,01 a R\$ 18.740,00	Classe alta
C	De 4 a 10 SM	R\$ 3.748,01 a R\$ 9.370,00	Classe média
D	De 2 a 4 SM	R\$ 1.874,01 a R\$ 3.748,00	Classe média
E	De 1/2 a 2 SM	R\$ 468,50 a R\$ 1.874,00	Classe baixa

*Salário mínimo considerado de 2017 – R\$ 937,00.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do IBGE (2016)

Com base na classificação disposta, os bairros residenciais do município de Sinop-MT, segundo dados do censo do IBGE (2010) obtidos no Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, somam 59 (cinquenta e nove). Dos quais, 3 (três) bairros foram escolhidos visando contemplar a estratificação por classe de rendimento domiciliar, sendo eles: Jardim Maringá (Classe alta); Jardim Botânico (Classe média); e, Jardim Boa Esperança (Classe baixa).

Os dados retornaram 567 domicílios habitados no bairro Jardim Maringá. Destes, 10 desses possuem renda mensal domiciliar entre $\frac{1}{2}$ à 2 salários mínimos, outros 58 detêm de uma renda domiciliar entre 2 a 4 salários mínimos, 168 compreendem uma renda de 4 a 10 salários mínimos, 205 com renda entre 10 a 20 salários mínimos, além de outros 118 domicílios ocupados com renda domiciliar superior a 20 salários mínimos, e apenas 6 domicílios não possuem nenhum rendimento, assim o bairro Jardim Maringá enquadra-se, segundo metodologia do IBGE como um bairro de classe alta.

Outro bairro considerado na pesquisa, o Jardim Botânico, possui um total de 1.394 domicílios. Dos quais, 167 apresentam renda domiciliar entre $\frac{1}{2}$ a 2 salários mínimos, outros 489 destes apresentaram renda domiciliar entre 2 à 4 salários mínimos, 435 domicílios apresentaram renda entre 4 à 10 salários mínimos, outros 164 possuem renda domiciliar entre 10 a 20 salários mínimos, 58 possuem rendimento domiciliar de mais de 20 salários mínimos, e por fim 23 domicílios não possuem nenhum tipo de rendimento mensal. Dados que segundo classificação do IBGE, o enquadram como sendo um bairro de classe média.

Por último, pesquisou-se o bairro Jardim Boa Esperança, o qual segundo informações do IBGE (2010) conta com um total de 1.536 domicílios, sendo 895 com renda mensal domiciliar entre $\frac{1}{2}$ a 2 salários mínimos, 442 possuem uma renda de 2 a 4 salários mínimos, outros 142 dispõem de 4 a 10 salários mínimos, apenas 2 domicílios usufruem de uma renda de mais de 20 salários mínimos, e os outros 46 domicílios que não possuíam nenhum tipo de rendimento mensal, enquadrando este bairro como sendo de classe baixa. As informações detalhadas da renda mensal domiciliar são importantes para que se possa verificar posteriormente a relação de viabilidade econômica quando da implantação dos painéis fotovoltaicos em relação ao consumo tradicional de energia elétrica.

Os domicílios em estudo são caracterizados por residencial bifásico e trifásico. Para dimensionar a potência necessária para suprir a demanda por energia elétrica alguns aspectos técnicos devem ser levados em consideração ao se instalar um sistema fotovoltaico, tais como o consumo médio em kWh e a irradiação solar média.

As tabelas a seguir apresentam as médias de consumo e dos custos de energia fornecidas pela concessionária Energisa Mato Grosso, referentes ao ano de 2017, dos bairros participantes

da pesquisa. Neste sentido, a Tabela 4 destaca esses dados para os domicílios localizados no bairro Jardim Maringá.

Tabela 3 - Dados de consumo e custos com energia elétrica - bairro Jardim Maringá

Mês	Consumo médio (kWh) mês	Custo do kWh mês (R\$)	Dias de consumo mês	Média diária (kWh/dia)
Jan 2017	1.717	1.352,61	31	57
Fev 2017	1.320	1.023,37	28	43
Mar 2017	1.370	1.009,99	31	46
Abr 2017	1.461	1.076,73	30	47
Mai 2017	1.303	1.018,18	31	42
Jun 2017	1.484	1.176,62	30	49
Jul 2017	1.483	1.138,18	31	48
Ago 2017	1.667	1.259,53	31	56
Set 2017	1.310	1.025,45	30	42
Out 2017	1.488	1.198,99	31	53
Nov 2017	1.344	1.068,47	30	43
Dez 2017	1.418	1.106,17	31	46
Total	17.365	13.454,30	365	572
Media	1.447	1.121,20	30	48

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados fornecidos pela concessionária Energisa Mato Grosso (2017).

A partir dos valores apresentados torna-se possível analisar a variação do consumo de energia elétrica ao longo do ano de 2017 para o bairro Jardim Maringá, tornando este consumo base para a realização do dimensionamento do sistema fotovoltaico a ser instalado. Verifica-se que domicílios localizados neste bairro apresentam um consumo médio de 1.447 kWh/mês com custo médio de R\$ 1.121,20 ao mês. Além desses dados, verifica-se que o consumo médio total anual de 17.365 kWh/ano, apresentando um custo médio anual de R\$13.454,30. Este consumo médio de energia elétrica é considerado elevado visto que a média mensal brasileira de consumo residencial foi de 157,9 kWh/mês em 2017, ou seja, um consumo anual de aproximadamente 1.894,8 kWh segundo (EPE, 2018c).

A Tabela 5, apresenta dados dos domicílios localizados no bairro Jardim Botânico, evidenciando consumo médio anual de 7.733 kWh, ou seja, um consumo médio mensal de 644 kWh/mês, a um custo médio de R\$ 504,00 ao mês e de R\$ 6.049,28 anualmente. Em relação ao bairro anterior, de elevada renda, nota-se que o consumo médio foi 44,51% menor, além do custo ser menor em 44,95%. Cabe ressaltar que os domicílios deste bairro são em sua maioria estratificados como de classe média.

Tabela 4 - Dados de consumo e custos com energia elétrica – bairro Jardim Botânico

Mês	Consumo médio (kWh) mês	Custo do kWh mês (R\$)	Dias de consumo mês	Média diária (kWh mês/dia)
Jan 2017	590	469,90	31	19
Fev 2017	610	481,78	28	22
Mar 2017	708	531,27	31	23
Abr 2017	695	513,98	30	23
Mai 2017	708	531,27	31	23
Jun 2017	728	585,57	30	24
Jul 2017	605	473,27	31	20
Ago 2017	623	479,52	31	20
Set 2017	608	482,45	30	20
Out 2017	640	523,68	31	21
Nov 2017	713	571,12	30	24
Dez 2017	505	405,47	31	16
Total	7.733	6.049,28	365	255
Média	644	504,00	30	21

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados fornecidos pela concessionária Energisa Mato Grosso (2017).

