



Centro de Tecnologia

Coordenação do Curso de Engenharia Civil

Cidade Universitária – Campus A. C. Simões

Tabuleiro do Martins – CEP 57072-970 – Maceió – Alagoas

Ewerton Lopes De Mello

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA A RESIDENCIAS UNIFAMILIARES

MACEIÓ - ALAGOAS

2022

Ewerton Lopes De Mello

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA A RESIDENCIAS UNIFAMILIARES

Trabalho de conclusão de curso, que tem por objetivo analisar a aplicação de fontes renováveis de energia, com uso da tecnologia e/ou técnicas de conversão ou conservação da energia, apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Jobson de Araújo Nascimento

MACEIÓ - ALAGOAS

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

M527e Mello, Ewerton Lopes de.
Eficiência energética aplicada a residências unifamiliares / Ewerton
Lopes de Mello. – 2022.
65 f. : il. color.

Orientador: Jobson de Araújo Nascimento.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil)
– Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 62-65.

1. Energia solar. 2. Geração fotovoltaica. 3. Residências unifamiliares. I.
Título.

CDU: 621.311.243

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda a resiliência e sabedoria para que todo o percurso até então pudesse ter sido conduzido da melhor forma possível, criando laços afetivos com amigos que foram parceiros e estarão guardados em boas recordações que levarei para a vida, amigos esses os quais não me arrisco a citar nominalmente de modo a evitar cometer algum esquecimento.

Aproveito o ensejo para agradecer também aos meus pais Josenilda Lopes e Ernande Oliveira, minha irmã Erlane Lopes, minha namorada Ana Carolina e aos demais familiares os quais sempre se orgulharam e me motivaram a prosseguir em busca dos meus objetivos e sonhos.

Além disso meus sinceros agradecimentos a todos os professores que me deparei durante a jornada, e em especial professor Jobson de Araújo Nascimento pela dedicação, disposição imediata e auxílio para orientação do trabalho de conclusão do curso.

RESUMO

MELLO, E.L. **Eficiência Energética Aplicada a Residências Unifamiliares.**

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Maceió – Alagoas), 2022.

Os avanços tecnológicos passaram a demandar cada vez mais recursos não renováveis para a geração de energia, sobretudo durante e após a onda de industrialização e globalização, da contudo os impactos para o meio ambiente são desastrosos a longo prazo, e as previsões não vislumbram uma reversão imediata. Dessa forma, com os recursos naturais cada vez mais escassos, as indústrias e nações passaram a se mobilizarem em pesquisas para o desenvolvimento sustentável das novas tendências. O Brasil apesar do seu potencial gerador ainda está defasado em relação ao mundo e em relação a outras regiões do país, em termos tecnológicos, em um plano mais estrito observa-se na cidade de Maceió um enorme potencial gerador por suas condições climáticas e índices de irradiação solar elevado. Em virtude disso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade técnica e financeira quanto ao aproveitamento da energia solar fotovoltaica em residências unifamiliares tomando por objeto de estudo uma residência localizada na cidade de Maceió. Assim, foram obtidos resultados satisfatórios, com um excelente *payback*, observado a partir do quarto ano, em relação ao montante inicialmente investido, de modo a considerar a urgência na instalação por conta do novo marco regulatório que entrará em vigor em um curto espaço de tempo.

Palavra-chave: energia solar, residência unifamiliar, sistema solar fotovoltaico.

ABSTRACT

MELLO, E.L. Eficiência Energética Aplicada a Residências Unifamiliares.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Maceió – Alagoas), 2022.

Technological advances began to demand more and more non-renewable resources for energy generation, especially during and after the wave of industrialization and globalization. immediate. Thus, with natural resources increasingly scarce, industries and nations began to mobilize in research for the sustainable development of new trends. Brazil, despite its generating potential, is still lagged in relation to the world and in relation to other regions of the country, in technological terms, in a stricter plan, it is observed in the city of Maceió an enormous generating potential due to its climatic conditions and indices of high solar irradiance. As a result, the present work aims to evaluate the technical and financial feasibility regarding the use of photovoltaic solar energy in single-family homes, taking as object of study a residence located in the city of Maceió. Thus, satisfactory results were obtained, with an excellent payback, observed from the fourth year, in relation to the amount initially invested, in order to consider the urgency of installation due to the new regulatory framework that will come into force in a short period of time.

