

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM RESIDÊNCIAS NA CIDADE DE MOSSORÓ/RN

Patrick Klysman Costa Santiago¹, Jéssica Danielle de Carvalho Nunes²

Resumo: O uso de painéis fotovoltaicos tem se tornado uma tendência quando se trata de produção própria de energia elétrica. Em países como a China, Alemanha e Estados Unidos, a presença da energia solar é uma realidade visível e crescente. No Brasil ainda é modesta a utilização desta forma de geração de energia, mas seu crescimento nos últimos anos mostra que este se trata de um mercado promissor. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade econômico-financeira da instalação de três sistemas fotovoltaicos residenciais de geração distribuída na cidade de Mossoró/RN. Para a elaboração deste artigo, o método de pesquisa teve uma abordagem quali-quantitativa, e para atingir o objetivo proposto, utilizou-se das seguintes ferramentas para análise econômica básica: *Payback* descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Para os padrões de consumo de 250 kWh, 450 kWh e 650 kWh das três residências em questão, com a instalação dos sistemas, os indicadores financeiros mostraram-se positivos, assim o período do retorno do valor investido variou de 7 anos e 6 meses a 11 anos e três meses e o lucro estimado obtido em 25 anos de vida útil dos sistemas de R\$ 7.052,91 até R\$ 29.030,44 reais em custos com energia. Os resultados indicam que já é economicamente viável investir na instalação desses sistemas e, além disso, possíveis acréscimos nas tarifas de energia e de impostos que podem ser agregados ao longo dos anos e que provocam um aumento no valor da conta de luz, podem tornar este tipo de investimento ainda mais vantajoso, além de se tratar de uma alternativa energética ambientalmente mais limpa.

Palavras-chave: Viabilidade econômico-financeira. Energia Fotovoltaica.

1. INTRODUÇÃO

Muito têm se discutido acerca da necessidade do uso de novas fontes de energias renováveis, dentre elas a energia solar, um dos recursos excelentes para este fim devido a sua fonte inesgotável, o sol. Assim, a quantidade de publicações em revistas sobre a energia solar aumentou nos últimos anos, ampliando a investigação sobre o tema [1].

A energia dos raios solares pode ser captada e aproveitada através de duas tecnologias: térmica e fotovoltaica. A tecnologia fotovoltaica tem um grande potencial para produzir energia elétrica através de painéis solares e, em consequência disto, houve um crescimento excepcional do seu mercado mundial nos últimos anos [2,3].

Considerando o cenário brasileiro, é possível encontrar vantagens no uso da energia solar, sendo uma das principais a alta taxa de intensidade de luz solar incidente em grande parte de seu território, com índices de irradiação superiores ao de países líderes no setor fotovoltaico, como a Alemanha, mas com potencial ainda pouco explorado [4].

Apesar da discreta atuação da energia solar no Brasil, a criação da Resolução Normativa nº 482/2012 - ANEEL foi um passo importante para viabilizar a introdução de fontes renováveis de energia elétrica em residências, incluindo a solar fotovoltaica. Esta resolução estabelece, entre outras providências, o acesso de sistemas de geração distribuída à rede de distribuição e o sistema de compensação de energia elétrica. Neste contexto, houve um aumento da quantidade de sistemas micro ou minigeração em 440% no ano de 2016, com perspectivas de crescimento exponencial nos anos subsequentes [5].

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo responder o seguinte questionamento: é economicamente viável a implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em residências com padrão de consumo de energia elétrica de 250 kWh, 450 kWh e 650 kWh, localizadas na cidade de Mossoró/RN? Para tanto, será realizado um levantamento bibliográfico e estudo dessas três situações que contemplarão a análise simples de indicadores financeiros envolvidos na instalação dos sistemas fotovoltaicos, são eles: *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Além da corrente introdução, o artigo está estruturado a partir de uma seção dedicada ao embasamento teórico dos temas abordados, em seguida, explicita o método de pesquisa adotado no estudo. Posteriormente, são

expostos os resultados e as discussões sobre a viabilidade econômico-financeira da implantação dos sistemas de energia fotovoltaica, e por fim, têm-se as considerações finais a respeito do tema e sugestões para aplicações sustentáveis e rentáveis desta fonte de energia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção expõe a revisão da literatura sobre o assunto pesquisado, com o objetivo de proporcionar sua melhor compreensão. São abordados os temas referentes à energia solar fotovoltaica, energia solar no mundo e no Brasil, definição e tipos de sistemas fotovoltaicos, regulamentação brasileira sobre a mini e microgeração de energia, e por fim são apresentadas as ferramentas básicas usadas para análise econômico-financeira, que são o Payback descontado, o Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

2.1. Energia Solar Fotovoltaica: Conceito geral e importância

O crescimento da população mundial e sua demanda de energia associada tem provocado cada vez mais a necessidade do aperfeiçoamento e implantação de novas fontes de energia sustentáveis, uma vez que o uso dos tradicionais combustíveis fósseis podem causar muitos prejuízos ao meio ambiente [6].

Neste contexto, dentre as fontes renováveis, a energia solar é considerada como a mais auspiciosa, e o aproveitamento da energia gerada pelo sol, fonte inesgotável na escala de tempo terrestre, atualmente é uma das opções mais promissoras para fornecer a energia necessária ao desenvolvimento humano [7,8].

Assim, por serem consideradas fontes sustentáveis capazes de reduzir o uso de combustíveis fósseis, os sistemas fotovoltaicos tem atraído cada vez mais atenção nos últimos anos. Essa fonte de energia renovável é capaz de converter a radiação solar em energia elétrica [9].

Desta forma, a utilização da energia proveniente do sol tem as seguintes vantagens e benefícios: usa a radiação solar, fonte de energia inesgotável e abundante em países tropicais; não polui e contribui para a redução da dependência de combustíveis poluentes; as centrais de produção de energia necessitam de pouca manutenção; a disponibilidade da irradiação solar é gratuita e aproveitável em regiões remotas sem acesso à distribuição de energia elétrica; proporciona diminuição dos custos do consumidor com faturas de energia; possibilita redução de perdas e sobrecarga do sistema elétrico de geração, transmissão e distribuição e aumento da segurança da rede; os sistemas podem ser instalados em áreas existentes e próximas ao consumidor, como nas coberturas ou fachadas de edificações, sem necessidade de gerar expropriações e impactos de ocupação de novas áreas [10,11].

Algumas desvantagens podem ser citadas, como: alto custo de investimento dos sistemas; necessidade de tecnologia avançada para produção das células fotovoltaicas; rendimento dos painéis e consequentemente produção de energia variável e dependente de vários fatores como índice de radiação local, temperatura e quantidade de nuvens. Com relação à sustentabilidade, a energia fotovoltaica, como toda tecnologia desenvolvida, é capaz de causar algum impacto ao meio ambiente durante a fase de fabricação dos seus componentes. No entanto, essas desvantagens são consideradas pequenas comparadas às vantagens proporcionadas durante o uso do sistema [12,13].

2.1.1. Energia Fotovoltaica no mundo e no Brasil

Muitos países tem se preocupado em atender às suas demandas energéticas considerando as fontes renováveis de energia, uma vez que o consumo de combustíveis fósseis esgotáveis como o petróleo e o carvão, fontes de energia entre as principais de muitos países, é responsável por severas consequências ambientais, como as mudanças climáticas e o efeito estufa [14].