Para o bairro Jardim Boa Esperança, considerado na pesquisa como sendo de baixa renda, o consumo médio total foi de 2.350 kWh/ano, com média de 196 kWh/mês a um custo de R\$ 141,24 ao mês, e de R\$ 1.694,80 anualmente, dados apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 - Dados de consumo e custos com energia elétrica - bairro jardim Boa Esperança

Mês	Consumo médio (kWh) mês	Custo do kWh mês (R\$)	Dias de consumo mês	Média diária (kWh/dia)
Jan 2017	201	141,19	31	6
Fev 2017	165	118,57	28	6
Mar 2017	216	155,53	31	7
Abr 2017	214	154,98	30	7
Mai 2017	210	151,32	31	7
Jun 2017	218	161,48	30	7
Jul 2017	172	124,74	31	6
Ago 2017	161	116,56	31	5
Set 2017	176	125,82	30	6
Out 2017	192	137,62	31	6
Nov 2017	206	148,41	30	7
Dez 2017	219	158,58	31	7
Total	2.350	1.694,80	365	77
Média	196	141,24	30	6

Fonte: Elaborada pelos autores a partir dos dados fornecidos pela concessionária Energisa Mato Grosso (2017).

Com base nas informações sobre o consumo médio dos domicílios nos três bairros, torna-se possível determinar o tamanho do sistema fotovoltaico para cada categoria de domicílio suprir sua demanda por energia elétrica. Para esse cálculo, é preciso considerar a irradiação solar média incidente na localidade.

De acordo com Braun-Grabolle (2010), a irradiação solar é utilizada no cálculo para estimar a quantidade de energia elétrica que um sistema fotovoltaico é capaz de produzir, logo a média de irradiação solar é fundamental para a eficiência dos painéis fotovoltaicos, pois quanto maior for a quantidade de luz e calor recebida pelos painéis maior será a produção de energia elétrica, sendo que o aproveitamento da irradiação solar para geração de eletricidade varia ao longo dos meses de acordo com as estações do ano e a localização geográfica.

Sendo assim, os domicílios estão localizados no município de Sinop/MT, com latitude 11.855812° Sul e longitude 55.571828° Oeste, coordenadas geográficas para obtenção dos valores de irradiação média diária fornecida pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) como apresentado na Tabela 3.

Tabela 6 - Irradiação solar diária média no município de Sinop (em kWh/m².dia)

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
ISM*	4,72	4,78	4,72	4,36	4,64	4,67	5,25	5,11	5,00	4,83	4,72	4,75	4,80

* ISM – Irradiação Solar Média

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do CRESESB (2017).

Baseados nas informações fornecidas pelo CRESESB, observa-se que a irradiação solar média para o município foi de 4,80 kWh/m².dia, logo, era necessário calcular a área do painel solar e descobrir sua eficiência. Com relação a área, essa informação foi obtida nas especificações do produto. Quanto a sua eficiência, adotou-se um fator de aproveitamento de 75% da energia gerada, baseado em estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética EPE (2012), que considerou fatores como a eficiência do inversor, perdas de sincronismo e no circuito, térmicas, por reflexão, entre outras, como perdas de quantidade de energia aproveitada pelo sistema fotovoltaico.

Realizados os cálculos para obter o número de placas necessárias para suprir 100% da demanda dos domicílios em estudo, a Tabela 7 demonstra ainda a potência gerada de cada equipamento e o preço médio de cada *kit* segundo informações das empresas A e B que revendem esses equipamentos em Sinop/MT. Cada *kit* fotovoltaico inclui painel solar (placas),

cabo fotovoltaico, conector, grampos, perfil perfurado, junção do perfil, StrigBox e inversor monofásico. Além do preço do *kit*, as empresas cobram uma taxa de 30% sobre o preço, referente à custos com transporte, mão-de-obra e projeto elétrico para a instalação do sistema solar fotovoltaico.

Tabela 7 - Sistema proposto para cada classificação domiciliar

Bairro	Número de placas	Potência gerada	Valor do <i>kit</i>	Valor do <i>kit</i> + Taxa
Jardim Boa Esperança	8	2,08 kWp	10.155,60	13.202,28
Jardim Botânico	22	5,72 kWp	23.355,60	30.362,28
Jardim Maringá	48	12,48 kWp	48.809,60	63.452,48

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados fornecidos pelas empresas A e B (2018).

Conforme já mencionado, os sistemas fotovoltaicos propostos terão capacidade para suprir 100% da demanda dos domicílios. Situações de produção além da demanda necessária podem ocorrer a qualquer momento. Nesses casos, por tratar de um sistema conectado à rede (*On Grid*), o excedente de energia é injetado à rede elétrica da concessionária e fica como crédito por um período de até 60 (sessenta) meses, podendo ser compartilhada dentro de uma mesma área de concessão ou permissão, ou deverá ser utilizada pela distribuidora local. No entanto, deve-se ressaltar que mesmo que o sistema seja capaz de suprir 100% da demanda, a conta de energia elétrica nunca terá valor igual a zero, pois o consumidor tem de pagar a concessionária a taxa mínima de disponibilidade da rede elétrica (ANEEL, 2015).

Apresentados os cálculos e custos necessários para a implantação dos painéis fotovoltaicos, o próximo passo da pesquisa foi analisar sua viabilidade econômica em relação a renda domiciliar e o consumo de energia tradicional.

4.1 Análise de Viabilidade Econômica para a implantação de painéis solares fotovoltaicos

Para efeito da análise de investimento serão utilizados o *payback* descontado, Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), Valor Presente líquido Anualizado (VPLA), Índice Custo Benefício (B/C) e o Índice de Rentabilidade (IR), e uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) baseada nos ganhos de uma aplicação financeira que corresponde a 8,5% aa, segundo dados do Banco Central do Brasil (BCB, 2017), correspondendo à remuneração dos depósitos de poupança dos 12 meses acumulados. Também foi considerado um reajuste anual de 5,94% (IPCA) para a renda domiciliar e taxa de energia elétrica, seguindo a média histórica de reajuste dos últimos 10 anos, projetando-as, conforme dados da (ADVFN, 2017).

O fluxo de caixa de cada ano será o valor da média dos doze meses (2017) referentes aos valores gastos com energia elétrica, obtendo os custos operacionais. Em relação ao período de tempo, optou-se por utilizar 25 anos para o projeto em função da vida útil do sistema fotovoltaico, ou seja, é o período no qual o padrão de eficiência e desempenho das placas é garantido pelo fabricante. Após esse tempo, o sistema passa a apresentar 80% da eficiência total.

4.1.1 Análise econômica para domicílios classe alta – bairro Jardim Maringá

Para domicílios do bairro Jardim Maringá (classe alta) considerando um consumo médio anual de 17.365 kWh de energia elétrica, o investimento é de R\$ 63.452,48. Assim, a Tabela 8 apresenta o fluxo de caixa para a instalação desse sistema fotovoltaico.

