



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

Uso de energia fotovoltaica em edificação – Vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional

Fernando Jubran Coutinho

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Jorge dos Santos

RIO DE JANEIRO
Setembro de 2019

Uso de energia fotovoltaica em edificação – Vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional

FERNANDO JUBRAN COUTINHO

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Jorge dos Santos, D.Sc. (orientador)

Alessandra Conde de Freitas, D.Sc.

Wilson Wanderley da Silva, Arq

RIO DE JANEIRO

Setembro de 2019

Coutinho, Fernando Jubran.

Uso de energia fotovoltaica em edificação – Vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional / Fernando Jubran Coutinho – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2019.

xiv, 74 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge dos Santos

Projeto de graduação – UFRJ/ Escola Politécnica / Curso de Engenharia Civil, 2019.

Referências bibliográficas: p. 57-62.

1. Introdução 2. Energia Solar Fotovoltaica - Contextualização 3. Aspectos Técnicos dos Sistemas Fotovoltaicos 4. Produção de Energia Fotovoltaica no Brasil e no mundo 5. Aspectos Econômicos 6. Estudo de caso: residência unifamiliar em Teresópolis-RJ 7. Considerações Finais

I. Santos, Jorge dos II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil III. Uso de energia fotovoltaica em edificação – Vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, por sempre me apoiarem.

AGRADECIMENTOS

Aos meus guias e aos Orixás por olharem por mim e me protegerem. À minha mãe Iemanjá e ao meu pai Obaluaiyê por me darem força e coragem.

Aos meus pais por sempre estarem presentes e me incentivarem a seguir em frente.

À dona Eunice, por ser uma segunda mãe e ter participado da minha criação.

Aos meus amigos pelos momentos de felicidade, conselhos, companheirismo e suporte. Principalmente aos Biro's e ao Felipe Santoro por acompanharem toda a minha trajetória desde o ensino médio e fundamental. Aos amigos que fiz no intercâmbio acadêmico que a UFRJ me proporcionou e que eu levo pra sempre no coração. Aos amigos que fiz mais recentemente e que foram importantes nessa reta final. Sejam do colégio, de Deggendorf, dos acasos da vida, do centro, de Bangu, do futebol feminino, das peladas, todos tem participação nessa conquista.

A todos os professores e professoras da UFRJ que colaboraram para minha formação. Em especial ao meu orientador Jorge dos Santos, pela ajuda e pela confiança depositada. A Elaine Vazquez pelo auxílio nos momentos difíceis e pelo exemplo que é para a comunidade acadêmica. Ao Bruno Jacovazzo, pelo empenho e dedicação ao ensino. E, finalmente, ao Marcelo Tavares e a Ana Claudia Telles.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Uso de energia fotovoltaica em edificação – Vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional

Fernando Jubran Coutinho

Setembro/2019

Orientador: Jorge dos Santos

Curso: Engenharia Civil

No contexto da necessidade de redução dos impactos do homem no meio ambiente e da crescente demanda energética, a discussão sobre o uso de fontes alternativas se torna importante. O aumento da participação da energia solar fotovoltaica na matriz mundial levanta questionamentos sobre as suas vantagens e desvantagens. O objetivo desse estudo é realizar uma comparação entre essa fonte e a eletricidade convencional, mostrando que sua utilização é economicamente viável e gera menos impactos socioambientais negativos. Após pesquisa bibliográfica em livros, publicações, artigos, teses e sites do setor energético, são apresentados os fundamentos da geração fotovoltaica, seus aspectos projetivos e ambientais, legislações e regulamentações vigentes, seu status no Brasil e no mundo, suas oportunidades de expansão, as especificidades técnicas dos diversos tipos de sistema e questões financeiras. Para materializar a teoria, é desenvolvida uma análise de viabilidade econômica da implantação de painéis solares em uma edificação residencial. Os resultados indicaram um valor presente líquido positivo para todos os cenários analisados, mostrando que a economia proporcionada pelo sistema é superior ao investimento demandado. Baseado nisso e nos tópicos discutidos ao longo do trabalho, concluiu-se que a utilização da energia fotovoltaica traz benefícios nos âmbitos social, ambiental e econômico.

Palavras-chave: Painel fotovoltaico. Energia solar. Viabilidade econômica. Sustentabilidade.

Abstract of Monograph present to Poli/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for degree of Civil Engineer.

Use of solar photovoltaics in buildings – Advantages and disadvantages in relation to conventional electricity

Fernando Jubran Coutinho

September/2019

Advisor: Jorge dos Santos

Course: Civil Engineering

In the context of the need to reduce the mankind's impact on the environment and of the increasing demand for energy, the discussion over the use of renewable sources becomes important. The rise of the share of solar photovoltaics in the world energy consumption raises questions over its advantages and disadvantages. The goal of this study is to compare this source with conventional electricity, showing that its use is economically feasible and generates less socioenvironmental damages. After bibliographic research concerning books, publications, thesis, articles and websites related to the energetic sector, the basics of photovoltaic generation, its environmental and project related issues, the regulations and laws in effect, its status of power production in the world and in Brazil, its expansion opportunities, the technical specificities of the many types of systems and financial matters are discussed. In order to materialize the theory, it is developed a feasibility study of installation of photovoltaic panels on a house. The results indicated a positive net present value for all the analyzed scenarios, demonstrating that the saving provided by the system is superior to the necessary investment. Based on that and on the topics discussed along the study, it was possible to conclude that the use of photovoltaics brings social, environmental and economic benefits.

Keywords: Photovoltaic panel. Solar energy. Feasibility study. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Participação da energia renovável na produção global de eletricidade ao fim de 2018

Figura 1.2 - Previsão de esgotamento do combustível fóssil global

Figura 1.3 – Aumentos anuais de potência instalada de energias renováveis em Gigawatts, por tecnologia e total, 2012 - 2018

Figura 2.1 – Efeito fotovoltaico em uma célula

Figura 2.2 – Configuração básica de um sistema isolado

Figura 2.3 – Configuração básica de um sistema conectado à rede

Figura 2.4 – Parque solar Ituverava (BA)

Figura 2.5 – Exemplo de curva de carga residencial

Figura 2.6 – Incentivos históricos de mercado a energia fotovoltaica

Figura 3.1 – Classificação das células solares baseada no principal material ativo

Figura 3.2 – Célula de silício policristalino e monocristalino

Figura 3.3 – Módulo de filme fino flexível de CIGS (a) e rígido de CdTe (b)

Figura 3.4 – Evolução da eficiência das células fotovoltaicas ao longo dos anos

Figura 3.5 – Camadas de um painel típico

Figura 4.1 – Países com maior acréscimo de capacidade instalada em 2018 e ranking da potência acumulada

Figura 4.2 – Capacidade instalada global acumulada e seu aumento anual em GW entre 2008 e 2018

Figura 4.3 – Penetração dos fotovoltaicos na produção de energia total por país em 2018

Figura 4.4 – Fabricantes de painéis fotovoltaicos com a maior participação no mercado, baseado nas vendas em 2018

Figura 4.5 – Investimento global estimado em novas plantas por tipo de energia

Figura 4.6 – Capacidade instalada na geração fotovoltaica centralizada

Figura 4.7 – Matriz elétrica brasileira

Figura 4.8 – Capacidade instalada na geração distribuída acumulada e seu aumento anual em GW entre 2013 e agosto de 2019

Figura 4.9 – Potência instalada na geração distribuída por classe de consumo

Tabela 4.10 – Fabricantes de módulos fotovoltaicos no Brasil

Figura 4.11 – Cadeia do mercado de geração distribuída

Figura 4.12 – Potencial brasileiro de geração fotovoltaica centralizada em áreas aptas antropizadas

Figura 4.13 – Menores preços de projetos fotovoltaicos no mundo em 2018

Figura 5.1 – Evolução do preço de módulos fotovoltaicos de silício

Figura 5.2 – Composição do custo de instalação de um sistema fotovoltaico

Figura 5.3 – Evolução do custo nivelado de energia para produção solar fotovoltaica

Figura 6.1 – Vista aérea do local do projeto

Figura 6.2 - Evolução das tarifas de energia elétrica e IPCA

Figura 6.3 – Irradiação solar anual

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Exemplo de consumo diário de energia

Tabela 2.2 – Valores mínimo, médio e máximo de dióxido de carbono gerado em gCO₂/kWh

Tabela 4.1 – Potencial fotovoltaico em telhados residenciais e relação com o consumo em 2013

Tabela 6.1 – Projeções do IPCA entre 2020 e 2023 feitas em 30/08/2019 e média geométrica dos índices

Tabela 6.2 – Condições dos cenários A, B e C

Tabela 6.3 – Resultados dos cenários A, B e C

Tabela 6.4 – Parâmetros básicos adotados para o estudo

Tabela 6.5 – Resultados dos tempos de *payback* e fluxo de caixa descontado para os 12 cenários alternativos analisados

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1P – Reservas Provadas

a-Si:H – Silício Amorfo Hidrogenado

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BOS – Balanço do sistema de componentes fotovoltaicos

c-Si – Silício Cristalino

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CdTe – Telureto de Cádmio

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CIGS – Disseleneto de Gálio-Cobre-Índio

CIP – Contribuição de Iluminação Pública

CIS – Disseleneto de Cobre-Índio

CNPJ – Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica

COFINS – Contribuição para o Financiamento de Seguridade Social

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONFAZ – Conselho Nacional de Política Fazendária

CPF – Cadastro de Pessoa Física

CQNUMC – Convenção-quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

CZTS – Sulfeto de Cobre Zinco e Estanho

Enel – *Ente nazionale per l'energia elettrica*

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EVA – Etil Vinil Acetato

FDI – Fator de Dimensionamento do Inversor

FGTS – Fundo de Garantia do Tempo Serviço

FiT – *Feed-in Tariff*

Fraunhofer ISE – Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energia Solar

G – Giga

GaAs – Arsenieto de Gálio

GaInP – Fosforeto de Índio Gálio

GD – Geração Distribuída

GIZ – Agência de Cooperação Internacional Alemã

HSP – Horas de Sol Pleno

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IDEAL – Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina

IEA – *International Energy Agency*

IEA-PVPS – *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme*

IPCA – Índices de Preço ao Consumidor Amplo

IRT – Índice de Reajuste de Tarifas

k – Quilo

LCOE – Custo nivelado de energia

M – Mega

m-Si – Silício Monocristalino

MME – Ministério de Minas e Energia

NR – Norma Regulamentadora

PASEP – Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público

PIS – Programa de Integração Social

PR – *Performance Ratio*

PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

ProGD – Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

p-Si – Silício policristalino

REN – Resolução Normativa

REN21 – *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*

RPS – *Renewable Portfolio Standards*

SAMP – Sistema de Acompanhamento de Informações de Mercado para Regulação Econômica

Si-gE – Silício grau eletrônico

Si-gM – Silício grau metalúrgico

Si-gS – Silício grau solar

SIN – Sistema Interligado Nacional

T – Tera

TD – Taxa de Desempenho

TIR – Taxa Interna de Retorno

URR – Últimas Reservas Recuperáveis

V – Volt

VPL – Valor Presente Líquido

VRE – Valor de Referência Específico

W – Watt

Wh – Watt-hora

Wp – Watt-pico

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 Importância Do Tema | 10 |
| 1.2 Justificativa | 3 |
| 1.3 Objetivos | 3 |
| 1.4 Metodologia..... | 4 |
| 1.5 Estruturação Da Monografia | 4 |
| 2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – CONTEXTUALIZAÇÃO | 6 |
| 2.1 Conceitos Básicos E Aspectos Históricos | 6 |
| 2.2 O Efeito Fotovoltaico..... | 7 |
| 2.3 Tipos De Sistemas Fotovoltaicos | 8 |
| 2.4 Aspectos Projetivos..... | 10 |
| 2.4.1 Sistemas Conectados À Rede | 10 |
| 2.4.2 Sistemas Isolados | 12 |
| 2.5 Aspectos Legais | 14 |
| 2.5.1 Legislação Brasileira | 15 |
| 2.5.2 Fatores Limitadores Ao Sistema E Desafios | 18 |
| 2.6 Aspectos Socioambientais | 20 |
| 2.6.1 Pontos Negativos | 20 |
| 2.6.1.1 Implantação E Operação | 20 |
| 2.6.1.2 Fabricação Dos Componentes..... | 21 |
| 2.6.1.3 Descarte | 22 |
| 2.6.2 Pontos Positivos | 22 |
| 3. ASPECTOS TÉCNICOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 25 |
| 3.1 Células Comerciais | 26 |
| 3.2 Células Em Desenvolvimento E De Uso Específico..... | 27 |
| 3.3 Módulos..... | 29 |
| 3.4 Instalação Dos Sistemas..... | 29 |
| 3.5 Manutenção | 30 |
| 4. PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL E NO MUNDO..... | 31 |
| 4.1 Panorama Mundial | 31 |
| 4.1.1 Mercado Fotovoltaico Global | 33 |
| 4.1.2 Perspectivas De Crescimento No Mundo | 34 |
| 4.2 Panorama Brasileiro..... | 35 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2.1 | Mercado Fotovoltaico Nacional | 38 |
| 4.2.2 | Perspectivas De Crescimento No Brasil..... | 40 |
| 5. | ASPECTOS ECONÔMICOS | 44 |
| 5.1 | Avaliação Da Viabilidade Financeira..... | 47 |
| 6. | ESTUDO DE CASO: RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM TERESÓPOLIS-RJ..... | 48 |
| 6.1 | Caracterização Do Empreendimento | 48 |
| 6.2 | Tarifa De Eletricidade..... | 49 |
| 6.3 | Energia Produzida | 50 |
| 6.4 | Dimensionamento Do Sistema E Custos De Implantação..... | 51 |
| 6.5 | Análise Da Viabilidade Econômica | 52 |
| 6.5 | Outros Cenários..... | 53 |
| 7. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 55 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 57 |
| | APÊNDICE A – MÉTODO DE CÁLCULO UTILIZADO PARA OS CENÁRIOS | 63 |
| | APÊNDICE B – ANÁLISE FINANCEIRA CENÁRIOS PADRÃO A, B E C..... | 64 |
| | APÊNDICE C – ANÁLISE FINANCEIRA CENÁRIOS ALTERNATIVOS PROPOSTOS | 66 |
| | ANEXO A – NORMAS RECOMENDADAS PARA CONSULTA | 72 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

Segundo Brundtland “Desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.” (BRUNDTLAND *et al.*, 1987, p.24).

A propagação do termo sustentabilidade se deu a partir da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em junho de 1972 em Estocolmo, Suécia. Foi o primeiro grande encontro internacional realizado com o intuito de discutir formas de conciliar o crescimento econômico e a preservação do meio ambiente. Desde então, tal conceito adquiriu uma importância maior do que a de outrora e, devido à preocupação com o futuro da humanidade, tem ficado cada vez mais em foco.

De acordo com o relatório Perspectivas da Energia Mundial (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2017), haverá um aumento de 30% da demanda por energia no mundo até 2040, com o crescimento da população e da economia global e o processo de urbanização sendo os principais fatores responsáveis.

Observando a atual distribuição da matriz elétrica global na figura 1.1, é possível perceber que existe uma alta dependência de combustíveis fósseis. Ao fim de 2018, 73,8% da eletricidade produzida no planeta foi proveniente de fontes de energia não renováveis (incluindo usinas nucleares).

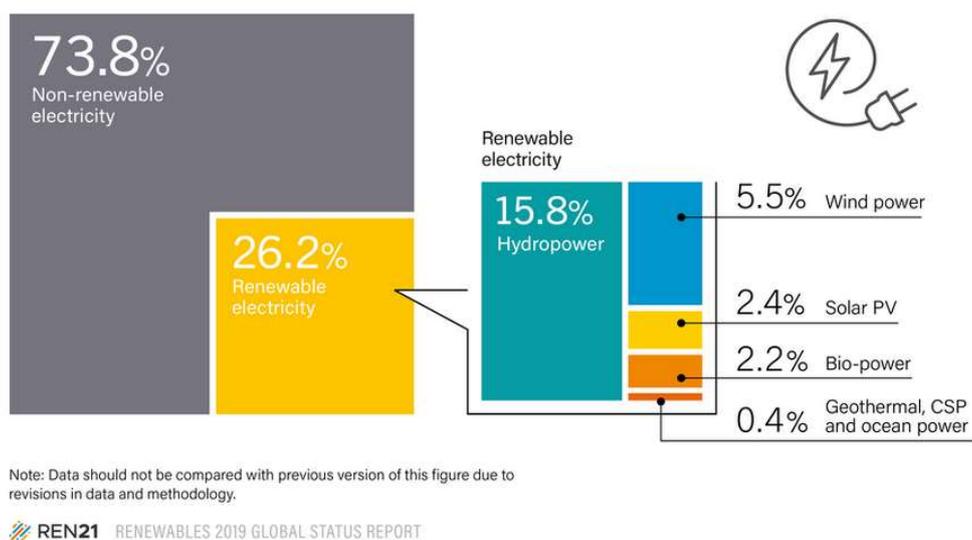


Figura 1.1 – Participação da energia renovável na produção global de eletricidade ao fim de 2018.

(Fonte: REN21, 2019.)

Esse cenário preocupa não só pela emissão de gases do efeito estufa e seus efeitos nas mudanças climáticas mas também porque tais fontes se baseiam em recursos finitos. A previsão de esgotamento total dos combustíveis fósseis (petróleo, gás, carvão e urânio) é mostrada na figura 1.2, sendo calculada com base nas reservas provadas (1P) e nas Últimas Reservas Recuperáveis (URR), presumindo 1,5 e 3% de crescimento econômico com melhoramentos na eficiência energética de 1% ao ano (que dificilmente será alcançado). A população global foi modelada crescendo de 6,7 bilhões (2008) para 9,2 bilhões em 2050 e então se estabilizando em nove bilhões. A taxa de esgotamento leva em conta um uso exclusivo de combustíveis fósseis. Suplementar o suprimento com fontes de energia renovável estenderia o fornecimento (STEPHENS, E. et al., 2010).

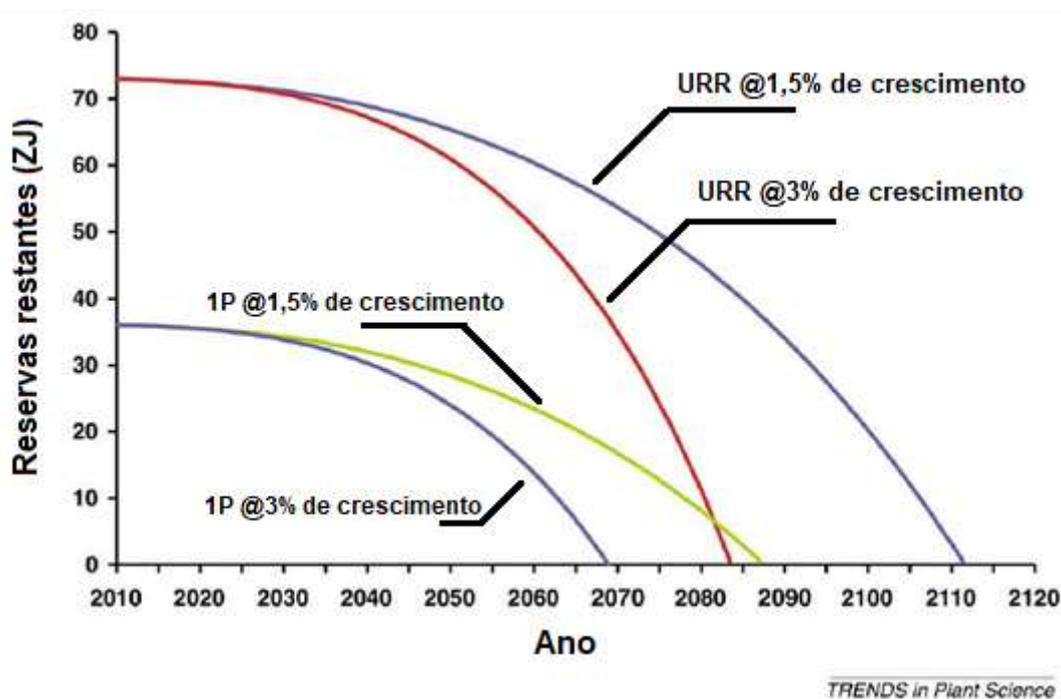


Figura 1.2 - Previsão de esgotamento do combustível fóssil global (Fonte: STEPHENS, E. et al., 2010. pp. 554-64).

Baseado nesse panorama e no conceito de desenvolvimento sustentável, é possível constatar que existe a necessidade de racionalizar recursos naturais, de utilizar matrizes energéticas que agridam menos o meio ambiente e de aumentar a eficiência energética global. Aparecem como alternativa então as fontes de energia renovável, que são provenientes de recursos naturais inesgotáveis ou que podem ser recuperados em uma escala de tempo humana.

1.2 JUSTIFICATIVA

No contexto da sempre crescente demanda energética no mundo contemporâneo e na busca pela redução dos impactos do homem no meio-ambiente, se mostra importante a comparação entre as fontes alternativas de energia e as tradicionais tecnologias.

Com mais de 26% de participação na geração de eletricidade mundial ao fim de 2018, as fontes renováveis já estão bem estabelecidas. Pelo quarto ano consecutivo estas tiveram um aumento na capacidade líquida maior que o dos combustíveis fósseis e energia nuclear combinados. Devido em parte, a iniciativas políticas e metas que deixam a indústria otimista, bem como avanços tecnológicos e redução de custos (REN21, 2019).

Considerando as atuais tecnologias disponíveis para produção de energia limpa, os sistemas solares fotovoltaicos são os que apresentam crescimento mais elevado no mundo anualmente. Como pode ser observado na figura 1.3, sua potência instalada vem crescendo nos últimos anos, chegando a mais de 100 GW só em 2018, superando as fontes eólica, hidrelétrica, de biomassa, geotérmica e outras. A relevância da discussão das vantagens e desvantagens de sua utilização é, portanto, evidente.

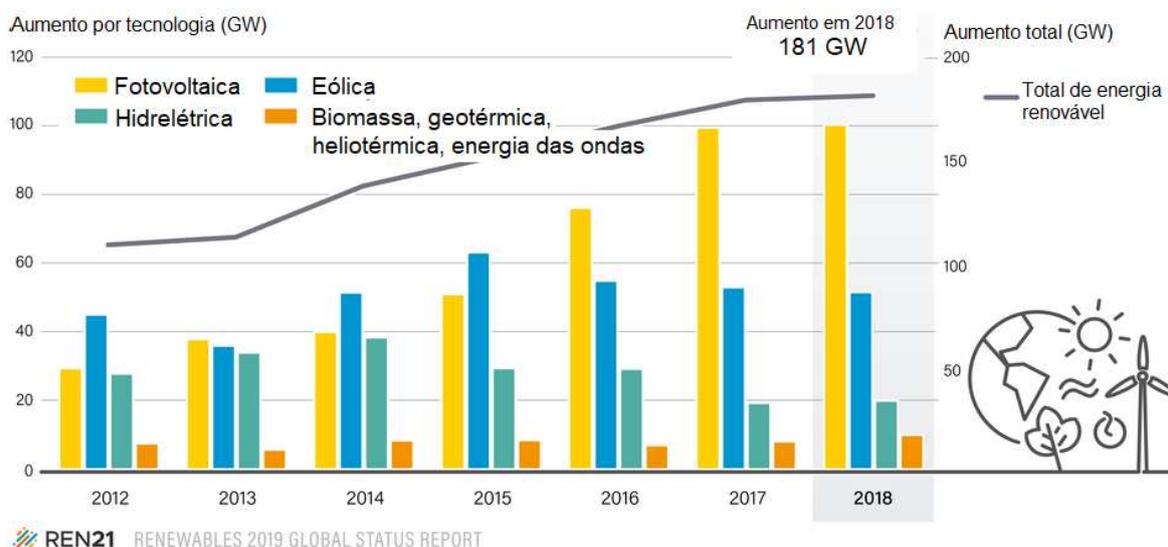


Figura 1.3 – Aumentos anuais de potência instalada de energias renováveis em Gigawatts, por tecnologia e total, 2012 - 2018 (Fonte: REN21, 2019).

1.3 OBJETIVOS

Esse trabalho de conclusão de curso tem como objetivo realizar um comparativo entre a eletricidade atualmente utilizada e a energia solar fotovoltaica. Pretende-se

apresentar as vantagens e desvantagens desta, evidenciando que seu uso já é difundido e que o prognóstico de sua participação na matriz energética mundial é promissor.

Busca-se mostrar então que com a tecnologia já existente no mercado é economicamente viável utilizar energia proveniente de recursos renováveis e que seus impactos ambientais são significativamente menores, o que garante o desenvolvimento sustentável.

1.4 METODOLOGIA

A fim de alcançar os objetivos propostos foi feita uma pesquisa bibliográfica, sendo consultados livros, órgãos reguladores, revistas, publicações de agentes do setor energético, monografias, dissertações, teses e sites referentes ao tema abordado.

Para o estudo de caso, foi feito o levantamento do consumo e gastos com eletricidade na edificação. Foi calculado também o índice solarimétrico da região e houve o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos de modo a estimar a energia que o sistema será capaz de produzir.

Baseado no retorno sobre o investimento, foi possível analisar a viabilidade econômica da solução proposta. Com isso, chegou-se ao resultado final, organizado neste documento.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DA MONOGRAFIA

Este trabalho é composto de sete capítulos desenvolvidos de forma a atender aos objetivos propostos, conforme explicitado a seguir.

O primeiro capítulo trata da introdução, onde são feitas as considerações iniciais sobre a importância do tema. Também se apresentam a justificativa, os objetivos da pesquisa, a metodologia utilizada e a estruturação do trabalho.

O segundo capítulo contextualiza a energia fotovoltaica, conceituando-a, apresentando seu histórico, evolução no mundo, propriedades ambientais, tipos e características dos sistemas. São mostrados também aspectos relativos a projeto, legais e normativos, evidenciando alguns subsídios, a legislação aplicada e os principais pontos das normas técnicas disponíveis, bem como seus fatores limitadores ao sistema.

O terceiro capítulo apresenta os aspectos técnicos, dissertando sobre os principais tipos de célula comerciais e em desenvolvimento, módulos, instalação e manutenção.

O quarto capítulo discorre sobre a produção de energia fotovoltaica no Brasil e no mundo, expondo a geração atual, principais agentes do mercado e a capacidade de crescimento.

O quinto capítulo aborda os custos de fabricação dos componentes, da implementação do projeto e da geração solar, assim como os indicadores usados para avaliar a viabilidade financeira.

No sexto capítulo é exibido o estudo de caso, sendo descritos a edificação, suas peculiaridades e seu consumo. É proposto o uso de um sistema solar fotovoltaico e são apresentados os dados do projeto e o estudo de viabilidade técnico-financeira, além das dificuldades, vantagens, desvantagens e conclusões obtidas.

O sétimo e último capítulo expõe as considerações finais da monografia, o que foi possível extrair a partir de sua elaboração e sugestões para trabalhos futuros. É feita, portanto, uma análise final do atendimento aos objetivos e apresentada em seguida suas referências bibliográficas, bem como os apêndices com os resultados obtidos e o anexo com normas.

2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 CONCEITOS BÁSICOS E ASPECTOS HISTÓRICOS

Composto principalmente por hidrogênio e hélio, o Sol é uma estrela que produz cerca de $4,0 \times 10^{23}$ quilowatts de potência por segundo. Devido às altas temperaturas e densidades alcançadas no seu interior, ocorre o processo de fusão nuclear, no qual dois átomos de diferentes isótopos de hidrogênio se combinam, originando hélio e energia (TAVARES, 2000).

A energia fotovoltaica pode ser obtida através da conversão da radiação solar¹ diretamente em eletricidade. Esse processo é realizado por um dispositivo fabricado com material semicondutor chamado célula fotovoltaica, que se baseia no efeito de mesmo nome.

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez pelo cientista francês Alexandre-Edmond Becquerel em 1839, ao notar que surgia uma diferença de potencial entre os eletrodos imersos em uma solução ácida quando iluminada. Nos anos 1870 W.G. Adams e R.E. Day verificaram fenômeno semelhante em estado sólido e em 1883 C.E. Frits construiu os primeiros dispositivos que podem ser considerados células solares (CEPEL, 2014).

Somente em 1954, no entanto, que estudos mais significativos nessa área foram retomados. Nos EUA, pesquisadores da Bell Labs descobriram acidentalmente que diodos de junção PN geravam diferença de potencial sob a luz e posteriormente produziram a primeira célula de silício, que tinha uma eficiência de 6% (LUQUE; HEGEDUS, 2002).

1973 foi um ano crucial para a expansão da tecnologia. Na área técnica, o desenvolvimento da “célula violeta”² aumentou a eficiência em 30% quando comparada com as convencionais. No âmbito político-econômico, a crise petrolífera aumentou o senso de urgência da necessidade de investimento em energias renováveis, levando diversos governos a investirem em programas para o desenvolvimento destas (LUQUE; HEGEDUS, 2002).

Nos anos 1980 mais fábricas destinadas a produção de módulos solares foram construídas nos EUA, Japão e Europa e tecnologias antes restritas aos laboratórios, universidades e governos entraram em produção piloto. Em 1991 o programa “1000

¹ Energia procedente do sol sob a forma de onda eletromagnética (CEPEL, 2014)

² Eliminou a camada “morta” na superfície da célula, que diminuía a resposta nas porções azul e violeta do espectro solar.

telhados”³ ajudou na popularização e na disseminação de legislações favoráveis ao uso dos painéis pelo mundo (LUQUE; HEGEDUS, 2002).

2.2 O EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico é o surgimento de diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor ao ser exposta à luz. Sólidos possuem a banda de valência, com forte ligação entre elétrons e núcleo, banda de condução, onde há interação com os átomos vizinhos, e a banda proibida ou *gap*, que separa as anteriores. O *gap* nos semicondutores é relativamente baixo, fazendo com que alguns elétrons sejam excitados da banda de valência para a de condução por meio da luz.

Para a produção de energia é necessário no entanto realizar o procedimento chamado de dopagem⁴, pois a quantidade de elétrons é pequena. Como mostrado na figura 2.1, na junção PN⁵, elétrons livres do lado n passam para o lado p, onde estão as “lacunas”. Com a exposição desta a uma fonte de energia maior que o *gap*, como a luz, aparecem os pares elétron-lacuna. Havendo um campo elétrico na região, as cargas se deslocam e geram a diferença de potencial. Por fim, há a circulação de elétrons quando os extremos do material semicondutor estão ligados por um condutor (RAMOS, 2006, TOLMASQUIM, 2016).

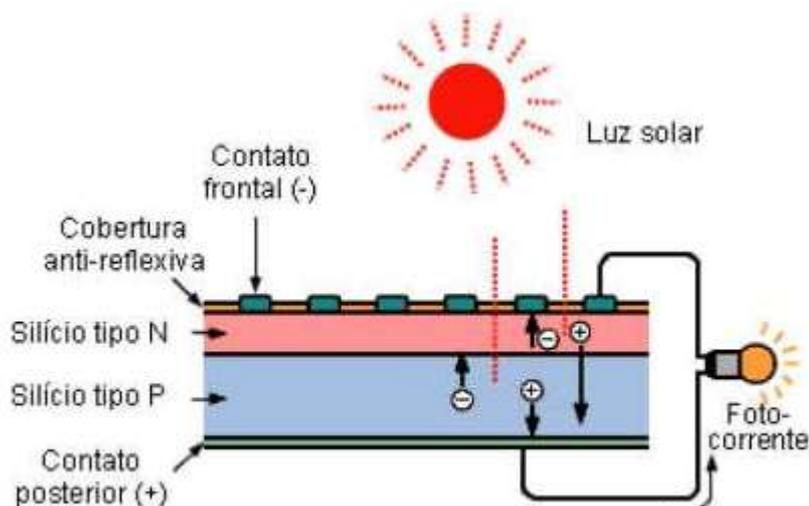


Figura 2.1 – Efeito fotovoltaico em uma célula. (Fonte: ZILLES *et. al.*, 2012.)