Keywords: solar energy, single-family residence, photovoltaic solar system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação internacional da participação das fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE).....	13
Figura 2 - Distribuição do uso energético residencial.....	14
Figura 3 - Painel Solar sobre telhado residencial.....	19
Figura 4 - Exemplo de sistema de painéis solares interligados à rede da concessionária....	20
Figura 5 - Potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil.....	21
Figura 6 - Programa de compensação de créditos.....	27
Figura 7 - Selo PROCEL.....	28
Figura 8 - Comparativo entre os tipos de lâmpadas.....	29
Figura 9 - Exemplo de automação residencial com acionamento remoto	30
Figura 10 - Transmitância de materiais.....	34
Figura 11 - Comparativo efeito estufa - Vidros.....	35
Figura 12 - Fachadas protegidas por películas e brises	36
Figura 13 - Perfil horário da temperatura do ar exterior em relação ao do ar interior	37
Figura 14 - Métodos de redução da transmitância térmica.....	39
Figura 15 - Exemplo de funcionamento da ventilação cruzada	41
Figura 16 - Exemplo de utilização da iluminação artificial e claraboias	42
Figura 17 - Imagem via satélite do imóvel a ser analisado.....	46
Figura 18 - Estimativa de investimento inicial	53
Figura 19 - Evolução do Payback ao longo de 25 anos	57
Figura 20 - Previsão de geração e Payback	58
Figura 21 - Irradiação solar anual - Brasil	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potência geradora atual por região do Brasil	22
Tabela 2 - Estimativa de preço médio unitário ano a ano.....	23
Tabela 3 - Prazos para transição às taxas estabelecidas pelo Marco Regulatório	26
Tabela 4 - Transmitância térmica NBR 15575	38
Tabela 5 - Dimensões mínimas de compartimentos residenciais.....	40
Tabela 6 - Documentação obrigatória para solicitação de acesso de microgeração distribuída	45
Tabela 7 - Levantamento de carga	47
Tabela 8 - Média e histórico de consumo mensal	47
Tabela 9 - Irradiação Solar – Cidade de Maceió	48
Tabela 10 - Características técnicas do gerador.....	51
Tabela 11 - Performance do sistema fotovoltaico	52
Tabela 12 - Tarifa em R\$/kWh - Equatorial Alagoas	54
Tabela 13 - Percentual anual de ajuste tarifário.....	55
Tabela 14 - Payback baseado no orçamento inicial previsto.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

CFC: Clorofluorcarboneto

CI: Carga Instalada

CNPE: Conselho Nacional de Política Energética

COE: Código de Obras e Edificações

ENCE: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

FD: Fator de demanda

FP: Fator de potência

FV: Fotovoltaico

GD: Geração distribuída

HSP: Horas de sol pleno

IG: Irradiação Global

I_N: Corrente Nominal

INI-C: Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

INI-R: Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de edificações Residenciais

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Ist: Corrente de curto-circuito de módulo fotovoltaico em ampéres (A)

kW: kilo-watt

kWh: kilo-watt-hora

kWp: kilo-watt pico

MicroGD: Microgeração distribuída

NBR: Normas Brasileiras

NF: Fator referente ao número de fases, igual a 1 para sistemas monofásicos e bifásicos ou $\sqrt{3}$ para sistemas trifásicos

OIE – Oferta Interna de Energia

PD: Potência disponibilizada para a unidade consumidora onde será instalada a geração distribuída

PERS: Programa de Energia Renovável Social

PL: Projeto de Lei

PMDEE: Produção Média Diária de Energia Específica

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PRODIST: Procedimentos de Distribuição

QGD: Quadro Geral de Distribuição

RAC: Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações

RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R: Nível De Eficiência Energética De Edificações Residenciais

SCE: Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SFV: Sistema Fotovoltaico