Tabela 8 - Fluxo de caixa – bairro Jardim Maringá

Classe alta - salário mensal R\$ 15.400,01*				
Ano	Investimento	FL.CX. Simples	FL.CX. Descontado	Payback Descontado
0	-63.452,48			-63.452,48
1		9.570,94	8.580,96	-54.871,52
2		18.047,70	14.507,23	-40.364,29
3		19.496,64	14.050,88	-26.313,41

4	21.031,64	13.589,34	-12.724,06
5	22.657,83	13.125,77	401,71
6	24.380,61	12.662,88	13.064,59
7	26.205,73	12.202,97	25.267,56
8	28.139,26	11.747,98	37.015,54
9	30.187,64	11.299,55	48.315,08
10	32.357,69	10.859,02	59.174,10
11	34.656,65	10.427,52	69.601,62
12	37.092,16	10.005,94	79.607,56
13	39.672,34	9.595,00	89.202,56
14	42.405,79	9.195,25	98.397,81
15	45.301,60	8.807,11	107.204,91
16	48.369,42	8.430,86	115.635,77
17	51.619,47	8.066,70	123.702,47
18	55.062,58	7.714,72	131.417,19
19	58.710,20	7.374,94	138.792,13
20	62.574,49	7.047,31	145.839,45
21	66.668,33	6.731,74	152.571,19
22	71.005,33	6.428,06	158.999,24
23	75.599,96	6.136,09	165.135,33
24	80.467,50	5.855,61	170.990,94
25	85.624,18	5.586,36	176.577,31

* Renda domiciliar proposta

Fonte: Elaborada pelos autores (2018)

Com base nos resultados obtidos na Tabela 8, foram realizados os cálculos do VPL, VPLA, TIR, B/C e IR, conforme apresenta-se na Tabela 9.

Para o cálculo do *payback* descontado foi considerado uma TMA de 11,5% referente a taxa Selic, e a partir dos resultados apresentados pode-se observar que serão necessários cinco anos para que se possa recuperar o investimento inicial de R\$ 63.452,48.

Tabela 9 - Análise de viabilidade para a classe alta

Bairro Jardim Maringá 10 A 20 salários mínimos	
Investimento inicial	-63.452,48
TMA	11,5%
VPL	R\$ 176.577,31
VPLA	R\$ 21.793,47
TIR	32%
B/C	1,25%
IR	17,13

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

O VPL foi de R\$ 176.577,31, e quando anualizado corresponde a R\$ 21.793,47 mensais. A TIR de 32%, notadamente acima da taxa mínima de atratividade do projeto (11,5%), que segundo a literatura econômica torna o projeto um investimento rentável. O resultado obtido através da análise custo-benefício indica que a implantação do sistema fotovoltaico para compensação da energia elétrica para uma família de classe alta é economicamente viável, uma vez que apresentou B/C de 1,25%, ou seja, substituindo a fonte de energia convencional por energia solar fotovoltaica torna o custo benefício de sua utilização maior do que se continuasse a utilizar a energia tradicional. O índice de rentabilidade que calcula o desempenho do projeto em relação aos investimentos apontou que a implantação do sistema é lucrativa, representando 17,13%, ou seja, um retorno maior do que uma aplicação financeira utilizada como parâmetro na TMA (poupança).

Verificou-se também que a partir do quinto ano após a implantação do sistema solar este estará totalmente pago, sendo que nos próximos 20 anos o consumidor poderá continuar compensando suas despesas com energia elétrica sem custos pagando somente a taxa mínima

exigida pela disponibilidade da rede (R\$ 52,00), esta taxa cobrada para uma instalação trifásica. Para efeito de análise sobre o total do investimento do sistema fotovoltaico, optou-se por fazer uma simulação com três cenários diferentes, sendo o primeiro aquisição com capital próprio, o segundo com financiamento de 100% para o mesmo período de pagamento do sistema (*PAYBACK*), e um terceiro cenário com financiamento para o prazo de 25 anos (vida útil do sistema). Os resultados das simulações estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 - Simulação financeira do sistema fotovoltaicos (classe alta)

Estrutura de capital (Anos)	Valor do investimento	Taxa de juros financiamento*	Valor total financiamento	Parcela em R\$ (anual)	Parcela em R\$ (mensal)
Capital próprio (5)	R\$ 63.452,48	-	-	R\$ 12.690,50	R\$ 1.057,54
Financiamento (5)	R\$ 63.452,48	11,5 % a.a.	R\$ 82.653,00	R\$ 16.530,60	R\$ 1.377,55
Financiamento (25)	R\$ 63.452,48	11,5 % a.a.	R\$ 185.676,00	R\$ 7.427,04	R\$ 618,92

* Refere-se à utilização como taxa de juros a SELIC.

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

A partir dos dados, considerada a aquisição do sistema com capital próprio e para efeito de análise dividir o investimento em parcelas fixas mensais, e o mesmo período do *payback*, ou seja, 5 anos (60 meses), o valor mensal pago com capital próprio seria de R\$ 1.057,54, que, mesmo somado à taxa mínima de R\$ 52,00 ao mês (pela disponibilidade da rede), ainda gera-se um excedente de R\$ 11,66 ao mês, em relação à fatura de energia elétrica tradicional de R\$ 1.121,20 (Tabela 4), gerando um valor de R\$ 699,60 ao final dos 60 meses considerados. Levando-se em conta os 20 anos restantes, o valor total gerado de renda excedente seria de R\$ 257.307,60 sem correção.

Considerando o valor financiado em 100% para o sistema fotovoltaico, e com um período de pagamento para 5 anos (60 meses), o valor da parcela mensal a ser paga pelo sistema seria de R\$ 1.377,55, pagando uma diferença mensal de R\$ 308,35 a mais (referente a diferença da parcela paga pelo sistema e o valor da conta tradicional de energia já considerando o valor da taxa mínima), gerando um gasto excedente de R\$ 18.501,00 ao final dos 60 meses. Mas, se considerado o período de 25 anos, há um valor excedente gerado de R\$ 238.107,00 sem correção. Quanto ao financiamento do sistema para o período de 25 anos (300 meses), o valor da parcela mensal a ser paga é de R\$ 618,92. Considerando a fatura de energia elétrica de R\$ 1.121,20 e a taxa mínima de R\$ 52,00, a diferença entre o valor do financiamento e a fatura de energia seria de R\$ 450,28 mensais, propiciando uma economia anual de R\$ 5.403,36, e de R\$ 135.084,00 sem correção, se levado em conta o período total do projeto (25 anos).

4.1.2 Análise econômica para domicílios classe média – bairro Jardim Botânico

Para domicílios da classe média, o consumo diagnosticado foi de 7.733 kWh. Para atender a essa demanda domiciliar total o investimento é de R\$ 30.362,28. Para analisar os indicadores financeiros, a Tabela 11 apresenta o fluxo de caixa para a instalação do sistema fotovoltaico nessa categoria de domicílios.