³ Programa do governo alemão que subsidiou a instalação de painéis fotovoltaicos em residências no período entre 1991 e 1995.

⁴ Adição de impurezas químicas elementares em elemento químico semicondutor puro para alterar suas propriedades elétricas.

⁵ Junção entre dois semicondutores dopados, um de forma a se tornar um aceitador eletrônico (tipo P) e o outro, um doador eletrônico (tipo N).

2.3 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Há basicamente duas categorias de sistemas: conectados à rede (*on-grid/grid tie*) ou isolados (*off-grid*), podendo operar somente a partir da fonte fotovoltaica ou em combinação com outra fonte de energia, sendo então chamados de híbridos.

Os sistemas isolados, assim como os híbridos, geralmente necessitam de algum tipo de armazenamento, como por exemplo baterias, que garantem o abastecimento durante períodos sem luz solar. Sua utilização se dá normalmente em lugares afastados da rede elétrica, quando não há acesso a mesma devido a sua localização ou ao alto custo de conexão. Possibilitam que o usuário tenha custos fixos com energia e seja autossuficiente, porém no geral possuem mais componentes e são mais caros que os sistemas *on-grid*. Na figura 2.2 pode-se observar sua configuração básica.

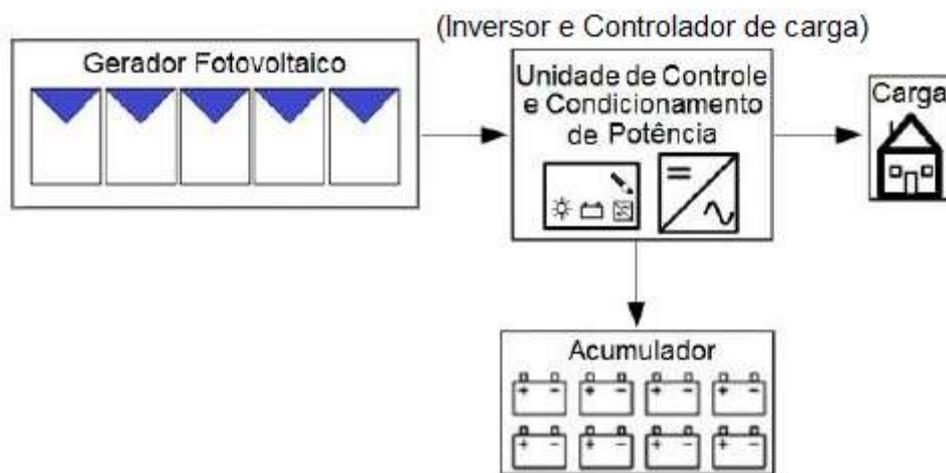


Figura 2.2 – Configuração básica de um sistema isolado (Fonte: CEPEL, 2014).

Já os conectados à rede não necessitam de acumuladores, tendo em vista que a energia que produzem pode ser consumida diretamente pela carga ou injetada na rede elétrica convencional, para ser utilizada pelas unidades ligadas ao sistema de distribuição. Por razões de segurança não funcionam quando a rede está em manutenção ou há falta de energia, mas podem levar a uma redução nos gastos com eletricidade (CEPEL, 2014, SOLAR POWER WORLD, 2015). Apresenta-se na figura 2.3 a sua configuração usual.

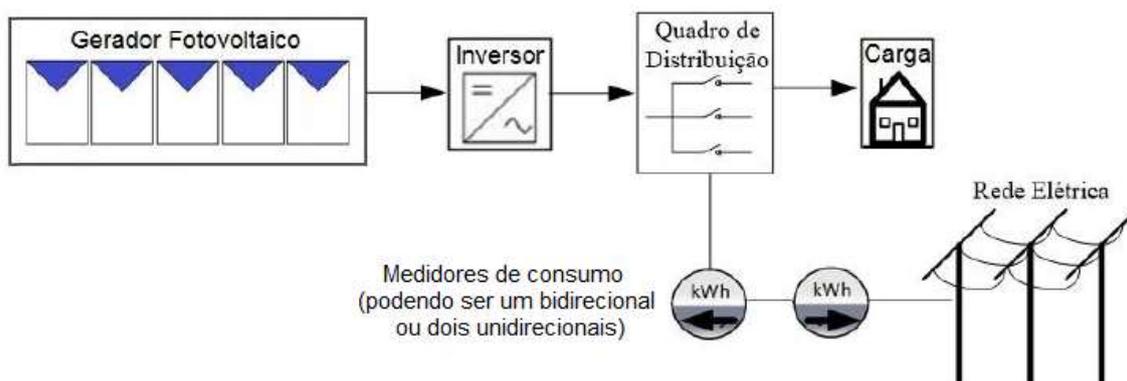


Figura 2.3 – Configuração básica de um sistema conectado à rede (Fonte: CEPEL, 2014).

Existem ainda os projetos de geração centralizada, como as usinas fotovoltaicas, que utilizam diversos módulos, podendo atingir potências da ordem de GWp⁶. Aparecem como opção viável em países dependentes da importação de combustíveis fósseis para produção de energia. Um exemplo desse tipo de instalação é mostrado na figura 2.4.



Figura 2.4 – Parque Solar Ituverava (BA) (Fonte: ENEL, 2017).

O projeto foi um dos vencedores do leilão de energia de reserva de 2014. Inaugurado em 2017, possui capacidade instalada de 254 MW e capacidade anual de produção de 550 GWh, ocupando uma área de 579 hectares.

⁶ O Watt-pico é a unidade de potência de saída de uma célula, módulo ou gerador fotovoltaico, considerando as condições padrão de teste, ou seja, irradiação de 1000 W/m², coeficiente de massa de ar de 1,5 e temperatura de 25°C (TOLMASQUIM, 2016).

2.4 ASPECTOS PROJETIVOS

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico se baseia no ajuste entre a energia radiante do sol que os módulos recebem e a necessidade de suprir a demanda por eletricidade. Além disso, deve-se levar em conta o direcionamento, incidência solar, fatores estéticos, disponibilidade de espaço, entre outros.

Inicialmente, avalia-se o recurso solar disponível no local, buscando quantificar a incidência de luz sobre o painel. No geral, os dados são medidos em termos de energia por unidade de área, ou irradiação (Wh/m^2), que é convertida em Horas de Sol Pleno⁷. Podem ser obtidos a partir do mapa solarimétrico da região ou *in situ* com a utilização de um piranômetro (PINHO *et. al.*, 2008).

É necessário então verificar a localização efetiva de instalação, pois elementos de sombreamento, presença de superfícies reflexivas e a troca de calor com o meio podem afetar o desempenho. Além disso, a resistência mecânica da superfície que servirá de suporte bem como o efeito dos ventos deve ser analisada. A orientação e inclinação dos módulos deve ser feita de modo a maximizar a captação de radiação solar.

A escolha da configuração é baseada nas características da carga e na disponibilidade de recursos energéticos. Basicamente, pode-se optar por sistemas conectados à rede ou isolados, que utilizem corrente alternada ou contínua, que contenham acumuladores ou não e que sejam ligados em série ou em paralelo.

2.4.1 SISTEMAS CONECTADOS À REDE

Ao dimensionar o gerador fotovoltaico nos sistemas *on-grid*, é fundamental levar em conta as especificidades da legislação vigente no local. O Brasil utiliza o sistema de compensação de energia (*net metering*), no qual o medidor bidirecional registra tanto quando a edificação gera mais do que consome, e entrega o excedente à rede elétrica, quanto o contrário, marcando o fluxo no sentido convencional (CEPEL, 2014).

Com isso, se o balanço energético for positivo, gera-se um crédito referente ao excedente que é compensado posteriormente, caso o saldo seja negativo. No entanto, para os consumidores de baixa tensão e alta tensão é cobrado um mínimo pela disponibilidade de energia e demanda contratada, respectivamente. Logo, pode não ser financeiramente interessante que os painéis gerem mais energia do que a demandada ao longo do ano. Uma maneira de otimizar o projeto é descontar o valor da oferta mínima e fazer o

⁷ 1 HSP é a energia recebida durante uma hora com irradiância de pico de 1000 W/m^2 . É obtida dividindo-se a energia recebida em Wh/m^2 pela irradiância de pico (PINHO *et. al.*, 2008).

levantamento do consumo médio, dado que pode ser obtido a partir do histórico de faturas mensais emitidas pela distribuidora. A potência do gerador pode ser calculada pela equação 2.1.

$$P_{FV}(W_p) = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (2.1)$$

Onde:

$P_{FV}(W_p)$ - Potência de pico do painel fotovoltaico

E (Wh/dia) - Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste

HSP_{MA} (h) - Média diária anual das HSP incidente no plano do painel fotovoltaico

TD (adimensional) - Taxa de desempenho

A Taxa de Desempenho (TD) é a relação entre a performance real sobre a máxima teórica possível. Esta leva em conta as condições de operação e as perdas envolvidas, que podem ser ocasionadas por sombreamento, sujeira no painel, eficiência e carregamento do inversor, quedas de tensão, temperatura de operação, entre outras. A TD em ambientes residenciais, bem ventilados e não sombreados tem valores em torno de 70 a 80%, mas para que sua estimativa seja mais precisa pode-se recorrer ao uso de programas de dimensionamento.

Geralmente, no entanto, a capacidade do gerador é vinculada aos recursos financeiros e área disponível e deve-se avaliar qual a melhor tecnologia para atendimento do projeto. É recomendável condicionar a escolha ao custo da energia gerada pelo sistema, características arquitetônicas e elétricas do mesmo e da edificação e confiabilidade da fabricante dos módulos.

É preciso também selecionar um inversor de modo que não trabalhe por longos períodos com sobrecarga nem com potência muito abaixo da nominal. Normalmente são subdimensionados em relação aos painéis fotovoltaicos, pois o aumento de temperatura nestes leva a uma redução de sua potência e esta, conseqüentemente, não costuma se aproximar da nominal.

A equação 2.2 mostra a relação entre a potência nominal em corrente alternada do inversor e a potência de pico do gerador fotovoltaico, conhecida como Fator de Dimensionamento de Inversor (FDI). A recomendação dos fabricantes para o seu limite inferior fica na faixa de 0,75 a 0,85, enquanto o superior, 1,05, devendo ser analisada a melhor relação custo-benefício e especificações técnicas como tensão e corrente máxima de entrada (CEPEL, 2014).

$$FDI = \frac{P_{Nca}(W)}{P_{FV}(Wp)} \quad (2.2)$$

Onde:

FDI (adimensional) - Fator de dimensionamento do inversor

P_{Nca} (W) - Potência nominal em corrente alternada do inversor

P_{FV} (Wp) - Potência pico do painel fotovoltaico

Por fim, é importante planejar corretamente o projeto elétrico, adequando o mesmo às normas, regulamentos e requisitos de segurança vigentes, além de evitar perdas de energia utilizando componentes eficientes.

2.4.2 SISTEMAS ISOLADOS

No caso de sistemas *off-grid* é de suma importância que haja precisão ao se estimar a solicitação energética, pois não há a possibilidade de complementá-la com a rede de distribuição. Visando suprir a demanda de eletricidade faz-se o levantamento da mesma. De forma simplificada, é possível somar a energia consumida por cada equipamento a partir da sua potência e tempo de funcionamento, conforme tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Exemplo de consumo diário de energia (Fonte: CEPEL, 2014).

| Carga | Potência (W) | | Horas de utilização por dia | | Dias de utilização por semana | | Consumo diário (Wh) | |
|-----------------------|--------------|---|-----------------------------|---|-------------------------------|----|---------------------|---------------|
| | | x | | x | | ÷7 | = | |
| Equipamento 1 | 15 | x | 3 | x | 4 | ÷7 | = | 25,71 |
| Equipamento 2 | 60 | x | 2 | x | 2 | ÷7 | = | 34,29 |
| Equipamento 3 | 100 | x | 1,5 | x | 7 | ÷7 | = | 150,00 |
| Potência total | 175 | | Consumo diário total | | | | = | 210,00 |

Pode-se considerar o método do mês crítico, no qual ocorrem as condições mais desfavoráveis no ano. É suposto que se o sistema atende o consumo nesse período, o fará também nos outros meses, ou ainda obter maior precisão ao construir-se uma curva de carga, como na figura 2.5, identificando as sazonalidades (CEPEL, 2014).

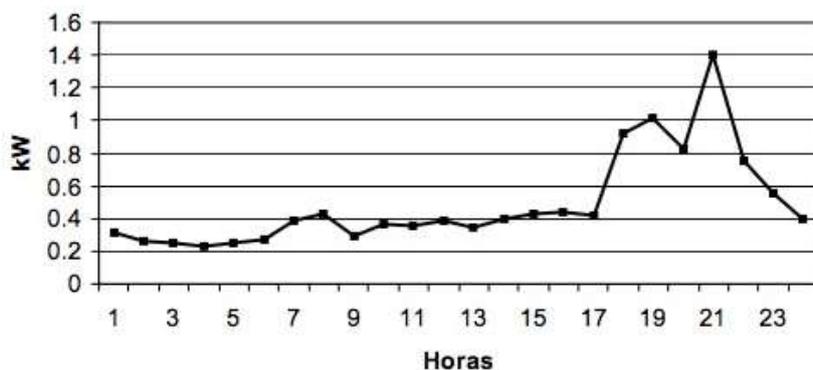


Figura 2.5 – Exemplo de curva de carga residencial (Fonte: UFRGS, 2016).

Um dos métodos de dimensionamento dos geradores fotovoltaicos leva em conta a energia necessária diariamente (L) em corrente alternada e contínua e a eficiência dos elementos que compõem o sistema, conforme a equação 2.3 (CEPEL, 2014).

$$L = L_{cc} + \left(\frac{L_{ca}}{\eta_{inv}} \right) \quad (2.3)$$

Onde:

L_{cc} (Wh/dia) - quantidade de energia consumida diariamente em corrente contínua em determinado mês

L_{ca} (Wh/dia) - quantidade de energia consumida diariamente em corrente alternada em determinado mês

η_{inv} - eficiência do inversor

Com isso, é calculado o valor médio diário de energia para cada um dos meses do ano, obtendo-se então a potência necessária a partir da equação 2.4.

$$P_m = \max_{i=1}^{12} \left(\frac{L_i}{HSP_i \times Red_1 \times Red_2} \right) \quad (2.4)$$

Sendo:

P_m (Wp) - potência do painel fotovoltaico

L_i (Wh/dia) - quantidade de energia consumida diariamente no mês i (obtida pela equação 2.3)

HSP_i (h/dia) - horas de sol pleno no plano do painel fotovoltaico no mês i

Red_1 (%) - fator de redução (derating) da potência dos módulos fotovoltaicos, em relação ao seu valor nominal, englobando os efeitos de eventuais acúmulos de sujeira na superfície ao longo do tempo de uso, degradação física permanente, tolerância de fabricação para menos em relação ao valor nominal e perdas devido à temperatura. A este fator Red_1 atribui-se por *default* o valor de 0,75, para módulos fotovoltaicos de Silício cristalino

Red_2 (%) - fator de redução (derating) da potência devido a perdas no sistema, incluindo fiação, diodos, etc. É recomendado por *default* o valor de 0,9.

O inversor deve ter potência igual ou superior à máxima da curva de carga ou, de forma mais conservadora, à instalada, que é o somatório de todas as cargas do usuário.

Além disso, é necessário dimensionar os equipamentos de controle e condicionamento de potência bem como a capacidade dos armazenadores, que podem ser um banco de baterias, por exemplo (CEPEL, 2014).

2.5 ASPECTOS LEGAIS

A inserção da energia fotovoltaica foi baseada em diferentes modelos de negócios e esquemas regulatórios, muitas vezes apoiados por medidas de fomento. Vale ressaltar, no entanto, que subsídios são comuns no setor energético, tanto para fontes renováveis quanto para combustíveis fósseis. Os principais incentivos utilizados são listados a seguir (TOLMASQUIM, 2016).

A *feed-in tariff* (FiT) consiste em obrigar as concessionárias a comprarem a energia gerada pelas instalações solares. Usualmente são contratos fixos de longo prazo com tarifas pré-estabelecidas (*buy-back rate*) com valores acima da convencional. O custeio pode ser assumido pelo tesouro nacional, como na Espanha, ou por todos os consumidores, como no modelo alemão. O principal objetivo é estimular o crescimento do mercado, reduzindo os riscos do investimento e o tempo de retorno e por vezes gerando lucro para o aplicador no médio prazo.

No *net metering* o sistema é ligado à rede de distribuição e há a medição da eletricidade produzida pelos painéis e esse valor é abatido da consumida. Quando a geração solar excede a demanda, são gerados créditos que podem ser usados nas faturas subsequentes. Configura-se como uma solução de baixo custo de aplicação que permite a redução da conta de luz. É o modelo aplicado no Brasil e o predominante nos EUA (NOGUEIRA, 2016).

Os subsídios diretos consistem na concessão de um benefício monetário como obtenção de crédito em linhas especiais de financiamento, sendo utilizado em países como Áustria, Austrália, China, Japão e Itália, por exemplo. O objetivo é reduzir o alto custo inicial de implementação do projeto. Os créditos fiscais entram na mesma categoria e correspondem a uma dedução do montante que deve ser pago ao Estado, difundido no Canadá, Japão, EUA, França, entre outros.

Os *Renewable Portfolio Standards* (RPS) impõem uma cota de eletricidade. É definida uma porcentagem a ser obtida a partir de fontes renováveis que as fornecedoras de energia devem adotar, seja por geração própria ou através da compra de certificados. Quando disponíveis, são chamados de certificados verdes e permitem que os produtores fotovoltaicos ganhem uma remuneração variável pela sua eletricidade, baseada no preço de mercado daqueles (IEA PVPS, 2018).

A figura 2.6 mostra a fatia de cada incentivo no volume do mercado. É possível notar a predominância da FiT, com 73% do total quando considerada em conjunto com a *feed-in tariff* obtida através de leilões de energia. Em seguida aparecem os subsídios diretos ou fiscais com 14% e o *net-metering* com 8%. Os outros incentivos tem menos representatividade, correspondendo aos 5% restantes.

FIGURE 14: HISTORICAL MARKET INCENTIVES AND ENABLERS

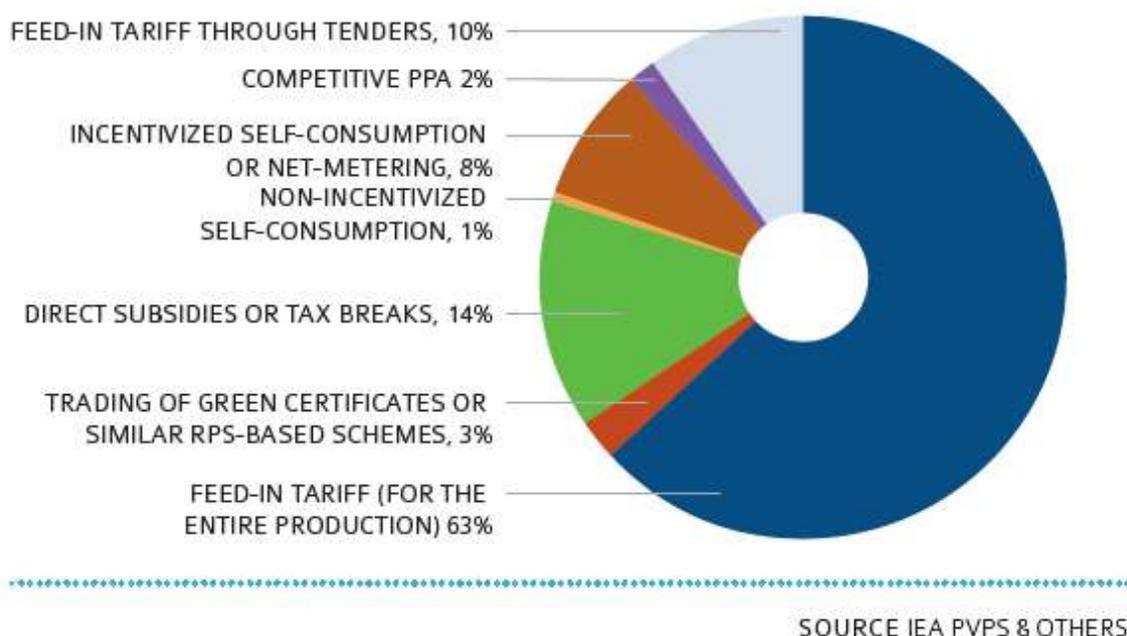


Figura 2.6 – Incentivos históricos de mercado a energia fotovoltaica (Fonte: IEA PVPS, 2018).

2.5.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

O grande marco da geração solar fotovoltaica no Brasil foi a introdução da Resolução Normativa n° 482 da ANEEL em abril de 2012. A mesma estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de abastecimento de energia elétrica, bem como regulamenta o *net metering*.

Sendo revista pela REN n° 687 e pela REN n° 786 em 2015 e 2017, respectivamente, definiu a microgeração distribuída como central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis e esteja conectada à rede por meio de instalações de unidades

consumidoras. Já a minigeração deve se enquadrar nos mesmos requisitos e se situar na faixa de 75 kW a 5 MW (ANEEL, 2015a).

Seja em um empreendimento com múltiplas ou uma unidade consumidora, a norma possibilita a injeção da eletricidade gerada e não consumida na rede e define que a energia inserida em determinado horário deve ser utilizada de forma a compensar a demandada nesse mesmo posto tarifário⁸. Em caso de excedente, é aplicado um fator de ajuste aos créditos que permite o aproveitamento em outro período.

Fica estipulado também que o valor a ser pago na fatura é a diferença positiva entre a carga consumida e a injetada, levando em conta créditos anteriores. No entanto, caso a geração supere a solicitação, é cobrado uma quantia mínima. Para clientes do grupo A⁹ corresponde ao valor da demanda contratada e para os do grupo B¹⁰, a 30 kWh para sistemas monofásicos, 50 kWh em bifásicos ou 100 kWh nos trifásicos.

Ademais, existe a possibilidade de instalar os painéis fotovoltaicos em local diferente de onde ocorre o consumo por meio de uma geração compartilhada ou autoconsumo remoto. A primeira é a união de dois ou mais usuários para a partilha da energia gerada por um sistema, como uma cooperativa. No segundo, caso o mesmo CPF ou CNPJ tenha mais de uma unidade vinculada, é permitida a transferência dos créditos entre as propriedades.

As revisões, que objetivavam atingir um público maior, melhorar as informações na fatura, diminuir os custos e o tempo para conexões e compatibilizar o *net metering* com as condições gerais de fornecimento, também aumentaram a validade dos créditos gerados de 36 para 60 meses. Além disso, houve a simplificação do registro do sistema solar pelas companhias locais, que se diminuiu de diversos passos e duração de 90 dias para etapa única e 35 dias em média (BESSO, 2017).

A portaria n° 538/2015 do Ministério de Minas e Energia (MME) criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) com o objetivo de estimulá-la com base em fontes renováveis. Como pontos principais, incentiva a atuação de agentes vendedores de energia de empreendimentos dessa modalidade, define os Valores de Referência Específicos (VREs), prevê estudo para permitir a venda

⁸ Período em horas para aplicação das tarifas de forma diferenciada ao longo do dia, podendo ser posto tarifário de ponta, intermediário ou fora de ponta (ANEEL, 2012). N479

⁹ Unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV ou atendidas a partir de sistema subterrâneo. É subdividido em 6 faixas de tensão.

¹⁰ Grupo com tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV. Subdivide-se em B1 (residencial), B2 (rural), B3 (demais classes) e B4 (iluminação pública).

no Ambiente de Contratação Livre e institui um grupo de trabalho para acompanhar ações e propor aprimoramentos legais, regulatórios e tributários.

Propõe a criação e expansão de linhas de crédito e financiamento de projetos desse gênero, o incentivo à indústria de componentes e equipamentos com foco no desenvolvimento produtivo, tecnológico e de inovação, a promoção e atração de investimentos e de tecnologias competitivas para energias renováveis e o fomento à capacitação e formação de profissionais para atuar na área.

Além disso, revoga a obrigatoriedade da cobrança do ICMS para todos os estados, aplicando o tributo apenas sobre a energia que o consumidor receber da rede, descontando o que ele devolver à mesma. Atualmente 25 estados fazem parte do acordo de isenção, sendo que os outros dois (Paraná e Santa Catarina) estabelecem desonerações temporárias pelo prazo máximo de 48 meses.

As alíquotas da contribuição para o PIS/Pasep e COFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa fornecida pela distribuidora à unidade consumidora também ficam reduzidas a zero na quantidade correspondente ao injetado na rede.

Há ainda outros incentivos, como o convênio nº 101/97 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) que exime do ICMS as operações com diversos equipamentos e componentes dos sistemas fotovoltaicos. Estes foram incluídos também nos itens de financiamento Construcard¹¹ da Caixa Econômica Federal, permitindo a aquisição por pessoa física e pagamento em até 240 meses com taxas de juros de mercado (MME, 2016).

Vale destacar também o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), criado pela Lei nº 10.438/2002, tem como meta o aumento da participação de fontes alternativas renováveis na produção de energia. Estipula cotas pagas por todos os agentes do Sistema Interligado Nacional (SIN), como as distribuidoras, transmissoras e cooperativas, além de ser custeado por todos os consumidores finais atendidos, exceto os classificados como baixa renda (ANEEL, 2015a).

Por fim, a lei nº 9.991/2000 obriga as concessionárias, permissionárias e autorizadas a aplicarem uma porcentagem de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico (BRASIL, 2000).

¹¹ O Construcard é uma linha de crédito para compra de material de construção em lojas credenciadas pela Caixa.

2.5.2 FATORES LIMITADORES AO SISTEMA E DESAFIOS

Apesar dos avanços nas regulamentações aplicadas no Brasil terem ajudado na inserção da geração solar fotovoltaicos na matriz energética nacional e do grande potencial de crescimento demonstrado, há ainda condicionantes adicionais. Entraves ao desenvolvimento e à penetração dessa fonte existem, como limitações técnicas, ambientais, sociais, econômicas e ambientais, sendo abordadas a seguir.

Devido ao dinamismo do mercado fotovoltaico, causado pelo crescimento exponencial e seguidos progressos tecnológicos, a revisão constante de normas e regulamentações é fundamental para a difusão dessa fonte. Com isso, criam-se incertezas no ambiente regulatório, o que pode afastar investidores. É importante ressaltar, no entanto, que a ANEEL geralmente se compromete em manter os direitos adquiridos dos usuários antigos, fazendo com que as alterações só sejam válidas para novas conexões (ABSOLAR, 2019a).

Mesmo se mostrando vantajosa para o consumidor, a dependência de subsídios para diminuição de custos é uma barreira a ser transposta. A expansão sustentada só será possível com o barateamento da tecnologia e consequente aumento da competitividade, sem a necessidade de incentivos.

O preço elevado de equipamentos, projetos e instalações desestimula consideravelmente potenciais empreendedores. Apesar da existência de incentivos fiscais para a importação de módulos, as altas taxas sobre os componentes necessários para sua fabricação prejudicam a agregação de valor em território nacional e o estabelecimento da indústria, que acaba sofrendo com a ausência de domínio tecnológico (MENDONÇA e BORNIA, 2019). Há matéria prima de qualidade e fábricas que podem ser adaptadas para produzir todos os elementos da cadeia fotovoltaica. A etapa inicial de purificação do silício e produção das células é intensiva em capital e só se torna viável em grande escala e a alta concorrência do mercado internacional mostra um cenário desafiador. A nacionalização dos componentes pode reduzir custos e impulsionar a participação desta fonte na matriz, trazendo consigo incrementos tecnológicos e econômicos e gerando empregos (TOLMASQUIM, 2016).

O alto custo inicial e prazo para recuperação do montante aplicado também se configura como empecilho, principalmente em unidades residenciais e comerciais de pequeno porte. O aumento de ofertas de linhas de financiamento com juros baixos e propostas como o projeto de lei do senado nº371 que autoriza o uso de recursos do FGTS para aquisição e instalação de equipamentos fotovoltaicos podem amenizar isso (NASCIMENTO, 2017).

Adequar a regulamentação para estimular a difusão da geração solar sem onerar outros consumidores é um ponto importante. Há o desafio de equacionar a criação de ambiente favorável a investimentos no setor com o repasse da fatura àqueles que não utilizam essa fonte. No caso brasileiro essa discussão se torna ainda mais pertinente pois o alto custo implementação é um impeditivo aos consumidores menos favorecidos, que arcam parcialmente com a expansão e manutenção das redes de distribuição enquanto os que possuem condições financeiras sejam beneficiados pelas políticas de incentivo. Ademais, as próprias concessionárias podem sofrer perda de receita, tornando o negócio financeiramente insustentável a médio e longo prazo (SIMONE, 2019).

A variação da incidência solar altera o funcionamento do sistema elétrico, levando à necessidade de adequação a picos e vales na geração. Essa intermitência torna o gerenciamento mais complexo e exige adaptações na operação, controle e proteção da rede, sendo obstáculo técnico (TOLMASQUIM, 2016). Sem o planejamento adequado, a variação de oferta e demanda de acordo com o horário do dia pode provocar desequilíbrio na rede elétrica. A inversão do fluxo de potência pode acarretar em perdas excessivas e sobrecarga dos alimentadores (GIACOMAZZI e MEZADRE, 2018).

Além disso, a disseminação da micro e minigeração entre a população preocupa as distribuidoras pois ocasiona em incertezas na contratação de energia, que é feita até 5 anos antes por exigências regulatórias. Isso amplia o risco de uma aquisição maior que a necessária e, conseqüentemente, redução dos lucros (MENDONÇA e BORNIA, 2019).

Por possuir uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, não há tanta pressão sobre o Brasil na redução da emissão de gases do efeito estufa. Por isso, a ausência de fomentos mais incisivos também aparece como limitadores do crescimento. A necessidade de aumentar a segurança energética balanceia essa falta de senso de urgência, no entanto (LANDEIRA, 2013).

Como é uma indústria relativamente nova no território nacional, a escassez de mão de obra qualificada para a instalação e manutenção dos sistemas e eventuais defeitos decorrentes disso pode levar a uma diminuição da credibilidade no setor. A certificação de profissionais e empresas aparece como uma forma de garantir a qualidade e consolidar a reputação no mercado. (TOLMASQUIM, 2016).

Ademais, outro ponto importante no avanço de novas tecnologias é a comunicação e disseminação de informações para a sociedade e potenciais beneficiados. A falta de ciência de questões técnicas relacionadas a complexidade do sistema, maturidade tecnológica, durabilidade, eficiência e segurança por parte dos consumidores geram incertezas. Ainda, o grande público desconhece os benefícios econômicos e ambientais e

carece de condições para avaliar o retorno financeiro, além de muitas vezes não considerar como um investimento possível. O não envolvimento da comunidade na elaboração de políticas energéticas pode gerar conflitos e, mesmo com o apoio governamental, qualquer projeto sem aceitação pública se torna ameaçado.

A falta de consciência e participação social impactam indiretamente em todas as outras barreiras e devem ser abordadas para o avanço do setor. A realização de campanhas de informação junto a potenciais consumidores e envolvimento de formuladores de políticas, empresas e comunidades locais nas questões referentes ao planejamento energético no país podem colaborar para a disseminação da geração distribuída. Há exemplos de engajamento como o Caderno Temático de Mini e Microgeração Distribuída da ANEEL, que esclarece alguns conceitos, e o Selo Solar, que foi criado pelo Instituto Ideal e é concedido para instituições públicas e privadas que consomem uma quantia mínima anual de eletricidade advinda de painéis fotovoltaicos (PERONI, 2018).