Nesse contexto mundial, o mercado da energia solar vem apresentando um crescimento relevante nos últimos anos. Em 2016 houve um aumento da potência mundial instalada de cerca de 75GW, 150% comparado ao de 2015 que alcançou 50 GW e maior do que toda a capacidade instalada mundial de 2011 de aproximadamente 70 GW [15], conforme a Figura 1:

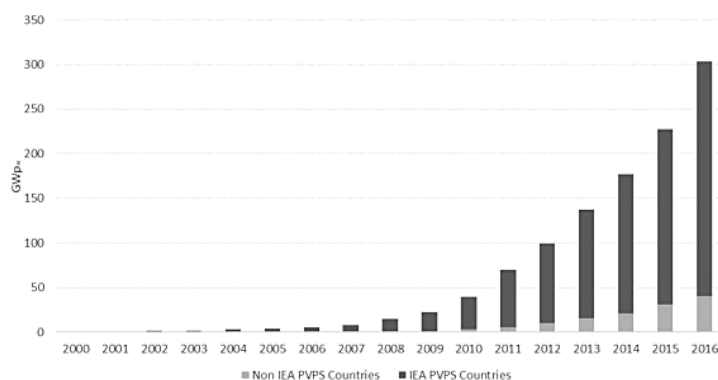


Figura 1. Evolução da Potência Instalada de Energia Fotovoltaica [15].

Os países que apresentaram maiores crescimentos em 2016 foram: China (34,5 GW), Estados Unidos (14,7 GW), e Japão (8,6 GW). Assim, o mercado asiático torna-se líder, contendo países como Índia, Coreia e Tailândia. Na Europa, houve uma desaceleração do mercado, tendo o Reino Unido sido principal nos últimos anos e a Alemanha apresentado um desempenho estável. Nas Américas, destacam-se o Chile, Canadá e México [15].

Em termos de capacidade total, a China tornou-se líder mundial com capacidade de 78 GW, seguida do Japão (42,8 GW), Alemanha (41,2 GW), Estados Unidos (40,3 GW) e Itália (19,3 GW). Dessa forma, capacidade global instalada em 2016 transpôs ao menos a grandeza de 300 GW, com parcelas de 114 GW do mercado asiático, 103 GW europeu e o restante tanto de países participantes do Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica (IEA PVPS) ou não participantes (Paquistão e maioria africanos ou latino-americanos). Esses valores definidos pelo IEA consideram a capacidade estimada total, ou seja, tanto as instalações conectadas à rede quanto as usinas autônomas [15].

O crescimento do mercado de energia fotovoltaica ocorreu principalmente devido a redução dos custos de componentes do sistema de energia solar, consequentes dos avanços tecnológicos. Estima-se que essa tendência continue a ocorrer, combinada ao aumento da concorrência nos mercados e ações de interesse político. Um evento capaz de acelerar o uso da Energia Fotovoltaica, é a entrada em vigor do Acordo de Paris em 4 de novembro de 2016, que objetiva, com a contribuição de cada país, manter o aumento da temperatura média global pelo menos abaixo de 2°C durante as próximas décadas [16].

No cenário brasileiro, a energia fotovoltaica ainda se apresenta incipiente, muito abaixo dos valores internacionais. Entretanto, houve crescimento significativo nos últimos anos. Os valores de capacidade fotovoltaica brasileira total instalada nos finais dos anos de 2015 e 2016 eram de 21 MW e 81 MW, respectivamente, alcançando a marca de 1.097 MW em 2017, um aumento anual significativo [17-19].

Um dos fatores que afetam a eficiência das células solares e consequentemente sua capacidade de produção de eletricidade é a irradiação. Desse ponto de vista, o Brasil sai em vantagem, pois a geração de energia fotovoltaica tem um grande potencial no país. Por exemplo, no lugar que recebe menos radiação do Brasil, é possível gerar mais eletricidade do que no local mais ensolarado da Alemanha, um dos líderes em produção de energia solar. Assim, a média anual do total diário da irradiação global no território brasileiro apresenta medidas entre 3,5 e 6,25 kWh/m².dia, e a maioria das regiões tem insolação superior e variabilidade muito inferior ao de países como Japão, China e europeus onde a energia solar mais se desenvolve. A região Nordeste apresenta o maior valor médio diário de irradiação de 5,49 kWh/m² com a menor variabilidade do país. Além disso, na região onde está localizada a cidade de Mossoró/RN, o potencial de geração fotovoltaica é de aproximadamente 1750 kWh/kWp.ano, ou 145 kWh/kWp.mês [13,20].

Outro fator importante para o cenário brasileiro é a diversificação da matriz energética. A predominância das hidroelétricas no sistema nacional pode comprometer a oferta de energia em certos momentos, uma vez que as estas estão sujeitas os fatores climáticos. Em períodos de estiagem, se faz necessário acionar as usinas termelétricas para atender demandas de residências, comércios, instituições e indústrias. Esse fato tem como consequências a queima de combustíveis fósseis e o aumento das tarifas de energia no país. Assim, torna-se evidente a importância da participação de fontes alternativas de energia em complemento ao sistema elétrico e a energia fotovoltaica apresenta-se como opção válida, podendo ser usada na forma centralizada em usinas, ou através dos pequenos e médios sistemas de geração distribuída instalados em edificações para produção do seu consumo próprio [20].

2.1.2. Sistemas Fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico é composto por um conjunto de elementos configurados para aplicações variadas, sendo estes os principais: painel de módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga, e baterias, além de estrutura de suporte, cabos, entre outros [21].

Estes elementos possuem as seguintes funções [22]:

- a) Painel Fotovoltaico: compostos por módulos fotovoltaicos, é a parte do sistema que recebe a irradiação solar. Os módulos são formados por células fotovoltaicas associadas, componentes fundamentais que realizam o efeito fotovoltaico, ou seja, convertem a energia solar diretamente em energia elétrica na forma de corrente contínua (CC). Esse fenômeno decorre da movimentação dos elétrons de alguns materiais na presença da luz solar (ou outras formas de energia), sendo um deles o silício que é a base da indústria de células fotovoltaicas devido a sua eficiência, confiabilidade e abundância [23];
- b) Inversor: É o elemento responsável por transformar a energia elétrica produzida pelo painel ou armazenada nas baterias na forma de Corrente Contínua (CC) para Corrente Alternada (CA), forma comercial utilizada pela maioria dos equipamentos eletrônicos;
- c) Banco de Baterias: utilizadas em sistemas autônomos, servem para armazenar a energia produzida que não é consumida de imediato, possibilitando o seu aproveitamento posterior quando não houver produção, por exemplo, à noite;
- d) Controlador de carga: utilizado em sistemas isolados, este elemento é responsável pelo controle do potencial de corrente elétrica entre o painel, as baterias e a carga, sendo responsáveis por evitar danos às

baterias como sobrecargas ou descargas excessivas. São necessários, pois a capacidade de armazenamento das baterias é limitada e a produção de energia dos painéis é variável de acordo com a irradiação solar.