Tabela 11 - Fluxo de caixa - bairro Jardim Botânico

Classe média- salário mensal R\$ 4.400,01*				
Ano	Investimento	FL. CX Simples	FL.CX. Descontado	Payback Descontado
0	-30.362,28			-30.362,28
1		1.337,24	1.198,92	-29.163,36
2		1.597,02	1.283,73	-27.879,64
3		1.872,23	1.349,29	-26.530,35
4		2.163,80	1.398,11	-25.132,24
5		2.472,68	1.432,43	-23.699,80
6		2.799,91	1.454,22	-22.245,58
7		3.146,57	1.465,23	-20.780,35
8		3.513,83	1.467,00	-19.313,34
9		3.902,91	1.460,90	-17.852,44

10	4.315,09	1.448,11	-16.404,33
11	4.751,76	1.429,71	-14.974,61
12	5.214,37	1.406,62	-13.567,99
13	5.704,45	1.379,66	-12.188,34
14	6.223,65	1.349,53	-10.838,80
15	6.773,68	1.316,88	-9.521,93
16	7.356,39	1.282,23	-8.239,70
17	7.973,71	1.246,07	-6.993,63
18	8.627,70	1.208,81	-5.784,82
19	9.320,54	1.170,81	-4.614,01
20	10.054,53	1.132,37	-3.481,64
21	10.832,13	1.093,76	-2.387,88
22	11.655,91	1.055,20	-1.332,68
23	12.528,62	1.016,89	-315,79
24	13.453,17	978,99	663,20
25	14.432,64	941,63	1.604,82

*Renda domiciliar proposta.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

Conforme observado na Tabela 11 o cálculo do *payback* descontado considerou a TMA de 11,5% (Selic), sendo necessários 24 anos para a recuperação total do investimento de R\$ 30.362,28, usufruindo apenas um ano sem pagamento em relação ao sistema fotovoltaico, porém, arcando com uma taxa mínima do sistema de energia tradicional no valor de aproximadamente R\$ 38,00 (custo de disponibilidade para uma instalação bifásica). A Tabela 12 apresenta os cálculos do VPL, VPLA, TIR, B/C e IR.

Tabela 12 - Análise de viabilidade para a classe média	
Bairro Jardim Botânico de 2 a 10 salários mínimos	
Investimento inicial	-30.362,28
TMA	11,5%
VPL	R\$ 1.604,82
VPLA	R\$ 198,07
TIR	12%
B/C	1,25%
IR	5,34

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

Em relação ao valor presente líquido para o período, esse foi de R\$ 1.604,82 e o anualizado de R\$ 198,07. A taxa interna de retorno (TIR) apresentou-se acima da taxa mínima de atratividade, demonstrando que o investimento rende cerca de 12%, estando muito próximo a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Embora os indicadores econômicos VPL e a TIR tenham se apresentado positivo o tempo de retorno (*payback*) é muito longo, e a TIR está muito próxima a TMA, tornando o investimento pouco atrativo e inviável economicamente.

A análise de custo benefício foi de 1,25% indicando que o sistema fotovoltaico para essa renda domiciliar se apresenta viável do ponto de vista do bem-estar social, visto que o custo benefício da energia solar é maior em relação a fonte tradicional. Em relação ao índice de rentabilidade, este foi de 5,34% indicando que o investimento está abaixo da taxa mínima de atratividade de 11,5%. Este indicativo, embora demonstre viabilidade econômica contribui para que o adquirente tenha um retorno abaixo do esperado pela TMA. Para o caso da renda familiar classe média optou-se por fazer uma simulação com três cenários diferentes, sendo o primeiro aquisição com capital próprio, o segundo com financiamento de 100%, ambos simulados para o período de 24 anos (período de pagamento do sistema – *payback*), e um terceiro cenário com financiamento de 100% para o prazo de 25 anos (vida útil do sistema). A Tabela 13 apresenta esses cenários.

Tabela 13 - Simulação financeira do sistema fotovoltaico (classe média)

Estrutura de capital (Anos)	Valor do investimento	Taxa de juros financiamento*	Valor total financiamento	Parcela em R\$ (anual)	Parcela em R\$ (mensal)
Capital próprio (24)	R\$ 30.362,48	-	-	R\$ 1.265,10	R\$ 105,43
Financiamento (24)	R\$ 30.362,48	10,25 % a.a.	R\$ 67.709,34	R\$ 3.582,94	R\$ 298,58
Financiamento (25)	R\$ 30.362,48	10,25 % a.a.	R\$ 88.848,00	R\$ 3.553,92	R\$ 296,16

* Refere-se à utilização como taxa de juros a SELIC.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

Para efeito de comparação considerou-se o valor da fatura de energia elétrica para essa classe domiciliar de R\$ 504,00 (Tabela 5) e uma taxa mínima mensal de R\$ 38,00 (disponibilidade da rede). Considerando-se que o sistema seria adquirido através de capital próprio, a parcela mensal do sistema seria de R\$ 105,43, acrescida a taxa mínima de R\$ 38,00, soma-se um montante mensal de R\$ 143,43, que comparado ao valor da fatura de energia tradicional de R\$ 504,00, geraria uma diferença mensal de R\$ 360,57, ou uma renda adicional de R\$ 103.844,16 ao final dos 288 meses considerados (24 anos). Levando-se em conta os 25 anos, o valor total gerado de renda excedente seria de R\$ 109.436,16 sem correção.

Considerando que o sistema fotovoltaico seria financiado em 100%, com período de pagamento (*payback*) no 24º ano (288 meses), o valor da parcela a ser paga mensalmente pelo sistema seria de R\$ 298,58, acrescida a taxa mínima de R\$ 38,00, soma-se um montante mensal de R\$ 336,58. A diferença para com o valor gasto com energia elétrica (R\$ 504,00), geraria mensalmente uma renda adicional de R\$ 167,42, representando ao final do período de *payback* um montante de R\$ 48.216,96, e de R\$ 53.808,96 (valores sem correção) ao final dos 25 anos.

Em se tratando de financiamento para 25 anos, o valor da parcela do financiamento seria mensalmente de R\$ 296,16, que acrescida pela taxa mínima de R\$ 38,00, soma um montante mensal de R\$ 334,16. Deduzindo do valor mensal da fatura de energia (R\$ 504,00) teríamos uma diferença de R\$ 169,84 (mensal), onde, no final de 25 anos ter-se-ia um valor de R\$ 50.952,00 (sem correção) como renda adicional.

4.1.3 Análise econômica para domicílios classe baixa – bairro Boa Esperança

Para esta classe domiciliar de renda considerou-se um consumo médio anual de 2.350 kWh. Para atender a essa demanda por energia elétrica foi necessário um investimento de R\$ 13.202,28. A Tabela 14 apresenta o fluxo de caixa para essa categoria de domicílio.