2.6 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS

Impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades do meio ambiente, sejam elas físicas, químicas, biológicas, sociais ou econômicas, causada pelo desenvolvimento das atividades antrópicas (CONAMA, 1986). Posto então que a geração de energia fotovoltaica é uma ação do homem que modifica o espaço em que o mesmo e outros seres vivem, fica evidente que esta não está isenta de causar alterações, que surgem durante todo o ciclo de vida dos sistemas, incluindo não só a implantação e operação, mas também produção dos componentes e o descomissionamento.

Os possíveis danos causados nas diversas fases do empreendimento são listados a seguir, tal como medidas que ajudam a mitigar seus impactos. Ainda, são apresentados alguns benefícios das transformações provocadas.

2.6.1 PONTOS NEGATIVOS

2.6.1.1 IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO

No meio físico pode ocorrer degradação da paisagem, que varia conforme o porte e o local da instalação. Além disso, a circulação de veículos e máquinas pode gerar poeira e gases durante a obra, alterando a qualidade do ar nesse período. Projetos paisagísticos

e arquitetônicos e uso eficiente dos recursos combatem esses efeitos (DOS SANTOS *et al.*, 2016).

Na etapa de construção, atividades como a movimentação de terra e criação de vias de acesso podem acelerar processos erosivos, mas não costumam ser interferências de grande relevância e são controladas com o uso sistemas de drenagem e manutenção adequada.

No meio biótico, é possível que ocorram modificações na fauna, com o afugentamento de animais e na flora, em eventual necessidade de remoção da vegetação quando o projeto não se localiza em área desértica. Para minimizar essas implicações, uma alternativa é a manutenção da cobertura vegetal na área de influência do projeto e monitoramento e resgate de espécies afetadas.

Na questão dos impactos sociais a geração centralizada pode criar expectativas na população (referentes à novos postos de trabalho, especulação imobiliária, entre outros) e perturbações no cotidiano dos moradores e na infraestrutura. Canais de comunicação com os cidadãos e adequação dos serviços básicos à demanda durante o período de obra são importantes para reduzir os transtornos (TOLMASQUIM, 2016).

2.6.1.2 FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES

Como 90% do mercado de módulos é baseado no silício, faz sentido estudar a sua cadeia produtiva. Sua extração pode ocasionar em degradação da paisagem, poluição da água e geração de rejeitos. O elemento passa ainda pelo procedimento de transformação em silício metalúrgico e refino em grau solar, que emitem material particulado prejudicial ao homem e gases tóxicos e de efeito estufa. Existe ainda o risco de acidentes, visto que há o manuseamento de substâncias explosivas e uso de produtos químicos corrosivos. O rígido controle da utilização, transporte e descarte de materiais e práticas de segurança ambiental é fundamental para garantir a retidão do processo industrial.

As etapas subsequentes, que envolvem a fabricação dos lingotes de silício e seu corte em *wafers*¹² além da montagem das células e módulos, também emitem material particulado e componentes químicos com potencial poluidor. A gestão ambiental correta limita os possíveis danos dessas fases (TOLMASQUIM, 2016).

¹² Wafers são fatias finas de materiais semicondutores

2.6.1.3 DESCARTE

Por ser uma tecnologia relativamente nova e ter uma vida útil de 25 a 30 anos, não existe um histórico de descomissionamento de plantas fotovoltaicas e a avaliação de potenciais riscos é baseada nos materiais empregados (TOLMASQUIM, 2016).

Atualmente, os painéis solares velhos ou quebrados normalmente são enviados às instalações que reaproveitam vidro, onde só este é recuperado, além do alumínio. O restante é frequentemente queimado em fornos de cimento. No entanto, em 2018 o grupo francês de água e resíduos Veolia inaugurou a primeira usina dedicada a reciclagem de painéis na Europa, podendo ser um precursor na correta destinação dos mesmos. (DE CLERCQ, 2018).

No caso de sistemas isolados, que utilizam acumuladores, o descarte inadequado das baterias aparecem como risco, devido à possibilidade de contaminação do solo e da água. A fiscalização adequada do atendimento a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que atribui o compartilhamento da responsabilidade pelo ciclo de vida do produto e discorre sobre logística reversa, é necessária para minorar os perigos. (TOLMASQUIM, 2016).

2.6.2 PONTOS POSITIVOS

A energia solar é proveniente de uma fonte renovável e durante a produção de eletricidade não há a emissão de poluentes, resíduos ou gases do efeito estufa, sendo portanto uma fonte limpa que colabora para mitigar as mudanças climáticas.

Quanto ao uso e ocupação do solo, a flexibilidade da locação dos sistemas com a possibilidade de aproveitamento de estruturas já existentes como coberturas de edificações é um ponto positivo na geração distribuída. Já as usinas fotovoltaicas demandam grandes áreas, mas geralmente ficam afastadas dos centros urbanos, evitando conflitos. (TOLMASQUIM, 2016).

Levando em conta que as regiões com maior radiação e conseqüentemente maior potencial solar costumam ser economicamente pouco desenvolvidas, a geração de empregos aparece como impacto positivo, principalmente durante obras de implantação. O desenvolvimento da cadeia produtiva em âmbito nacional é também uma oportunidade de criação de novos postos de trabalho. (TOLMASQUIM, 2016).

Ainda, o uso de sistemas descentralizados possibilita a universalização do acesso e uso da energia elétrica, evitando impactos relacionados à construção de novas linhas de transmissão (TOLMASQUIM, 2016). Em comunidades onde foram implantados, a

substituição de fontes como óleo diesel e querosene foi constatada, bem como o aumento populacional e fixação do homem no campo, configurando fluxo contrário ao êxodo rural. Conseqüentemente, o aumento das atividades produtivas estimula a economia e há uma tendência ao aumento da renda familiar (PINHO *et. al.*, 2008).

Do ponto de vista energético, 1 tonelada de silício cristalino é capaz de produzir 20 vezes mais eletricidade que a mesma quantidade de urânio, 530 vezes mais que o petróleo e 820 vezes mais que o carbono. Considerando sistemas conectados à rede, leva-se entre 3 e 4 anos para que ocorra a restituição da energia gasta na produção dos módulos e 4 a 6 anos nos isolados. Como sua vida útil supera os 20 anos, no mínimo produzirá o triplo do utilizado em sua fabricação (SERRASOLLES *et. al.*, 2004).

Apesar de contar com a liberação de poluentes na fabricação das células e montagem dos módulos, estes exigem um ambiente limpo e controlado, obrigando a indústria a utilizar processos de controle de emissão bastante restritivos (PINHO, J.T. *et. al.* 2008). Além disso, o lançamento de dióxido de carbono na atmosfera considerando todo o ciclo de vida energético (incluindo emissões diretas e provenientes da infraestrutura, da cadeia de fornecimento e da liberação de metano) é menor do que o de fontes convencionais como carvão, gás natural e biomassa, conforme observado na tabela 2.6,

Tabela 2.2 – Valores mínimo, médio e máximo de dióxido de carbono gerado em gCO₂/kWh
(Fonte: elaboração própria a partir de SCHLÖMER *et. al.*, 2014).

| Tecnologias disponíveis em escala comercial | Emissões de CO ₂ durante o ciclo de vida (gCO ₂ /kWh) | | |
|---|---|---------|--------|
| | Mínimo | Mediana | Máximo |
| Carvão | 740 | 820 | 910 |
| Gás | 410 | 490 | 650 |
| Biomassa (co-combustão) | 620 | 740 | 890 |
| Biomassa (exclusiva) | 130 | 230 | 420 |
| Geotérmica | 6,0 | 38 | 79 |
| Hidráulica | 1,0 | 24 | 2200 |
| Nuclear | 3,7 | 12 | 110 |
| Termosolar | 8,8 | 27 | 63 |
| Fotovoltaica (geração distribuída) | 26 | 41 | 60 |
| Fotovoltaica (usinas) | 18 | 48 | 180 |
| Vento <i>onshore</i> | 7,0 | 11 | 56 |
| Vento <i>offshore</i> | 8,0 | 12 | 35 |

É possível observar que os impactos ambientais mais significativos ocorrem na fabricação e montagem e, em sua maioria, tem efeito temporário, não sendo observados na fase de operação. Os aspectos positivos no entanto, perduram após a instalação e são consolidados ao longo da existência da planta (DOS SANTOS *et. al.*, 2016).

3. ASPECTOS TÉCNICOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Existem diversos tipos de sistemas fotovoltaicos, cada qual com suas especificidades. O material utilizado, os processos produtivos e a tecnologia empregada ocasionam em diferenças no desempenho, eficiência e aplicação adequada. Além disso, o estágio de desenvolvimento e escala de produção influenciam nos aspectos econômicos.

A figura 3.1 separa faz uma separação por 3 matérias-primas: silício, compostos semicondutores novos materiais.

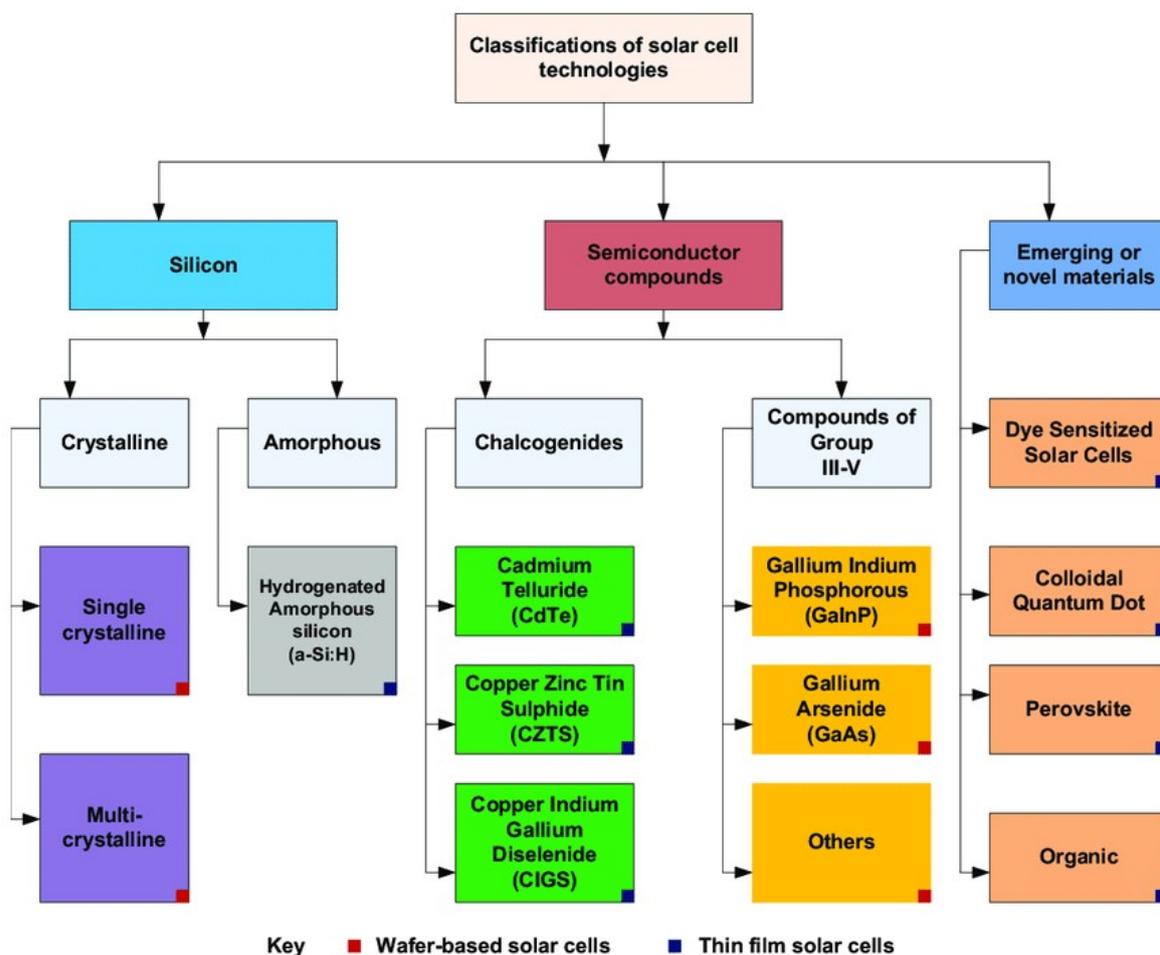


Figura 3.1 – Classificação das células solares baseada no principal material ativo (Fonte: T. IBN-MOHAMMED, S. C. L. KOH, I. M. REANEY *et al.*, 2017).

No primeiro grupo, há a subdivisão entre cristalino (m-Si e p-Si), e amorfo (a-Si:H). No segundo, o telureto de cádmio, o CZTS e o disseleneto de gálio-cobre-índio fazem parte dos calcogenetos, enquanto o fosforeto de índio gálio, arsenieto de gálio e outros se enquadram nos compostos do grupo III-V. Por fim as inovações incluem células por pontos

quânticos, sensibilizadas por corante, orgânicas e feitas de perovskita. Em vermelho, as tecnologias que usam o princípio do *wafer* e em azul, as de filmes finos.

3.1 CÉLULAS COMERCIAIS

As tecnologias utilizadas em larga escala são as de silício mono (m-Si) e policristalino (p-Si), que juntas correspondem a mais de 95% do mercado, e de filmes finos, tipicamente dominado pelo telureto de cádmio (CdTe) e disseleneto de gálio-cobre-índio (CIGS e CIS) (FRAUNHOFER ISE, 2019).

As células de silício cristalino (c-Si), também conhecidas como a primeira geração, são fabricadas a partir da transformação da sílica em silício grau metalúrgico (Si-gM), que apresenta pureza de aproximadamente 99%. O Si-gM passa pelo processo Siemens¹³, alcançando o grau eletrônico (Si-gE) com 99,9999999%, ou então pelo Siemens modificado ou outras rotas alternativas, atingindo o grau solar (Si-gS), 99,9999% puro.

O m-Si apresenta estrutura molecular uniforme, o tornando mais eficiente no transporte dos elétrons, sendo obtido principalmente a partir de três técnicas, conhecidas como Czochralski, Bridgman-Stockbarger e fusão zonal flutuante. Já no p-Si, ao invés de um cristal único, o material é solidificado em um bloco composto por pequenos cristais. Possuem uma capacidade menor de conversão da luz do sol em eletricidade, no entanto seus custos de produção também são inferiores (CEPEL, 2014). Na figura 3.2 pode-se observar as superfícies de separação dos cristais no p-Si em contraste com a continuidade e homogeneidade de uma célula de silício monocristalino.



Figura 3.2 – Célula de silício policristalino e monocristalino (Fonte: Tindosolar.com.au).

¹³ Processo que envolve a destilação de compostos voláteis e sua decomposição em silício sob altas temperaturas.

Já as células de filmes finos, ou segunda geração, são formadas ao depositar-se camadas extremamente delgadas de semicondutores sobre substrato isolante de vidro, aço inoxidável ou plástico. Os materiais comercialmente usados são CdTe, CIGS e CIS, que possuem capacidade de absorção de luz de 10 a 100 vezes a do silício, possibilitando sua espessura inferior. Dois exemplos de módulos desse tipo são mostrados na figura 3.3. Além disso, quando comparadas com as de c-Si, perdem menos potência à medida que a temperatura aumenta e não tem o formato tão restrito, o que possibilita sua aplicação em superfícies variadas (TOLMASQUIM, 2016).

As principais desvantagens são sua menor eficiência, taxa de degradação anual mais elevada e desafios relacionados aos materiais que a compõem, seja pela escassez dos mesmos (no caso do telúrio e índio) ou pela alta toxicidade (cádmio). Ademais, suas características físico-químicas exigem uma proteção maior, normalmente uma outra camada de vidro, o que deixa os módulos mais pesados. (TOLMASQUIM, 2016).



Figura 3.3 – Módulo de filme fino flexível de CIGS (a) e rígido de CdTe (b) (Fonte: TOLMASQUIM, 2016).

Há ainda o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), que costumava ter uma parcela significativa da produção de filmes finos e hoje corresponde a uma fatia de 8,5%. O aumento de eficiência de outras tecnologias da segunda geração e a redução de preço das células de c-Si colaboraram para esse quadro.

3.2 CÉLULAS EM DESENVOLVIMENTO E DE USO ESPECÍFICO

Células de compostos semicondutores III-V são formadas usando materiais como o arsenieto de gálio (GaAs) em substratos de germânio e tem altas taxas de conversão de energia solar em eletricidade, de mais de 40%. Devido ao seu alto custo, são usadas

normalmente em sistemas fotovoltaicos concentrados¹⁴ ou em aplicações espaciais como satélites.

Células orgânicas de filmes finos, sensibilizadas por corante ou que utilizam semicondutores orgânicos estão em fase de desenvolvimento e demonstração. As que são feitas de perovskita já apresentam eficiência expressiva, mas ainda não resultaram em produtos que possam atingir a escala comercial. Pesquisas envolvendo células multijunção¹⁵ de perovskita com um substrato de filme fino ou c-Si estão em curso e podem chegar ao mercado mais cedo que as puras (IEA PVPS, 2018).

A figura 3.4 mostra as eficiências máximas até hoje alcançadas em laboratório pelas células de acordo com seu material de fabricação. Dentre as de larga escala, nota-se a vantagem do silício mono sobre o policristalino e sua proximidade com os materiais mais comuns de filmes finos (CIGS e CdTe). A evolução da perovskita e a alta capacidade das células multijunção III-V também é observada.

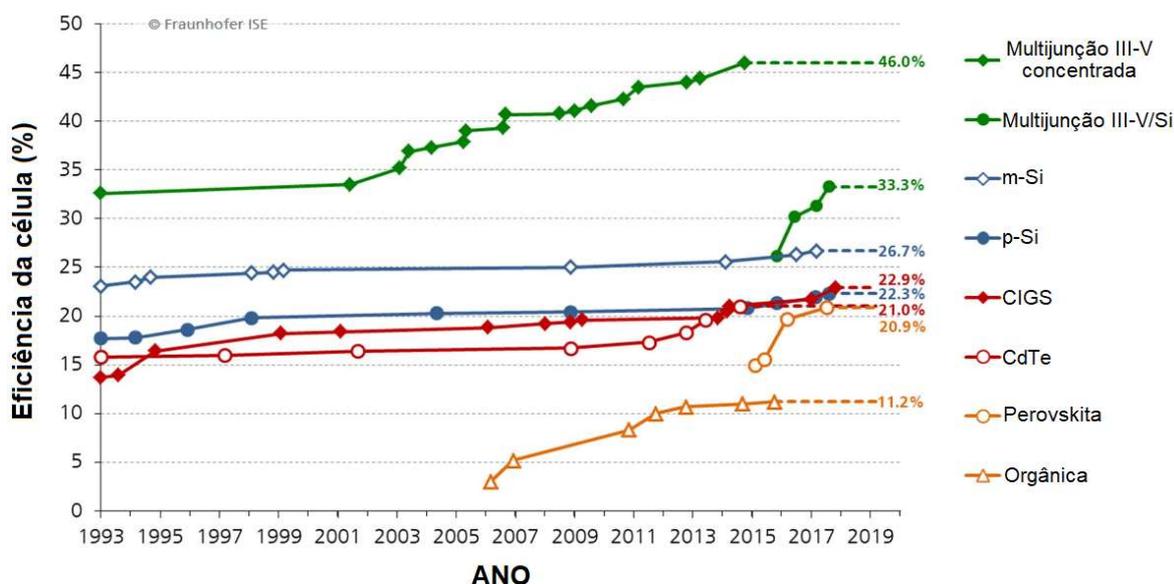


Figura 3.4 – Evolução da eficiência das células fotovoltaicas ao longo dos anos (Fonte: FRAUNHOFER ISE, 2019).

¹⁴ Tecnologia que utiliza lentes e espelhos curvados para concentrar uma grande quantidade de radiação solar numa pequena área de células.

¹⁵ Células solares com múltiplas junções p-n feitas de diferentes materiais semicondutores.

3.3 MÓDULOS

Apesar de serem o elemento principal para a geração fotovoltaica, as células não são os únicos constituintes dos módulos. A figura 3.5 evidencia as camadas de um painel típico.

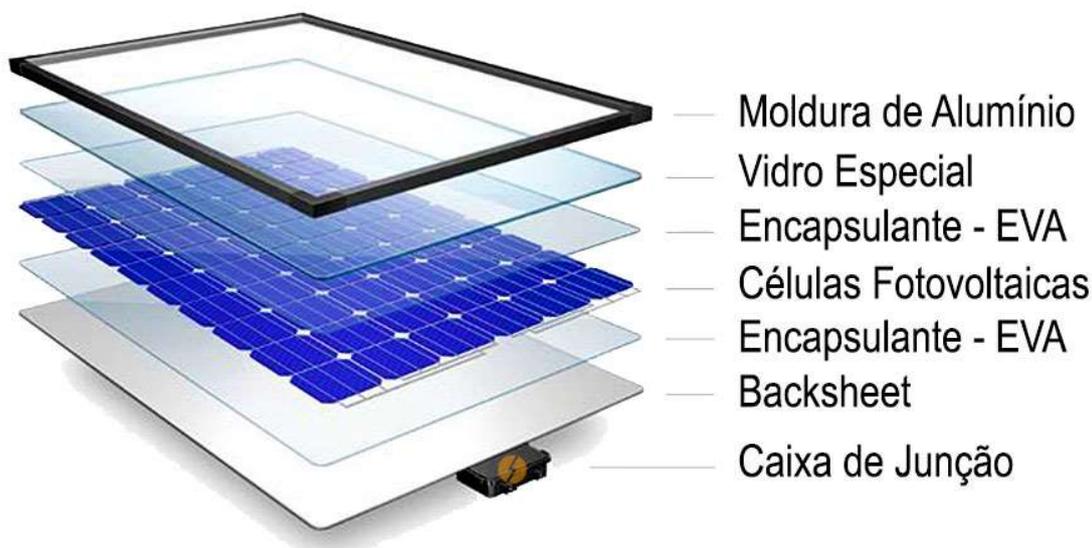


Figura 3.5 – Camadas de um painel típico (Fonte: portalsolar.com.br).

Frequentemente feita de alumínio, a moldura é a parte externa estruturante que faz a fixação do módulo. Um selante adesivo impede a entrada de gases e umidade e protege o interior de vibrações e choques mecânicos, além de ligar a moldura com o vidro especial. Este, preserva as células e condutores, além possui baixo teor de ferro e revestimento antirreflexo para máxima absorção de luz. O encapsulante, comumente composto de Etil Vinil Acetato (EVA), é um filme que otimiza a condução de eletricidade e tem função protetora. Por fim, a parte inferior, conhecida como *backsheet*, atua como isolante. (TOLMASQUIM, 2016).

Ademais, são necessários inversores, que transformam a corrente contínua gerada pelas placas em alternada, conectores, cabos, outros componentes elétricos e elementos estruturais. No caso de sistemas isolados, há também a utilização de controladores de carga e baterias para armazenamento da energia (TOLMASQUIM, 2016).

3.4 INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS

Segundo estudo sobre principais erros do Programa 1000 Telhados, foi constatado que aproximadamente 40% das falhas ocorreram devido a problemas na instalação e 30%

no projeto. Isso mostra que um bom gerenciamento de todas as etapas do processo é fundamental para o êxito do empreendimento.

É de suma importância que os instaladores estejam familiarizados com as medidas de segurança aplicáveis, regulamentações vigentes e recomendações dos fabricantes. Como a tecnologia ainda está em estágio inicial no Brasil, na falta de normas nacionais, listadas nas tabelas 1 e 2 do Anexo A, deve-se consultar as internacionais, presentes na tabela 3 do Anexo A (CEPEL, 2014). A Associação Brasileira de Geração Distribuída vem desenvolvendo um programa de certificação de instaladores, o que pode ser uma maneira de garantir a qualidade das instalações, tornando-as compatíveis com a reputação positiva da robustez dos módulos (TOLMASQUIM, 2016).

3.5 MANUTENÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos, como qualquer conjunto elétrico, requerem alguns cuidados básicos como medir as tensões nas saídas dos arranjos para observar se há incongruência com os valores esperados, o que pode ser indício de não-conformidade. A verificação periódica dos cabos de ligação também é importante, bem como a solidez dos elementos estruturais como o suporte, parafusos de fixação e caias de conexão (PINHO, J.T. *et. al.*, 2008).

Apesar de serem confiáveis e duráveis, é preciso atentar para o fato de que nem todo componente apresenta a mesma maturidade tecnológica. Inversores, controladores e conversores apresentam uma vida útil de 10 anos e, no caso de uma configuração *off-grid*, as baterias são talvez o elo mais fraco, pois demandam manutenção mais frequente e devem ser trocadas num período entre 4 e 8 anos (LUQUE; HEGEDUS, 2002).

Já os módulos fotovoltaicos duram mais de 20 anos com pouca manutenção, sendo projetados para resistir às variações diárias de temperatura, vento, areia, granizo, tempestades e exposição prolongada a raios UV (LUQUE; HEGEDUS, 2002). Não exigem nenhum procedimento de operação complexo, sendo necessário apenas realizar a limpeza das placas regularmente, fazendo a inspeção visual das mesmas para averiguar se existe alguma anomalia como rachaduras, perda de coloração ou surgimento de algum sombreamento inesperado (PINHO, J.T. *et. al.*, 2008).

4. PRODUÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL E NO MUNDO

4.1 PANORAMA MUNDIAL

Nos estágios iniciais de desenvolvimento da tecnologia, a produção foi liderada pelos inventores das células fotovoltaicas modernas, os EUA. Em 1997, pela primeira vez o Japão assumiu o posto, após problemas no fornecimento de eletricidade provenientes de outras fontes. Com subsídios no setor de energias renováveis, a Alemanha se tornou a maior produtora no período entre 2005 e 2014. Finalmente, com investimentos massivos no setor, a China ultrapassou o país europeu em 2015 e ocupa o topo até hoje. Na figura 4.1 são exibidos os principais atores do mercado, tanto em 2018 quanto na capacidade acumulada.

TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR INSTALLATIONS AND TOTAL INSTALLED CAPACITY IN 2018
FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY FOR CUMULATIVE CAPACITY

| FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY | | | | FOR CUMULATIVE CAPACITY | | | |
|-------------------------------|---|-------------|---------|-------------------------|---|-----------|----------|
| 1 |  | China | 45,0 GW | 1 |  | China | 176,1 GW |
| 2 |  | India | 10,8 GW | 2 |  | USA | 62,2 GW |
| 3 |  | USA | 10,6 GW | 3 |  | Japan | 56,0 GW |
| 4 |  | Japan | 6,5 GW | 4 |  | Germany | 45,4 GW |
| 5 |  | Australia | 3,8 GW | 5 |  | India | 32,9 GW |
| 6 |  | Germany | 3,0 GW | 6 |  | Italy | 20,1 GW |
| 7 |  | Mexico | 2,7 GW | 7 |  | UK | 13,0 GW |
| 8 |  | Korea | 2,0 GW | 8 |  | Australia | 11,3 GW |
| 9 |  | Turkey | 1,6 GW | 9 |  | France | 9,0 GW |
| 10 |  | Netherlands | 1,3 GW | 10 |  | Korea | 7,9 GW |

Figura 4.1 – Países com maior acréscimo de capacidade instalada em 2018 e ranking da potência acumulada (Fonte: IEA, 2019).

A demanda por energia fotovoltaica expande e se propaga na medida em que se transforma na opção mais competitiva em um número cada vez maior de mercados, tanto em aplicações comerciais e residenciais quanto em usinas solares. Em 2018, se tornou a tecnologia de geração de eletricidade que mais cresce no mundo, com um acréscimo de aproximadamente 25% de capacidade instalada em relação ao ano anterior. (REN21, 2019).

Nota-se o seu progresso exponencial na figura 4.2, que compara a adição de capacidade instalada em relação aos anos anteriores. Vale ressaltar que entre 2008 e 2018

houve um salto de 15 GW para 505 GW, o que representa um acréscimo de 33,6 vezes no período (REN21, 2019).

FIGURE 25. Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2008-2018

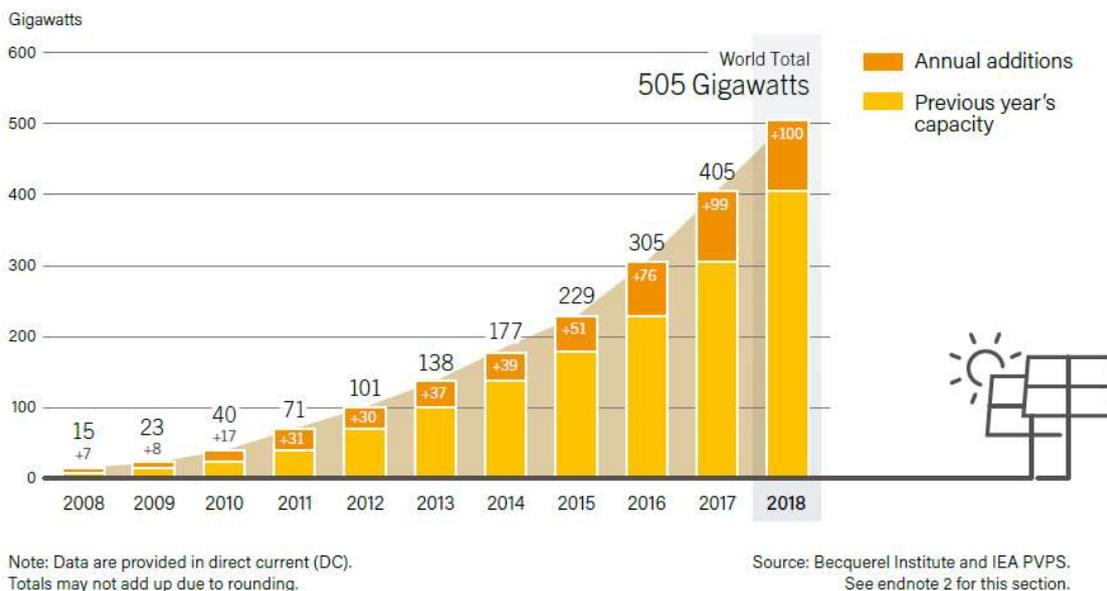


Figura 4.2 – Capacidade instalada global acumulada e seu aumento anual em GW entre 2008 e 2018 (Fonte: REN21, 2019).

É possível perceber também o aumento substancial da participação dessa fonte na geração elétrica global, passando de 0,9% para 2,6% nos últimos 4 anos. Honduras é o país com maior participação de sistemas fotovoltaicos em relação ao total de eletricidade produzida, seguido pela Alemanha, Grécia, Itália, Chile, Japão e Austrália, conforme mostrado na figura 4.3. Os outros países que estão listados no ranking de capacidade acumulada tem as seguintes fatias em relação ao total: China (3,3%), EUA (2,3%), França (2,2%), Coreia (2,2%) e Reino Unido (3,9%). (Fonte: IEA-PVPS, 2019).