Existem basicamente três tipos de sistemas fotovoltaicos [8,22,24]:

- a) Sistemas Autônomos ou Isolados: Este tipo de sistema geralmente é composto por painel fotovoltaico, inversor, controlador de carga e baterias. Alguns casos podem desprezar o uso de baterias como, por exemplo, em sistemas de bombeamento de água para irrigação durante o dia. Os sistemas autônomos são geralmente utilizados em locais remotos onde não há rede de distribuição de energia para conexão;
- b) Sistemas Híbridos: São sistemas que possuem mais de uma fonte de energia, como: módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas, geração a diesel, entre outras, associados a inversores, controladores e baterias. Estes sistemas são normalmente de médio a grande porte e usados em regiões onde as formas de produção de energia são presentes e complementares, por exemplo, áreas ensolaradas de dia e ventiladas à noite. Por utilizar mais de uma forma de energia, o sistema pode se tornar complexo, precisando da elaboração de um bom projeto e posterior controle para que cada uma delas atue com eficiência;
- c) Sistemas Conectados à Rede: São sistemas compostos basicamente pelo painel fotovoltaico ligado ao inversor, que é conectado diretamente à rede elétrica de distribuição, dispensando, desta forma, o uso de baterias. Assim, toda energia produzida pelo sistema é transferida diretamente à rede elétrica. Esses sistemas podem ser classificados em centralizados ou distribuídos:
 - Os sistemas de geração centralizada funcionam na forma de usina geradora, utilizando um grande número de painéis e necessitando de grandes áreas de instalação e linhas de transmissão e distribuição até o consumidor final;
 - Os sistemas de geração distribuída são geralmente usinas de pequeno porte instaladas junto ao ponto de consumo e a energia elétrica, no momento em que é produzida, é conduzida para o quadro de energia da edificação, podendo ser usada diretamente pelos aparelhos elétrico-eletrônicos da unidade consumidora ou injetada na rede elétrica. Em momentos que o sistema não estiver gerando energia, como por exemplo, à noite, a unidade recebe energia elétrica da rede pública. Por este motivo, um elemento importante deste sistema é o medidor, que é responsável por registrar a quantidade de energia fornecida à rede e a quantidade dela consumida pela unidade. Este tipo de geração é o alvo do presente estudo.

2.2. Regulamentação sobre a Geração Distribuída no Brasil

Desde o início desta década, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL tem se empenhado no desenvolvimento das normas sobre a geração distribuída de pequeno porte no Brasil. Por meio de Consultas e Audiências Públicas, e discussões com entidades competentes como o Ministério de Minas e Energia, Ministérios da Fazenda e do Planejamento, Orçamento e Gestão, e com o Congresso Nacional, a ANEEL conquistou avanços legislativos importantes a respeito [25].

Uma ação fundamental foi a elaboração no ano de 2012 da Resolução Normativa - REN nº 482/2012 – Aneel, criada para estabelecer as condições gerais para o acesso da micro e da minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica [26]. Além disso, essa resolução instaurou o Sistema de Compensação de energia, um elemento essencial para viabilizar a geração de energia pelo próprio consumidor a partir de fontes renováveis.

Observando os efeitos da REN nº 482/2012 após a sua instauração, a ANEEL promulgou em 2015 a Resolução Normativa - REN nº 687/2015 – Aneel [27], com o objetivo de aprimorar a resolução anterior e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST [28], visando as seguintes questões: aumento do público alvo; redução de custos e do tempo para a conexão da micro e minigeração; compatibilização do Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento (Resolução Normativa - REN nº 414/2010); melhorias na apresentação das informações nas faturas de energia.

Os pontos principais da legislação brasileira sobre geração distribuída estão descritos nos subtópicos a seguir.

2.2.1. Classificação dos sistemas quanto à sua capacidade de geração

Os sistemas instalados nas unidades consumidoras conectadas na rede de distribuição podem ser classificados em duas categorias [26]:

- a) Micro Geração distribuída: São as centrais geradoras de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW que utilizem fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conforme as regras da ANEEL;
- b) Mini Geração distribuída: São as centrais geradoras de energia elétrica, com potência instalada maior do que 75 kW e menor ou igual a 5 MW que utilizem fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conforme as regras da ANEEL. Para fontes hídricas o limite superior é de 3 MW.

2.2.2. Sistema de Compensação de Energia Elétrica

As centrais de geração distribuída conectadas à rede não utilizam bateria para armazenamento e uso de eletricidade em momentos que não há produção, como por exemplo, à noite. Desta forma, o sistema de compensação, estabelecido pela regulamentação da ANEEL, torna-se determinante para a viabilização da energia fotovoltaica, uma vez que a unidade consumidora utiliza a rede pública como forma de armazenamento e disponibilidade, através da troca de quantidades de energia [22,26]. Alguns pontos principais deste sistema são:

- a) os sistemas fotovoltaicos instalados nas unidades consumidoras são capazes de gerar quantidades de energia elétrica superiores ao consumido no momento de geração, por exemplo, quando não há uso de energia. Assim, a eletricidade gerada é encaminhada à rede de distribuição, sendo denominada excedente de energia ou diferença positiva entre a energia injetada e a consumida;
- b) em momentos que a produção seja nula ou insuficiente, a unidade recebe eletricidade da rede pública;
- c) essa dinâmica ocorre durante todo o ciclo de faturamento mensal, e por este motivo é indispensável a instalação pela distribuidora seja do medidor bidirecional ou dois unidirecionais com sentidos opostos para medir as quantidades de energia injetada e consumida;
- d) ao final do ciclo de faturamento, é contabilizada essa diferença. Caso seja positiva, o consumidor adquire créditos em quantidade de energia para ser abatida na fatura subsequente se a energia consumida for superior à injetada, ou aproveitada em até 60 meses;
- e) nesse contexto, o Sistema de Compensação é responsável por viabilizar a geração distribuída, uma vez que a energia excedente não é desperdiçada, mas injetada na rede pública e ofertada na forma de empréstimo em energia para a distribuidora, sendo recuperada de forma gratuita pela unidade, seja de imediato durante o ciclo de faturamento ou em forma de créditos para os meses seguintes;
- f) um detalhe importante é que como os créditos são estabelecidos em medidas de energia e não em reais, suas quantidades estão isentas às variações das tarifas de energia elétrica.

Sobre a cobrança efetuada pela distribuidora, a normatização estabelece que [26]:

- a) o faturamento presente deve considerar a toda quantidade de energia consumida subtraída toda quantidade injetada e ocasionalmente algum crédito de energia obtido em ciclos de faturamentos anteriores;
- b) mesmo que em um ciclo de faturamento a energia injetada seja superior à consumida, um valor mínimo deve ser cobrado. Este valor é denominado custo de disponibilidade e corresponde em reais ao valor referente de 30 kWh, 50 kWh ou 100kWh, para unidades de consumo do grupo B (baixa tensão) com padrões de entrada monofásico, bifásico e trifásico respectivamente. Para unidades do grupo A (alta tensão), o valor corresponde ao da demanda contratada;
- c) a cobrança da taxa mínima também ocorre se, após o uso de créditos anteriores, o valor do consumo total seja inferior a quantidade de energia do custo de disponibilidade cobrado aos consumidores do grupo B;
- d) em síntese, de qualquer maneira o consumidor deverá pagar o valor da taxa mínima. Portanto, o uso dos créditos de energia só valerá à pena e deverá ser efetuado se o débito em energia corrente for maior do que a quantidade de energia referente à taxa mínima aplicada [25];
- e) desta forma, ainda é realizada a cobrança tanto das bandeiras tarifárias quanto da taxa de iluminação pública, que incidem sobre o consumo mínimo presente na fatura.

2.2.3. Impostos

Após as interações da ANEEL nos últimos anos com os órgãos responsáveis pela regulamentação de tributos, a situação atual dos impostos que incidem sobre o consumo de energia elétrica nas faturas mensais sujeitas ao sistema de compensação é descrita a seguir [25]:

- a) ICMS: após a publicação do Convênio ICMS 16, de 22/04/2015, pelo o Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ, os Estados foram autorizados incidir o ICMS apenas sobre a diferença entre energia consumida e injetada. Atualmente, somente os estados do Amazonas, Paraná e Santa Catarina ainda não aderiram ao convenio, mantendo como base de cálculo do imposto toda a energia consumida pela unidade [29];
- b) PIS/COFINS: com a publicação da Lei nº 13.169/2015, de 06/10/2015, os tributos federais PIS e COFINS passaram a incidir somente sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a energia injetada em todos os Estados.