Tabela 14 - Fluxo de caixa - bairro Jardim Boa Esperança

Classe baixa - salário mensal – R\$ 1.100,00*				
Ano	Investimento	FL. CX. Simples	FL.CX. Descontado	<i>Payback</i> Descontado
0	-13.150,28			-13.150,28
1		-404,15	-362,34	-13.512,62
2		-979,34	-787,22	-14.299,85
3		-292,72	-210,96	-14.510,81
4		-232,00	-149,90	-14.660,71
5		-167,66	-97,13	-14.757,84
6		-99,51	-51,68	-14.809,52
7		-27,31	-12,72	-14.822,24
8		49,18	20,53	-14.801,71
9		130,22	48,74	-14.752,97
10		216,06	72,51	-14.680,46
11		307,01	92,37	-14.588,08
12		403,36	108,81	-14.479,27
13		505,43	122,24	-14.357,03
14		613,57	133,05	-14.223,99
15		728,12	141,55	-14.082,43
16		849,49	148,07	-13.934,36
17		978,06	152,84	-13.781,52
18		1.114,27	156,12	-13.625,40

19	1.258,57	158,10	-13.467,31
20	1.411,44	158,96	-13.308,35
21	1.573,39	158,87	-13.149,47
22	1.744,97	157,97	-12.991,50
23	1.926,73	156,38	-12.835,12
24	2.119,29	154,22	-12.680,90
25	2.323,29	151,58	-12.529,32

*Renda domiciliar proposta.

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

Com base nos resultados obtidos na Tabela 14, foram realizados os cálculos do VPL, VPLA, TIR, B/C e IR, conforme apresentado na Tabela 15. As informações destacadas nesta tabela demonstram que embora considerada como baixa renda, o *payback* para esse sistema não se paga no tempo destacado pela análise, porém, refazendo as análises pode ser verificado que o sistema para esse nível de renda só obteria retorno a partir do 27º ano após a sua instalação.

Com base nos resultados do fluxo de caixa e indicadores financeiros, destaca-se que a implantação do sistema solar fotovoltaico para a renda domiciliar classificada como baixa não é viável economicamente para o período analisado, pois apresentou um VPL de R\$ -12.529,32 e VPLA de R\$ -1.546,39 além da TIR, embora positiva a 1% apresentou-se muito abaixo da TMA, presumindo-se que o investimento é inviável economicamente para esse nível de renda. Em relação ao custo-benefício, o indicador mostrou que mesmo o investimento sendo considerado inviável seu B/C é positivo, indicando que o impacto econômico líquido do projeto é rentável do ponto de vista do bem-estar social obtido através da soma de seus custos e benefícios, descontados ao longo do tempo.

Tabela 15 - Análise de viabilidade para a classe baixa

Bairro Boa Esperança até ½ a 2 salários mínimos	
Investimento inicial	-13.150,28
TMA	11,5%
VPL	R\$ -12.529,32
VPLA	R\$ -1.546,39
TIR	1%
B/C	1,24%
IR	1,22%

Fonte: Elaborada pelos autores (2018)

O índice de rentabilidade embora tenha se apresentado positivo a 1,22%, este indicador mostrou estar muito abaixo do retorno esperado pelo investimento de 11,5% (TMA), reforçando mais uma vez a inviabilidade do projeto. Assim como nos casos anteriores, para o caso da renda domiciliar caracterizada como baixa, e, considerando o total do investimento do sistema fotovoltaico como financiável, simulou-se três cenários, sendo o primeiro, aquisição com capital próprio, o segundo com financiamento de 100%, ambos os cenários para o horizonte de 25 anos (vida útil do sistema), e por fim um terceiro cenário com financiamento de 100% em 27 anos, período em que ocorreria o *payback* do sistema fotovoltaico e apresentar-se-ia como positivo, demonstrando assim, viabilidade econômica. A Tabela 16 contempla as simulações realizadas.

Tabela 16 - Simulação financeira do sistema fotovoltaico (classe baixa)

Estrutura de capital (Anos)	Valor do investimento	Taxa de juros financiamento	Valor total financiamento	Parcela em R\$ (anual)	Parcela em R\$ (mensal)
Capital próprio (25)	R\$ 13.150,28	-	-	R\$ 526,01	R\$ 43,83
Financiamento (25)	R\$ 13.150,28	10,25 % a.a.	R\$ 36.916,88	R\$ 1.476,68	R\$ 128,27
Financiamento (27)	R\$ 13.150,28	10,25 % a.a.	R\$ 40.368,17	R\$ 1.441,72	R\$ 126,53

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Conforme observado, a aquisição do equipamento com capital próprio geraria uma parcela mensal de R\$ 43,83, que acrescida pela taxa mínima de R\$ 20,52 (custo de disponibilidade para uma instalação monofásica ou bifásica a dois condutores), resultaria num montante mensal de R\$ 64,35, se comparado ao valor pago com a fatura mensal de energia elétrica de R\$ 141,24 (Tabela 6), este geraria um excedente de R\$ 76,89 ao mês e de R\$ 23.067,00 ao final dos 25 anos. A aquisição por meio de financiamento em 25 anos geraria uma parcela mensal no valor de R\$ 128,27, que acrescida pela taxa mínima de R\$ 20,52, comprometeria 13,53% da renda domiciliar para o período. Embora o fluxo de caixa não tenha demonstrado um período de *payback* para o investimento, é possível verificar através da simulação financeira que para um período de 27 anos (período de *payback*) as unidades domiciliares com a renda classificada como baixa poderiam financiar o sistema fotovoltaico tendo como parcelas mensais o valor de R\$ 126,53, parcelas estas, que somadas à taxa mínima de R\$ 20,52, comprometeriam 13,34% sua renda domiciliar, percentual considerado elevado para essa classe domiciliar.

Embora o valor da parcela mensal de ambos financiamentos tenha ficado abaixo do valor da fatura de energia elétrica tradicional, esses valores quando somados a taxa mínima de R\$ 20,52, superam o valor da fatura mensal de energia elétrica, demonstrando que para essa classe de renda domiciliar fazer o investimento com o sistema fotovoltaico é inviável.

A apresentação e análise de viabilidade econômica para os três diferentes tipos de renda domiciliar torna-se importante por dois motivos: o primeiro, por destacar qual seria o tipo de unidade domiciliar, de acordo com a sua classificação de renda a apresentar viabilidade econômica para a implantação desse tipo de sistema fotovoltaico, e segundo, para demonstrar a geração de renda adicional a partir da diferença entre o custo da parcela do sistema financiado e o valor da fatura de energia elétrica.