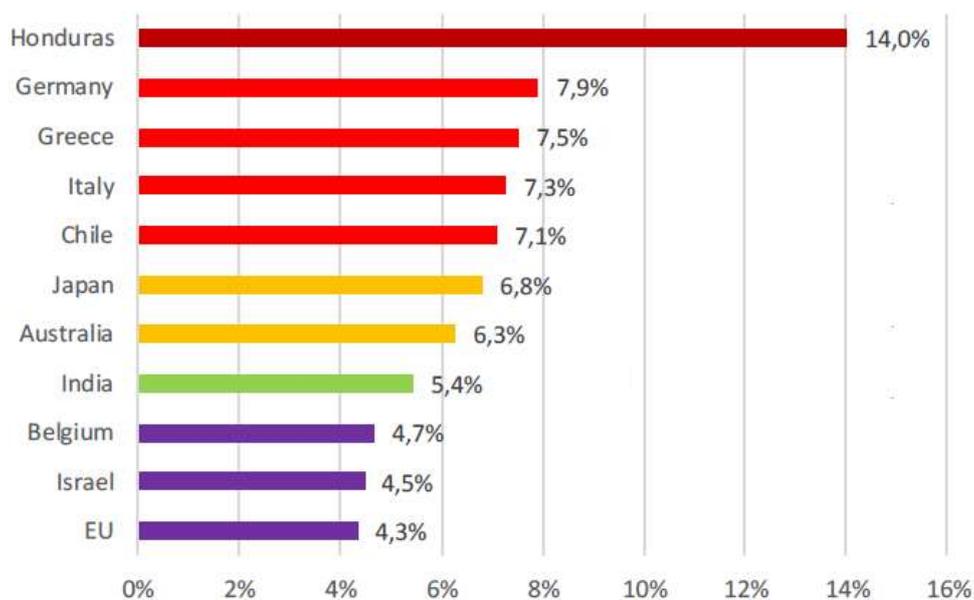


Figura 4.3 – Penetração dos fotovoltaicos na produção de energia total por país em 2018 (Fonte: IEA-PVPS, 2019).

4.1.1 MERCADO FOTOVOLTAICO GLOBAL

Ao longo da última década, a fabricação de módulos foi transferida dos EUA, Japão e Europa para a China, que domina amplamente esse campo, bem como o mercado mundial solar, fato evidenciado na figura 4.4, que mostra as maiores empresas. A indústria, buscando antecipar o crescimento da demanda, elevou constantemente a sua capacidade, gerando um persistente excedente na produção.

O excesso de oferta no mundo, acentuado em 2018 pela decisão do governo chinês de restringir a demanda doméstica vem colaborando para redução dos preços e inserção da tecnologia em mais países. A competição e a pressão sobre os preços ocasionaram em investimentos em fábricas novas e mais eficientes, mantendo os avanços no setor (TOLMASQUIM, 2016; REN21, 2019).

| 2018 RANK | COMPANY | HEADQUARTERS |
|-----------|----------------|--------------|
| 1 | JinkoSolar | China |
| 2 | JA Solar | China |
| 3 | Trina Solar | China |
| 4 | LONGi Solar | China |
| 5 | Canadian Solar | Canada |
| 6 | Hanwha Q-CELLS | South Korea |
| 7 | Risen Energy | China |
| 8 | GCL-SI | Hong Kong |
| 9 | Talesun | China |
| 10 | First Solar | USA |

*Source: pv-tech.org

Figura 4.4 – Fabricantes de painéis fotovoltaicos com a maior participação no mercado, baseado nas vendas em 2018 (Fonte: COLVILLE, 2019).

4.1.2 PERSPECTIVAS DE CRESCIMENTO NO MUNDO

A produção e o consumo de energia permanecem como o foco central dos esforços globais para tratar das alterações no clima. 181 países enviaram “contribuições nacionalmente determinadas”¹⁶ para a CQNUMC¹⁷ e 75% delas fazem referência direta às fontes renováveis como ferramenta para mitigar a mudança climática global. Com os incentivos recebidos e as transformações em andamento nos sistemas elétricos, aceleradas pelo fechamento de usinas termelétricas e nucleares, surge a oportunidade de crescimento da geração solar fotovoltaica.

. Essa fonte liderou os gastos com a instalação de novas plantas considerando todas as tecnologias em 2018. A figura 4.5 mostra os gastos com a implementação de novas usinas nucleares e baseadas em combustíveis fósseis, hidrelétricas e renováveis modernas. Observa-se o domínio das últimas sobre as outras, devendo ser destacado que 48% dos US\$272.000.000.000,00 foram investidos na geração fotovoltaica pelo mundo, evidenciando uma perspectiva de crescimento notória.

¹⁶ Metas de cada país de redução das emissões e adaptação aos impactos das mudanças climáticas

¹⁷ Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

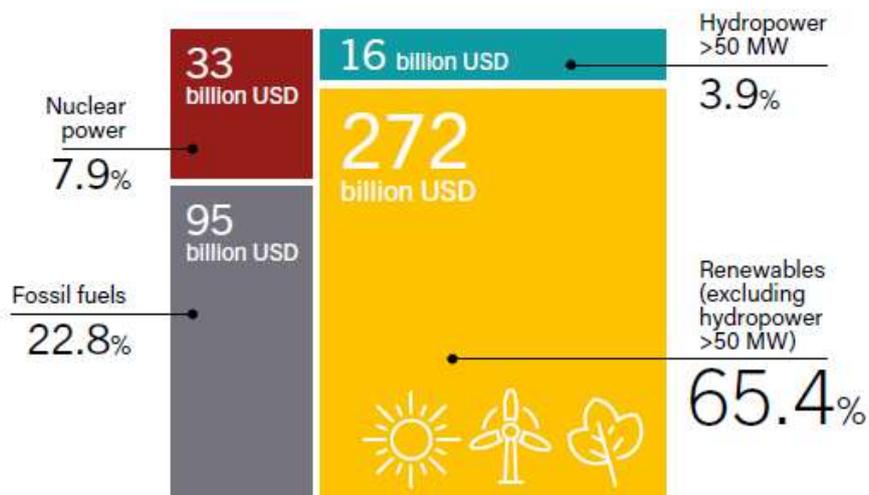


Figura 4.5 – Investimento global estimado em novas plantas por tipo de energia (Fonte: REN21, 2019).

4.2 PANORAMA BRASILEIRO

O início dos estudos sobre a energia fotovoltaica no Brasil se deu a partir dos anos 1950, sendo intensificado posteriormente em 1970 com o aparecimento de vários laboratórios e grupos de pesquisa pelo país dedicados à energia solar. Ao mesmo tempo, aplicações relacionadas a telecomunicações e sistemas de bombeamento d'água foram concebidas.

Pensando principalmente no atendimento de localidades afastadas da rede elétrica, o governo federal cria em 1994 o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM). Em 2003, o Programa Luz para Todos, visando universalizar o acesso a eletricidade, acabou impulsionando a instalação de sistemas fotovoltaicos (TOLMASQUIM, 2016).

A geração centralizada deu seus primeiros passos em 2014, quando houve o Leilão de Energia¹⁸ de Reserva do Ministério de Minas e Energia. Pela primeira vez contou com um certame exclusivo para tal fonte e assegurou a contratação de 890 MW. Desde então essa modalidade cresce no Brasil com a construção e início de operação das novas usinas, como podemos observar na figura 4.6, tendo atualmente 2.172 MW de potência instalada, com previsão de atingir a marca de 3.235 MW ao fim de 2019.

¹⁸ Principal forma de contratação de energia no Brasil. São realizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) por delegação da ANEEL.

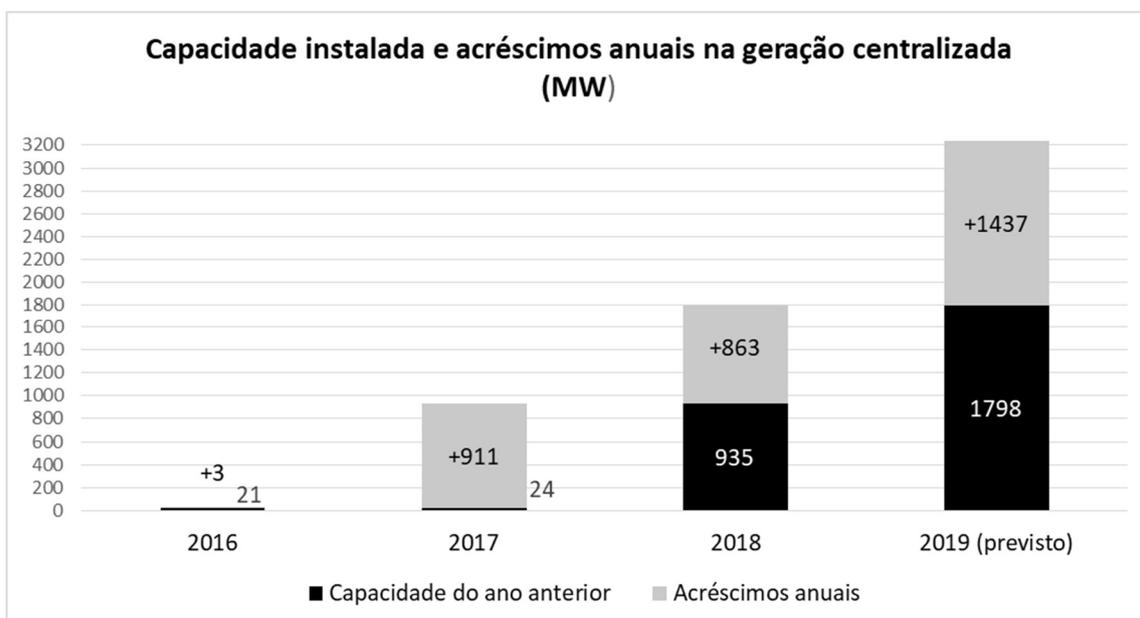


Figura 4.6 – Capacidade instalada na geração fotovoltaica centralizada ano a ano (Fonte: Elaboração própria a partir de GREENER, 2018 e EPE, 2019a).

Sua participação na matriz elétrica brasileira é de 1,2%, ainda abaixo da mundial, mas aparece como a sétima mais importante no cenário nacional, à frente inclusive da nuclear. A figura 4.7 mostra a participação das diversas fontes de energia na matriz elétrica.

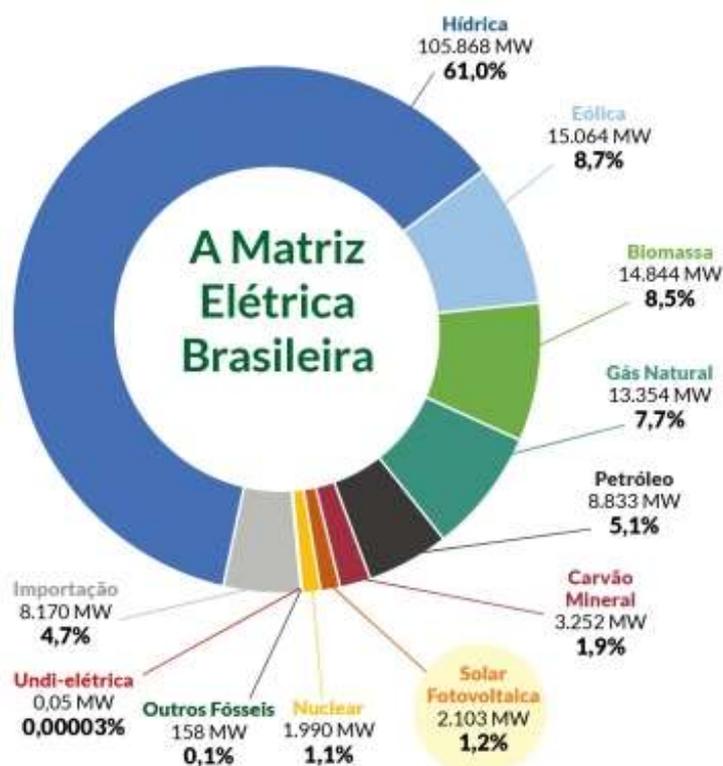


Figura 4.7 – Matriz elétrica brasileira (Fonte: ABSOLAR, 2019b).

Já a geração distribuída foi impulsionada pela Chamada de Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Estratégico 013/2011¹⁹ da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e pela regulamentação de sistemas conectados à rede em 2012 com subsequente revisão da norma em 2015. Com esses estímulos houve um crescimento acelerado nos últimos 6 anos, como é possível notar na figura 4.8.

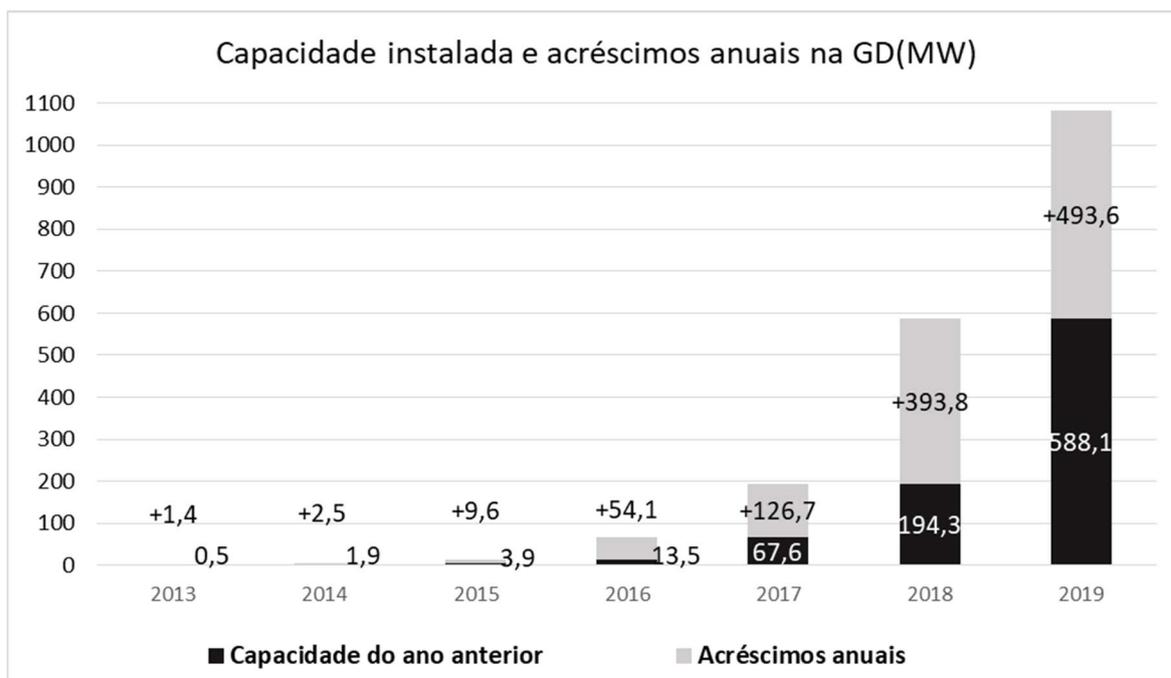


Figura 4.8 – Capacidade instalada na geração distribuída acumulada e seu aumento anual em GW entre 2013 e agosto de 2019 (Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL, 2019).

Segundo dados da ANEEL, atualmente existem 101.698 sistemas *on-grid* com 127.862 consumidores recebendo créditos de energia elétrica, atingindo a marca de 1.087 MW de capacidade instalada nessa modalidade. O segmento que mais colabora para esse montante é o comercial com 451 MW, seguido pelo residencial com 395 MW. A figura 4.9 mostra o percentual de potência instalada por classe de consumo.

¹⁹ Compreende pesquisas e desenvolvimentos que coordenem a geração de um novo conhecimento tecnológico com relevância para o setor elétrico. Visa fomentar a inserção da energia fotovoltaica no Brasil (ANEEL, 2011).

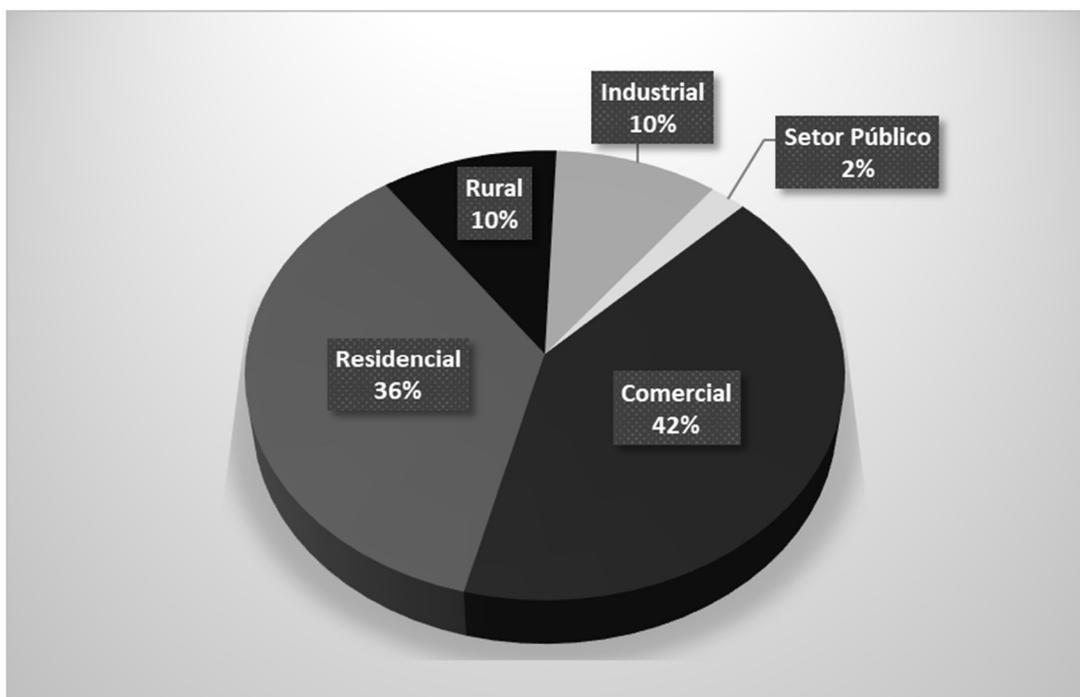


Figura 4.9 – Potência instalada na geração distribuída por classe de consumo (Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL, 2019).

4.2.1 MERCADO FOTOVOLTAICO NACIONAL

Como a cadeia produtiva no Brasil ainda está em fase nascente, não existem produtoras de silício purificado até o grau solar, nem de algumas partes constituintes dos módulos. A grande maioria dos componentes é importada e as fábricas aqui instaladas atuam como montadoras, observadas na figura 4.10. Há uma tendência de aumento do número de empresas atuantes no setor devido à estimativa de investimento para os próximos anos e regras de financiamento do BNDES, que exigem a nacionalização progressiva dos componentes e processos (RAMOS *et. al.*, 2018).

| Fabricante | Localização | Tecnologia | Capacidade Produtiva Anual | Código Finame | Status |
|-------------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------|---------------|---------------|
| Balfar Solar | Paranaíba-PR | Silício Cristalino | 1,2 MWp | Não | Em construção |
| BYD | Campinas-SP | Silício Cristalino | 200 MWp | Sim | Operacional |
| Canadian Solar/ Flex | Sorocaba-SP | Silício Cristalino | 360 MWp | Sim | Operacional |
| Csem/Sunew | Belo Horizonte- MG | Filme Orgânico | 10 MWp | Sim | Operacional |
| Globo Brasil | Valinhos-SP | Silício Cristalino | 180 MWp | Sim | Operacional |
| Minasol | Araguari-MG | Silício Cristalino | N/D | Sim | Operacional |
| Premier/ Multisolar Energy | Osasco-SP | Silício Cristalino | 10 MWp | Sim | Operacional |
| Pure Energy | Marechal Deodoro-AL | Silício Cristalino | 40 MWp | Não | Operacional |
| S4 Solar | Suape-PE | Silício Cristalino | 200 MWp | Não | Em construção |
| Tecnometal/DYA Solar | Campinas -SP | Silício Cristalino | 25 MWp | Sim | Operacional |

Figura 4.10 – Fabricantes de módulos fotovoltaicos no Brasil (Fonte: RAMOS *et. al.*, 2018).

As empresas integradoras são o elo entre os fabricantes de equipamentos fotovoltaicos e os interessados em utilizá-los, como mostrado na figura 4.11. São responsáveis pelo projeto, venda, materiais, ferramentas, instalação e conexão à rede (GREENER, 2016).



Figura 4.11 – Cadeia do mercado de geração distribuída (Fonte: GREENER, 2016).

O número de companhias desse tipo no Brasil cresceu de aproximadamente 400 em 2014, para 6 mil em janeiro de 2019. Seu perfil majoritário é de empreendedores de menor porte e praticamente todas são 100% locais (LOPES, 2019).

4.2.2 PERSPECTIVAS DE CRESCIMENTO NO BRASIL

Em estudo realizado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) estimou-se a capacidade de geração solar centralizada a partir do mapeamento de regiões capazes de receberem as usinas em todo o território brasileiro, salvo os biomas da Amazônia e do Pantanal.

Foram consideradas áreas maiores que 0,5 km² e de baixa declividade, excluindo-se as sob proteção, urbanas e próximas a rios. Do restante, descontou-se 20% referente às restrições de uso impostas pelo código florestal. Sobre as áreas aptas encontradas, foi feito um levantamento quantitativo apenas em territórios antropizados, desconsiderando-se onde há vegetação nativa.

Assumiu-se a possibilidade de instalação de 70 MWp/km² para calcular a potência em cada estrato, utilizando-se os respectivos fatores de capacidade²⁰ médios para se obter a energia. Na figura 4.12 nota-se o potencial de geração em áreas aptas divididas por faixa de irradiação.

Figura 4.12 – Potencial brasileiro de geração fotovoltaica centralizada em áreas aptas antropizadas (Fonte: EPE, 2018).

| Faixa de irradiação (Wh/m ² .dia) | FCcc médio | Área (km ²) | Potência Fotovoltaica (GWp) | Energia Gerada (TWh/ano) |
|--|------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 4400-4800 | 14,88% | 347 | 24 | 32 |
| 4800-5100 | 15,80% | 10.675 | 747 | 1.034 |
| 5100-5400 | 16,44% | 68.619 | 4.803 | 6.918 |
| 5400-5500 | 17,04% | 37.400 | 2.618 | 3.908 |
| 5500-5600 | 17,35% | 48.664 | 3.406 | 5.178 |
| 5600-5800 | 17,79% | 144.303 | 10.101 | 15.739 |
| 5800-6000 | 18,48% | 93.048 | 6.513 | 10.542 |
| 6000-6200 | 18,84% | 4.381 | 307 | 506 |

Nota: Considera-se como áreas antropizadas as áreas de agricultura, agropecuária, pecuária (pastagem), reflorestamento e outros (influência urbana, degradadas por mineração ou indiscriminadas).

Considerando somente a zona de irradiação máxima em locais já modificados pelo homem, estima-se uma possibilidade de instalação de 307 GWp com produção de 506 TWh/ano. Cabe salientar que até mesmo as faixas de menor irradiação possuem insolação mais elevada que as melhores localidades na Alemanha, país referência em energia solar,

²⁰ Proporção entre a produção efetiva da usina em um período de tempo e a capacidade total máxima neste mesmo período

o que mostra que a dispersão de empreendimentos desse tipo por todo o território nacional é possível.

O Brasil já demonstra indícios de aproveitamento desse potencial, com a realização de 6 leilões de energia que contaram com certames exclusivos para essa fonte. A data prevista para início de operação das usinas contratadas é janeiro de 2023, o que possibilitará o país de atingir a marca de 4.237 MW instalados, frente aos atuais 2.103 MW. Ademais, estão programados mais 6 leilões até o final de 2021.

Há de se destacar também que ao longo dos anos houve uma queda acentuada no valor da energia fotovoltaica nacional, caindo de R\$279,65 (valor corrigido pelo IPCA) no primeiro leilão realizado em 2014 para R\$67,48 no último leilão de 2019. Esse declínio de aproximadamente 76% é o recorde histórico mínimo no país, o colocando na lista dos mais competitivos nessa modalidade, como mostrado na figura 4.13.

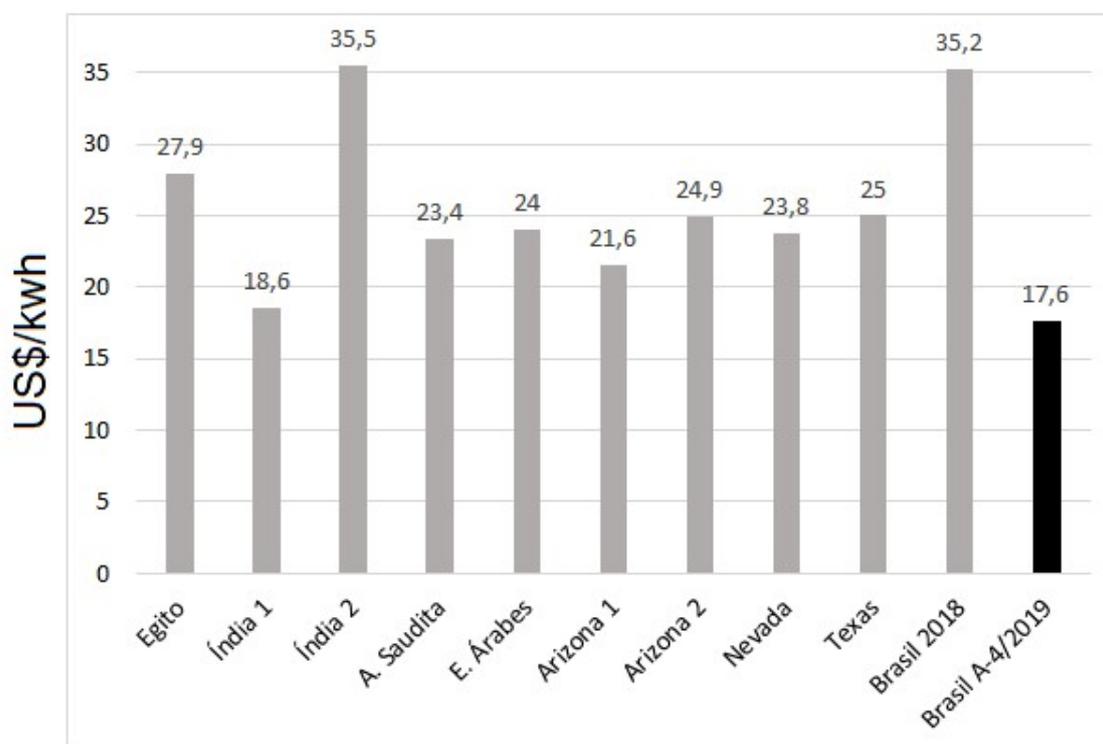


Figura 4.13 – Menores preços de projetos fotovoltaicos no mundo em 2018 (Fonte: Elaboração própria a partir de EPE, 2019b).

Em 2012 um estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em parceria com a Agência de Cooperação Internacional Alemã (GIZ) referente a geração em telhados residenciais, comprovou o grande potencial brasileiro. Constatou-se que todos os estados teriam condição de suprir seu consumo elétrico domiciliar de forma integral

somente com o uso da energia fotovoltaica. A tabela 4.1 compara o potencial de produção nesses lugares com o consumo aferido em 2013.

Tabela 4.1 – Potencial fotovoltaico em telhados residenciais e relação com o consumo em 2013

(Fonte: Elaboração própria a partir de NASCIMENTO, 2017).

| UF | Potencial (MWmédio) | Potencial (GWh/ano) | Consumo Residencial 2013 (GWh) | Relação Potencial/Consumo |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------|
| São Paulo | 7.100 | 62.196 | 38.783 | 160% |
| Minas Gerais | 3.675 | 32.193 | 10.118 | 318% |
| Rio de Janeiro | 2.685 | 23.521 | 12.833 | 183% |
| Bahia | 2.360 | 20.674 | 6.144 | 336% |
| Rio Grande do Sul | 1.970 | 17.257 | 7.750 | 223% |
| Paraná | 1.960 | 17.170 | 6.986 | 246% |
| Ceará | 1.430 | 12.527 | 3.751 | 334% |
| Pernambuco | 1.410 | 12.352 | 4.563 | 271% |
| Goiás | 1.220 | 10.687 | 3.958 | 270% |
| Santa Catarina | 1.075 | 9.417 | 4.935 | 191% |
| Pará | 1.020 | 8.935 | 2.563 | 349% |
| Maranhão | 1.020 | 8.935 | 2.632 | 339% |
| Paraíba | 655 | 5.738 | 1.603 | 358% |
| Espírito Santo | 595 | 5.212 | 2.213 | 236% |
| Mato Grosso | 570 | 4.993 | 2.182 | 229% |
| Piauí | 555 | 4.862 | 1.805 | 269% |
| Rio Grande do Norte | 555 | 4.862 | 1.328 | 366% |
| Alagoas | 505 | 4.424 | 1.571 | 282% |
| Mato Grosso do Sul | 505 | 4.424 | 1.227 | 361% |
| Amazonas | 420 | 3.679 | 1.784 | 206% |
| Distrito Federal | 410 | 3.592 | 2.191 | 164% |
| Sergipe | 350 | 3.066 | 979 | 313% |
| Rondônia | 265 | 2.321 | 1.084 | 214% |
| Tocantins | 255 | 2.234 | 695 | 321% |
| Acre | 110 | 964 | 373 | 258% |
| Amapá | 80 | 701 | 500 | 140% |
| Roraima | 65 | 569 | 345 | 165% |
| TOTAL | 32.820 | 287.505 | 124.896 | 230% |

Vale destacar que em regiões mais próximas da linha do equador a possibilidade de integração com as edificações já existentes é superior à das regiões localizadas perto dos trópicos. Isso ocorre pois estas requerem um posicionamento mais específico para aproveitamento da irradiação, enquanto as primeiras toleram mais desvios na inclinação dos módulos (EPE, 2018).

A utilização cada vez maior da energia solar fotovoltaica no Brasil já está em curso e continuará como tendência, não só por sua crescente competitividade, mas também pelas dificuldades nacionais no setor elétrico. Entre 2013 e 2016 houve um aumento de 65% no preço da eletricidade conforme o Sistema de Acompanhamento de Informações de Mercado para Regulação Econômica (SAMP) da ANEEL (RAMOS *et. al.*, 2018). Os acréscimos tarifários aliados à redução do custo da produção solar, tornaram a geração

distribuída financeiramente mais vantajosa em todo o Brasil, considerando os valores praticados pelas concessionárias com os impostos incidentes (GIACOMAZZI e MEZADRE, 2018).

Ademais, outras vantagens competitivas podem impulsionar essa tecnologia, como: complementaridade com a geração hidrelétrica, pois os períodos de escassez de chuvas coincidem com alta incidência de radiação solar; regulamentação favorável para a geração distribuída e centralizada, especialmente os leilões; fonte de financiamento competitiva por meio do BNDES e Fundos Constitucionais de Financiamento (RAMOS *et. al.*, 2018).

5. ASPECTOS ECONÔMICOS

A geração fotovoltaica experimentou uma redução de custos ao longo dos últimos anos, ao contrário de várias formas convencionais de obtenção de eletricidade. Inovações tecnológicas, aumentos em eficiência, menores perdas de conversão elétrica e produção em grande escala contribuíram para essa diminuição e para a difusão dos sistemas (TOLMASQUIM, 2016).

Um dado importante ao se analisar os gastos é o preço por Watt pico dos módulos. Na década de 1980 era de aproximadamente US\$100,00/Wp, caindo para US\$9,00/Wp em 1998. Entre 2004 e 2008 já valiam entre US\$4,00 e US\$3,50, permanecendo relativamente constante apesar de avanços técnicos e de mercado devido à falta de p-Si e a incentivos na Alemanha, Itália e Espanha, o que restringiu a fabricação e inibiu uma competição efetiva. O progresso obtido nesse período aliado a estagnação no valor, levou a uma queda abrupta para US\$2,00/Wp em 2009. Três anos depois, atingiram pela primeira vez uma marca inferior a US\$1,00/Wp, chegando a US\$0,40/Wp em 2017. (RAMOS, C. *et. al.*, 2018).