Dessa forma, atualmente na maioria dos estados, inclusive no Rio Grande do Norte, é realizada a incidência dos impostos sobre a diferença positiva entre energia consumida e injetada, ou sobre a quantidade referente ao custo de disponibilidade, caso a diferença seja inferior a este [25,29].

2.2.4. Outros avanços

Além das melhorias citadas anteriormente, a legislação também abrange outros tópicos sobre o acesso micro e minigeração distribuída à rede de distribuição tais como [25]:

- a) o estabelecimento de prazos e responsabilidades do consumidor e da distribuidora, bem como as etapas de solicitação, contratação, parecer de acesso, instalação da central de geração, referentes ao processo necessário para o funcionamento do sistema. Cabe ressaltar que geralmente as empresas de instalação de

energia fotovoltaica também oferecem o serviço de regularização da unidade e toda parte burocrática, competindo ao consumidor apenas acompanhar o procedimento;

- b) apresentação da alternativa de o consumidor aproveitar o sistema de compensação para utilizar os créditos adquiridos em sua unidade em outras unidades de consumo localizadas na mesma área de concessão. Para isso, elas devem ser cadastradas e podem ser classificadas como geração compartilhada, autoconsumo remoto ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios). Para estes casos o faturamento também é diferenciado e especificado pela normatização.

Como consequência das ações regulamentadoras e do interesse dos consumidores, houve um crescimento do número de sistemas micro ou minigeração de 1.768 para 7784 no ano de 2016 e em abril de 2018 este número era de 25.248 usinas, das quais 19.462 residenciais, em sua maioria sistemas fotovoltaicos. Assim, há uma perspectiva de aumento da participação da energia residencial solar no país, com a expectativa de mais de meio milhão de sistemas fotovoltaicos residenciais até 2024 [5,30].

2.3. Ferramentas básicas para análise econômico-financeira

Os investimentos são operações financeiras que consistem basicamente em fluxos de caixa de aplicações e recebimentos, e a avaliação desses fluxos de investimento se baseia na comparação dos valores das saídas e entradas de caixa, calculados em termos de valores presentes segundo o regime de juros compostos. Nesse contexto, para análise de investimentos, devem ser utilizados essencialmente parâmetros que considerem o valor do dinheiro no tempo [31].

Para estudos de viabilidade econômico-financeira, podem ser usadas diferentes técnicas e indicadores. Nesta pesquisa, foram analisados índices amplamente empregados em estudos financeiros que são: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback*, referentes à investimentos de logo prazo em sistemas de energia solar fotovoltaica [32].

2.3.1. Valor Presente Líquido (VPL)

O método do valor presente líquido (VPL) é uma das ferramentas geralmente usadas para analisar a viabilidade econômico-financeira das alternativas de investimentos e tem como finalidade medir o valor presente dos fluxos de caixa gerados por uma opção financeira ao longo de sua vida útil [33].

O VPL é uma técnica que consiste simplesmente em calcular o valor presente de cada pagamento de uma série com valores iguais ou diferentes, efetuar a soma destes valores e subtrair o valor do fluxo inicial. No caso de investimentos, seu fluxo de caixa possui um valor presente líquido (VPL) igual à soma no período focal zero dos recebimentos futuros e do valor aplicado para a realização do investimento. Entretanto, não basta simplesmente efetuar uma somatória simples, é necessário que as futuras parcelas de rendimentos sejam calculadas a valor presente, ou seja, são abatidas a uma determinada taxa de desconto e somadas entre si e com o valor investido, que tem sinal negativo por representar uma saída de caixa [34,35].

O VPL é definido pela Equação 1 [33]:

Equação 1 - Expressão do VPL

$$VPL = -I + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} = -I + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Na Equação 1, I é o investimento inicial (com sinal negativo), o FC_j representa o fluxo de caixa (rendimentos) no j -ésimo período, i é a taxa de juros (ou taxa mínima de retorno do projeto de investimentos), cada quociente representa o valor presente do referido fluxo, e o símbolo somatório indica que deve ser realizada a soma do período 1 até o período n dos fluxos de caixa descontados ao período inicial zero [33].

A importância do VPL, é que este indicador serve para decidir se um empreendimento é economicamente viável a partir da verificação de um valor de VPL maior do que zero, ou seja, que tenha um valor positivo, indicando um retorno com excedente em relação ao mínimo requerido e que o projeto se trata de uma alternativa que gera mais valor do que seu custo. Assim, quanto maior for a capacidade de um projeto de investimento em gerar fluxos de renda econômica, maior é o valor do VPL [33].

A interpretação do VPL difundida consiste da seguinte forma: considerando uma determinada opção de investimento, o investidor primeiro estima o valor das receitas que este investimento irá lhe proporcionar durante um período de tempo, em seguida fixa uma taxa mínima de retorno desejada e com base nesta calcula o valor presente dessas receitas esperadas para logo após efetuar o somatório do custo do investimento com o valor atual de cada receita. Se esse cálculo resultar em um valor positivo, isso indica que o investimento vale a pena, e a taxa de retorno efetiva é maior do que a taxa fixada (esperada), mas se resultar em um valor negativo, o investimento não deverá ser feito, pois a taxa de retorno é inferior à taxa mínima fixada [34].

2.3.2. Taxa Interna de Retorno (TIR)

O método do VPL tem como intuito conhecer a rentabilidade absoluta de uma aplicação a determinado custo do capital. Enquanto isso, o método da taxa interna de retorno (TIR) tem como objetivo identificar a taxa de rendimento particular do investimento [33].

Para a análise da TIR fazer sentido, é necessário comparar o seu valor calculado com o de outro índice: a taxa mínima de atratividade ou TMA. Esta taxa também equivale à taxa mínima esperada ou taxa de desconto usada no cálculo do VPL. A TMA depende de fatores como o custo de oportunidade em comparação a outros investimentos, além do risco do investimento e de sua liquidez. No caso de pessoas físicas, a TMA pode corresponder às taxas de aplicações no mercado financeiro [35].

O cálculo da TIR é dado a partir da Equação 1, considerando o VPL igual a zero e a taxa i igual a TIR [33]. Dessa forma, tem-se na Equação 2 a representação da TIR:

$$\text{Equação 2 - Expressão da TIR}$$
$$I = \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (2)$$

Na Equação 2, I é o investimento inicial e o FC_j representa o fluxo de caixa (rendimentos) no j -enésimo período. Assim, de forma algébrica, a TIR é a taxa simulada que anula o VPL na Equação 1 ou a taxa simulada que equaliza o valor de um investimento no momento zero com os valores presentes dos rendimentos por ele gerados na Equação 2.

A interpretação da TIR consiste da seguinte forma: o investidor estima o valor das receitas a serem geradas pelo investimento, assume o valor do VPL igual a zero, isola o valor inicial do investimento após a igualdade, iguala este valor ao somatório dos quocientes que representam os valores presentes dos rendimentos e, por fim, encontra o valor da incógnita TIR. Se esse cálculo resultar em um valor de taxa de retorno efetiva maior do que o custo de oportunidade do capital ou taxa mínima requerida, isso indica que sua rentabilidade é superior à mínima desejada e o investimento vale a pena, mas se resultar em uma TIR inferior à taxa requerida, o investimento neste projeto não deverá ser feito [34].