SFVCR: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

TUSD: Tarifa de Uso do Sistema Distribuído

UC: Unidade Consumidora

UH: Unidade Habitacional Autônoma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	12
1.2	OBJETIVO PRINCIPAL.....	16
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	16
1.4	METODOLOGIA.....	17
1.5	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	17
2	ENERGIA SOLAR	18
3	EVOLUÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL	21
4	MARCO REGULATÓRIO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA	25
5	ENVOLTÓRIA E NORMAS DE EFICIÊNCIA	28
5.1	NORMAS PARA SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA SOLAR.....	30
5.2	INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS (INI-R).....	32
6	PAYBACK	43
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
7.1	DIMENSIONAMENTO DO PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO OBJETO DE ESTUDO.....	44
7.2	TIPO DE LIGAÇÃO E TENSÃO DE ATENDIMENTO.....	44
7.3	POTÊNCIA DISPONIBILIZADA.....	44
7.4	REQUISITOS PARA A INSTALAÇÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	45
7.5	DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA.....	46
7.6	QUADRO DE CARGAS.....	47
7.7	MÉDIA DE CONSUMO MENSAL.....	47
7.8	ESTIMATIVA DE GERAÇÃO.....	48
7.9	HORAS DE SOL PLENO.....	49
7.10	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR.....	50
7.11	CARACTERÍSTICAS DO GERADOR E INVERSOR.....	51
7.12	SOMBREAMENTO.....	52
7.13	CÁLCULO DO PAYBACK.....	53

8	CONCLUSÃO	60
9	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os avanços tecnológicos acrescidos dos grandes movimentos sociais e políticos no fim do século XX para o início do século XXI foram marcos importantes para a população brasileira, tal como para a mundial, desse contexto histórico observa-se um aumento exponencial da demanda energética oriunda da expansão do meio urbano-industrial, principalmente, na América Latina e Sudeste Asiático e, conseqüentemente, o crescimento populacional (Tolmasquim et al., 2007).

Nos últimos anos, a questão energética traz diversas discussões as quais envolvem: agências internacionais, estados e a sociedade, envolvidos a debates sobre consumo, recursos naturais, mudanças climáticas e, principalmente, a segurança energética dos países mais ricos. O Brasil, por sua vez, se destaca em relação a outros países quando se comparado ao resto do mundo, uma vez que possui um alto percentual de fontes renováveis, em sua oferta interna. Nos últimos 20 anos a participação das energias renováveis manteve-se estável com valores que ultrapassam os 40% (EPE, 2021).

O Brasil enfrenta um novo período de escassez hídrica: de julho de 2020 a junho de 2021, a afluência das chuvas ficou 32% abaixo da média histórica. Nota-se que este problema tem se repetido nos últimos anos, porém não com o grau de intensidade verificado hoje. Como resultado, o volume da água armazenada nos reservatórios das usinas hidrelétricas entra no período seco de 2021, e se estende até novembro, com níveis preocupantes. (CASTRO e BRANDÃO, 2021)

Outrossim, tal como Castro e Brandão (2021) alertaram no excerto acima sobre a gravidade da crise hídrica recente e seus impactos na conjuntura no Brasil à época, anos antes tal situação já era observada.

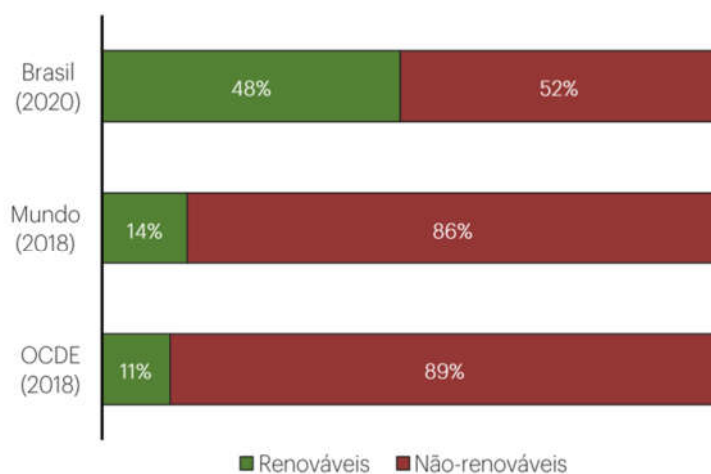
A crise hídrica enfrentada nos últimos anos, além dos aumentos na conta de energia elétrica, provoca a reflexão sobre qual caminho a produção e o uso de energia deve seguir. Não restam dúvidas que o consumo consciente e a maior participação de outras tecnologias, preferencialmente renováveis, para a geração de energia elétrica são,

mais do que nunca, imprescindíveis para manutenção e desenvolvimento econômico sem sacrifícios desproporcionais ao meio ambiente (REIS, 2011).