A figura 5.1 ilustra essa tendência, indicando o preço médio de módulos p-Si no período de 2013 a 2019 (azul claro), quando atingiu a marca de US\$ 0,244/Wp. Também são colocados em evidência os valores do silício policristalino (em azul escuro), dos *wafers* (em laranja) e das células (em cinza), bem como a evolução da sua representatividade no custo final.

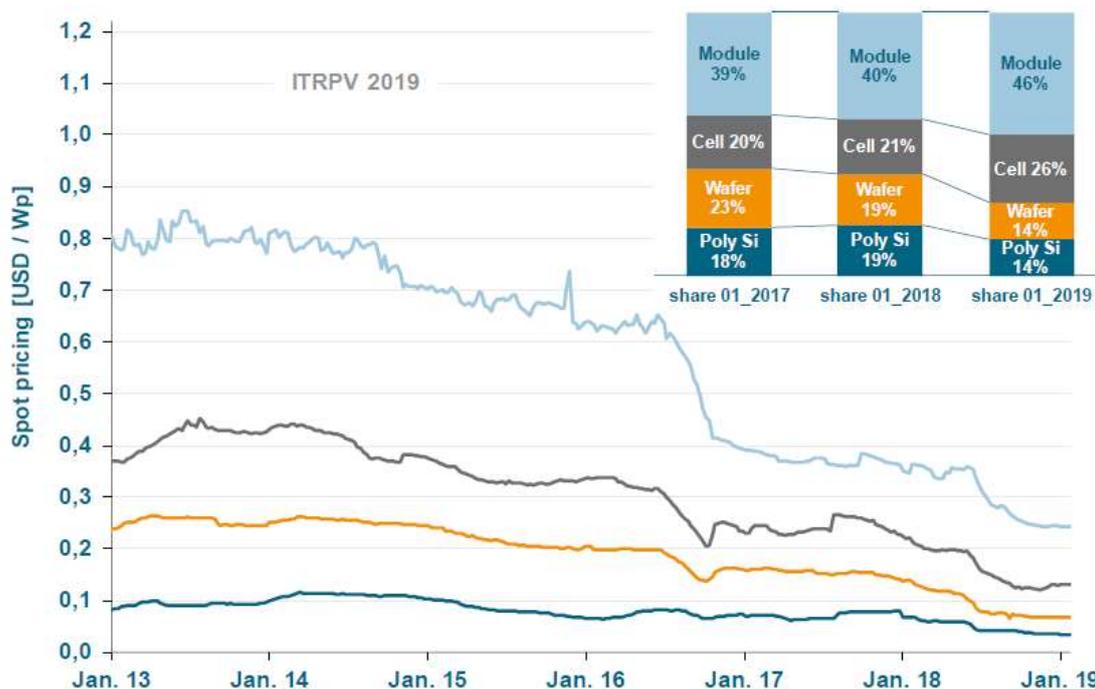


Figura 5.1 – Evolução do preço de módulos fotovoltaicos de silício (Fonte: SANDERSON, 2019).

Apesar de corresponderem por boa parcela dos custos de um sistema, os módulos não são as únicas partes que o constituem. O balanço do sistema de componentes fotovoltaicos (BOS)²¹, além de serviços como projeto, instalação e despesas administrativas tem impacto significativo no valor final, como verificado na figura 5.2, que indica a fatia que pertence a cada item.

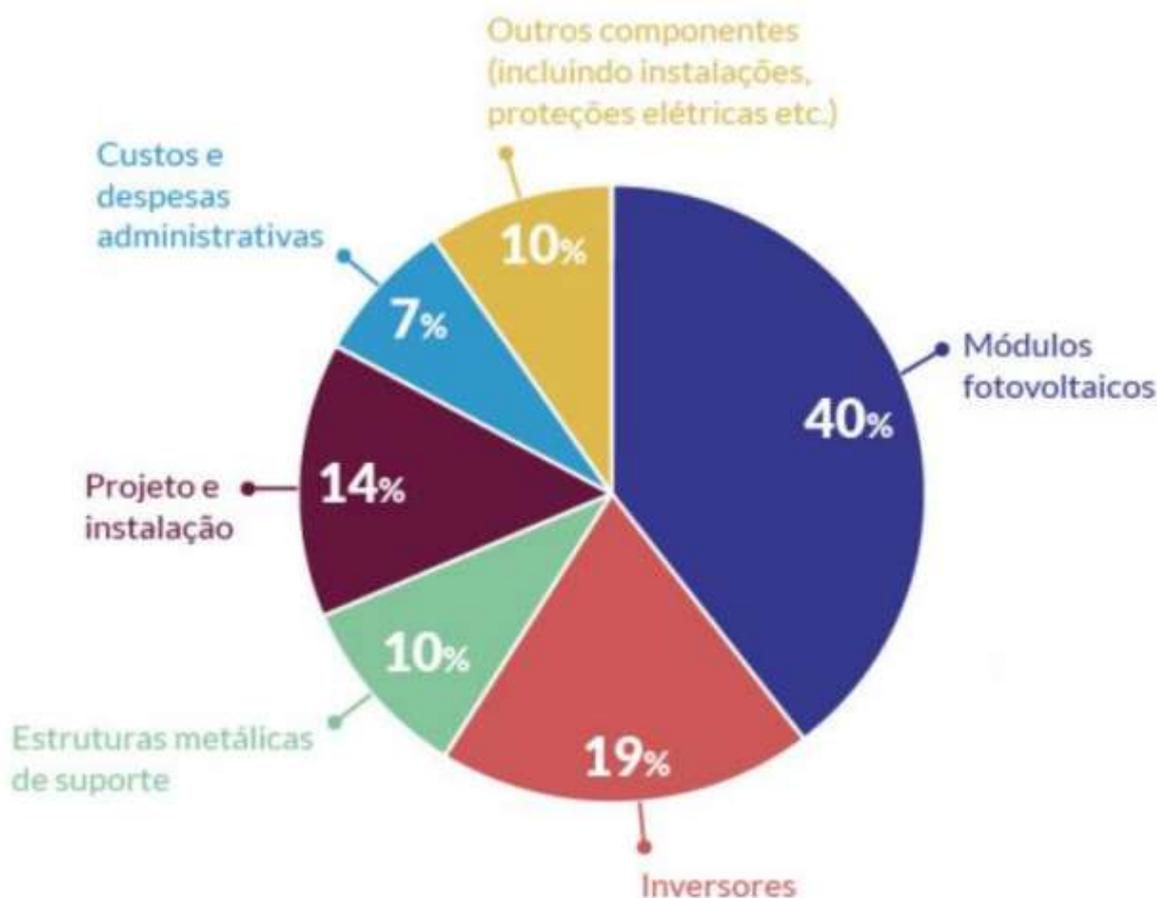


Figura 5.2 – Composição do custo de instalação de um sistema fotovoltaico (Fonte: IDEAL, 2019).

A redução no preço dos elementos dos módulos, dos próprios painéis e do BOS são os principais fatores que levaram a diminuição dos gastos para geração. A figura 5.3 evidencia a evolução do custo nivelado²² de energia fotovoltaica em US\$/kWh ao longo

²¹ O BOS inclui todos os componentes dos sistemas fotovoltaicos que não sejam os painéis, como fiação elétrica, cabos, inversores, estrutura de suporte mecânico e dispositivos de proteção.

²² O Custo Nivelado de Energia (do inglês *Levelized Cost of Energy*, ou LCOE) é calculado ao se contabilizar todos os gastos esperados com o projeto, incluindo construção, financiamento, operação, manutenção e inflação. O valor total é dividido pela potência produzida durante a vida útil do sistema.

dos anos no mundo. A linha amarela se refere ao custo médio, enquanto a faixa cinza representa os valores máximo e mínimo.

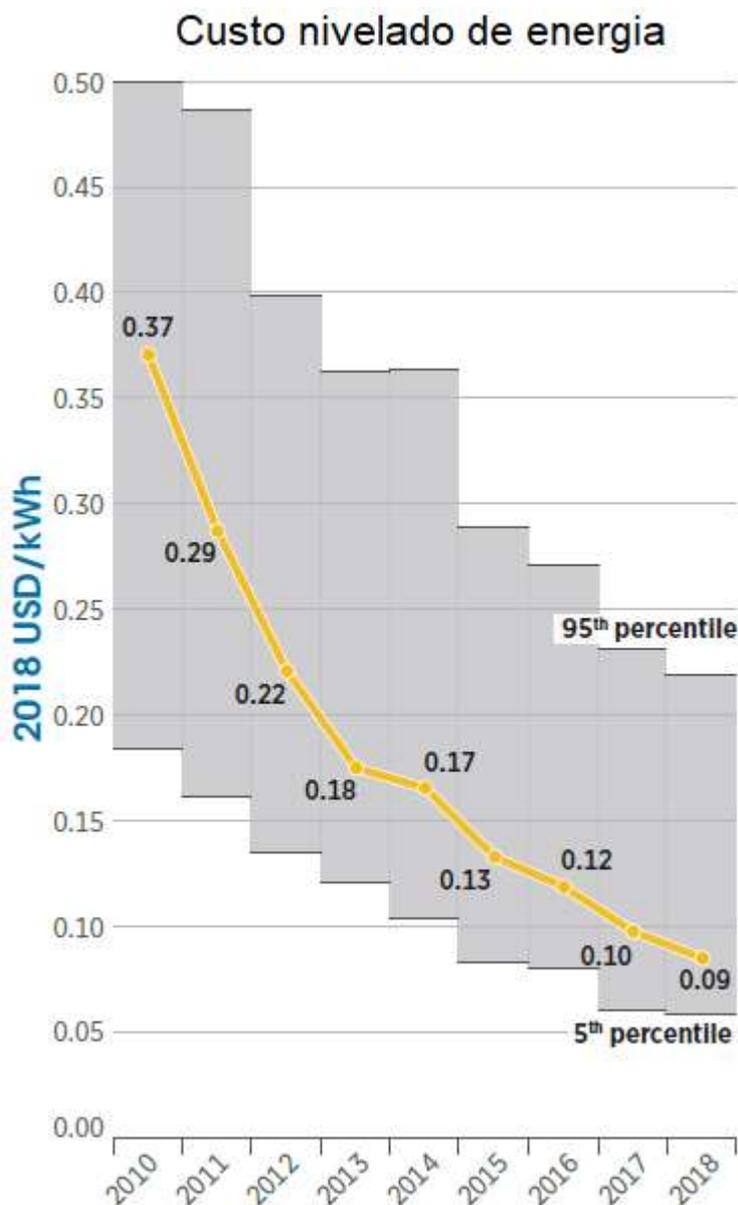


Figura 5.3 – Evolução do custo nivelado de energia para produção solar fotovoltaica (Fonte: IRENA, 2019).

Espera-se que os custos da energia fotovoltaica continuem decrescendo em médio e longo prazo e que até 2040 se reduzam em 60% (RAMOS, C. *et. al.*, 2018).

O mercado brasileiro acompanhou a tendência mundial e isso se refletiu no preço final para o consumidor. Entre junho de 2016 e junho de 2019 houve uma redução de 48% no valor dos kits fotovoltaicos (módulos, inversores, estrutura e acessórios) para sistemas residenciais e 56% nos comerciais. O serviço de integração, que envolve engenharia, mão

de obra de instalação, impostos e margem de lucro das empresas também diminuiu nesse período, devido ao ganho de escala e eficiência e a uma grande competitividade no setor. (GREENER, 2019).

5.1 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE FINANCEIRA

Um estudo de viabilidade econômica compara os recursos demandados com os retornos obtidos, determinando se o investimento é vantajoso ou não. Na geração distribuída, isso significa comparar os gastos que o consumidor teria ao comprar energia junto a concessionária com os dispêndios exigidos por um sistema fotovoltaico ao longo de toda sua vida útil, incluindo a compra, instalação, operação e manutenção. Para isso, são utilizados alguns conceitos de matemática financeira definidos por Gitman (2010) e apresentados a seguir.

Fluxo de caixa é a projeção do montante de capital que sairá e entrará no empreendimento ao longo de um período determinado;

Período de *payback* é o tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado. Quanto maior for o *payback*, mais tempo será preciso para se obter de volta o capital injetado;

O Valor Presente Líquido, mostrado na equação 5.1, transfere todo o fluxo de caixa previsto no projeto para a data inicial do mesmo a partir de uma determinada taxa de juros. Caso o VPL seja positivo, significa que haverá lucro;

$$VPL = -FC_0 + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k} \quad (5.1)$$

onde:

FC_k = Fluxos de caixa referentes a cada ano

FC_0 = Investimento inicial

$k = (1; n)$ = períodos do horizonte de projeto

i = taxa de juros

A Taxa Interna de Retorno (TIR) representa a taxa de desconto que faz com que o VPL do investimento seja igual a zero. É utilizada para analisar a rentabilidade do projeto, significando que o mesmo é lucrativo caso a TIR seja maior que o custo de capital.

6. ESTUDO DE CASO: RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM TERESÓPOLIS-RJ

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A residência utilizada para o estudo de caso situa-se no bairro Jardim Cascata, Teresópolis-RJ, Brasil. Foi construída em um terreno de 54m de largura por 32m de profundidade, totalizando 1.728m². O bairro é predominantemente residencial, caracterizado pela alta presença de casas, algumas só ocupadas durante a alta temporada. Há ainda um terreno em frente ao domicílio com vegetação nativa e é uma Área de Proteção Ambiental.

Há consumo de eletricidade nos 5 quartos, 3 banheiros, área de serviço, cozinha, sala de estar, salão de jogos, piscina, campo de futebol e jardim. Existem eletrodomésticos como TVs, geladeira, freezer, micro-ondas, aparelhos de som, aquecedores, chuveiros elétricos, máquina de lavar e ferro de passar, além de iluminação em todos os cômodos, na área externa e refletores.

A instalação elétrica é do tipo monofásico com tensão inferior a 2,3 kV e se enquadra no subgrupo B1 (residencial) da ANEEL. A região é atendida pela Enel Distribuição Rio, anteriormente conhecida como Ampla. A figura 6.1 mostra a localização da residência, evidenciando a predominância de casas e área verde na região, o que é favorável ao projeto, já que não há potenciais sombreamentos causados por agentes externos.

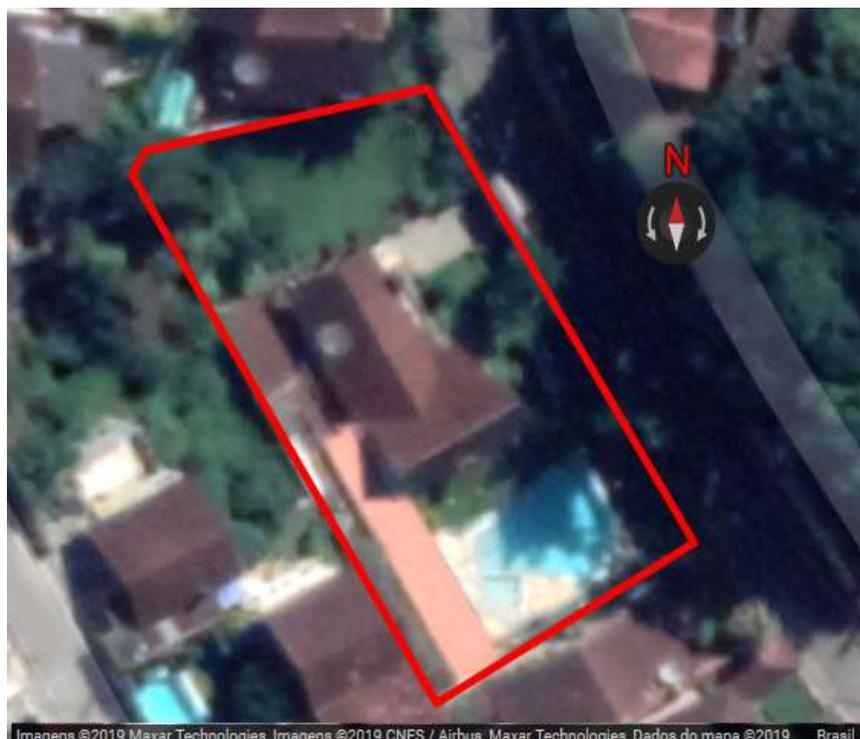


Figura 6.1 – Vista aérea do local do projeto (fonte: GOOGLE MAPS, 2019).

6.2 TARIFA DE ELETRICIDADE

Para a avaliação da viabilidade do empreendimento são necessários os dados relacionados às tarifas de energia vigentes, bem como suas projeções para os próximos anos. Conforme estabelecido pela Resolução Homologatória 2.523 de 26/03/2019 da ANEEL, o valor pago para o subgrupo B1 no momento do estudo era de 0,66822 R\$/kWh na bandeira verde sem impostos. Os clientes residenciais que consomem até 300 kWh pagam 18% de ICMS, aqueles que têm consumo entre 301kWh e 450kwh pagam 31% e aqueles que têm o consumo superior a 450kwh pagam 30%. Ainda incide sobre o valor da fatura a Contribuição de Iluminação Pública (CIP), PIS e COFINS (ENEL, 2019).

A figura 6.2 mostra o progresso do preço da eletricidade no Brasil por períodos e classe consumidora, além do Índice de Preços ao Consumidor (IPCA).

| | 1995 – 2004 | 2005 - 2012 | 2012 - 2013 | 1995 – 2013 |
|--|--------------|-------------|---------------|-------------|
| Residencial (com impostos) | 19,4% | 2,5% | -15,3% | 9,9% |
| Comercial (com impostos) | 15,4% | 2,3% | -13,1% | 8,2% |
| Industrial (com impostos) | 13,5% | 4,8% | -13,3% | 9,0% |
| Tarifa média (sem impostos) | 12,9% | 2,7% | -13,2% | 7,3% |
| Tarifa média (com impostos) | 16,0% | 3,3% | -13,2% | 9,1% |
| IPCA | 7,6% | 5,1% | 5,9% | 6,4% |

Figura 6.2 - Evolução das tarifas de energia elétrica e IPCA (fonte: NAKABAYASHI, 2014).

A atualização anual se dá através do Índice de Reajuste de Tarifas (IRT), porém não há uma trajetória bem definida, como é possível observar. Portanto, serão avaliados 3 diferentes cenários possíveis com valores de 2,5% (A), 3,7% (B) e 9,9% (C). O primeiro e o último são os reajustes históricos com impostos para consumidores residenciais nos períodos 2005-2012 e 1995-2013 respectivamente. Já o intermediário é o valor da inflação, que foi obtido a partir da média geométrica para a projeção do IPCA dos próximos anos.

Tabela 6.1 - Projeções do IPCA entre 2020-2023 feitas em 30/08/2019 e média geométrica dos índices (fonte: elaboração própria a partir de BCB, 2019a).

| ANO | IPCA |
|-------|-------|
| 2020 | 3,85% |
| 2021 | 3,78% |
| 2022 | 3,60% |
| 2023 | 3,55% |
| MÉDIA | 3,70% |

Vale ressaltar que o valor acumulado dos reajustes tarifários entre 2013 e 2018 foi de 98,85%, bem acima da variação do IPCA, que foi de 41,59% no mesmo período, indicando que o quadro A e B são estimativas conservadoras (Enel, 2019 e BCB, 2019a). Estes valores serão utilizados pois a intenção é mostrar que mesmo nessas situações a energia solar fotovoltaica é viável.

6.3 ENERGIA PRODUZIDA

Inicialmente foi determinada a irradiação média do local por meio do Global Solar Atlas, conforme exposto na figura 6.3.

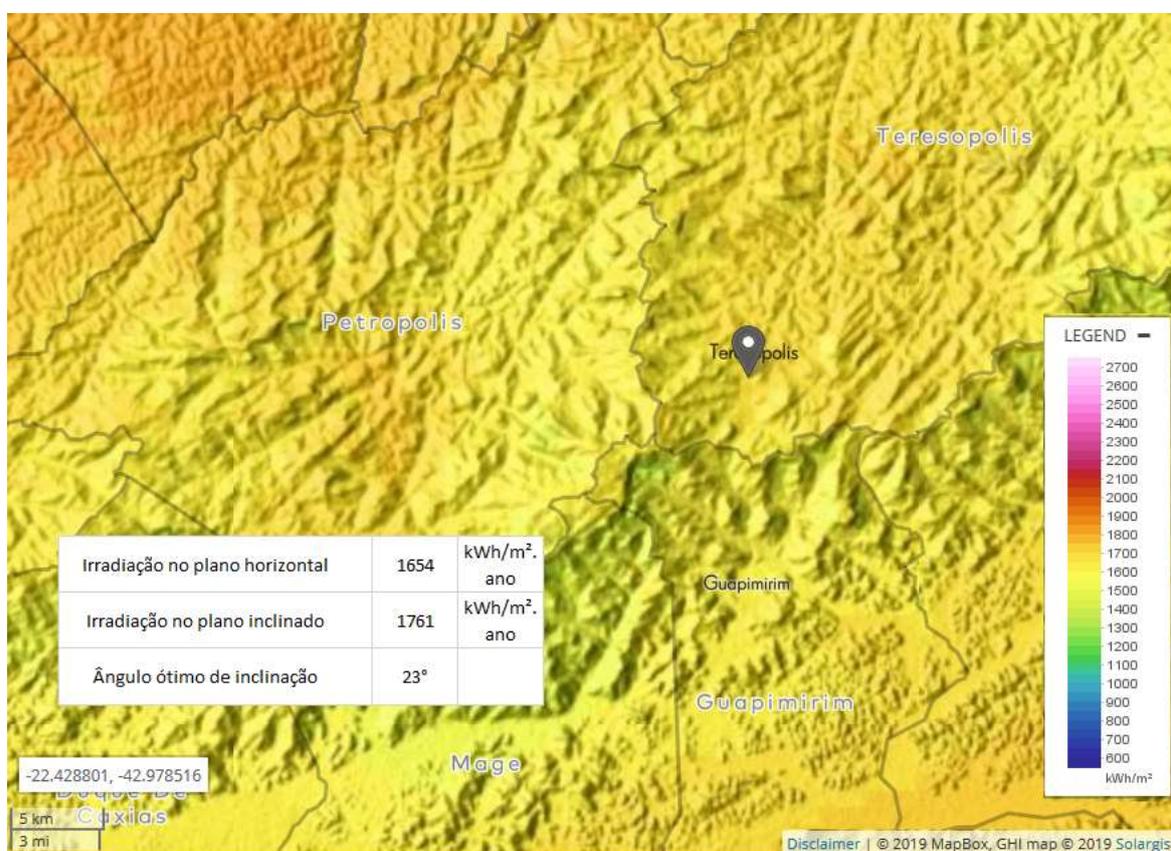


Figura 6.3 – Irradiação solar anual (fonte: GLOBAL SOLAR ATLAS, 2019).

Encontrou-se o valor de 1654 kWh/m² a.a. no plano horizontal, que será utilizado por segurança em vez da irradiação no plano inclinado, caso não seja possível a instalação dos painéis de acordo com o ângulo ótimo de inclinação.

O desempenho global do sistema, também conhecido como *performance ratio* (PR) relaciona o rendimento nominal com o real. Este é limitado por diversos fatores como, funcionamento fora das condições ideais de temperatura, conversão da corrente contínua para alternada e perdas na transmissão e nas ligações. Para esse trabalho, será considerado um valor de 75% para o PR, frequentemente encontrado na literatura (NAKABAYASHI, 2014). A energia gerada é então calculada pela equação 6.1.

$$E = P_0 \cdot Y_r \cdot PR \quad (6.1)$$

Onde:

E - Energia entregue pelo sistema em um período de tempo

*P*₀ - Potência nominal da unidade geradora

*Y*_r - Produtividade de referência

PR - *Performance Ratio*

Considerando a potência nominal como 1 kWp e a produtividade de referência igual a irradiação solar, obtemos o valor de 1240,5 kWh/m² produzidos ao ano para cada kWp instalado. Ao longo do tempo, no entanto, é necessário levar em conta a perda de eficiência anual dos módulos, que pode chegar até a 1%. Será adotada uma queda de 0,75% a.a., conforme manual fotovoltaico Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) (CEPEL, 2014).

6.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA E CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Como no Brasil é necessário pagar o custo da disponibilidade de energia à distribuidora, não é financeiramente atrativo adotar um sistema que gere mais do que o que conseguirá ser abatido da conta, salvo em casos em que exista a intenção de aumentar o consumo no futuro. Como não é o caso, será adotada uma potência nominal capaz de gerar 90% da demanda.

Baseado na análise das últimas faturas da unidade, determinou-se uma média mensal de 460 kWh, totalizando 5520 kWh por ano. A partir do valor de 1240,5 kWh/Wp encontrado para a energia produzida anualmente na seção 6.3, é possível definir uma potência instalada de 4,0 kWp para suprir o estabelecido.

Para os custos de aquisição e implantação, será utilizado como base o estudo da Greener sobre o mercado fotovoltaico de geração distribuída, que contou com a participação de 689 empresas integradoras entre junho e julho de 2019. Para sistemas residenciais de pequeno porte, determina-se o valor de 6,04 R\$/Wp (GREENER, 2019).

6.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

É possível então analisar a viabilidade econômica do projeto para os cenários A, B e C, exibidos na tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Condições dos cenários A, B e C (fonte: elaboração própria).

| Cenário | A | B | C | Fonte dos dados |
|-----------------------------|------------------|-----------|-----------|-------------------------------|
| Reajuste Tarifário | 2,5% a.a. | 3,7% a.a. | 9,9% a.a. | Cálculos próprios (Seção 6.2) |
| Classe | Residencial (B1) | | | ANEEL, 2010 |
| <i>Performance Ratio</i> | 75% | | | TOLMASQUIM, 2016 |
| Horizonte de Projeto | 25 anos | | | NAKABAYASHI, 2014 |
| Inflação | 3,7% a.a. | | | Cálculos próprios (Seção 6.2) |
| Operação e Manutenção (O&M) | 1,00% a.a. | | | TOLMASQUIM, 2016 |
| Redução de Produtividade | 0,75% a.a. | | | CEPEL, 2014 |
| Custo de Instalação | 6,04 R\$/Wp | | | GREENER, 2019 |
| Potência Instalada | 4,0 kWp | | | Cálculos próprios (Seção 6.4) |
| Consumo mensal | 460 kWh | | | |
| Autoconsumo | 90,00% | | | |

A data do investimento inicial será convencionada como Ano 0²³. Baseado no preço de 6,04 R\$/Wp para aquisição e instalação dos kits fotovoltaicos (GREENER, 2019), tem-se um valor de R\$24.160,00, que possui sinal negativo por tratar-se de uma despesa. A geração de energia inicia-se no Ano 1 com valor estimado de 4962 kWh e é depreciada em 0,75% a.a.

A receita nominal é obtida a partir do produto da geração anual pela tarifa de eletricidade e corresponde ao quanto foi economizado ao não se comprar eletricidade da distribuidora. É considerado que o mesmo padrão de consumo atual foi mantido e que a tarifa foi reajustada de acordo com os cenários A, B e C. Na receita líquida, desconta-se o valor de operação e manutenção, estimado em 1% do investimento inicial por ano (CEPEL, 2014). É obtido então o fluxo de caixa simples, que corresponde à soma das receitas

²³ Salienta-se que as nomenclaturas “Ano 0” e “Ano 1” são apenas convenções para o investimento inicial e para o início da geração de energia após implantação. Para sistemas desse porte a média do tempo de instalação é de 2 meses (IDEAL, 2019).

líquidas ao longo do tempo. Essa ferramenta, no entanto, não considera a desvalorização monetária, sendo necessária a atualização para o valor presente.

Para uma análise mais realista, será utilizada a taxa de inflação de 3,70% já abordada anteriormente. Chega-se então ao fluxo de caixa descontado e a partir dos valores encontrados é possível determinar o tempo de *payback*, que é quando o fluxo se torna positivo (indicado pela cor verde nas tabelas dos apêndices B e C) e o valor presente líquido, que é a soma dos valores economizados ao final dos 25 anos do projeto. A metodologia de cálculo utilizada está detalhada na tabela do apêndice A.

Na tabela 6.3 são apresentados os tempos de retorno do investimento, os fluxos de resultantes e a taxa interna de retorno para os cenários A, B e C.

Tabela 6.3 – Resultados dos cenários A, B e C (fonte: elaboração própria).

| Cenário | Consumo | Auto consumo | Investimento Inicial | Reajuste Tarifário | Payback | Fluxo de Caixa | TIR |
|---------|---------|--------------|----------------------|--------------------|---------|----------------|--------|
| A | 460 kWh | 90% | R\$ 24.160,00 | 2,50% | 6 anos | R\$ 68.780,83 | 15,79% |
| B | | | | 3,70% | 6 anos | R\$ 82.402,44 | 17,08% |
| C | | | | 9,90% | 5 anos | R\$ 208.348,69 | 23,51% |

Analisando as tabelas, é possível afirmar que o projeto é economicamente viável para todos os panoramas testados. O fluxo de caixa descontado foi positivo nos três casos, e no sexto ano houve o retorno do capital investido. Observando as taxas internas de retorno, conclui-se também que o Cenário C, que possui a maior TIR, foi mais vantajoso do que o B, que foi superior ao A, indicando que a economia gerada pelo sistema é diretamente proporcional a taxa de reajuste da tarifa da concessionária.

6.5 OUTROS CENÁRIOS

Com o objetivo de expandir o estudo de viabilidade econômica para outros tipos de consumidor foi calculado o fluxo de caixa descontado para diferentes demandas mensais e porcentagens de autoconsumo. Para esses quadros foi empregue o site da Enel, que permite a simulação da fatura a ser paga de acordo com a quantidade de kWh utilizados. Os parâmetros base são idênticos aos dos cenários-padrão estudados e indicados na tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Parâmetros básicos adotados para o estudo (fonte: elaboração própria).

| | |
|-----------------------------|------------------|
| Classe | Residencial (B1) |
| <i>Performance Ratio</i> | 75% |
| Horizonte de Projeto | 25 anos |
| Inflação | 3,7% a.a. |
| Operação e Manutenção (O&M) | 1,00% a.a. |
| Redução de Produtividade | 0,75% a.a. |
| Custo de Instalação | 6,04 R\$/Wp |

Foram analisados os tempos de *payback* e valor final do fluxo de caixa descontado para consumos mensais de 300 kWh, 200 kWh e 100 kWh, com autoconsumos de 90% e 50% e reajustes tarifários de 3,7% e 2,5% a.a. Os 12 cenários alternativos são mostrados na tabela 6.5. Suas respectivas análises financeiras estão presentes no Apêndice C.

Tabela 6.5 – Resultados dos tempos de *payback* e fluxo de caixa descontado para os 12 cenários alternativos analisados (fonte: elaboração própria).

| Cenário | Consumo | Auto | Reajuste | Payback | Fluxo de Caixa | TIR |
|---------|---------|------|----------|---------|----------------|--------|
| 1 | 300 kWh | 90% | 3,70% | 6 anos | R\$ 47.910,33 | 15,11% |
| 2 | 300 kWh | 90% | 2,50% | 7 anos | R\$ 39.744,54 | 13,78% |
| 3 | 300 kWh | 50% | 3,70% | 6 anos | R\$ 26.616,85 | 15,11% |
| 4 | 300 kWh | 50% | 2,50% | 7 anos | R\$ 22.080,30 | 13,78% |
| 5 | 200 kWh | 90% | 3,70% | 6 anos | R\$ 31.195,30 | 14,72% |
| 6 | 200 kWh | 90% | 2,50% | 7 anos | R\$ 25.843,30 | 13,38% |
| 7 | 200 kWh | 50% | 3,70% | 6 anos | R\$ 17.390,48 | 14,72% |
| 8 | 200 kWh | 50% | 2,50% | 7 anos | R\$ 14.406,90 | 13,38% |
| 9 | 100 kWh | 90% | 3,70% | 7 anos | R\$ 14.480,26 | 13,54% |
| 10 | 100 kWh | 90% | 2,50% | 7 anos | R\$ 11.942,06 | 12,17% |
| 11 | 100 kWh | 50% | 3,70% | 7 anos | R\$ 8.155,55 | 13,54% |
| 12 | 100 kWh | 50% | 2,50% | 7 anos | R\$ 6.725,99 | 12,17% |

Como esperado, quanto mais energia demandada, maior é a economia proporcionada pelo sistema ao longo da vida útil do projeto e consequentemente, maior é a TIR e mais vantajoso é o investimento. Os altos custos de eletricidade proveniente da distribuidora indicam que o investimento se paga até mesmo para consumidores mais econômicos. Com VPL positivo e *payback* em torno de 7 anos, fica claro que houve viabilidade econômica para todos os cenários.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão de como atingir o desenvolvimento sustentável e reduzir os impactos causados pelo homem é de extrema relevância para a sociedade. O trabalho se insere nesse contexto e abordou o uso de energia solar fotovoltaica em edificações, buscando sempre fazer uma comparação com as fontes convencionais.