A TMA, o VPL e a TIR de um projeto estão intimamente relacionados. Admitindo-se uma taxa de desconto (TMA) igual a zero, os rendimentos periódicos não sofrem descontos, e o VPL é igual à simples soma do valor investido (negativo) com estes benefícios. Elevando-se a taxa de desconto, o VPL diminui, portanto, o VPL decresce quanto maior a taxa de desconto considerada [31]. Essa dinâmica é ilustrada na Figura 2:

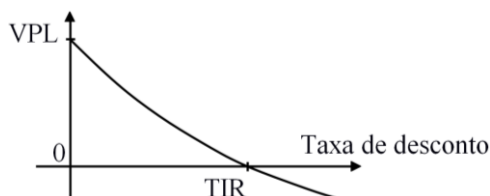


Figura 2. VPL versus Taxa de desconto ([33], adaptado).

O ponto no qual a curva toca o eixo da taxa de desconto indica o valor da TIR. A curva acima do eixo das abscissas no intervalo antes do valor da TIR indica que até este ponto, o investimento tem um VPL positivo e vale à pena e após o ponto, o VPL é negativo e o projeto não é viável [33].

2.3.3. Payback

O *Payback* é por definição um indicador do tempo de recuperação de um investimento, medido do período zero quando o investimento é aplicado até o momento em que a soma dos rendimentos recebidos superam esse fluxo negativo inicial. Após o período de *Payback* em que o investimento se paga, o projeto possibilitará ganhos financeiros ao investidor [35].

Existem dois tipos de *Payback*, o simples e o descontado, e a diferença entre eles é que o *Payback* descontado leva em consideração o valor do dinheiro no tempo para o seu cálculo, ou seja, nesta modalidade os rendimentos são trazidos a valor presente sofrendo uma dedução de acordo com a taxa de desconto (TMA) periódica, enquanto o *Payback* simples não leva em conta nenhum desconto, considerando o valor inteiro dos rendimentos para o cálculo do tempo de reintegração do capital. Por este motivo, o *Payback* descontado fornece uma expectativa mais realista de recuperação do investimento, enquanto o *Payback* simples apresenta um valor simplesmente aparente e bem inferior ao do *Payback* descontado [36].

O período de *Payback* descontado pode ser determinado a partir da Equação 1, na qual i é substituído pela TMA, que é a taxa de desconto ou custo do capital. Assim, de forma algébrica, determinar o *Payback* descontado consiste em encontrar o valor de n na Equação 3 [33]:

Equação 3 – Cálculo do *Payback* Descontado

$$I = \frac{FC_1}{(1+TMA)^1} + \frac{FC_2}{(1+TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TMA)^n} \quad (3)$$

Para o cálculo do *Payback* descontado, geralmente são empregadas tabelas que relacionam em cada linha os seguintes elementos: período do investimento, fluxo de caixa e saldo do investimento. Assim, é possível identificar o tempo de *payback* na tabela como o período em que o saldo passa de negativo para positivo. Geralmente, percebe-se que o período exato de *payback* descontado encontra-se entre dois períodos, e para determiná-lo, pode ser utilizada a interpolação linear. Por fim, o *Payback* é um indicador complementar que não deve ser considerado sozinho, mas sim associado a outros indicadores para a tomada de decisão de um investimento [35].

3. METODOLOGIA

A pesquisa a qual se refere este artigo caracteriza-se, em relação à natureza, como aplicada, pois visa a ampliação de conhecimento com vistas à aplicação prática em uma situação específica, em que são aplicados métodos de análise financeira a fim de se obter resultados para tomada de decisão em aceitar ou rejeitar o projeto. Quanto à abordagem, é qualitativa e quantitativa. Dispõe-se o aspecto qualitativo em relação à análise dos dados da viabilidade da implantação de painéis em residências. Tem-se o aspecto quantitativo por apresentar dados mensuráveis através das equações utilizadas no texto. No que concerne aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como exploratória por proporcionar maior familiaridade com o tema abordado a partir de informações coletadas através do levantamento bibliográfico e ampliação do conhecimento decorrente de diálogos com profissionais de empresas de instalação de painéis solares que atuam na cidade de Mossoró-RN. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o estudo é caracterizado como pesquisa bibliográfica por ter sido elaborado estudos preliminares acerca dos assuntos embasados na pesquisa a partir de material já publicado em artigos, livros, dissertações e material disponibilizado na internet e, além disso, é denotado como estudo de caso por base na revisão literária, na opinião e nos dados obtidos junto às empresas, desta forma foi possível conhecer detalhadamente o objeto de estudo, bem como a aplicação de técnicas para análise da viabilidade do projeto [37].

O estudo foi realizado no período de dezembro de 2017 a abril de 2018 na cidade de Mossoró-RN e consistiu em três etapas. Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os temas referentes à energia solar fotovoltaica, energia solar no mundo e no Brasil, definição e tipos de sistemas fotovoltaicos, regulamentação brasileira sobre a mini e microgeração fotovoltaica e ferramentas básicas utilizadas para análise econômico-financeira. A partir destas definições, seguiu-se para a coleta de dados em faturas da concessionária de energia elétrica sobre tarifas aplicadas, bem como junto a empresas locais sobre os valores para instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica em residências na cidade de Mossoró, como também foram obtidas estimativas de custos dos sistemas a partir de simulações realizadas em sites especializados sobre energia solar. Por fim, foram aplicados métodos de análise básica de viabilidade econômico-financeira para a tomada de decisão de se investir ou não no projeto utilizando as ferramentas: *Payback* descontado, o VPL e a TIR.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização do estudo financeiro, inicialmente foi considerada uma residência unifamiliar habitada por cinco pessoas e composta pelos seguintes espaços: sala, cozinha, três quartos, três banheiros, área de serviço e garagem. Assim, foram observadas faturas de energia elétrica da empresa responsável pela distribuição de energia no estado do Rio Grande do Norte desta residência (Grupo B1 Residencial – Monofásico) em um período de 12 meses (1 ano), que foram tomadas como base para os cálculos de tarifas, bandeiras e taxas de iluminação pública. Dessa forma, os valores obtidos para o consumo médio mensal de energia elétrica em kWh e do custo médio mensal desse consumo no período de janeiro a dezembro de 2017 estão listados na Tabela 1:

Tabela 1 - Consumo mensal em kWh e custo com energia elétrica de uma residência (dados da pesquisa)

Mês	Consumo (kWh)	Valor kWh com imposto (R\$)	Custo ativo mensal (R\$)	Bandeiras Amarela e Vermelha (R\$)	Contribuição Iluminação Pública (R\$)	Custo total mensal (R\$)
jan/17	510	0,6124	312,35	0,00	24,81	337,16
fev/17	457	0,6124	279,89	0,00	22,23	302,12
mar/17	415	0,6117	253,86	1,93	20,34	276,13
abr/17	397	0,5713	226,80	12,44	19,81	259,04
mai/17	421	0,5344	224,97	19,01	19,45	263,43
jun/17	434	0,6444	279,65	16,81	23,08	319,54
jul/17	419	0,6315	264,60	2,10	21,19	287,89

ago/17	393	0,6242	245,29	12,50	20,72	278,51
set/17	462	0,6365	294,07	19,99	24,75	338,81
out/17	467	0,6262	292,44	15,23	24,65	332,32
nov/17	482	0,6101	294,08	26,02	26,32	346,42
dez/17	503	0,6076	305,65	34,19	28,05	367,89
Média	446,67	0,6102	272,80	13,35	22,95	309,11

Na Tabela 1, é possível observar que o consumo médio mensal de energia elétrica dessa residência é de 446,67 kWh, ou aproximadamente 450 kWh, e o valor médio da conta de energia mensal é de R\$ 309,11. Considerando que ao ser instalado e passar a operar, um sistema fotovoltaico poderia suprir toda a demanda energética da residência, levando a zero o valor do consumo de energia da rede elétrica. No entanto, esse fato não irá zerar a conta de energia, uma vez que ainda será cobrada pela concessionária de energia uma taxa mínima mensal e, por este motivo, não foi considerado como economia o valor médio do custo total mensal de R\$ 309,11.