Aliado ao exposto por Reis (2011) e o cenário perene exposto por Castro e Brandão (2021), a crise hídrica acende um alerta sobre o tema o que vem intensificando os movimentos do mercado mundial e nacional, ao passo em que novas tecnologias de controle surgem e estão acessíveis em plataformas digitais, integrando ambientes e facilitando o racionamento na utilização de energia elétrica, independentemente de sua fonte, em prol do consumo consciente.

Desse modo, o supracitado já configura um grande desafio para o país, nos últimos anos e observa-se ainda uma trajetória de crescimento e expansão provenientes de ofertas energéticas derivadas da cana-de-açúcar, energia eólica e o biodiesel, atingindo 48% em 2020 (Figura 1).

Figura 1 - Comparação internacional da participação das fontes renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE)



(Fonte: EPE, 2021, adaptado)

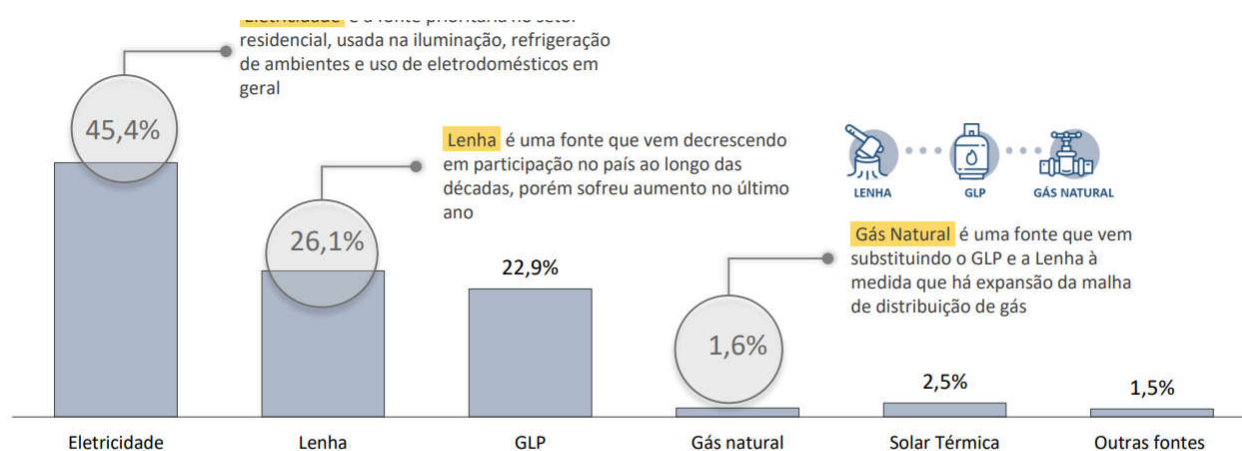
Tendo em vista a demanda energética exposta anteriormente e para que a mesma venha a ser atendida e haja diminuição no desperdício de energia elétrica, faz-se uso do conceito de eficiência energética que pode ser definida como redução o consumo de energia fazendo os mesmos serviços que anteriormente. Martins (1999, p.8) aponta que:

“Do ponto de vista da eficiência energética, ressalta-se que o planejamento setorial de oferta de energia considera como uma de suas premissas básicas a evolução da conservação de energia, visto que uma parcela do crescimento do mercado pode ser atendida mais rapidamente através de ações de eficiência energética do que com a implantação de usinas geradoras[...]” (MARTINS, 1999).

Ainda que do século passado e sem os recursos tecnológicos disponíveis atualmente, na citação acima, é possível observar que, à época, já existia uma certa preocupação com o esgotamento das energias oriundas de fontes não renováveis, logo para suprimento da energia primária consumida em alta escala, é recomendado além do investimento em geração de energia elétrica, o desenvolvimento de políticas para sua eficiência. Estas políticas correspondem à conscientização do consumo equilibrado de energia tanto residencial quanto industrial.