4.2 Resultados da Análise de Regressão

Após a demonstração da viabilidade econômica da aquisição por parte das famílias de baixa, média e alta renda de um sistema de energia fotovoltaico, buscou-se estimar um modelo de regressão linear utilizando variáveis despesas com energia elétrica, quantidade de cômodos, o tipo de material predominante nas paredes dos domicílios, tipo de cobertura, quantidade de moradores, e, renda total do domicílio, todas extraídas da POF-IBGE (2008-2009), analisando se uma possível alteração na renda das famílias impactaria no consumo de energia elétrica tradicional.

Neste sentido, a partir de um possível aumento no consumo de energia elétrica, conforme o nível de renda familiar e das características das residências, haveria uma propensão maior por parte de algumas famílias em aderir a um sistema de energia fotovoltaica em detrimento do sistema tradicional, sendo, portanto, passível de análise.

Para verificar a relação entre as variáveis foi utilizado como estimador o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), com intuito de estimar os coeficientes da regressão. Assim, as variáveis selecionadas para verificar tal relação são demonstradas na Tabela 17.

Tabela 17 - A Estimação da Regressão entre despesas com energia elétrica e as variáveis de controle para o Estado de Mato Grosso no período entre 2008/2009

Despesa com energia elétrica (Y)	MQO	
	Coefficiente	P> t
Quantidade de cômodos	0,3937	0.000***
Quantidade de moradores no domicílio	0,2081	0.000***
Renda Total do domicílio	0,4034	0.000***
Material das paredes dos domicílios	-0,1946	0.000***
Material da cobertura dos domicílios	-0,0519	0.181 ^{N/S}
Constante	0,1923	0.172 ^{N/S}
F	186.50	0.000
R ²	0,3091	-

Significância dos coeficientes: ***1%; **5%; *10%; NS – Não Significante Estatisticamente

Fonte: Elaborado pelos autores com base no banco de micro dados da POF 2008-2009 – IBGE (2011)

Os resultados demonstram que, em sua maioria, as variáveis apresentam-se significantes a 1%, com ressalva apenas para a variável material da cobertura dos domicílios. Demonstra-se que o coeficiente de determinação R^2 explica 0,3091% a relação entre as variáveis analisadas, indicando o ajustamento das variáveis em relação a reta de regressão. Este valor, embora considerado baixo não interfere na significância da maioria das variáveis. O teste F indicou a rejeição da hipótese nula de não significância conjunta das variáveis com um Intervalo de Confiança (IC) de 99%.

Em relação à variável material da cobertura dos domicílios, esta não apresentou significância estatística ao explicar a despesa com energia elétrica, porém, considerando a variável material predominante nas paredes, esta apresentou significância a 1% indicando uma relação inversa, ou seja, um aumento de 1% nos materiais reduz em 0,1946% a despesa com energia elétrica. Para a variável quantidade de cômodos a relação é positiva significando que o aumento de um cômodo impacta 0,3937% a despesa com energia elétrica.

Em relação à variável quantidade de moradores, a relação é positiva indicando que ao se aumentar um morador no domicílio a despesa com energia elétrica aumenta em 0,2081%. Além disso, os resultados demonstram ainda que a cada aumento na renda total a despesa com energia aumenta em 0,4034%, ou seja, dispondo de uma renda maior as pessoas sentem-se mais aptas a gastar. A Tabela 18 apresenta a autocorrelação entre as variáveis.

Tabela 18 - Autocorrelação entre as variáveis

	Despesa	Paredes	Cômodos	Moradores	Cobertura	Despesa
Despesa	1					
Paredes	-0.1719 (0.0000)	1				
Cômodos	0.3734 (0.0000)	-0.1692 (0.0000)	1			
Moradores	0.2477 (0.0000)	0.0202 (0.3195)	0.2466 (0.0000)	1		
Cobertura	-0.0370 (0.0909)	0.0950 (0.000)	-0.0874 (0.0000)	0.0056 (0.7840)	1	
Renda	0.5141 (0.0000)	-0.2185 (0.0000)	0.4529 (0.0000)	0.2281 (0.0000)	-0.0214 (0.2933)	1

Fonte: Elaborada pelos autores com base no banco de micro dados da POF 2008-2009 – IBGE (2011)

Na autocorreção foi utilizado o teste denominado *pvcorr* e os resultados gerados pelo *Software Stata*® demonstram que três variáveis explicativas (Moradores/Paredes, Cobertura/Moradores e Renda/Cobertura) não apresentam correlações significativas. Na sequência, foram realizados teste para verificaa a existência de homocedasticidade e heterocedasticidade, ambos evidenciados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultado do teste de Breusch-Pagan

Teste Breusch-Pagan/ Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
H0:constant variance
Variables: fitted values of ln despesa com energia elétrica
Chi2(1) = 15.11
Prob > chi2 = 0.0001

Fonte: Elaborada pelos autores com base no banco de micro dados da POF 2008-2009 – IBGE (2011)

Utilizando-se do teste de *Breush-Pagan* foi possível detectar se os resíduos se apresentam homocedástico ou heterocedástico, ou seja, se a variância do erro se comporta de forma constante. O teste indicou que os resíduos são heterocedástico, pois a hipótese nula foi rejeitada (existência de homocedasticidade nos resíduos). Segundo Fávero *et al.* (2014) tal situação acontece quando o valor da probabilidade se mostra próximo de zero. Outra forma de

identificar a existência de homocedasticidade e heterocedasticidade dá-se através do teste de *White*, cujos resultados estão dispostos na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados do teste de White

Source	Chi2	Df	P
Heterocedasticidade	64.64	27	0.0001
Assimetria	37.12	6	0.0000
Curtose	24.92	1	0.0000
Total	126.68	34	0.0000

Fonte: Elaborada pelos autores com base no banco de micro dados da POF 2008-2009 – IBGE (2011)

Este teste possui as mesmas premissas do teste de *Breusch-Pagan*, sendo que a hipótese nula indica que os resíduos são homocedástico e a hipótese alternativa indica que os resíduos são heterocedástico. Como o resultado do teste indicou que os resíduos são heterocedástico, rejeita-se a hipótese nula da existência de homocedasticidade dos resíduos, pois estes apresentam um valor significativo de *p* para heterocedasticidade, conformando o teste de *Breusch Pagan*, demonstrando haver heterocedasticidade dos resíduos.

De acordo com Fávero *et al.* (2014) além dos testes realizados busca-se também testar na regressão linear múltipla a existência de multicolinearidade com os dados, isto é, se as variáveis explicativas possuem fortes correlações entre si. Com esse intuito de verificar se modelo possui multicolinearidade utilizou-se o teste de Fator de Inflação da Variância (VIF) (Tabela 21).

Tabela 21 - Resultado do teste para multicolinearidade (VIF).