Dessa forma, as cobranças ocorreriam somente sobre a taxa mínima, sendo descritas conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Custo do consumo mensal mínimo em kWh e economia mensal após instalação do sistema fotovoltaico (dados da pesquisa)

Mês	Valor kWh c/ imp s/ ICMS (R\$)	Custo de Disponibilidade (30kWh/mês)	Bandeiras Amarela e Vermelha (R\$)	Contribuição Iluminação Pública (R\$)	Custo total mensal (R\$)	Economia Energética Mensal (R\$)
jan/17	0,4350	13,05	0,00	1,46	14,51	322,65
fev/17	0,4350	13,05	0,00	1,46	14,51	287,61
mar/17	0,4346	13,04	0,14	1,47	14,65	261,48
abr/17	0,4106	12,32	0,94	1,50	14,75	244,29
mai/17	0,3799	11,40	1,35	1,39	14,13	249,29
jun/17	0,4550	13,65	1,16	1,59	16,40	303,14
jul/17	0,4485	13,46	0,15	1,52	15,12	272,77
ago/17	0,4448	13,34	0,96	1,58	15,89	262,63
set/17	0,4511	13,53	1,30	1,61	16,44	322,37
out/17	0,4459	13,38	0,97	1,58	15,93	316,39
nov/17	0,4377	13,13	1,62	1,64	16,39	330,03
dez/17	0,4364	13,09	2,04	1,67	16,80	351,09
Média	0,4345	13,04	0,89	1,54	15,46	293,64

Conforme a Tabela 2, a taxa mínima é composta pelo custo de disponibilidade (consumo referente a 30kWh), eventuais bandeiras e contribuição de iluminação pública, totalizando um valor médio mensal de R\$ 15,46. A última coluna da Tabela 2 representa a economia ocorrida dada pela diferença entre o custo da conta de energia antes e após a instalação do sistema, tendo um valor médio mensal de R\$ 293,64 e totalizando a quantia de R\$ 3523,68 por ano. Este valor corresponde quanto o consumidor irá deixar de gastar com energia, representando, portanto, o retorno sobre o investimento.

Para análise da viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico, inicialmente aplicou-se uma tabela mostrando o valor investido no projeto e o saldo anual do investimento realizado. Para efeitos de comparação, na referida Tabela 3 são apresentados tanto os fluxos de caixa simples quanto o descontado que ocorrem no período em que o projeto estará em atividade.

Tabela 3 - Saldo do Investimento no período de funcionamento do sistema (dados da pesquisa)

Ano (Período)	Investimento no Projeto - 25 anos (R\$)	Fluxo de caixa Simples (R\$)	Saldo do Investimento com o FCS (R\$)	Fluxo de caixa Descontado (R\$)	Saldo do Investimento com o FCD (R\$)
0	-20990,00	-20990,00		0,00	-20990,00
1		3523,74	-17466,26	3277,90	-17712,10
2		3523,74	-13942,52	3049,21	-14662,90
3		3523,74	-10418,78	2836,47	-11826,43
4		3523,74	-6895,04	2638,58	-9187,85
5		3523,74	-3371,30	2454,49	-6733,36
6		3523,74	152,44	2283,25	-4450,11

7	3523,74	3676,17	2123,95	-2326,16
8	3523,74	7199,91	1975,77	-350,39
9	3523,74	10723,65	1837,92	1487,53
10	3523,74	14247,39	1709,70	3197,23
11	3523,74	17771,13	1590,42	4787,65
12	3523,74	21294,87	1479,46	6267,10
13	3523,74	24818,61	1376,24	7643,34
14	3523,74	28342,35	1280,22	8923,56
15	3523,74	31866,09	1190,90	10114,47
16	3523,74	35389,83	1107,82	11222,29
17	3523,74	38913,57	1030,53	12252,81
18	3523,74	42437,31	958,63	13211,44
19	3523,74	45961,04	891,75	14103,19
20	3523,74	49484,78	829,53	14932,73
21	3523,74	53008,52	771,66	15704,39
22	3523,74	56532,26	717,82	16422,21
23	3523,74	60056,00	667,74	17089,95
24	3523,74	63579,74	621,16	17711,11
25	3523,74	67103,48	577,82	18288,93

O valor médio considerado a partir dos orçamentos apresentados por três empresas de Mossoró e com suporte em estimativas realizadas em sites especializados para este sistema fotovoltaico conectado à rede, com projeto, instalação e homologação na concessionária de energia foi de R\$ 20.990,00, correspondente a um sistema gerador mensal de 490 kWh. Apesar do consumo médio dessa residência ser de 450 kWh, a instalação de um sistema para atender esta demanda não foi considerada por uma peculiaridade: sistemas fotovoltaicos sofrem uma queda no seu rendimento com o passar do tempo, sendo estimada pelos fabricantes em 0,6 % por ano.

Tendo em vista que a companhia de energia irá cobrar a taxa mínima referente a 30 kWh mesmo que o consumo do cliente seja inferior a este valor, considerou-se que a demanda mínima mensal que o sistema deverá atender será igual ao consumo médio mensal subtraído o custo de disponibilidade, neste caso 450 kWh menos 30 kWh, ou seja, 420 kWh. Para facilitar os cálculos e considerando que o consumidor iria pagar somente a taxa mínima durante todo o período de funcionamento do sistema, foi considerada a aquisição de um sistema gerador de 490 kWh para que, mesmo após 25 anos de uso e queda no rendimento, a demanda mínima de 420 kWh seja atendida.

O período de 25 anos do projeto e retorno do investimento será referente a vida útil dos elementos do sistema fotovoltaico estimada pelo fabricante. O fluxo de caixa descontado de cada ano é igual ao Valor Presente do custo anual com energia elétrica após a instalação do sistema. Portanto, para os cálculos, este valor varia de acordo com o período ou ano considerado.

Procedimentos análogos foram realizados para os valores de consumo médio de 250 kWh e 650 kWh, que representam respectivamente o consumo de residências com padrões abaixo e acima desta em estudo. Desse modo, também com base nas faturas de energia elétrica foram calculadas tarifas, bandeiras e taxas de iluminação pública para estes casos, obtendo-se a economia mensal de R\$ 157,31 para a demanda média de 250 kWh e a economia mensal de R\$433,75 para a demanda de 650 kWh. Em seguida, foram estimados preços médios dos seus respectivos sistemas fotovoltaicos, obtendo-se os valores de R\$ 13.990,00 e R\$28.990,00 e, por fim, obtiveram-se os indicadores financeiros para cada investimento.

4.1. Viabilidade econômico-financeira da instalação do sistema de energia fotovoltaica

Neste trabalho, para a análise da viabilidade econômico-financeira da instalação do sistema de energia fotovoltaica, foram utilizadas três principais ferramentas praticadas por profissionais da área de gestão econômica e financeira, que são: o VPL, a TIR e o *payback* descontado. Foi levada em consideração uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) baseada nos ganhos de uma possível aplicação financeira. Como o estudo está baseado em um consumidor residencial, adotou-se uma taxa que seja dentro deste perfil de consumidor, assim, foi aplicada uma taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes, seguras e de baixo risco. Então, foi utilizada a taxa de 7,50% correspondente a um valor médio dos últimos quatorze anos da aplicação em caderneta de poupança [38,39].