Foram apresentadas as características técnicas, que expuseram as diferentes tecnologias existentes e seus atuais estágios de evolução. Foi mostrado também que estão em constante melhoria havendo espaço tanto para desenvolvimentos futuros quanto para descoberta de novos materiais e aplicações.

Uma análise dos aspectos socioambientais concluiu que os benefícios alcançados pela implementação dos sistemas superam os pontos negativos. Cabe ressaltar também que foi observado que a contraposição dos prós e contras da energia fotovoltaica e da eletricidade convencional dependem da matriz energética instalada no país. No entanto, foi demonstrado que sua utilização pode atenuar os impactos causados pela demanda energética crescente e aumentar a segurança energética que, sendo dependente de uma só fonte se torna mais suscetível a problemas de abastecimento.

No âmbito regulatório, foram expostos alguns pontos que possuem potencial de prejudicar a expansão do setor e também foram explicados alguns mecanismos de incentivos e políticas que atuam direta ou indiretamente e que podem colaborar para o avanço do mesmo.

Quanto aos aspectos econômicos, notou-se uma tendência de altos investimentos no setor, bem como a redução do preço dos componentes e do custo da geração em si, colocando-a em condições de competir com as fontes habituais. O estudo de caso mostrou que diversos fatores influenciam na viabilidade financeira do projeto, como condições do local de instalação, irradiação solar, desempenho do sistema, perfil de consumo, investimento necessário, condições tarifárias, inflação, entre outras, que foram levadas em conta para a avaliação. Os resultados indicaram um valor presente líquido positivo para todos os cenários analisados, mostrando que a economia proporcionada pelo sistema é superior ao investimento demandado para diferentes classes de consumidores.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a análise dos aspectos ambientais e econômicos de toda a cadeia produtiva dos sistemas fotovoltaicos e uma comparação com o ciclo completo de geração de energia proveniente de outros meios.

Para consumidores mais exigentes, é indicado comparar o retorno financeiro dos painéis fotovoltaicos com outros investimentos. A simples análise de viabilidade indicou

que os sistemas são sustentáveis ao longo da vida útil, no entanto o retorno poderia ser maior caso o capital fosse direcionado a uma aplicação financeira.

Outro assunto que também merece atenção é uma análise mais detalhada dos impactos técnicos e financeiros que a disseminação da geração distribuída em larga escala pode causar na rede de distribuição.

Por fim, ficou mostrado que existem vantagens e desvantagens no uso da energia solar fotovoltaica. Ainda há desafios para sua expansão, incluindo questões financeiras, de integração e regulatórias. No entanto, é possível afirmar que, examinando os resultados obtidos e comparando todos os aspectos citados, sua utilização pode ser benéfica sob o prisma do meio ambiente, da sociedade e do consumidor com a tecnologia já existente e possui perspectivas de desenvolvimento ainda maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. *ANEEL reafirma compromisso de manter direitos adquiridos na atualização das regras de geração distribuída*. ABSOLAR, São Paulo, 01 de abril de 2019a. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/aneel-reafirma-compromisso-de-manter-direitos-adquiridos-na-atualizacao-das-regras-de-geracao-distri.html>>. Acesso em: 30 de agosto de 2019.

ABSOLAR. *Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR*. ABSOLAR, São Paulo, 02 de agosto de 2019b. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/media/images/novo_infografico_agosto.jpg>. Acesso em: 23 de agosto de 2019.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *Perspectivas da Energia no Mundo*. 2017, p.3. Disponível em: <<https://www.iea.org/weo2017/>>. Acesso em: 24 de junho de 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Chamada n 013/2011 projeto estratégico: arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira*. Brasília, 2011.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução normativa nº 414*. Brasília, 09 de setembro de 2010.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução normativa nº 482*. Brasília, 17 de abril de 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução normativa nº 687*. Brasília, 24 de novembro de 2015a.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Programa de incentivo às fontes alternativas*. Brasília, 27 de novembro de 2015b. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/proinfa>>. Acesso em 03 de setembro de 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução normativa nº 786*. Brasília, 17 de outubro de 2017.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Relatórios interativos dos resultados dos leilões de geração no ambiente regulado*. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/leiloes>>. Acesso em: 20 de agosto de 2019.

BESSO, R. *Sistema solar fotovoltaico conectado à rede – Estudo de caso no centro de tecnologia da UFRJ*. Rio de Janeiro, 2017.

BCB – Banco Central do Brasil. *Consultas – Série de estatísticas consolidadas*, 2019a. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/expectativas/publico/consulta/serieestatisticas>>. Acesso em 02 de setembro de 2019.

BCB – Banco Central do Brasil. *Calculadora do cidadão – correção de valores*, 2019b. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice>>. Acesso em 05 de setembro de 2019.

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. *Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências*. Brasília, DF, jul 2000.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Brasília, DF, ago 2010.

BRUNDTLAND, G. et al. *Our Common Future: From One Earth to One World*. New York, Oxford University Press, 1987.

BRITISH PETROLEUM. *Oil reserve definitions*. 2019. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-oil-reserve-definitions.pdf>>. Acesso em: 03 de julho de 2019.

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014.

CERQUEIRA, G. A. et al. *A Crise Hídrica e suas Consequências*. Brasília, Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Boletim Legislativo nº 27, 2015.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986*. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.

COLVILLE, F. *Top 10 solar module suppliers in 2018*. PV-Tech & Solar Media Ltd, 23 de janeiro de 2019. Disponível em < <https://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-solar-module-suppliers-in-2018>>. Acesso em 23 de agosto de 2019.

DE CLERCQ, G. *Europe's first solar panel recycling plant opens in France*. Reuters, Paris, 25 de junho de 2018. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/us-solar-recycling/europes-first-solar-panel-recycling-plant-opens-in-france-idUSKBN1JL28Z>>. Acesso em 23 de agosto de 2019.

DE ARAÚJO, T. *Análise da viabilidade técnico-econômica da implantação de geração solar fotovoltaica associada ao retrofit de iluminação no centro de tecnologia da UFRN*. Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

DOS SANTOS, S. *et. al. Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas*. Portal O Setor Elétrico, agosto de 2016. Disponível em: <<https://www.osestoreletrico.com.br/expansao-da-energia-solar-fotovoltaica-no-brasil-impactos-ambientais-e-politicas-publicas/>>. Acesso em 23 de agosto de 2019.

ENEL – Ente Nazionale per l'Energia Elettrica. *Parque Ituverava: energia solar renova a esperança de moradores da Bahia*. ENEL, 19 de Outubro de 2017. Disponível em: <<https://www.enel.com.br/pt/historias/a201710-parque-ituverava-energia-solar-renova-a-esperanca-de-moradores-da-bahia.html>>. Acesso em: 20 de agosto de 2019.

ENEL – Ente Nazionale per l'Energia Elettrica . *ENEL*, 2019. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt/Tarifas_Enel.html>. Acesso em: 05 de setembro de 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Leilão de Energia de reserva de 2014 – Participação dos empreendimentos solares fotovoltaicos: visão geral*. Rio de Janeiro, 2014.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Nota técnica PR 04/18: Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050*. Rio de Janeiro, 2018.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2019, Relatório Síntese / Ano Base 2018*. Rio de Janeiro, 2019a.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Informe Resultado da Habilitação Técnica e Vencedores- Leilão A-4 de 2019*. Rio de Janeiro, 2019b.

FERREIRA, M. J. G. *Inserção da energia solar fotovoltaica no Brasil*. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1993.

FRAUNHOFER ISE – Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. *Photovoltaics Report*. Freiburg, 2019.

FUNDO VERDE DE DESENVOLVIMENTO UFRJ. *Sistema de Informação e Monitoramento do Fundo Verde*. Rio de Janeiro, 2016.

GIACOMAZZI, S. e MEZADRE, F. *Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico*. Rio de Janeiro, 2018.

GITMAN, L.J., *Princípios de administração financeira*. Pearson Prentice Hall, 12ed, São Paulo, 2010.

GLOBAL SOLAR ATLAS. *GHI Map*. Energydata.info, 2019. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/?c=-22.413568,-42.891312,11&s=-22.428801,-42.978516&m=sg:ghi>>. Acesso em: 03 de setembro de 2019.

GREENER. *Guia para empreendedores fotovoltaicos 2016*. São Paulo, 2016.

GREENER. *Mercado fotovoltaico de geração distribuída – Estudo estratégico do 2º trimestre de 2019*. São Paulo, 2019.

IDEAL – Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. *O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica 2019*. Rio de Janeiro, 2019.

IEA PVPS – International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program. *Trends 2018 in photovoltaic applications*. 2018.

IEA PVPS – International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Program. *Snapshot of Global PV Markets*. 2019.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp., 2018.

IRENA – International Renewable Energy Agency. *Renewable Power Generation Costs in 2018*. IRENA, Abu Dhabi, 2019.

LOPES, R. *Uma turma que só aumenta*. Valor Setorial Energia, São Paulo, Abril 2019, Disponível em: <https://origoenergia.com.br/uma_turma_que_so_aumenta/>. Acesso em: 23 de agosto de 2019.

LUQUE, A., HEGEDUS, S. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Wiley, 2002.

MME – Ministério de Minas e Energia. *Relatório – Programa de desenvolvimento da geração distribuída de energia elétrica – ProGD*. Brasília, 2016.

MENDONÇA, A. K. e BORNIA, A.C. “Oportunidades para a difusão da energia eólica e solar em sistemas isolados no Brasil: barreiras e facilidades evidenciados na literatura”. *Mix Sustentável*. V.5, nº3, p.81-92, Florianópolis, 2019.

NAKABAYASHI, R. K., *Microgeração fotovoltaica no brasil: condições atuais e perspectivas futuras*. São Paulo, 2014.

NASCIMENTO, R. L. *Energia solar no brasil: situação e perspectivas*. Março, 2017.

NOGUEIRA, P. C. *Estudo de viabilidade econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia do Rio de Janeiro: um estudo de caso*. Rio de Janeiro, 2016.

PERONI, M. B. *Viabilidade econômico-financeira e barreiras para o avanço da energia solar fotovoltaica no setor de supermercados*. São Paulo, 2018.

PINHO, J.T. *et. al. Sistemas híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia*. 1.ed. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2008. 396p.

RAMOS, C. *et. al. Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil*. Brasília, Sebrae, 2018.

RAMOS, C., *Procedimentos para caracterização e qualificação de módulos fotovoltaicos*, São Paulo, 2006.

RETSCREEN 4 - Clean Energy Management Software system for energy efficiency. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>>. Acesso em: 25 de Novembro de 2017.

REN21. *Renewables 2019 Global Status Report*. Paris, REN21 Secretariat, 2019.

RAMOS, C. *et. al. Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil*. SEBRAE, Brasília, 2018.

SANDERSON, L. *et. al. International Technology Roadmap for Photovoltaic – 2018 results*. vol. 10. ITRPV VDMA, Frankfurt am Main, 2019.

SCHLÖMER, S. *et. al. Annex III: Technology-specific cost and performance parameters*. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O. *et. al.* (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e New York, NY, USA, 2014.

SERRASOLLES, J. *et. al. Tejados Fotovoltaicos: Energía Solar Conectada a la Red Eléctrica*. PROGNSA (Promotora General de Estudios, S.A.), 2004.

SIMONE, L.F.C., *Inserção da micro e minigeração distribuída solar fotovoltaica: impactos na receita das distribuidoras e nas tarifas dos consumidores*. São Paulo, 2019.

STEPHENS, E. *et al.* "Future prospects of microalgal biofuel production systems". *Trends in plant science*. vol. 15 (Jun), n. 10. pp. 554-64, 2010.

T. IBN-MOHAMMED, S. C. L. KOH, I. M. REANEY *et al.*, “Perovskite solar cells: An integrated hybrid lifecycle assessment and review in comparison with other photovoltaic technologies”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews vol. 80*, 1321-1344, 2017.

TAVARES, M., “Aprendendo sobre o Sol”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 22, no. 1, 2000.

TOLMASQUIM, M., *Energia renovável hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica*, Rio de Janeiro, 2016.

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Nota da Reitoria sobre o irregular corte de energia da UFRJ pela Light*. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://ufrj.br/noticia/2016/11/30/nota-da-reitoria-sobre-o-irregular-corte-de-energia-da-ufrj-pela-light>>. Acesso em: 22 de julho de 2019.

ZIPP, K. *What are some common types of solar PV and storage installations?*. Solar Power World, Cleveland, 29 de outubro de 2015. Disponível em: <<https://www.solarpowerworldonline.com/2015/10/what-are-some-common-types-of-solar-pv-and-storage-installations/>>. Acesso em: 19 de julho de 2019.

APÊNDICE A – MÉTODO DE CÁLCULO UTILIZADO PARA OS CENÁRIOS

| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO |
|----------|--|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--|---|
| 0 | - | - | - | -(Investimento inicial) | -(Investimento inicial) | -(Investimento inicial) | -(Investimento inicial) | -(Investimento inicial) |
| 1 | Potência instalada (kWp) X geração em um ano (kWh/kWp) | Tarifa Ano 1 | -(1% do investimento inicial) | Geração anual 1 X tarifa ano 1 | Receita nominal ano 1 + O&M | Fluxo ano 0 + Receita líquida ano 1 | $\frac{[Receita líquida]}{(1+inflação)^1}$ | Fluxo descontado ano 0 + Valor presente ano 1 |
| 2 | Geração Ano 1 - 0,75% | Tarifa Ano 1 + reajuste | -(1% do investimento inicial) | Geração anual 2 X tarifa ano 2 | Receita nominal ano 2 + O&M | Fluxo ano 1 + Receita líquida ano 2 | $\frac{[Receita líquida]}{(1+inflação)^2}$ | Fluxo descontado ano 1 + Valor presente ano 2 |
| 3 | Geração Ano 2 - 0,75% | Tarifa Ano 2 + reajuste | -(1% do investimento inicial) | Geração anual 3 X tarifa ano 3 | Receita nominal ano 3 + O&M | Fluxo ano 2 + Receita líquida ano 3 | $\frac{[Receita líquida]}{(1+inflação)^3}$ | Fluxo descontado ano 3 + Valor presente ano 3 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Detalhamento dos cálculos utilizados para os cenários (fonte: elaboração própria).

APÊNDICE B – ANÁLISE FINANCEIRA CENÁRIOS PADRÃO A, B E C

Cenário A – Reajuste tarifário de 2,5% a.a. Inflação de 3,7% a.a. (fonte: elaboração própria).

| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO |
|-----|---------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| 0 | | | | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 |
| 1 | 4.962 | 1,009 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.007,66 | R\$ 4.766,06 | -R\$ 19.393,94 | R\$ 4.596,01 | -R\$ 19.563,99 |
| 2 | 4.925 | 1,034 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.094,36 | R\$ 4.852,76 | -R\$ 14.541,18 | R\$ 4.512,65 | -R\$ 15.051,34 |
| 3 | 4.888 | 1,060 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.182,56 | R\$ 4.940,96 | -R\$ 9.600,22 | R\$ 4.430,72 | -R\$ 10.620,62 |
| 4 | 4.851 | 1,087 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.272,28 | R\$ 5.030,68 | -R\$ 4.569,54 | R\$ 4.350,22 | -R\$ 6.270,40 |
| 5 | 4.815 | 1,114 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.363,55 | R\$ 5.121,95 | R\$ 552,41 | R\$ 4.271,12 | -R\$ 1.999,28 |
| 6 | 4.779 | 1,142 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.456,41 | R\$ 5.214,81 | R\$ 5.767,22 | R\$ 4.193,40 | R\$ 2.194,12 |
| 7 | 4.743 | 1,170 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.550,88 | R\$ 5.309,28 | R\$ 11.076,50 | R\$ 4.117,03 | R\$ 6.311,15 |
| 8 | 4.707 | 1,200 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.646,97 | R\$ 5.405,37 | R\$ 16.481,87 | R\$ 4.041,99 | R\$ 10.353,15 |
| 9 | 4.672 | 1,230 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.744,74 | R\$ 5.503,14 | R\$ 21.985,01 | R\$ 3.968,27 | R\$ 14.321,42 |
| 10 | 4.637 | 1,260 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.844,19 | R\$ 5.602,59 | R\$ 27.587,60 | R\$ 3.895,84 | R\$ 18.217,26 |
| 11 | 4.602 | 1,292 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.945,37 | R\$ 5.703,77 | R\$ 33.291,37 | R\$ 3.824,69 | R\$ 22.041,95 |
| 12 | 4.568 | 1,324 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.048,30 | R\$ 5.806,70 | R\$ 39.098,07 | R\$ 3.754,78 | R\$ 25.796,73 |
| 13 | 4.533 | 1,357 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.153,01 | R\$ 5.911,41 | R\$ 45.009,49 | R\$ 3.686,10 | R\$ 29.482,83 |
| 14 | 4.499 | 1,391 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.259,54 | R\$ 6.017,94 | R\$ 51.027,42 | R\$ 3.618,64 | R\$ 33.101,47 |
| 15 | 4.466 | 1,426 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.367,90 | R\$ 6.126,30 | R\$ 57.153,73 | R\$ 3.552,36 | R\$ 36.653,83 |
| 16 | 4.432 | 1,462 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.478,15 | R\$ 6.236,55 | R\$ 63.390,27 | R\$ 3.487,26 | R\$ 40.141,09 |
| 17 | 4.399 | 1,498 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.590,30 | R\$ 6.348,70 | R\$ 69.738,98 | R\$ 3.423,31 | R\$ 43.564,40 |
| 18 | 4.366 | 1,536 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.704,40 | R\$ 6.462,80 | R\$ 76.201,77 | R\$ 3.360,49 | R\$ 46.924,89 |
| 19 | 4.333 | 1,574 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.820,47 | R\$ 6.578,87 | R\$ 82.780,64 | R\$ 3.298,79 | R\$ 50.223,68 |
| 20 | 4.301 | 1,613 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.938,54 | R\$ 6.696,94 | R\$ 89.477,58 | R\$ 3.238,18 | R\$ 53.461,86 |
| 21 | 4.268 | 1,654 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.058,67 | R\$ 6.817,07 | R\$ 96.294,65 | R\$ 3.178,66 | R\$ 56.640,52 |
| 22 | 4.236 | 1,695 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.180,87 | R\$ 6.939,27 | R\$ 103.233,92 | R\$ 3.120,19 | R\$ 59.760,71 |
| 23 | 4.205 | 1,737 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.305,19 | R\$ 7.063,59 | R\$ 110.297,51 | R\$ 3.062,77 | R\$ 62.823,48 |
| 24 | 4.173 | 1,781 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.431,66 | R\$ 7.190,06 | R\$ 117.487,57 | R\$ 3.006,37 | R\$ 65.829,85 |
| 25 | 4.142 | 1,825 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.560,32 | R\$ 7.318,72 | R\$ 124.806,30 | R\$ 2.950,98 | R\$ 68.780,83 |

Cenário B – Reajuste tarifário de 3,7% a.a. Inflação de 3,7% a.a. (fonte: elaboração própria)

| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO |
|-----|---------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| 0 | | | | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 |
| 1 | 4.962 | 1,009 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.007,66 | R\$ 4.766,06 | -R\$ 19.393,94 | R\$ 4.596,01 | -R\$ 19.563,99 |
| 2 | 4.925 | 1,047 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.154,00 | R\$ 4.912,40 | -R\$ 14.481,54 | R\$ 4.568,11 | -R\$ 14.995,88 |
| 3 | 4.888 | 1,085 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.304,61 | R\$ 5.063,01 | -R\$ 9.418,52 | R\$ 4.540,18 | -R\$ 10.455,70 |
| 4 | 4.851 | 1,125 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.459,63 | R\$ 5.218,03 | -R\$ 4.200,50 | R\$ 4.512,23 | -R\$ 5.943,47 |
| 5 | 4.815 | 1,167 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.619,17 | R\$ 5.377,57 | R\$ 1.177,08 | R\$ 4.484,28 | -R\$ 1.459,20 |
| 6 | 4.779 | 1,210 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.783,38 | R\$ 5.541,78 | R\$ 6.718,85 | R\$ 4.456,32 | R\$ 2.997,12 |
| 7 | 4.743 | 1,255 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.952,38 | R\$ 5.710,78 | R\$ 12.429,64 | R\$ 4.428,37 | R\$ 7.425,50 |
| 8 | 4.707 | 1,301 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.126,33 | R\$ 5.884,73 | R\$ 18.314,36 | R\$ 4.400,44 | R\$ 11.825,94 |
| 9 | 4.672 | 1,350 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.305,35 | R\$ 6.063,75 | R\$ 24.378,11 | R\$ 4.372,53 | R\$ 16.198,47 |
| 10 | 4.637 | 1,400 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.489,61 | R\$ 6.248,01 | R\$ 30.626,12 | R\$ 4.344,64 | R\$ 20.543,11 |
| 11 | 4.602 | 1,451 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.679,25 | R\$ 6.437,65 | R\$ 37.063,78 | R\$ 4.316,79 | R\$ 24.859,90 |
| 12 | 4.568 | 1,505 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.874,44 | R\$ 6.632,84 | R\$ 43.696,61 | R\$ 4.288,98 | R\$ 29.148,89 |
| 13 | 4.533 | 1,561 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.075,33 | R\$ 6.833,73 | R\$ 50.530,34 | R\$ 4.261,22 | R\$ 33.410,10 |
| 14 | 4.499 | 1,618 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.282,08 | R\$ 7.040,48 | R\$ 57.570,82 | R\$ 4.233,50 | R\$ 37.643,61 |
| 15 | 4.466 | 1,678 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.494,89 | R\$ 7.253,29 | R\$ 64.824,11 | R\$ 4.205,85 | R\$ 41.849,45 |
| 16 | 4.432 | 1,740 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.713,90 | R\$ 7.472,30 | R\$ 72.296,41 | R\$ 4.178,25 | R\$ 46.027,70 |
| 17 | 4.399 | 1,805 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.939,32 | R\$ 7.697,72 | R\$ 79.994,14 | R\$ 4.150,72 | R\$ 50.178,42 |
| 18 | 4.366 | 1,872 | -R\$ 241,60 | R\$ 8.171,33 | R\$ 7.929,73 | R\$ 87.923,87 | R\$ 4.123,26 | R\$ 54.301,69 |
| 19 | 4.333 | 1,941 | -R\$ 241,60 | R\$ 8.410,12 | R\$ 8.168,52 | R\$ 96.092,39 | R\$ 4.095,88 | R\$ 58.397,56 |
| 20 | 4.301 | 2,013 | -R\$ 241,60 | R\$ 8.655,88 | R\$ 8.414,28 | R\$ 104.506,67 | R\$ 4.068,57 | R\$ 62.466,13 |
| 21 | 4.268 | 2,087 | -R\$ 241,60 | R\$ 8.908,83 | R\$ 8.667,23 | R\$ 113.173,90 | R\$ 4.041,35 | R\$ 66.507,48 |
| 22 | 4.236 | 2,164 | -R\$ 241,60 | R\$ 9.169,17 | R\$ 8.927,57 | R\$ 122.101,46 | R\$ 4.014,21 | R\$ 70.521,70 |
| 23 | 4.205 | 2,244 | -R\$ 241,60 | R\$ 9.437,11 | R\$ 9.195,51 | R\$ 131.296,98 | R\$ 3.987,17 | R\$ 74.508,86 |
| 24 | 4.173 | 2,328 | -R\$ 241,60 | R\$ 9.712,89 | R\$ 9.471,29 | R\$ 140.768,26 | R\$ 3.960,22 | R\$ 78.469,08 |
| 25 | 4.142 | 2,414 | -R\$ 241,60 | R\$ 9.996,72 | R\$ 9.755,12 | R\$ 150.523,39 | R\$ 3.933,36 | R\$ 82.402,44 |

Cenário C – Reajuste tarifário de 9,9% a.a. Inflação de 3,7% a.a. (fonte: elaboração própria)

| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO |
|-----|---------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| 0 | | | | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 | -R\$ 24.160,00 |
| 1 | 4.962 | 1,009 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.007,66 | R\$ 4.766,06 | -R\$ 19.393,94 | R\$ 4.596,01 | -R\$ 19.563,99 |
| 2 | 4.925 | 1,109 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.462,15 | R\$ 5.220,55 | -R\$ 14.173,39 | R\$ 4.854,66 | -R\$ 14.709,33 |
| 3 | 4.888 | 1,219 | -R\$ 241,60 | R\$ 5.957,88 | R\$ 5.716,28 | -R\$ 8.457,11 | R\$ 5.125,98 | -R\$ 9.583,35 |
| 4 | 4.851 | 1,340 | -R\$ 241,60 | R\$ 6.498,60 | R\$ 6.257,00 | -R\$ 2.200,11 | R\$ 5.410,67 | -R\$ 4.172,68 |
| 5 | 4.815 | 1,472 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.088,40 | R\$ 6.846,80 | R\$ 4.646,68 | R\$ 5.709,44 | R\$ 1.536,76 |
| 6 | 4.779 | 1,618 | -R\$ 241,60 | R\$ 7.731,72 | R\$ 7.490,12 | R\$ 12.136,81 | R\$ 6.023,05 | R\$ 7.559,81 |
| 7 | 4.743 | 1,778 | -R\$ 241,60 | R\$ 8.433,43 | R\$ 8.191,83 | R\$ 20.328,64 | R\$ 6.352,28 | R\$ 13.912,09 |
| 8 | 4.707 | 1,954 | -R\$ 241,60 | R\$ 9.198,83 | R\$ 8.957,23 | R\$ 29.285,87 | R\$ 6.697,98 | R\$ 20.610,07 |
| 9 | 4.672 | 2,148 | -R\$ 241,60 | R\$ 10.033,69 | R\$ 9.792,09 | R\$ 39.077,96 | R\$ 7.061,01 | R\$ 27.671,08 |
| 10 | 4.637 | 2,360 | -R\$ 241,60 | R\$ 10.944,33 | R\$ 10.702,73 | R\$ 49.780,69 | R\$ 7.442,29 | R\$ 35.113,37 |
| 11 | 4.602 | 2,594 | -R\$ 241,60 | R\$ 11.937,61 | R\$ 11.696,01 | R\$ 61.476,70 | R\$ 7.842,80 | R\$ 42.956,18 |
| 12 | 4.568 | 2,851 | -R\$ 241,60 | R\$ 13.021,03 | R\$ 12.779,43 | R\$ 74.256,13 | R\$ 8.263,55 | R\$ 51.219,72 |
| 13 | 4.533 | 3,133 | -R\$ 241,60 | R\$ 14.202,79 | R\$ 13.961,19 | R\$ 88.217,32 | R\$ 8.705,60 | R\$ 59.925,32 |
| 14 | 4.499 | 3,443 | -R\$ 241,60 | R\$ 15.491,80 | R\$ 15.250,20 | R\$ 103.467,52 | R\$ 9.170,08 | R\$ 69.095,40 |
| 15 | 4.466 | 3,784 | -R\$ 241,60 | R\$ 16.897,80 | R\$ 16.656,20 | R\$ 120.123,72 | R\$ 9.658,16 | R\$ 78.753,56 |
| 16 | 4.432 | 4,159 | -R\$ 241,60 | R\$ 18.431,40 | R\$ 18.189,80 | R\$ 138.313,52 | R\$ 10.171,10 | R\$ 88.924,66 |
| 17 | 4.399 | 4,570 | -R\$ 241,60 | R\$ 20.104,19 | R\$ 19.862,59 | R\$ 158.176,10 | R\$ 10.710,18 | R\$ 99.634,84 |
| 18 | 4.366 | 5,023 | -R\$ 241,60 | R\$ 21.928,79 | R\$ 21.687,19 | R\$ 179.863,29 | R\$ 11.276,80 | R\$ 110.911,64 |
| 19 | 4.333 | 5,520 | -R\$ 241,60 | R\$ 23.918,99 | R\$ 23.677,39 | R\$ 203.540,69 | R\$ 11.872,37 | R\$ 122.784,01 |
| 20 | 4.301 | 6,066 | -R\$ 241,60 | R\$ 26.089,82 | R\$ 25.848,22 | R\$ 229.388,91 | R\$ 12.498,43 | R\$ 135.282,44 |
| 21 | 4.268 | 6,667 | -R\$ 241,60 | R\$ 28.457,67 | R\$ 28.216,07 | R\$ 257.604,98 | R\$ 13.156,57 | R\$ 148.439,01 |
| 22 | 4.236 | 7,327 | -R\$ 241,60 | R\$ 31.040,42 | R\$ 30.798,82 | R\$ 288.403,80 | R\$ 13.848,46 | R\$ 162.287,47 |
| 23 | 4.205 | 8,052 | -R\$ 241,60 | R\$ 33.857,57 | R\$ 33.615,97 | R\$ 322.019,76 | R\$ 14.575,86 | R\$ 176.863,33 |
| 24 | 4.173 | 8,850 | -R\$ 241,60 | R\$ 36.930,39 | R\$ 36.688,79 | R\$ 358.708,56 | R\$ 15.340,63 | R\$ 192.203,96 |
| 25 | 4.142 | 9,726 | -R\$ 241,60 | R\$ 40.282,11 | R\$ 40.040,51 | R\$ 398.749,06 | R\$ 16.144,72 | R\$ 208.348,69 |