Variáveis	VIF	1/VIF
Quantidade de cômodos	1.39	0.720207
Quantidade de moradores no domicílio	1.10	0.907975
Renda Total do domicílio	1.35	0.741043
Material das paredes dos domicílios	1.05	0.9079
Material da cobertura dos domicílios	1.02	0.984961
Média VIF	1.17	

Fonte: Elaborada pelos autores com base no banco de micro dados da POF 2008-2009 – IBGE (2011)

Segundo Gujarati e Porter (2011), em sua estimação, quando o teste VIF apresenta valores acima de 10, isso é um indicativo de multicolinearidade, o que demonstraria que as correlações entre as variáveis analisadas são fracas. Neste caso, detectou-se a ausência de multicolinearidade, pois todas as variáveis retornaram valores inferiores.

5 Considerações Finais

Este estudo analisou a viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica como uma alternativa para a redução dos custos com energia elétrica, para famílias de classe alta, média e baixa no município de Sinop/MT. Considerando a viabilidade econômica para a implantação do sistema fotovoltaico para famílias com renda domiciliar classificada como alta, a projeção do estudo para um prazo de 25 anos demonstrou ser viável economicamente a partir do 5 ano, indicando um VPL de R\$ 176.577,31. O retorno do investimento se dará no ano de 2021 onde a TIR apresentou-se elevada (32%) superior a TMA utilizada no projeto, essa de 11,5% a.a.

A simulação financeira realizada para a classe alta, demonstrou que a implantação do sistema fotovoltaico é um bom investimento, pois haveria uma redução dos custos e a geração de renda adicional. Para o investimento realizado com capital próprio, a implantação do sistema fotovoltaico geraria um excedente na renda domiciliar de R\$ 257.307,60 ao final do período considerado. Para a condição de financiamento total do sistema, ao final dos 5 anos haverá um gasto excedente de R\$ 18.501,00, mas considerando o período de 25 anos, o resultado é uma renda gerada de R\$ 238.107,00. Por fim, se financiado para 25 anos, o excedente gerado seria da ordem de R\$ 135.084,00.

Em relação à classe média, os resultados obtidos através da viabilidade econômica mostram que o projeto de implantação do sistema não é atrativo, indicando um VPL de 1.604,82 e uma TIR de 12% superior a TMA utilizada no projeto, e um tempo de retorno (*payback*) de 24 anos, considerado um período longo, embora esteja dentro da projeção de vida útil do sistema que é de 25 anos. Nas simulações, a aquisição do sistema com recursos próprios distribuídos pelo período de 24 anos (*payback*), geraria uma renda excedente de R\$ 109.436,16 ao final dos 25 anos. Com a aquisição por meio de financiamento de 100% com pagamento em 24 anos, esse excedente seria de R\$ 53.808,96. E, numa terceira opção, o financiamento em 25 anos, o resultado seria uma renda adicional de R\$ 50.952,00. Os resultados para ambos os financiamentos indicam que o valor da parcela mensal do sistema é menor do que a despesa mensal com energia elétrica.

Quanto a análise financeira realizada para a classe baixa, a mesma não se mostrou viável no período analisado, onde apresentou um VPL negativo de R\$ - 12.529,32 e uma TIR de 1% muito abaixo da TMA, concluindo que o projeto não é economicamente viável. Das simulações com os três cenários propostos, apenas o cenário aquisição com capital próprio se mostrou vantajoso, gerando uma renda adicional de R\$ 23.067,00 ao final da vida útil do projeto. Nos cenários de financiamento, o valor da parcela somada a taxa mínima, soma um montante mensal que ultrapassa o valor da fatura de energia elétrica tradicional. Além disso, mesmo no cenário de financiamento em 27 anos (período de *payback*), que apresenta a menor parcela (R\$ 126,53), estas, quando somadas à taxa mínima de R\$ 20,52, comprometeriam 13,34% da renda domiciliar, percentual considerado elevado para essa classe de renda.

Os resultados obtidos através do estudo de viabilidade econômico-financeira revelaram que a implantação de um sistema solar fotovoltaico como alternativa para a redução de custos para o período em estudo só é viável economicamente para famílias de classe alta, tornando-se inviável para as classes média e baixa, embora tenha apresentado parcelas mensais inferiores à fatura de energia elétrica para o caso da classe média.

Em relação a análise de regressão linear, os resultados a partir das variáveis utilizadas demonstraram haver nível de significância a 1%, com ressalva apenas para a variável material da cobertura dos domicílios. Demonstra-se que o coeficiente de determinação R^2 explica 0,3091% a relação entre as variáveis analisadas, indicando o ajustamento das variáveis em relação a reta de regressão. Este valor, embora considerado baixo não interfere na significância da maioria das variáveis. O teste F indicou a rejeição da hipótese nula de não significância conjunta das variáveis com um Intervalo de Confiança (IC) de 99%.

Dentre todos os testes realizados a partir do modelo de regressão, o teste de *Breusch-Pagan* indicou que os resíduos são heterocedásticos, sendo a hipótese nula rejeitada. Outra forma de identificar a existência de homocedasticidade e heterocedasticidade dá-se através do teste de *White*. Embora possua as mesmas premissas do teste de *Breusch-Pagan*, o teste confirmou que os resíduos são heterocedástico, rejeitando assim a hipótese nula da existência de homocedasticidade dos resíduos, pois estes apresentam um valor significativo de p para heterocedasticidade.

Um último teste realizado, ou seja, o de multicolineariedade demonstrou através do teste VIF que a estimação apresenta valores abaixo de 10, sendo um indicativo de multicolinearidade, o que demonstraria que as correlações entre as variáveis analisadas são fracas.

Em síntese, com a análise de regressão linear múltipla, foi possível verificar a relação entre variáveis escolhidas e observar o comportamento das mesmas para o período analisado. A variável renda total domiciliar obteve uma relação maior sobre a despesa com energia elétrica, indicando que quanto maior for a renda domiciliar, maior o consumo e consequentemente maior a despesa com energia elétrica, o que implica nas pessoas estarem mais propensas a investir em um sistema fotovoltaico de energia.

Por fim, evidenciou-se que o estudo obteve êxito no atendimento do objetivo proposto, cujas evidências possibilitaram avaliar que, apesar de ser uma fonte de energia complementar sustentável que diversifica a matriz energética brasileira, a falta de incentivos governamentais, subsídios e programas de incentivos a energia renovável, dificulta a entrada desta fonte que é extremamente abundante no país. Apesar de suas inúmeras vantagens, seu custo inicial continua elevado não sendo acessível a todas as classes sociais, fazendo com que poucos consumidores possam instalar um sistema em seu domicílio. No entanto esta tecnologia é cada vez mais promissora, pois enquanto a tarifa de energia tende a aumentar ao longo dos anos encarecendo os custos com energia elétrica tradicional, a energia solar fotovoltaica tende a ser mais barata como reflexo da curva de aprendizagem e dos ganhos de escala.