Para o caso do consumo médio de 450 kWh, foram aplicadas as Tabelas 1, 2 e 3. Conforme dados da Tabela 3, verifica-se que o *payback* simples do projeto de instalação é dado a partir de 6 anos, contados da data de seu funcionamento. No entanto, esse *payback* não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo. Para uma análise mais realista, se faz necessário observar o Fluxo de Caixa Descontado e, portanto, o Saldo do

Investimento com esse fluxo ao longo dos anos. Dessa forma, tem-se *payback* descontado, que é dado a partir de 8 anos e 3 meses. Este número significa que, a partir da instalação do sistema, o cliente terá a economia na conta de energia, que irá compensar e pagar o valor do sistema em aproximadamente 8 anos e, em seguida, terá saldo positivo do investimento com demais valores do fluxo de caixa sendo de lucro para o investidor ao longo de 17 anos. Além disso, em complemento à análise do *payback* descontado, é necessário verificar outros indicadores como o VPL e a TIR. O cálculo desses elementos para o prazo de 25 anos do projeto dará condições de se tomar a decisão em aceitá-lo ou rejeitá-lo.

Analisando a Tabela 3, percebe-se que, no final dos 25 anos, a implantação do sistema renderá R\$ 18.288,27. Este é o valor do VPL, que representa o valor ganho a mais do que se o investimento inicial tivesse sido deixado somente na poupança durante esses períodos. O VPL também pode ser encontrado por meio da Equação 1, considerando o investimento inicial de R\$20.990,00, o fluxo de caixa mensal simples de R\$ 3.523,68, o período de 25 anos e a TMA de 7,50%. É possível perceber que o valor do VPL de R\$ 18.288,27 é menor do que o saldo do investimento de R\$ 67.102,00 com o fluxo de caixa simples. Isso ocorre porque o fluxo de caixa descontado leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, enquanto o fluxo de caixa simples considera apenas o valor atual. De qualquer forma, o VPL teve seu valor positivo, representando que o projeto é viável do ponto de vista econômico-financeiro.

A próxima etapa da análise levou em consideração o cálculo da Taxa Interna de Retorno, que teve seu valor encontrado pela Equação (2), considerando o investimento inicial de R\$20.990,00, o fluxo de caixa mensal simples de R\$ 3.523,68 e o período de 25 anos. Assim, obteve-se o valor da TIR de 16,41%, que equivale a mais que o dobro da taxa mínima de atratividade do investimento estabelecida de 7,50%, indicando também que o projeto é viável do ponto de vista econômico-financeiro. Portanto, o *payback*, o VPL e a TIR encontrados foram favoráveis, ocasionando a aprovação do projeto em questão.

Por fim, examinando a Tabela 2, pode-se concluir que quanto maior for a tarifa (ou seja, maior custo mensal do cliente com energia da concessionária), mais viável será este sistema fotovoltaico, uma vez que será maior a economia do cliente (maior fluxo de caixa positivo), aumentando o VPL e a TIR, bem como o *payback* será mais rápido.

A partir de metodologia utilizada para o consumo de 450 kWh, também foram obtidos os referidos indicadores financeiros para os casos de consumo médio de 250 kWh e 650 kWh. Na Tabela 4 é apresentado um resumo das ferramentas utilizadas e os valores obtidos para cada caso:

Tabela 4 - Sistemas fotovoltaicos e indicadores financeiros para três padrões de consumo (dados da pesquisa)

	Padrão de consumo residencial		
	250 kWh	450 kWh	650 kWh
Potência do sistema	2,10 kWp	3,7 kWp	5,40 kWp
Preço do sistema	R\$ 13.990,00	R\$ 20.990,00	R\$ 28.990,00
Economia anual	R\$ 1.887,77	R\$ 3.523,68	R\$ 5.205,05
<i>Payback</i> Simples	7 anos e 5 meses	6 anos	5 anos e 7 meses
<i>Payback</i> Descontado	11 anos e 3 meses	8 anos e 3 meses	7 anos e 6 meses
VPL	R\$ 7.052,91	R\$ 18.288,27	R\$ 29.030,44
TIR	12,83%	16,41%	17,65%

Analisando a Tabela 4, observa-se que os indicadores financeiros foram positivos para os três padrões de consumo, indicando a viabilidade da instalação do sistema. Além disso, pode-se concluir que o investimento em energia fotovoltaica torna-se cada vez mais viável conforme o aumento da demanda a ser atendida. Dessa forma, cabe ao investidor identificar o seu padrão de consumo e verificar se os valores dos índices encontrados satisfazem seu interesse para efetuar a tomada de decisão em investir ou não em energia fotovoltaica.

Além da análise da viabilidade econômico-financeira, algumas condições de funcionamento dos sistemas fotovoltaicos devem ser levadas em consideração como, por exemplo, verificação de fatores técnicos antes da instalação tais como: área disponível para fixação do painel e conexão adequada via cabo até a rede local interna e a da concessionária responsável pelo fornecimento; possível sombreamento dos painéis; espaço para instalação do inversor, dentre outros. Neste estudo, considerou-se que os sistemas seriam instalados em residências que se adequariam a todos os requisitos técnicos necessários, evitando reformas ou perdas de eficiência na produção de energia.

Ainda em relação ao sistema fotovoltaico, é estimada uma vida útil para funcionamento do sistema durante todo o horizonte do investimento de 25 anos, entretanto os produtores concedem uma garantia contra defeito de fabricação de 5 a 10 anos para os elementos mais caros do sistema, que são os painéis fotovoltaicos e inversor. Assim, após este período, é possível que algum deles apresente defeito e seja necessário desembolsar certa quantia para efetuar sua troca. Deste modo, este evento pode diminuir a viabilidade do investimento. Destaca-se também que eventuais manutenções no sistema podem ser necessárias, no entanto neste estudo, considerou-se que seu custo não seria significativo, uma vez que se tratam basicamente de limpeza dos painéis.

Vale ressaltar que a produção de energia fotovoltaica diária é variável, dependendo de vários fatores como

tempo, temperatura, incidência solar, etc., e isto afeta diretamente a conta de energia ao fim do mês. Mas para simplificar os cálculos, foi considerado que o sistema dimensionado é capaz de gerar energia suficiente para atender pelo menos a demanda mínima necessária para que o cliente pague somente o custo de disponibilidade. Caso em algum mês o sistema gere quantidade insuficiente, presumiu-se que este déficit seria compensado por eventuais créditos adquiridos em períodos prévios com alta produção de energia.

Outro fator importante é a probabilidade de haverem variações na tarifa de energia em virtude de fatores como a inflação energética. Sabendo que o consumidor irá pagar somente a taxa mínima cobrada, então quanto mais vezes ocorrerem aumentos na conta de energia, maior será sua economia na conta de energia e mais viável torna-se o investimento. Diminuições nas taxas cobradas poderiam diminuir a viabilidade do investimento, no entanto, com base na tendência dos últimos anos, não é provável que isto aconteça.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo verificar e comparar a viabilidade econômico-financeira da instalação de três sistemas fotovoltaicos de geração distribuída na cidade de Mossoró/RN e por meio desta da pesquisa foi possível verificar os benefícios a longo prazo deste investimento. Os sistemas orçados para três padrões de consumo residenciais no município de Mossoró-RN, com valores de 250 kWh, 450 kWh e 650 kWh, apresentaram indicadores de viabilidade econômico-financeira favoráveis à instalação.