APÊNDICE C – ANÁLISE FINANCEIRA CENÁRIOS ALTERNATIVOS PROPOSTOS

Cenário Alt. 1 – 300 kWh – Autoconsumo 90% - Reajuste 3,7% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 1 - 2,61 kWp | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO |
| 0 | | | | -R\$ 15.764,40 | -R\$ 15.764,40 | -R\$ 15.764,40 | -R\$ 15.764,40 | -R\$ 15.764,40 |
| 1 | 3.238 | 0,927 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.001,96 | R\$ 2.844,32 | -R\$ 12.920,08 | R\$ 2.742,83 | -R\$ 13.021,57 |
| 2 | 3.213 | 0,961 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.089,69 | R\$ 2.932,04 | -R\$ 9.988,04 | R\$ 2.726,55 | -R\$ 10.295,02 |
| 3 | 3.189 | 0,997 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.179,98 | R\$ 3.022,33 | -R\$ 6.965,71 | R\$ 2.710,23 | -R\$ 7.584,79 |
| 4 | 3.165 | 1,034 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.272,90 | R\$ 3.115,26 | -R\$ 3.850,45 | R\$ 2.693,88 | -R\$ 4.890,91 |
| 5 | 3.142 | 1,072 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.368,54 | R\$ 3.210,90 | -R\$ 639,55 | R\$ 2.677,52 | -R\$ 2.213,39 |
| 6 | 3.118 | 1,112 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.466,98 | R\$ 3.309,34 | R\$ 2.669,79 | R\$ 2.661,15 | R\$ 447,76 |
| 7 | 3.095 | 1,153 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.568,30 | R\$ 3.410,65 | R\$ 6.080,44 | R\$ 2.644,76 | R\$ 3.092,52 |
| 8 | 3.072 | 1,196 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.672,57 | R\$ 3.514,93 | R\$ 9.595,37 | R\$ 2.628,37 | R\$ 5.720,89 |
| 9 | 3.048 | 1,240 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.779,89 | R\$ 3.622,25 | R\$ 13.217,62 | R\$ 2.611,98 | R\$ 8.332,86 |
| 10 | 3.026 | 1,286 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.890,35 | R\$ 3.732,71 | R\$ 16.950,32 | R\$ 2.595,59 | R\$ 10.928,46 |
| 11 | 3.003 | 1,333 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.004,04 | R\$ 3.846,39 | R\$ 20.796,71 | R\$ 2.579,21 | R\$ 13.507,67 |
| 12 | 2.980 | 1,383 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.121,04 | R\$ 3.963,40 | R\$ 24.760,11 | R\$ 2.562,85 | R\$ 16.070,52 |
| 13 | 2.958 | 1,434 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.241,47 | R\$ 4.083,83 | R\$ 28.843,94 | R\$ 2.546,50 | R\$ 18.617,02 |
| 14 | 2.936 | 1,487 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.365,42 | R\$ 4.207,77 | R\$ 33.051,71 | R\$ 2.530,17 | R\$ 21.147,19 |
| 15 | 2.914 | 1,542 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.492,99 | R\$ 4.335,34 | R\$ 37.387,06 | R\$ 2.513,87 | R\$ 23.661,05 |
| 16 | 2.892 | 1,599 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.624,28 | R\$ 4.466,64 | R\$ 41.853,69 | R\$ 2.497,59 | R\$ 26.158,64 |
| 17 | 2.870 | 1,658 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.759,42 | R\$ 4.601,77 | R\$ 46.455,47 | R\$ 2.481,34 | R\$ 28.639,98 |
| 18 | 2.849 | 1,720 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.898,50 | R\$ 4.740,85 | R\$ 51.196,32 | R\$ 2.465,12 | R\$ 31.105,10 |
| 19 | 2.827 | 1,783 | -R\$ 157,64 | R\$ 5.041,64 | R\$ 4.884,00 | R\$ 56.080,32 | R\$ 2.448,95 | R\$ 33.554,05 |
| 20 | 2.806 | 1,849 | -R\$ 157,64 | R\$ 5.188,97 | R\$ 5.031,33 | R\$ 61.111,65 | R\$ 2.432,81 | R\$ 35.986,85 |
| 21 | 2.785 | 1,918 | -R\$ 157,64 | R\$ 5.340,61 | R\$ 5.182,96 | R\$ 66.294,61 | R\$ 2.416,71 | R\$ 38.403,56 |
| 22 | 2.764 | 1,988 | -R\$ 157,64 | R\$ 5.496,67 | R\$ 5.339,03 | R\$ 71.633,64 | R\$ 2.400,65 | R\$ 40.804,22 |
| 23 | 2.744 | 2,062 | -R\$ 157,64 | R\$ 5.657,30 | R\$ 5.499,66 | R\$ 77.133,30 | R\$ 2.384,65 | R\$ 43.188,86 |
| 24 | 2.723 | 2,138 | -R\$ 157,64 | R\$ 5.822,62 | R\$ 5.664,98 | R\$ 82.798,27 | R\$ 2.368,69 | R\$ 45.557,55 |
| 25 | 2.703 | 2,217 | -R\$ 157,64 | R\$ 5.992,77 | R\$ 5.835,13 | R\$ 88.633,40 | R\$ 2.352,78 | R\$ 47.910,33 |

Cenário Alt. 2 – 300 kWh – Autoconsumo 90% - Reajuste 2,5% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 2 - 2,61 kWp | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO |
| 0 | | | | -R\$ 15.764,40 | -R\$ 15.764,40 | -R\$ 15.764,40 | -R\$ 15.764,40 | -R\$ 15.764,40 |
| 1 | 3.238 | 0,927 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.001,96 | R\$ 2.844,32 | -R\$ 12.920,08 | R\$ 2.742,83 | -R\$ 13.021,57 |
| 2 | 3.213 | 0,950 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.053,93 | R\$ 2.896,29 | -R\$ 10.023,79 | R\$ 2.693,30 | -R\$ 10.328,27 |
| 3 | 3.189 | 0,974 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.106,81 | R\$ 2.949,16 | -R\$ 7.074,63 | R\$ 2.644,61 | -R\$ 7.683,65 |
| 4 | 3.165 | 0,998 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.160,59 | R\$ 3.002,95 | -R\$ 4.071,68 | R\$ 2.596,77 | -R\$ 5.086,89 |
| 5 | 3.142 | 1,023 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.215,31 | R\$ 3.057,67 | -R\$ 1.014,02 | R\$ 2.549,74 | -R\$ 2.537,15 |
| 6 | 3.118 | 1,049 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.270,97 | R\$ 3.113,33 | R\$ 2.099,31 | R\$ 2.503,53 | -R\$ 33,62 |
| 7 | 3.095 | 1,075 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.327,60 | R\$ 3.169,96 | R\$ 5.269,27 | R\$ 2.458,12 | R\$ 2.424,50 |
| 8 | 3.072 | 1,102 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.385,21 | R\$ 3.227,57 | R\$ 8.496,84 | R\$ 2.413,49 | R\$ 4.837,99 |
| 9 | 3.048 | 1,130 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.443,82 | R\$ 3.286,17 | R\$ 11.783,01 | R\$ 2.369,64 | R\$ 7.207,62 |
| 10 | 3.026 | 1,158 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.503,44 | R\$ 3.345,80 | R\$ 15.128,81 | R\$ 2.326,55 | R\$ 9.534,17 |
| 11 | 3.003 | 1,187 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.564,09 | R\$ 3.406,45 | R\$ 18.535,26 | R\$ 2.284,21 | R\$ 11.818,38 |
| 12 | 2.980 | 1,217 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.625,80 | R\$ 3.468,15 | R\$ 22.003,41 | R\$ 2.242,61 | R\$ 14.060,99 |
| 13 | 2.958 | 1,247 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.688,57 | R\$ 3.530,92 | R\$ 25.534,34 | R\$ 2.201,73 | R\$ 16.262,72 |
| 14 | 2.936 | 1,278 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.752,43 | R\$ 3.594,78 | R\$ 29.129,12 | R\$ 2.161,57 | R\$ 18.424,29 |
| 15 | 2.914 | 1,310 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.817,39 | R\$ 3.659,75 | R\$ 32.788,86 | R\$ 2.122,12 | R\$ 20.546,41 |
| 16 | 2.892 | 1,343 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.883,48 | R\$ 3.725,83 | R\$ 36.514,70 | R\$ 2.083,36 | R\$ 22.629,77 |
| 17 | 2.870 | 1,376 | -R\$ 157,64 | R\$ 3.950,71 | R\$ 3.793,07 | R\$ 40.307,77 | R\$ 2.045,28 | R\$ 24.675,04 |
| 18 | 2.849 | 1,411 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.019,11 | R\$ 3.861,46 | R\$ 44.169,23 | R\$ 2.007,86 | R\$ 26.682,91 |
| 19 | 2.827 | 1,446 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.088,69 | R\$ 3.931,05 | R\$ 48.100,28 | R\$ 1.971,11 | R\$ 28.654,02 |
| 20 | 2.806 | 1,482 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.159,47 | R\$ 4.001,83 | R\$ 52.102,11 | R\$ 1.935,01 | R\$ 30.589,03 |
| 21 | 2.785 | 1,519 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.231,49 | R\$ 4.073,84 | R\$ 56.175,95 | R\$ 1.899,55 | R\$ 32.488,58 |
| 22 | 2.764 | 1,557 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.304,74 | R\$ 4.147,10 | R\$ 60.323,05 | R\$ 1.864,71 | R\$ 34.353,29 |
| 23 | 2.744 | 1,596 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.379,27 | R\$ 4.221,62 | R\$ 64.544,67 | R\$ 1.830,49 | R\$ 36.183,78 |
| 24 | 2.723 | 1,636 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.455,08 | R\$ 4.297,44 | R\$ 68.842,11 | R\$ 1.796,88 | R\$ 37.980,67 |
| 25 | 2.703 | 1,677 | -R\$ 157,64 | R\$ 4.532,21 | R\$ 4.374,57 | R\$ 73.216,68 | R\$ 1.763,87 | R\$ 39.744,54 |

Cenário Alt. 3 – 300 kWh – Autoconsumo 50% - Reajuste 3,7% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 3 - 1,45 kWp | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO |
| 0 | | | | -R\$ 8.758,00 | -R\$ 8.758,00 | -R\$ 8.758,00 | -R\$ 8.758,00 | -R\$ 8.758,00 |
| 1 | 1.799 | 0,927 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.667,76 | R\$ 1.580,18 | -R\$ 7.177,82 | R\$ 1.523,80 | -R\$ 7.234,20 |
| 2 | 1.785 | 0,961 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.716,49 | R\$ 1.628,91 | -R\$ 5.548,91 | R\$ 1.514,75 | -R\$ 5.719,46 |
| 3 | 1.772 | 0,997 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.766,65 | R\$ 1.679,07 | -R\$ 3.869,84 | R\$ 1.505,68 | -R\$ 4.213,77 |
| 4 | 1.759 | 1,034 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.818,28 | R\$ 1.730,70 | -R\$ 2.139,14 | R\$ 1.496,60 | -R\$ 2.717,17 |
| 5 | 1.745 | 1,072 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.871,41 | R\$ 1.783,83 | -R\$ 355,30 | R\$ 1.487,51 | -R\$ 1.229,66 |
| 6 | 1.732 | 1,112 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.926,10 | R\$ 1.838,52 | R\$ 1.483,22 | R\$ 1.478,41 | R\$ 248,76 |
| 7 | 1.719 | 1,153 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.982,39 | R\$ 1.894,81 | R\$ 3.378,02 | R\$ 1.469,31 | R\$ 1.718,07 |
| 8 | 1.706 | 1,196 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.040,32 | R\$ 1.952,74 | R\$ 5.330,76 | R\$ 1.460,20 | R\$ 3.178,27 |
| 9 | 1.694 | 1,240 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.099,94 | R\$ 2.012,36 | R\$ 7.343,12 | R\$ 1.451,10 | R\$ 4.629,37 |
| 10 | 1.681 | 1,286 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.161,31 | R\$ 2.073,73 | R\$ 9.416,85 | R\$ 1.441,99 | R\$ 6.071,36 |
| 11 | 1.668 | 1,333 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.224,46 | R\$ 2.136,88 | R\$ 11.553,73 | R\$ 1.432,90 | R\$ 7.504,26 |
| 12 | 1.656 | 1,383 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.289,47 | R\$ 2.201,89 | R\$ 13.755,62 | R\$ 1.423,80 | R\$ 8.928,06 |
| 13 | 1.643 | 1,434 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.356,37 | R\$ 2.268,79 | R\$ 16.024,41 | R\$ 1.414,72 | R\$ 10.342,79 |
| 14 | 1.631 | 1,487 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.425,23 | R\$ 2.337,65 | R\$ 18.362,06 | R\$ 1.405,65 | R\$ 11.748,44 |
| 15 | 1.619 | 1,542 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.496,10 | R\$ 2.408,52 | R\$ 20.770,59 | R\$ 1.396,59 | R\$ 13.145,03 |
| 16 | 1.607 | 1,599 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.569,05 | R\$ 2.481,47 | R\$ 23.252,05 | R\$ 1.387,55 | R\$ 14.532,58 |
| 17 | 1.595 | 1,658 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.644,12 | R\$ 2.556,54 | R\$ 25.808,59 | R\$ 1.378,52 | R\$ 15.911,10 |
| 18 | 1.583 | 1,720 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.721,39 | R\$ 2.633,81 | R\$ 28.442,40 | R\$ 1.369,51 | R\$ 17.280,61 |
| 19 | 1.571 | 1,783 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.800,91 | R\$ 2.713,33 | R\$ 31.155,73 | R\$ 1.360,53 | R\$ 18.641,14 |
| 20 | 1.559 | 1,849 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.882,76 | R\$ 2.795,18 | R\$ 33.950,91 | R\$ 1.351,56 | R\$ 19.992,70 |
| 21 | 1.547 | 1,918 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.967,00 | R\$ 2.879,42 | R\$ 36.830,34 | R\$ 1.342,62 | R\$ 21.335,31 |
| 22 | 1.536 | 1,988 | -R\$ 87,58 | R\$ 3.053,71 | R\$ 2.966,13 | R\$ 39.796,47 | R\$ 1.333,70 | R\$ 22.669,01 |
| 23 | 1.524 | 2,062 | -R\$ 87,58 | R\$ 3.142,94 | R\$ 3.055,36 | R\$ 42.851,83 | R\$ 1.324,80 | R\$ 23.993,81 |
| 24 | 1.513 | 2,138 | -R\$ 87,58 | R\$ 3.234,79 | R\$ 3.147,21 | R\$ 45.999,04 | R\$ 1.315,94 | R\$ 25.309,75 |
| 25 | 1.501 | 2,217 | -R\$ 87,58 | R\$ 3.329,32 | R\$ 3.241,74 | R\$ 49.240,78 | R\$ 1.307,10 | R\$ 26.616,85 |

Cenário Alt. 4 – 300 kWh – Autoconsumo 50% - Reajuste 2,5% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 4 - 1,45 kWp | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO |
| 0 | | | | -R\$ 8.758,00 | -R\$ 8.758,00 | -R\$ 8.758,00 | -R\$ 8.758,00 | -R\$ 8.758,00 |
| 1 | 1.799 | 0,927 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.667,76 | R\$ 1.580,18 | -R\$ 7.177,82 | R\$ 1.523,80 | -R\$ 7.234,20 |
| 2 | 1.785 | 0,950 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.696,63 | R\$ 1.609,05 | -R\$ 5.568,77 | R\$ 1.496,28 | -R\$ 5.737,93 |
| 3 | 1.772 | 0,974 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.726,00 | R\$ 1.638,42 | -R\$ 3.930,35 | R\$ 1.469,23 | -R\$ 4.268,70 |
| 4 | 1.759 | 0,998 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.755,88 | R\$ 1.668,30 | -R\$ 2.262,05 | R\$ 1.442,65 | -R\$ 2.826,05 |
| 5 | 1.745 | 1,023 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.786,28 | R\$ 1.698,70 | -R\$ 563,34 | R\$ 1.416,52 | -R\$ 1.409,53 |
| 6 | 1.732 | 1,049 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.817,21 | R\$ 1.729,63 | R\$ 1.166,28 | R\$ 1.390,85 | -R\$ 18,68 |
| 7 | 1.719 | 1,075 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.848,67 | R\$ 1.761,09 | R\$ 2.927,37 | R\$ 1.365,62 | R\$ 1.346,94 |
| 8 | 1.706 | 1,102 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.880,67 | R\$ 1.793,09 | R\$ 4.720,47 | R\$ 1.340,83 | R\$ 2.687,77 |
| 9 | 1.694 | 1,130 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.913,23 | R\$ 1.825,65 | R\$ 6.546,12 | R\$ 1.316,47 | R\$ 4.004,24 |
| 10 | 1.681 | 1,158 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.946,36 | R\$ 1.858,78 | R\$ 8.404,89 | R\$ 1.292,53 | R\$ 5.296,76 |
| 11 | 1.668 | 1,187 | -R\$ 87,58 | R\$ 1.980,05 | R\$ 1.892,47 | R\$ 10.297,37 | R\$ 1.269,00 | R\$ 6.565,77 |
| 12 | 1.656 | 1,217 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.014,33 | R\$ 1.926,75 | R\$ 12.224,12 | R\$ 1.245,89 | R\$ 7.811,66 |
| 13 | 1.643 | 1,247 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.049,20 | R\$ 1.961,62 | R\$ 14.185,74 | R\$ 1.223,18 | R\$ 9.034,84 |
| 14 | 1.631 | 1,278 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.084,68 | R\$ 1.997,10 | R\$ 16.182,84 | R\$ 1.200,87 | R\$ 10.235,72 |
| 15 | 1.619 | 1,310 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.120,77 | R\$ 2.033,19 | R\$ 18.216,04 | R\$ 1.178,95 | R\$ 11.414,67 |
| 16 | 1.607 | 1,343 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.157,49 | R\$ 2.069,91 | R\$ 20.285,94 | R\$ 1.157,42 | R\$ 12.572,09 |
| 17 | 1.595 | 1,376 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.194,84 | R\$ 2.107,26 | R\$ 22.393,20 | R\$ 1.136,26 | R\$ 13.708,36 |
| 18 | 1.583 | 1,411 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.232,84 | R\$ 2.145,26 | R\$ 24.538,46 | R\$ 1.115,48 | R\$ 14.823,84 |
| 19 | 1.571 | 1,446 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.271,49 | R\$ 2.183,91 | R\$ 26.722,38 | R\$ 1.095,06 | R\$ 15.918,90 |
| 20 | 1.559 | 1,482 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.310,82 | R\$ 2.223,24 | R\$ 28.945,61 | R\$ 1.075,01 | R\$ 16.993,91 |
| 21 | 1.547 | 1,519 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.350,83 | R\$ 2.263,25 | R\$ 31.208,86 | R\$ 1.055,30 | R\$ 18.049,21 |
| 22 | 1.536 | 1,557 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.391,52 | R\$ 2.303,94 | R\$ 33.512,80 | R\$ 1.035,95 | R\$ 19.085,16 |
| 23 | 1.524 | 1,596 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.432,93 | R\$ 2.345,35 | R\$ 35.858,15 | R\$ 1.016,94 | R\$ 20.102,10 |
| 24 | 1.513 | 1,636 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.475,05 | R\$ 2.387,47 | R\$ 38.245,62 | R\$ 998,27 | R\$ 21.100,37 |
| 25 | 1.501 | 1,677 | -R\$ 87,58 | R\$ 2.517,90 | R\$ 2.430,32 | R\$ 40.675,93 | R\$ 979,93 | R\$ 22.080,30 |

Cenário Alt. 5 – 200 kWh – Autoconsumo 90% - Reajuste 3,7% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 5 - 1,74 kWp | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO | |
| 0 | | | | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 |
| 1 | 2.158 | 0,912 | -R\$ 105,10 | R\$ 1.967,54 | R\$ 1.862,44 | -R\$ 8.647,16 | R\$ 1.795,99 | -R\$ 8.713,61 | |
| 2 | 2.142 | 0,945 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.025,03 | R\$ 1.919,94 | -R\$ 6.727,22 | R\$ 1.785,38 | -R\$ 6.928,23 | |
| 3 | 2.126 | 0,980 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.084,21 | R\$ 1.979,11 | -R\$ 4.748,11 | R\$ 1.774,74 | -R\$ 5.153,50 | |
| 4 | 2.110 | 1,017 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.145,12 | R\$ 2.040,02 | -R\$ 2.708,09 | R\$ 1.764,08 | -R\$ 3.389,41 | |
| 5 | 2.094 | 1,054 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.207,80 | R\$ 2.102,71 | -R\$ 605,38 | R\$ 1.753,41 | -R\$ 1.636,00 | |
| 6 | 2.079 | 1,093 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.272,32 | R\$ 2.167,22 | R\$ 1.561,84 | R\$ 1.742,73 | R\$ 106,74 | |
| 7 | 2.063 | 1,134 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.338,72 | R\$ 2.233,63 | R\$ 3.795,47 | R\$ 1.732,04 | R\$ 1.838,78 | |
| 8 | 2.048 | 1,176 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.407,07 | R\$ 2.301,97 | R\$ 6.097,44 | R\$ 1.721,35 | R\$ 3.560,13 | |
| 9 | 2.032 | 1,219 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.477,41 | R\$ 2.372,31 | R\$ 8.469,75 | R\$ 1.710,66 | R\$ 5.270,79 | |
| 10 | 2.017 | 1,264 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.549,80 | R\$ 2.444,71 | R\$ 10.914,45 | R\$ 1.699,96 | R\$ 6.970,75 | |
| 11 | 2.002 | 1,311 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.624,31 | R\$ 2.519,22 | R\$ 13.433,67 | R\$ 1.689,27 | R\$ 8.660,02 | |
| 12 | 1.987 | 1,359 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.701,00 | R\$ 2.595,91 | R\$ 16.029,57 | R\$ 1.678,59 | R\$ 10.338,61 | |
| 13 | 1.972 | 1,410 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.779,93 | R\$ 2.674,84 | R\$ 18.704,41 | R\$ 1.667,91 | R\$ 12.006,52 | |
| 14 | 1.957 | 1,462 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.861,17 | R\$ 2.756,07 | R\$ 21.460,48 | R\$ 1.657,25 | R\$ 13.663,77 | |
| 15 | 1.943 | 1,516 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.944,78 | R\$ 2.839,68 | R\$ 24.300,17 | R\$ 1.646,60 | R\$ 15.310,37 | |
| 16 | 1.928 | 1,572 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.030,83 | R\$ 2.925,74 | R\$ 27.225,90 | R\$ 1.635,97 | R\$ 16.946,34 | |
| 17 | 1.914 | 1,630 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.119,40 | R\$ 3.014,31 | R\$ 30.240,21 | R\$ 1.625,36 | R\$ 18.571,70 | |
| 18 | 1.899 | 1,691 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.210,56 | R\$ 3.105,46 | R\$ 33.345,67 | R\$ 1.614,76 | R\$ 20.186,46 | |
| 19 | 1.885 | 1,753 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.304,38 | R\$ 3.199,28 | R\$ 36.544,95 | R\$ 1.604,19 | R\$ 21.790,65 | |
| 20 | 1.871 | 1,818 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.400,94 | R\$ 3.295,85 | R\$ 39.840,80 | R\$ 1.593,65 | R\$ 23.384,30 | |
| 21 | 1.857 | 1,885 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.500,33 | R\$ 3.395,23 | R\$ 43.236,03 | R\$ 1.583,12 | R\$ 24.967,42 | |
| 22 | 1.843 | 1,955 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.602,61 | R\$ 3.497,52 | R\$ 46.733,55 | R\$ 1.572,63 | R\$ 26.540,05 | |
| 23 | 1.829 | 2,027 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.707,89 | R\$ 3.602,79 | R\$ 50.336,34 | R\$ 1.562,17 | R\$ 28.102,22 | |
| 24 | 1.815 | 2,102 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.816,24 | R\$ 3.711,15 | R\$ 54.047,49 | R\$ 1.551,74 | R\$ 29.653,96 | |
| 25 | 1.802 | 2,180 | -R\$ 105,10 | R\$ 3.927,76 | R\$ 3.822,67 | R\$ 57.870,16 | R\$ 1.541,34 | R\$ 31.195,30 | |

Cenário Alt. 6 – 200 kWh – Autoconsumo 90% - Reajuste 2,5% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 6 - 1,74 kWp | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO | |
| 0 | | | | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 | -R\$ 10.509,60 |
| 1 | 2.158 | 0,912 | -R\$ 105,10 | R\$ 1.967,54 | R\$ 1.862,44 | -R\$ 8.647,16 | R\$ 1.795,99 | -R\$ 8.713,61 | |
| 2 | 2.142 | 0,934 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.001,60 | R\$ 1.896,50 | -R\$ 6.750,65 | R\$ 1.763,58 | -R\$ 6.950,03 | |
| 3 | 2.126 | 0,958 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.036,25 | R\$ 1.931,16 | -R\$ 4.819,50 | R\$ 1.731,73 | -R\$ 5.218,29 | |
| 4 | 2.110 | 0,982 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.071,51 | R\$ 1.966,41 | -R\$ 2.853,09 | R\$ 1.700,43 | -R\$ 3.517,86 | |
| 5 | 2.094 | 1,006 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.107,37 | R\$ 2.002,27 | -R\$ 850,82 | R\$ 1.669,67 | -R\$ 1.848,20 | |
| 6 | 2.079 | 1,031 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.143,85 | R\$ 2.038,76 | R\$ 1.187,94 | R\$ 1.639,43 | -R\$ 208,77 | |
| 7 | 2.063 | 1,057 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.180,97 | R\$ 2.075,87 | R\$ 3.263,81 | R\$ 1.609,72 | R\$ 1.400,95 | |
| 8 | 2.048 | 1,084 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.218,73 | R\$ 2.113,63 | R\$ 5.377,44 | R\$ 1.580,52 | R\$ 2.981,47 | |
| 9 | 2.032 | 1,111 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.257,14 | R\$ 2.152,04 | R\$ 7.529,48 | R\$ 1.551,82 | R\$ 4.533,29 | |
| 10 | 2.017 | 1,138 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.296,21 | R\$ 2.191,12 | R\$ 9.720,60 | R\$ 1.523,63 | R\$ 6.056,91 | |
| 11 | 2.002 | 1,167 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.335,97 | R\$ 2.230,87 | R\$ 11.951,47 | R\$ 1.495,92 | R\$ 7.552,83 | |
| 12 | 1.987 | 1,196 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.376,41 | R\$ 2.271,31 | R\$ 14.222,78 | R\$ 1.468,70 | R\$ 9.021,53 | |
| 13 | 1.972 | 1,226 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.417,55 | R\$ 2.312,45 | R\$ 16.535,24 | R\$ 1.441,95 | R\$ 10.463,47 | |
| 14 | 1.957 | 1,257 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.459,40 | R\$ 2.354,31 | R\$ 18.889,55 | R\$ 1.415,67 | R\$ 11.879,14 | |
| 15 | 1.943 | 1,288 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.501,98 | R\$ 2.396,89 | R\$ 21.286,43 | R\$ 1.389,84 | R\$ 13.268,98 | |
| 16 | 1.928 | 1,320 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.545,30 | R\$ 2.440,20 | R\$ 23.726,64 | R\$ 1.364,48 | R\$ 14.633,46 | |
| 17 | 1.914 | 1,353 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.589,36 | R\$ 2.484,27 | R\$ 26.210,90 | R\$ 1.339,55 | R\$ 15.973,01 | |
| 18 | 1.899 | 1,387 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.634,19 | R\$ 2.529,10 | R\$ 28.740,00 | R\$ 1.315,07 | R\$ 17.288,08 | |
| 19 | 1.885 | 1,422 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.679,80 | R\$ 2.574,70 | R\$ 31.314,70 | R\$ 1.291,01 | R\$ 18.579,09 | |
| 20 | 1.871 | 1,457 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.726,19 | R\$ 2.621,09 | R\$ 33.935,79 | R\$ 1.267,38 | R\$ 19.846,47 | |
| 21 | 1.857 | 1,494 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.773,39 | R\$ 2.668,29 | R\$ 36.604,09 | R\$ 1.244,17 | R\$ 21.090,64 | |
| 22 | 1.843 | 1,531 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.821,40 | R\$ 2.716,31 | R\$ 39.320,39 | R\$ 1.221,37 | R\$ 22.312,01 | |
| 23 | 1.829 | 1,569 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.870,25 | R\$ 2.765,15 | R\$ 42.085,54 | R\$ 1.198,97 | R\$ 23.510,98 | |
| 24 | 1.815 | 1,609 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.919,94 | R\$ 2.814,84 | R\$ 44.900,38 | R\$ 1.176,97 | R\$ 24.687,94 | |
| 25 | 1.802 | 1,649 | -R\$ 105,10 | R\$ 2.970,49 | R\$ 2.865,39 | R\$ 47.765,78 | R\$ 1.155,35 | R\$ 25.843,30 | |

Cenário Alt. 7 – 200 kWh – Autoconsumo 50% - Reajuste 3,7% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 7 - 0,97 kWp | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|------|----------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO | | |
| 0 | | | | -R\$ 5.858,80 | -R\$ 5.858,80 | -R\$ 5.858,80 | -R\$ 5.858,80 | -R\$ 5.858,80 | -R\$ | 5.858,80 |
| 1 | 1.203 | 0,912 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.096,85 | R\$ 1.038,26 | -R\$ 4.820,54 | R\$ 1.001,21 | -R\$ 4.857,59 | | |
| 2 | 1.194 | 0,945 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.128,90 | R\$ 1.070,31 | -R\$ 3.750,23 | R\$ 995,30 | -R\$ 3.862,29 | | |
| 3 | 1.185 | 0,980 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.161,89 | R\$ 1.103,30 | -R\$ 2.646,93 | R\$ 989,37 | -R\$ 2.872,93 | | |
| 4 | 1.176 | 1,017 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.195,84 | R\$ 1.137,25 | -R\$ 1.509,68 | R\$ 983,43 | -R\$ 1.889,50 | | |
| 5 | 1.168 | 1,054 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.230,79 | R\$ 1.172,20 | -R\$ 337,48 | R\$ 977,48 | -R\$ 912,02 | | |
| 6 | 1.159 | 1,093 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.266,75 | R\$ 1.208,16 | R\$ 870,68 | R\$ 971,52 | R\$ 59,50 | | |
| 7 | 1.150 | 1,134 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.303,77 | R\$ 1.245,18 | R\$ 2.115,86 | R\$ 965,57 | R\$ 1.025,07 | | |
| 8 | 1.142 | 1,176 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.341,87 | R\$ 1.283,28 | R\$ 3.399,15 | R\$ 959,60 | R\$ 1.984,67 | | |
| 9 | 1.133 | 1,219 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.381,08 | R\$ 1.322,49 | R\$ 4.721,64 | R\$ 953,64 | R\$ 2.938,31 | | |
| 10 | 1.124 | 1,264 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.421,44 | R\$ 1.362,85 | R\$ 6.084,49 | R\$ 947,68 | R\$ 3.885,99 | | |
| 11 | 1.116 | 1,311 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.462,98 | R\$ 1.404,39 | R\$ 7.488,88 | R\$ 941,72 | R\$ 4.827,71 | | |
| 12 | 1.108 | 1,359 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.505,73 | R\$ 1.447,14 | R\$ 8.936,03 | R\$ 935,76 | R\$ 5.763,48 | | |
| 13 | 1.099 | 1,410 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.549,73 | R\$ 1.491,14 | R\$ 10.427,17 | R\$ 929,81 | R\$ 6.693,29 | | |
| 14 | 1.091 | 1,462 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.595,02 | R\$ 1.536,43 | R\$ 11.963,60 | R\$ 923,87 | R\$ 7.617,16 | | |
| 15 | 1.083 | 1,516 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.641,63 | R\$ 1.583,04 | R\$ 13.546,64 | R\$ 917,93 | R\$ 8.535,09 | | |
| 16 | 1.075 | 1,572 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.689,60 | R\$ 1.631,01 | R\$ 15.177,66 | R\$ 912,01 | R\$ 9.447,10 | | |
| 17 | 1.067 | 1,630 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.738,98 | R\$ 1.680,39 | R\$ 16.858,05 | R\$ 906,09 | R\$ 10.353,19 | | |
| 18 | 1.059 | 1,691 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.789,79 | R\$ 1.731,21 | R\$ 18.589,25 | R\$ 900,18 | R\$ 11.253,37 | | |
| 19 | 1.051 | 1,753 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.842,10 | R\$ 1.783,51 | R\$ 20.372,76 | R\$ 894,29 | R\$ 12.147,66 | | |
| 20 | 1.043 | 1,818 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.895,93 | R\$ 1.837,34 | R\$ 22.210,10 | R\$ 888,41 | R\$ 13.036,07 | | |
| 21 | 1.035 | 1,885 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.951,33 | R\$ 1.892,74 | R\$ 24.102,84 | R\$ 882,55 | R\$ 13.918,62 | | |
| 22 | 1.027 | 1,955 | -R\$ 58,59 | R\$ 2.008,35 | R\$ 1.949,77 | R\$ 26.052,61 | R\$ 876,70 | R\$ 14.795,32 | | |
| 23 | 1.020 | 2,027 | -R\$ 58,59 | R\$ 2.067,04 | R\$ 2.008,45 | R\$ 28.061,06 | R\$ 870,86 | R\$ 15.666,18 | | |
| 24 | 1.012 | 2,102 | -R\$ 58,59 | R\$ 2.127,45 | R\$ 2.068,86 | R\$ 30.129,92 | R\$ 865,05 | R\$ 16.531,23 | | |
| 25 | 1.004 | 2,180 | -R\$ 58,59 | R\$ 2.189,62 | R\$ 2.131,03 | R\$ 32.260,95 | R\$ 859,25 | R\$ 17.390,48 | | |