Em se tratando das limitações, pode-se dizer que qualquer pesquisa científica é reducionista ao fazer a escolha por uma abordagem, toda escolha delimita um arcabouço teórico, o qual, por sua vez, é um limitador da compreensão do fenômeno, cuja realidade é mais complexa do que os conceitos possam dimensionar. Nesse sentido, esta pesquisa não é o ponto final deste estudo, e sim, representa o início para pesquisas futuras que devem surgir a partir dessa de modo a complementá-la e suprimir suas limitações. Isso posto, sugere-se a replicação deste estudo em outras localidades, como forma de complementar, validar ou não os resultados aqui encontrados.

Referências

ADVFN. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (INPC)**. Brasil, 2017. Disponível em: <<http://br.advfn.com/indicadores/ipca>>. Acesso em: 09 Jun. 2017.

AHMED, M.; AZAM, M. Causal nexus between energy consumption and economic growth for high, middle and low income countries using frequency domain analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 653–678, 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Consumo. In: _____. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. cap. 2, p. 37-48.

_____. Chamada nº 013, de 2011. **Projeto estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais Para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”**. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2011-ChamadaPE13-2011.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2017.

_____. **Resolução Normativa nº 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. Brasil, 2012.

_____. **Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasil, 2015.

_____. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas**. 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/proinfa>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G. **Curso de Administração Financeira**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balança Energético Nacional - BEN 2003: Ano Base 2002. Brasília, 2003. Disponível em: < http://www.agg.ufba.br/ben2003/BEN2003_port.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2017.

BRAUN-GRABOLLE, P. **A Integração de Sistemas Solares Fotovoltaicos em Larga Escala no Sistema Elétrico de Distribuição Urbana**. 2010. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BORAN, F. E.; BORAN, K.; MENLIK, T. The Evaluation of Renewable Energy Technologies for

Electricity Generation in Turkey Using Intuitionistic Fuzzy TOPSIS. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v. 7, n. 1, p. 81–90, 2012.

CASTRO, R. D.; JANNUZZI, G. M.; DRUMOND JUNIOR, P. A Importância das Políticas Públicas na Difusão de Fontes Renováveis de Energia. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIAS INTELIGENTES, 3.; 2016, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Projeto Smart Energy Paraná, 2016. p. 134-140.

CRESESB. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Potencial Solar – SunData v 3.0**. Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis : buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 70–81, 2015.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

_____. **Leilão de Energia de Reserva de 2014 Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral**. Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-94/NT_EPE-DEE-NT-150_2014.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2017.

_____. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano Base 2016**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2017.

_____. **Balanco Energético Nacional 2018: Ano Base 2017**. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2017.

_____. EPE publica infográfico sobre o Valor Anual de Referência Específico – VREs. Rio de Janeiro, 2018b. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-infografico-sobre-o-valor-anual-de-referencia-especifico-vres>>. Acesso em: 05 dez. 2017.

_____. Tabela 3.62 Consumo médio residencial por subsistema, região e UF (kWh/mês). In: _____. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018: ano base 2017**, Rio de Janeiro: EPE, 2018c. Tabela 3.62.

_____. **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050**. Rio de Janeiro, EPE, 2018d. (Série Estudos de Longo Prazo).

FÁVERO, L. P. et al. **Métodos quantitativos com stata: procedimentos, rotinas e análise de resultados**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

FRANCISCO, E. **Indicadores de renda baseados em consumo de energia elétrica: abordagens domiciliar e regional na perspectiva da estatística espacial**. 2010. 381 p. Tese de Doutorado em Administração de Empresas, Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2010.

FREZATTI, F. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e Meio Ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 7–20, 2007.

GUERRA, J. B. S. O. DE A. et al. Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: Supply and demand and mitigation forecasts. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p. 197–210, 2015.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2011.

HOSENUZZAMAN, M. et al. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 284–297, 2015.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Domicílios Particulares Permanentes, por Classes de Rendimento Nominal Mensal Domiciliar**: Tabela 3268. Brasil, 2010. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3268#resultado>>. Acesso em: 01 jan. 2017.

_____. **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil**. Brasil, 2011. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=250063>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

_____. **Síntese de indicadores sociais**: Uma análise das condições de vida da população brasileira: 2016. Rio de Janeiro, 2016. (Série Estudos e Pesquisas. Informação demográfica e socioeconômica, n. 36).

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Key World Energy Statistics 2014**. Paris: OECD Publishing, 2014. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/energy/key-world-energy-statistics-2014_key_energ_stat-2014-en>. Acesso em: 06 fev. 2018.

KABAK, M.; DAĞDEVIREN, M. Prioritization of renewable energy sources for Turkey by using a hybrid MCDM methodology. **Energy Conversion and Management**, v. 79, p. 25–33, 2014.

KEMERICH, P. DA C. et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 20, n. 1, p. 241–247, 2016.

MATTOS, C. N. R. et al. A relação entre custo e benefício da implementação de energia solar em uma casa de pequeno porte. In: ENCONTRO REGIONAL DE ESTUDANTES DE MATEMÁTICA DO SUL, 20.; 2014, Bagé. **Anais...** Bagé: Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), 2014. ISSN 2177-9139.

MEDEIROS, L. A. DE; VILLALVA, M. G.; SIQUEIRA, T. G. DE. Technical and economic feasibility analysis for solar photovoltaic generation plants. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELETRICOS (SBSE), 7.; 2018, Niteroi, **Anais...** Niteroi: IEEE, 2018.

MENEGUZZO, F. et al. The great solar boom: a global perspective into the far reaching impact of an unexpected energy revolution. **Energy Science & Engineering**, v. 3, n. 6, p. 499–509, nov. 2015.

NAKABAYASHI, R. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, 2014.

NADIMI, R.; TOKIMATSU, K. Energy use analysis in the presence of quality of life, poverty, health, and carbon dioxide emissions. **Energy**, v. 153, p. 671–684, 2018a.

NADIMI, R.; TOKIMATSU, K. Modeling of quality of life in terms of energy and electricity consumption. **Applied Energy**, v. 212, p. 1282–1294, 2018b.

NETO, A. B. F.; CORRÊA, W. L. R.; PEROBELLI, F. S. Consumo de energia e crescimento econômico: Uma análise do Brasil no período 1970-2009. **Análise Econômica**, v. 34, n. 65, p. 181–203, 2016.

PASTEN, C.; SANTAMARINA, J. C. Energy and quality of life. **Energy Policy**, v. 49, p. 468–476, 2012.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre:

Penso, 2013.

TESKE, S. et al. **Revolução Energética:** a caminho do desenvolvimento limpo. São Paulo: Greenpeace, 2010. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/archive-brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF>>. Acesso em: 21 maio 2018.

WWF – BRASIL. World Wide Fund for Nature. **Além das Grandes Hidrelétricas:** políticas para fontes renováveis de energia elétrica. Brasília, 2012.

WWF – BRASIL. World Wide Fund for Nature. **Relatório Mecanismos Para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira:** modelos e sugestões para uma transição acelerada. 2 ed. Brasília, 2015.