Um fator condicionante fundamental considerado para a implantação dos sistemas foi realização de um alto investimento inicial, não sendo estudados os casos para financiamentos ou parcelamentos. Dessa forma, esta aplicação dependerá da disponibilidade do capital do investidor, e este fato geralmente é possível apenas para uma pequena parcela da população, o que torna o investimento impraticável para a maioria dos brasileiros.

Por outro lado, levando em conta possíveis aumentos nas tarifas de energia ao longo dos anos e aumento de impostos, aferiu-se que quanto maior for a tarifa e, consequentemente, o valor da conta de luz, mais viável será a implantação do sistema fotovoltaico, dado que ocorrerá um aumento nos valores do VPL e da TIR e tem-se o *payback* mais rápido para cada tipo de sistema. Vale ressaltar que, com o avanço da tecnologia, a tendência é que o sistema fotovoltaico torne-se mais barato, o que tornaria sua aquisição ainda mais viável.

Afinal, o estudo em questão considerou primordialmente aspectos econômicos do projeto, entretanto, ao se abordar outros elementos e analisar todo o contexto social, a viabilidade do projeto torna-se ainda mais interessante. Quando se fala em desenvolvimento sustentável ou no risco de ocorrer racionamento de energia, esses fatores podem vir a contribuir para uma análise mais abrangente sobre o investimento em placas solares e para uma nova avaliação do risco energético do atual cenário brasileiro.

6. REFERÊNCIAS

- [1] SAMPAIO, P.G.V.; GONZÁLEZ, M.O.A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 590-601, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117303076>>. Acesso em: 01 mar. 2018.
- [2] COSTA, R. N. A. **Viabilidades térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/handle/123456789/15527>>. Acesso em: 01 mar. 2018.
- [3] NASCIMENTO, R. L. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2017. 46 p. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/32259>>. Acesso em: 01 mar. 2018.
- [4] CABRAL, I. D. S.; TORRES, A. C.; SENNA, P. R. ENERGIA SOLAR – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE BRASIL E ALEMANHA. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 5., 2013, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador, 2013. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/X-009.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2018.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **NOTA TÉCNICA Nº 0056/2017-SRD/ANEEL: Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024**. 2017. 26 p. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+Técnica_0056_PROJEÇÕES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9>. Acesso em: 01 mar. 2018.
- [6] PENG, J.; LU, L.; YANG, H. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 255-274, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112006478>>. Acesso em: 03 mar. 2018.
- [7] LI, B. et al. Review of recent progress in solid-state dye-sensitized solar cells. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 90, n. 5, p. 549-573, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024805001479>>. Acesso em: 03 mar. 2018.
- [8] CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas**

- Fotovoltaicos**. 2014, 530 p. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf> Acesso em: 03 mar. 2018.
- [9] JACKSON, T.; OLIVER, M. The viability of solar photovoltaics. **Energy Policy**, v. 28, n. 14, p. 983-988, 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421500000859>>. Acesso em: 03. mar. 2018.
- [10] PEREIRA, P. T. S. **Energia solar térmica: perspectivas do presente e do futuro**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60373/1/000142688.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2018.
- [11] NARUTO, D. T. **VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA**. 2017. 97 f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020290.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2018.
- [12] LEVA, F. F. D. et al. **Modelo de um Projeto de um Sistema Fotovoltaico**. Resumos. Uberlândia, 2005. 10 p. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n5v2/084.pdf>> Acesso em: 03 mar. 2018.
- [13] TYAGI, V. V. et al. Progress in solar PV technology: Research and achievement. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 443–461, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112005291>>. Acesso em: 03 mar. 2018.
- [14] KIM, Heetae et al. An integrated adoption model of solar energy technologies in South Korea. **Renewable Energy**, v. 66, p. 523-531, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811300699X>>. Acesso em: 04 mar. 2018.
- [15] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Snapshot of Global Photovoltaic Markets**. Report IEA PVPS T1-31, 2017. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2018.
- [16] JÄGER-WALDAU, Arnulf. Snapshot of Photovoltaics—March 2017. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 783, 2017. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/9/5/783/htm>>. Acesso em: 04 mar. 2018.
- [17] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Boletim Mensal de Monitoramento do Setor Elétrico – Dezembro de 2015. Brasília: MME, 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/2027273/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Dezembro-2015.pdf/dee4fa2a-f287-4117-89fe-bb0123997001>>. Acesso em: 04 mar. 2018.
- [18] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Boletim Mensal de Monitoramento do Setor Elétrico – Dezembro de 2016. Brasília: MME, 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3308684/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%EF%BF%BDtrico+-+Dezembro-2016.pdf/f6b5284d-4105-4b79-a030-31755664721a>>. Acesso em: 04 mar. 2018.
- [19] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Boletim Mensal de Monitoramento do Setor Elétrico – Dezembro de 2017. Brasília: MME, 2017. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138781/0/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Dezembro+-+2017.pdf/89e16453-fc2e-46fd-b5fd-aa6951daf934>>. Acesso em: 04 mar. 2018.
- [20] PEREIRA, E. B. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2017, 2ª ed, 80 p. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2017. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2018.
- [21] MUNDO-HERNÁNDEZ, J. et al. An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 639-649, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113008435>>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- [22] IMHOFF, J. **DESENVOLVIMENTO DE CONVERSORES ESTÁTICOS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS**. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8608/JOHNINSONIMHOFF.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- [23] KUI-QING, P.; SHUIT-TONG, L. Silicon Nanowires for Photovoltaic Solar Energy Conversion. **Advanced Materials**, v. 23, n. 2, p. 198-21, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.201002410/abstract>>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- [24] TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/pt-br.php>>. Acesso em: 05 mar. 2018.
- [25] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2. ed. Brasília: Centro de Documentação - Cedoc, 2016. 34 p. (Cadernos Temáticos). Disponível em:

-
- <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigeração+Distribuída+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 07 mar. 2018.
- [26] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. 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.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2018.
- [27] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. 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.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2018.
- [28] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/prodist>>. Acesso em: 07 mar. 2018.
- [29] Conselho Nacional de Política Fazendária. **CONVÊNIO ICMS.** Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15>. Acesso em: 07 mar. 2018.
- [30] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/destaques-distribuicao/-/asset_publisher/zRFisxBAsbz9/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false&redirect=http://www.aneel.gov.br/destaques-distribuicao?p_p_id=101_INSTANCE_zRFisxBAsbz9&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=2&p_p_col_count=6>. Acesso em: 04 abr. 2018.
- [31] ASSAF NETO, A. **MATEMÁTICA FINANCEIRA E SUAS APLICAÇÕES.** 13. ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- [32] DASSI, J. A. et al. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Custos, 22., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu, 2015. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3445027/mod_resource/content/1/solar%20complemento.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2018.
- [33] SAMANEZ, C. P. **MATEMÁTICA FINANCEIRA.** 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [34] VIEIRA SOBRINHO, José Dutra. **MATEMÁTICA FINANCEIRA.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- [35] PUCCINI, A. L. **Matemática Financeira: Objetiva e Aplicada.** 9. ed. São Paulo: Elsevier, 2011.
- [36] BRUNI, A. L.; RUBENS, F. **As Decisões de Investimentos - Com aplicações na HP12C e Excel.** São Paulo: Atlas, 2003.
- [37] GIL, A. C. **COMO ELABORAR PROJETOS DE PESQUISA.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- [38] MACEDO, J. J. **Análise de Projeto e Orçamento Empresarial.** InterSaberes. São Paulo, 2014.
- [39] Portal Brasil. **CADERNETA DE POUPANÇA.** Disponível em: <http://www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm>. Acesso em: 09 mar. 2018.
-