Cenário Alt. 8 – 200 kWh – Autoconsumo 50% - Reajuste 2,5% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 8 - 0,97 kWp | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|------|----------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO | | |
| 0 | | | | -R\$ 5.858,80 | -R\$ 5.858,80 | -R\$ 5.858,80 | -R\$ 5.858,80 | -R\$ 5.858,80 | -R\$ | 5.858,80 |
| 1 | 1.203 | 0,912 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.096,85 | R\$ 1.038,26 | -R\$ 4.820,54 | R\$ 1.001,21 | -R\$ 4.857,59 | | |
| 2 | 1.194 | 0,934 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.115,83 | R\$ 1.057,25 | -R\$ 3.763,30 | R\$ 983,15 | -R\$ 3.874,44 | | |
| 3 | 1.185 | 0,958 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.135,15 | R\$ 1.076,56 | -R\$ 2.686,73 | R\$ 965,39 | -R\$ 2.909,05 | | |
| 4 | 1.176 | 0,982 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.154,80 | R\$ 1.096,22 | -R\$ 1.590,51 | R\$ 947,94 | -R\$ 1.961,11 | | |
| 5 | 1.168 | 1,006 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.174,80 | R\$ 1.116,21 | -R\$ 474,31 | R\$ 930,79 | -R\$ 1.030,32 | | |
| 6 | 1.159 | 1,031 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.195,14 | R\$ 1.136,55 | R\$ 662,24 | R\$ 913,93 | -R\$ 116,38 | | |
| 7 | 1.150 | 1,057 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.215,83 | R\$ 1.157,24 | R\$ 1.819,48 | R\$ 897,37 | R\$ 780,99 | | |
| 8 | 1.142 | 1,084 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.236,88 | R\$ 1.178,29 | R\$ 2.997,77 | R\$ 881,09 | R\$ 1.662,08 | | |
| 9 | 1.133 | 1,111 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.258,29 | R\$ 1.199,70 | R\$ 4.197,47 | R\$ 865,10 | R\$ 2.527,18 | | |
| 10 | 1.124 | 1,138 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.280,07 | R\$ 1.221,49 | R\$ 5.418,96 | R\$ 849,38 | R\$ 3.376,55 | | |
| 11 | 1.116 | 1,167 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.302,23 | R\$ 1.243,65 | R\$ 6.662,60 | R\$ 833,93 | R\$ 4.210,49 | | |
| 12 | 1.108 | 1,196 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.324,78 | R\$ 1.266,19 | R\$ 7.928,79 | R\$ 818,76 | R\$ 5.029,24 | | |
| 13 | 1.099 | 1,226 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.347,71 | R\$ 1.289,13 | R\$ 9.217,92 | R\$ 803,84 | R\$ 5.833,09 | | |
| 14 | 1.091 | 1,257 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.371,05 | R\$ 1.312,46 | R\$ 10.530,38 | R\$ 789,19 | R\$ 6.622,28 | | |
| 15 | 1.083 | 1,288 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.394,78 | R\$ 1.336,20 | R\$ 11.866,58 | R\$ 774,80 | R\$ 7.397,08 | | |
| 16 | 1.075 | 1,320 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.418,93 | R\$ 1.360,34 | R\$ 13.226,92 | R\$ 760,66 | R\$ 8.157,73 | | |
| 17 | 1.067 | 1,353 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.443,50 | R\$ 1.384,91 | R\$ 14.611,83 | R\$ 746,76 | R\$ 8.904,49 | | |
| 18 | 1.059 | 1,387 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.468,49 | R\$ 1.409,90 | R\$ 16.021,72 | R\$ 733,11 | R\$ 9.637,61 | | |
| 19 | 1.051 | 1,422 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.493,91 | R\$ 1.435,32 | R\$ 17.457,05 | R\$ 719,70 | R\$ 10.357,31 | | |
| 20 | 1.043 | 1,457 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.519,77 | R\$ 1.461,18 | R\$ 18.918,23 | R\$ 706,53 | R\$ 11.063,84 | | |
| 21 | 1.035 | 1,494 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.546,08 | R\$ 1.487,50 | R\$ 20.405,73 | R\$ 693,59 | R\$ 11.757,43 | | |
| 22 | 1.027 | 1,531 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.572,85 | R\$ 1.514,26 | R\$ 21.919,99 | R\$ 680,88 | R\$ 12.438,30 | | |
| 23 | 1.020 | 1,569 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.600,08 | R\$ 1.541,49 | R\$ 23.461,48 | R\$ 668,39 | R\$ 13.106,69 | | |
| 24 | 1.012 | 1,609 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.627,78 | R\$ 1.569,19 | R\$ 25.030,67 | R\$ 656,12 | R\$ 13.762,82 | | |
| 25 | 1.004 | 1,649 | -R\$ 58,59 | R\$ 1.655,96 | R\$ 1.597,37 | R\$ 26.628,05 | R\$ 644,08 | R\$ 14.406,90 | | |

Cenário Alt. 9 – 100 kWh – Autoconsumo 90% - Reajuste 3,7% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 9 - 0,87 kWp | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|--|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO | |
| 0 | | | | -R\$ 5.254,80 | -R\$ 5.254,80 | -R\$ 5.254,80 | R\$ 5.254,80 | -R\$ 5.254,80 | |
| 1 | 1.079 | 0,865 | -R\$ 52,55 | R\$ 933,11 | R\$ 880,56 | -R\$ 4.374,24 | R\$ 849,15 | -R\$ 4.405,65 | |
| 2 | 1.071 | 0,897 | -R\$ 52,55 | R\$ 960,38 | R\$ 907,83 | -R\$ 3.466,40 | R\$ 844,20 | -R\$ 3.561,45 | |
| 3 | 1.063 | 0,930 | -R\$ 52,55 | R\$ 988,44 | R\$ 935,90 | -R\$ 2.530,51 | R\$ 839,25 | -R\$ 2.722,20 | |
| 4 | 1.055 | 0,964 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.017,33 | R\$ 964,78 | -R\$ 1.565,73 | R\$ 834,28 | -R\$ 1.887,92 | |
| 5 | 1.047 | 1,000 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.047,06 | R\$ 994,51 | -R\$ 571,22 | R\$ 829,31 | -R\$ 1.058,61 | |
| 6 | 1.039 | 1,037 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.077,66 | R\$ 1.025,11 | R\$ 453,89 | R\$ 824,32 | -R\$ 234,29 | |
| 7 | 1.032 | 1,075 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.109,15 | R\$ 1.056,60 | R\$ 1.510,49 | R\$ 819,33 | R\$ 585,05 | |
| 8 | 1.024 | 1,115 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.141,56 | R\$ 1.089,01 | R\$ 2.599,50 | R\$ 814,33 | R\$ 1.399,38 | |
| 9 | 1.016 | 1,156 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.174,92 | R\$ 1.122,37 | R\$ 3.721,87 | R\$ 809,33 | R\$ 2.208,71 | |
| 10 | 1.009 | 1,199 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.209,25 | R\$ 1.156,71 | R\$ 4.878,58 | R\$ 804,33 | R\$ 3.013,04 | |
| 11 | 1.001 | 1,243 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.244,59 | R\$ 1.192,04 | R\$ 6.070,62 | R\$ 799,33 | R\$ 3.812,37 | |
| 12 | 993 | 1,289 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.280,96 | R\$ 1.228,41 | R\$ 7.299,03 | R\$ 794,33 | R\$ 4.606,70 | |
| 13 | 986 | 1,337 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.318,39 | R\$ 1.265,85 | R\$ 8.564,88 | R\$ 789,33 | R\$ 5.396,03 | |
| 14 | 979 | 1,387 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.356,92 | R\$ 1.304,37 | R\$ 9.869,25 | R\$ 784,33 | R\$ 6.180,36 | |
| 15 | 971 | 1,438 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.396,57 | R\$ 1.344,02 | R\$ 11.213,28 | R\$ 779,34 | R\$ 6.959,69 | |
| 16 | 964 | 1,491 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.437,38 | R\$ 1.384,84 | R\$ 12.598,11 | R\$ 774,35 | R\$ 7.734,05 | |
| 17 | 957 | 1,546 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.479,39 | R\$ 1.426,84 | R\$ 14.024,95 | R\$ 769,37 | R\$ 8.503,42 | |
| 18 | 950 | 1,603 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.522,62 | R\$ 1.470,07 | R\$ 15.495,02 | R\$ 764,40 | R\$ 9.267,82 | |
| 19 | 942 | 1,663 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.567,11 | R\$ 1.514,57 | R\$ 17.009,59 | R\$ 759,44 | R\$ 10.027,26 | |
| 20 | 935 | 1,724 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.612,91 | R\$ 1.560,36 | R\$ 18.569,95 | R\$ 754,48 | R\$ 10.781,74 | |
| 21 | 928 | 1,788 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.660,04 | R\$ 1.607,49 | R\$ 20.177,45 | R\$ 749,54 | R\$ 11.531,28 | |
| 22 | 921 | 1,854 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.708,55 | R\$ 1.656,01 | R\$ 21.833,45 | R\$ 744,61 | R\$ 12.275,89 | |
| 23 | 915 | 1,923 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.758,48 | R\$ 1.705,93 | R\$ 23.539,38 | R\$ 739,69 | R\$ 13.015,58 | |
| 24 | 908 | 1,994 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.809,87 | R\$ 1.757,32 | R\$ 25.296,71 | R\$ 734,79 | R\$ 13.750,37 | |
| 25 | 901 | 2,068 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.862,76 | R\$ 1.810,21 | R\$ 27.106,91 | R\$ 729,89 | R\$ 14.480,26 | |

Cenário Alt. 10 – 100 kWh – Autoconsumo 90% - Reajuste 2,5% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 10 - 0,87 kWp | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|--|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO | |
| 0 | | | | -R\$ 5.254,80 | -R\$ 5.254,80 | -R\$ 5.254,80 | R\$ 5.254,80 | -R\$ 5.254,80 | |
| 1 | 1.079 | 0,865 | -R\$ 52,55 | R\$ 933,11 | R\$ 880,56 | -R\$ 4.374,24 | R\$ 849,15 | -R\$ 4.405,65 | |
| 2 | 1.071 | 0,886 | -R\$ 52,55 | R\$ 949,27 | R\$ 896,72 | -R\$ 3.477,52 | R\$ 833,87 | -R\$ 3.571,78 | |
| 3 | 1.063 | 0,908 | -R\$ 52,55 | R\$ 965,70 | R\$ 913,15 | -R\$ 2.564,36 | R\$ 818,86 | -R\$ 2.752,93 | |
| 4 | 1.055 | 0,931 | -R\$ 52,55 | R\$ 982,42 | R\$ 929,87 | -R\$ 1.634,49 | R\$ 804,10 | -R\$ 1.948,83 | |
| 5 | 1.047 | 0,954 | -R\$ 52,55 | R\$ 999,43 | R\$ 946,88 | -R\$ 687,61 | R\$ 789,59 | -R\$ 1.159,24 | |
| 6 | 1.039 | 0,978 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.016,73 | R\$ 964,18 | R\$ 276,57 | R\$ 775,33 | -R\$ 383,91 | |
| 7 | 1.032 | 1,003 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.034,33 | R\$ 981,78 | R\$ 1.258,35 | R\$ 761,32 | R\$ 377,40 | |
| 8 | 1.024 | 1,028 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.052,24 | R\$ 999,69 | R\$ 2.258,04 | R\$ 747,54 | R\$ 1.124,94 | |
| 9 | 1.016 | 1,053 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.070,46 | R\$ 1.017,91 | R\$ 3.275,95 | R\$ 734,01 | R\$ 1.858,95 | |
| 10 | 1.009 | 1,080 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.088,99 | R\$ 1.036,44 | R\$ 4.312,39 | R\$ 720,70 | R\$ 2.579,65 | |
| 11 | 1.001 | 1,107 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.107,84 | R\$ 1.055,29 | R\$ 5.367,68 | R\$ 707,63 | R\$ 3.287,28 | |
| 12 | 993 | 1,134 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.127,02 | R\$ 1.074,47 | R\$ 6.442,16 | R\$ 694,78 | R\$ 3.982,07 | |
| 13 | 986 | 1,163 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.146,53 | R\$ 1.093,98 | R\$ 7.536,14 | R\$ 682,16 | R\$ 4.664,23 | |
| 14 | 979 | 1,192 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.166,38 | R\$ 1.113,83 | R\$ 8.649,98 | R\$ 669,76 | R\$ 5.333,99 | |
| 15 | 971 | 1,222 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.186,57 | R\$ 1.134,03 | R\$ 9.784,00 | R\$ 657,57 | R\$ 5.991,56 | |
| 16 | 964 | 1,252 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.207,12 | R\$ 1.154,57 | R\$ 10.938,57 | R\$ 645,59 | R\$ 6.637,15 | |
| 17 | 957 | 1,284 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.228,02 | R\$ 1.175,47 | R\$ 12.114,04 | R\$ 633,83 | R\$ 7.270,98 | |
| 18 | 950 | 1,316 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.249,28 | R\$ 1.196,73 | R\$ 13.310,77 | R\$ 622,27 | R\$ 7.893,25 | |
| 19 | 942 | 1,348 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.270,90 | R\$ 1.218,36 | R\$ 14.529,12 | R\$ 610,91 | R\$ 8.504,16 | |
| 20 | 935 | 1,382 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.292,91 | R\$ 1.240,36 | R\$ 15.769,48 | R\$ 599,75 | R\$ 9.103,91 | |
| 21 | 928 | 1,417 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.315,29 | R\$ 1.262,74 | R\$ 17.032,22 | R\$ 588,79 | R\$ 9.692,70 | |
| 22 | 921 | 1,452 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.338,06 | R\$ 1.285,51 | R\$ 18.317,73 | R\$ 578,02 | R\$ 10.270,72 | |
| 23 | 915 | 1,488 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.361,23 | R\$ 1.308,68 | R\$ 19.626,41 | R\$ 567,44 | R\$ 10.838,17 | |
| 24 | 908 | 1,526 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.384,79 | R\$ 1.332,24 | R\$ 20.958,66 | R\$ 557,05 | R\$ 11.395,22 | |
| 25 | 901 | 1,564 | -R\$ 52,55 | R\$ 1.408,77 | R\$ 1.356,22 | R\$ 22.314,87 | R\$ 546,84 | R\$ 11.942,06 | |

Cenário Alt. 11 – 100 kWh – Autoconsumo 50% - Reajuste 3,7% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 11 - 0,49 kWp | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO | |
| 0 | | | | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 |
| 1 | 608 | 0,865 | -R\$ 29,60 | R\$ 525,55 | R\$ 495,95 | -R\$ 2.463,65 | R\$ 478,25 | -R\$ 2.481,35 | |
| 2 | 603 | 0,897 | -R\$ 29,60 | R\$ 540,90 | R\$ 511,31 | -R\$ 1.952,34 | R\$ 475,47 | -R\$ 2.005,87 | |
| 3 | 599 | 0,930 | -R\$ 29,60 | R\$ 556,71 | R\$ 527,11 | -R\$ 1.425,23 | R\$ 472,68 | -R\$ 1.533,19 | |
| 4 | 594 | 0,964 | -R\$ 29,60 | R\$ 572,98 | R\$ 543,38 | -R\$ 881,85 | R\$ 469,88 | -R\$ 1.063,31 | |
| 5 | 590 | 1,000 | -R\$ 29,60 | R\$ 589,72 | R\$ 560,13 | -R\$ 321,72 | R\$ 467,08 | -R\$ 596,23 | |
| 6 | 585 | 1,037 | -R\$ 29,60 | R\$ 606,96 | R\$ 577,36 | R\$ 255,64 | R\$ 464,27 | -R\$ 131,95 | |
| 7 | 581 | 1,075 | -R\$ 29,60 | R\$ 624,69 | R\$ 595,10 | R\$ 850,74 | R\$ 461,46 | R\$ 329,51 | |
| 8 | 577 | 1,115 | -R\$ 29,60 | R\$ 642,95 | R\$ 613,35 | R\$ 1.464,09 | R\$ 458,65 | R\$ 788,16 | |
| 9 | 572 | 1,156 | -R\$ 29,60 | R\$ 661,74 | R\$ 632,14 | R\$ 2.096,23 | R\$ 455,83 | R\$ 1.243,99 | |
| 10 | 568 | 1,199 | -R\$ 29,60 | R\$ 681,07 | R\$ 651,48 | R\$ 2.747,71 | R\$ 453,01 | R\$ 1.697,00 | |
| 11 | 564 | 1,243 | -R\$ 29,60 | R\$ 700,98 | R\$ 671,38 | R\$ 3.419,09 | R\$ 450,20 | R\$ 2.147,20 | |
| 12 | 560 | 1,289 | -R\$ 29,60 | R\$ 721,46 | R\$ 691,86 | R\$ 4.110,95 | R\$ 447,38 | R\$ 2.594,58 | |
| 13 | 555 | 1,337 | -R\$ 29,60 | R\$ 742,54 | R\$ 712,95 | R\$ 4.823,90 | R\$ 444,56 | R\$ 3.039,14 | |
| 14 | 551 | 1,387 | -R\$ 29,60 | R\$ 764,24 | R\$ 734,65 | R\$ 5.558,54 | R\$ 441,75 | R\$ 3.480,89 | |
| 15 | 547 | 1,438 | -R\$ 29,60 | R\$ 786,58 | R\$ 756,98 | R\$ 6.315,52 | R\$ 438,94 | R\$ 3.919,83 | |
| 16 | 543 | 1,491 | -R\$ 29,60 | R\$ 809,56 | R\$ 779,97 | R\$ 7.095,49 | R\$ 436,13 | R\$ 4.355,96 | |
| 17 | 539 | 1,546 | -R\$ 29,60 | R\$ 833,22 | R\$ 803,62 | R\$ 7.899,11 | R\$ 433,32 | R\$ 4.789,28 | |
| 18 | 535 | 1,603 | -R\$ 29,60 | R\$ 857,57 | R\$ 827,97 | R\$ 8.727,08 | R\$ 430,52 | R\$ 5.219,81 | |
| 19 | 531 | 1,663 | -R\$ 29,60 | R\$ 882,63 | R\$ 853,03 | R\$ 9.580,11 | R\$ 427,73 | R\$ 5.647,54 | |
| 20 | 527 | 1,724 | -R\$ 29,60 | R\$ 908,42 | R\$ 878,82 | R\$ 10.458,94 | R\$ 424,94 | R\$ 6.072,47 | |
| 21 | 523 | 1,788 | -R\$ 29,60 | R\$ 934,97 | R\$ 905,37 | R\$ 11.364,31 | R\$ 422,16 | R\$ 6.494,63 | |
| 22 | 519 | 1,854 | -R\$ 29,60 | R\$ 962,29 | R\$ 932,69 | R\$ 12.297,00 | R\$ 419,38 | R\$ 6.914,01 | |
| 23 | 515 | 1,923 | -R\$ 29,60 | R\$ 990,41 | R\$ 960,81 | R\$ 13.257,81 | R\$ 416,61 | R\$ 7.330,62 | |
| 24 | 511 | 1,994 | -R\$ 29,60 | R\$ 1.019,35 | R\$ 989,76 | R\$ 14.247,57 | R\$ 413,84 | R\$ 7.744,46 | |
| 25 | 507 | 2,068 | -R\$ 29,60 | R\$ 1.049,14 | R\$ 1.019,54 | R\$ 15.267,11 | R\$ 411,09 | R\$ 8.155,55 | |

Cenário Alt. 12 – 100 kWh – Autoconsumo 50% - Reajuste 2,5% a.a. (fonte: elaboração própria)

| CENÁRIO ALTERNATIVO 12 - 0,49 kWp | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------|
| ANO | GERAÇÃO ANUAL (kWh) | TARIFA (R\$/kWh) | O & M | RECEITA NOMINAL | RECEITA LÍQUIDA | FLUXO DE CAIXA SIMPLES | VALOR PRESENTE | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO | |
| 0 | | | | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 | -R\$ 2.959,60 |
| 1 | 608 | 0,865 | -R\$ 29,60 | R\$ 525,55 | R\$ 495,95 | -R\$ 2.463,65 | R\$ 478,25 | -R\$ 2.481,35 | |
| 2 | 603 | 0,886 | -R\$ 29,60 | R\$ 534,64 | R\$ 505,05 | -R\$ 1.958,60 | R\$ 469,65 | -R\$ 2.011,69 | |
| 3 | 599 | 0,908 | -R\$ 29,60 | R\$ 543,90 | R\$ 514,30 | -R\$ 1.444,30 | R\$ 461,19 | -R\$ 1.550,50 | |
| 4 | 594 | 0,931 | -R\$ 29,60 | R\$ 553,32 | R\$ 523,72 | -R\$ 920,58 | R\$ 452,88 | -R\$ 1.097,62 | |
| 5 | 590 | 0,954 | -R\$ 29,60 | R\$ 562,90 | R\$ 533,30 | -R\$ 387,28 | R\$ 444,71 | -R\$ 652,91 | |
| 6 | 585 | 0,978 | -R\$ 29,60 | R\$ 572,64 | R\$ 543,05 | R\$ 155,77 | R\$ 436,68 | -R\$ 216,23 | |
| 7 | 581 | 1,003 | -R\$ 29,60 | R\$ 582,55 | R\$ 552,96 | R\$ 708,73 | R\$ 428,79 | R\$ 212,56 | |
| 8 | 577 | 1,028 | -R\$ 29,60 | R\$ 592,64 | R\$ 563,04 | R\$ 1.271,77 | R\$ 421,03 | R\$ 633,59 | |
| 9 | 572 | 1,053 | -R\$ 29,60 | R\$ 602,90 | R\$ 573,30 | R\$ 1.845,08 | R\$ 413,41 | R\$ 1.046,99 | |
| 10 | 568 | 1,080 | -R\$ 29,60 | R\$ 613,34 | R\$ 583,74 | R\$ 2.428,82 | R\$ 405,91 | R\$ 1.452,91 | |
| 11 | 564 | 1,107 | -R\$ 29,60 | R\$ 623,96 | R\$ 594,36 | R\$ 3.023,18 | R\$ 398,55 | R\$ 1.851,46 | |
| 12 | 560 | 1,134 | -R\$ 29,60 | R\$ 634,76 | R\$ 605,16 | R\$ 3.628,34 | R\$ 391,32 | R\$ 2.242,77 | |
| 13 | 555 | 1,163 | -R\$ 29,60 | R\$ 645,75 | R\$ 616,15 | R\$ 4.244,49 | R\$ 384,21 | R\$ 2.626,98 | |
| 14 | 551 | 1,192 | -R\$ 29,60 | R\$ 656,93 | R\$ 627,33 | R\$ 4.871,83 | R\$ 377,22 | R\$ 3.004,20 | |
| 15 | 547 | 1,222 | -R\$ 29,60 | R\$ 668,30 | R\$ 638,70 | R\$ 5.510,53 | R\$ 370,36 | R\$ 3.374,56 | |
| 16 | 543 | 1,252 | -R\$ 29,60 | R\$ 679,87 | R\$ 650,27 | R\$ 6.160,80 | R\$ 363,61 | R\$ 3.738,17 | |
| 17 | 539 | 1,284 | -R\$ 29,60 | R\$ 691,64 | R\$ 662,04 | R\$ 6.822,85 | R\$ 356,98 | R\$ 4.095,15 | |
| 18 | 535 | 1,316 | -R\$ 29,60 | R\$ 703,61 | R\$ 674,02 | R\$ 7.496,87 | R\$ 350,47 | R\$ 4.445,62 | |
| 19 | 531 | 1,348 | -R\$ 29,60 | R\$ 715,80 | R\$ 686,20 | R\$ 8.183,07 | R\$ 344,08 | R\$ 4.789,70 | |
| 20 | 527 | 1,382 | -R\$ 29,60 | R\$ 728,19 | R\$ 698,59 | R\$ 8.881,66 | R\$ 337,79 | R\$ 5.127,49 | |
| 21 | 523 | 1,417 | -R\$ 29,60 | R\$ 740,80 | R\$ 711,20 | R\$ 9.592,86 | R\$ 331,62 | R\$ 5.459,11 | |
| 22 | 519 | 1,452 | -R\$ 29,60 | R\$ 753,62 | R\$ 724,02 | R\$ 10.316,89 | R\$ 325,55 | R\$ 5.784,66 | |
| 23 | 515 | 1,488 | -R\$ 29,60 | R\$ 766,67 | R\$ 737,07 | R\$ 11.053,96 | R\$ 319,59 | R\$ 6.104,25 | |
| 24 | 511 | 1,526 | -R\$ 29,60 | R\$ 779,94 | R\$ 750,34 | R\$ 11.804,30 | R\$ 313,74 | R\$ 6.417,99 | |
| 25 | 507 | 1,564 | -R\$ 29,60 | R\$ 793,44 | R\$ 763,85 | R\$ 12.568,15 | R\$ 307,99 | R\$ 6.725,99 | |

ANEXO A – NORMAS RECOMENDADAS PARA CONSULTA

Tabela 1 – Normas nacionais recomendadas para consulta (Fonte: CEPEL, 2014).

| Org. | Código | Título | Descrição | Aplicação |
|---|--------------------|---|---|--|
| ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas | NBR 5410:2004 | Instalações elétricas de baixa tensão | Estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens. | Sistema isolado, bombeamento de água, híbrido e conectado à rede. |
| | NBR 5419:2005 | Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas | Fixa as condições de projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), para proteger as edificações e estruturas contra a incidência direta de raios. A proteção se aplica também contra a incidência direta de raios sobre os equipamentos e pessoas no interior dessas edificações e estruturas, ou no interior da proteção imposta pelo SPDA instalado. | Sistema isolado, bombeamento de água, híbrido e conectado à rede. |
| | NBR 15389:2006 | Bateria de chumbo-ácido estacionária regulada por válvula - Instalação e montagem | Fixa os requisitos para projeto de instalação e procedimentos para armazenagem, montagem, ativação e aceitação de baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula para aplicações estacionárias, bem como requisitos de segurança e de instrumentação. | Sistema isolado e híbrido. |
| | NBR IEC 62116:2012 | Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica | Fornecer um procedimento de ensaio para avaliar inversores utilizados em SFCRs quanto ao desempenho das medidas de prevenção de ilhamento. | Sistema conectado à rede. |
| | NBR 16149:2013 | Sistemas fotovoltaicos – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição | Estabelece as recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia. | Sistema conectado à rede. |
| ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas | NBR 16150:2013 | Sistemas fotovoltaicos — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade | Especifica os procedimentos de ensaio para verificar se os equipamentos utilizados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia estão em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16149. | Sistema conectado à rede. |
| | NBR 16274:2014 | Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho | Estabelece as informações e a documentação mínimas que devem ser compiladas após a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Também descreve a documentação, os ensaios de comissionamento e os critérios de inspeção necessários para avaliar a segurança da instalação e a correta operação do sistema. | Sistema conectado à rede. (Pode ser usada parcialmente para sistemas isolados.) |

Tabela 2 – Normas nacionais recomendadas para consulta (Fonte: CEPEL, 2014).

| Org. | Código | Título | Descrição | Aplicação |
|--|--------------------------|---|--|---|
| ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica | PRODIST | Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição | Estabelece as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso do sistema de distribuição, não abrangendo as demais instalações de transmissão, e define os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos acessantes bem como aos existentes. | Sistema conectado à rede. |
| Inmetro - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia | Portaria 004/2011 | Requisitos de avaliação da conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica (módulo, controlador de carga, inversor e bateria) | Estabelecer os critérios para o Programa de Avaliação da Conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, através do mecanismo da Etiquetagem, para utilização da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE, atendendo aos requisitos do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, visando a eficiência energética e adequado nível de segurança. | Sistemas fotovoltaicos isolado e conectado à rede. |
| MTE - Ministério do Trabalho e Emprego | NR-10 | Segurança em instalações e serviços em eletricidade | Estabelece os requisitos e condições mínimas, objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam com instalações elétricas e serviços de eletricidade. | Sistema isolado, para bombeamento de água, híbrido e conectado à rede. |
| | NR-35 | Trabalho em altura | Estabelece os requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com esta atividade. | Sistema isolado, para bombeamento de água, híbrido e conectado à rede, dependendo da forma de instalação do gerador fotovoltaico. |
| Concessionárias | Normas Técnicas (Várias) | Requisitos para a conexão de Micro e Minigeração ao Sistema de Distribuição | Descrição geral: reúne e sistematiza os requisitos pertinentes às novas conexões ou alteração de conexões existentes, de consumidores que façam a adesão ao sistema de compensação de energia, ao sistema de distribuição em baixa tensão da “Concessionária Local”. | Sistema conectado à rede. |

Tabela 3 – Normas internacionais recomendadas para consulta (Fonte: CEPEL, 2014).

| Org. | Código | Título | Descrição | Aplicação |
|--|---|---|---|---|
| IEC - International Electrotechnical Commission | 60364-7-712:2002 | <i>Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems</i> | Aplica-se às instalações elétricas dos sistemas de abastecimento de energia fotovoltaica, incluindo sistemas com módulos c.a. | Sistema isolado, bombeamento de água, híbrido e conectado à rede. |
| | TS 62257-1 a 62257-9 (vários anos: 2004 a 2013) | <i>Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification</i> | Especifica os requisitos gerais para o projeto e para a segurança relacionados a sistemas fotovoltaicos e híbridos utilizados em sistemas de eletrificação rural descentralizada. | Sistema isolado, bombeamento de água e híbrido. |
| | 62109-2:2011 | <i>Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters</i> | Cobre as necessidades específicas de segurança relevantes aos inversores de tensão, bem como a outros equipamentos que executam esta função em SFV. | Sistema isolado, bombeamento de água, híbrido e conectado à rede. |
| | 61000-6-1:2005 | <i>Electromagnetic Compatibility (EMC) - Generic Standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments</i> | Define ensaios para dispositivos elétricos para imunidade em relação a perturbações conduzidas e irradiadas, incluindo descargas eletrostáticas. | Sistema isolado e conectado à rede. |
| | 62485-2 | <i>Safety requirements for secondary batteries and battery installations- Part 2: Stationary batteries</i> | Fornecer requisitos de segurança para instalação de baterias estacionárias. | Sistema isolado e híbrido. |
| | 61724: 1998: | <i>Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis</i> | Fornecer diretrizes para avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos | Sistemas fotovoltaicos |
| IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers | 937-2007 | <i>Recommended practice for installation and maintenance of lead-acid batteries for photovoltaic (PV) systems</i> | Fornecer considerações de projeto e procedimentos para o armazenamento, localização, montagem, ventilação e manutenção de baterias de chumbo-ácido para SFVs. Precauções de segurança e considerações de instrumentação também são incluídas. | Sistema isolado e híbrido. |
| | 450-2002 | <i>Recommended practice for maintenance, testing and replacement of vented lead-acid batteries for stationary applications</i> | Fornecer considerações de procedimentos para manutenção, testes e substituição de baterias de chumbo-ácido ventiladas estacionárias. | Sistema isolado e híbrido. |