Ainda que na terceira posição com 10,9% no consumo energético tendo evoluído apenas 0,8% em relação ao ano de 2020, ficando atrás dos setores de Transportes (32,5%) e Indústrias (32,3%), estes últimos impulsionados pelo aquecimento dos setores durante a pandemia global do COVID-19 (EPE, 2021) a distribuição energética residencial ainda apresenta um número percentual de energia solar/térmica, em relação a outras fontes já consagradas no setor energético (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição do uso energético residencial



(Fonte: EPE, 2021, adaptado)

Desta forma, dado todo o contexto histórico e atual do consumo energético no Brasil e no mundo, e levando em consideração o clima tropical com alta incidência dos raios solares, tem-se os principais objetos de estudo desse trabalho a utilização de sistemas elétrico solares e conservação/dissipação da energia térmica, assim como todo o conceito de eficiência energética aplicados aos objetos citados anteriormente.

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal do presente trabalho de conclusão de curso é analisar a viabilidade econômica da instalação do projeto de microgeração distribuída através da energia solar fotovoltaica em uma residência unifamiliar na cidade de Maceió.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Utilizar método de obtenção de energia solar/fotovoltaica já consolidado e disponível no mercado (microgeração distribuída), para utilização e implantação de energia renovável, em uma residência unifamiliar, assim como ferramentas tecnológicas para um melhor desempenho energético suprimindo as necessidades diárias dos indivíduos usuários de uma residência unifamiliar, além disso comprovar através do *payback* ao longo dos anos de investimentos das alternativas que garantam a o ganho econômico e/ou socioambiental.

1.4 METODOLOGIA

Para o atingimento do objetivo do trabalho proposto:

- A.** Serão analisadas publicações, artigos e técnicas relacionadas a instalações elétricas e tecnologias disponíveis atualmente, por meio da coleta de informações e dados acerca da geração de energia solar;
- B.** Análise do *payback* em uma residência unifamiliar por meio de simulação e orçamento de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.
- C.** Definição do dimensionamento da residência baseados nas últimas 12 faturas de energia elétrica, utilizando o modelo e as normas regulamentadoras para microgeração fotovoltaica, ou seja, a NT.020 de 2019.
- D.** Análise do potencial gerador da cidade de Maceió para o aproveitamento de energia fotovoltaica, e as adaptações a uma residência unifamiliar que possui fornecimento de energia elétrica tradicional, via concessionária de energia elétrica local, com menções/comparativos às normas de eficiência energética;

1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho possui como foco principal dimensionar a demanda energética de uma residência unifamiliar localizada na cidade de Maceió, bairro de Cruz das Almas, que poderá ser replicado a demais imóveis de perfis parecidos.

2 ENERGIA SOLAR

2.1. TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA SOLAR

2.1.1. PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

O painel fotovoltaico, que é composto por módulos fotovoltaicos, popularmente conhecido como placas solares, é um dos elementos chaves de sistema solar responsável por converter a luz do sol em energia elétrica, e possui uma via útil padrão de 25 anos, além disso é bastante resistente as intempéries (Bluesol, 2022).

Desse modo, o grande segredo por trás da utilização das placas solares, quanto ao seu posicionamento, é que o local de instalação das placas solares fiquem em uma posição específica de modo que recebam uma maior radiação solar direta, sem a interferência de sombras, aproveitando assim essa fonte de energia renovável tão abundante que é o sol.

A incidência direta da radiação solar é muito importante para que as células fotovoltaicas apresentem a melhor eficiência na conversão da radiação solar em energia elétrica, pois, quanto mais luz direta o painel fotovoltaico recebe, mais energia elétrica será gerada uma vez que o painel solar é composto por células fotovoltaicas (Figura 3), que são feitas de materiais semicondutores, como o silício, e possuem a particularidade de absorver a energia solar.

No momento em que as partículas da luz solar (fótons) colidem com os átomos desses materiais, provocam o deslocamento de seus elétrons, gerando eletricidade. Um sistema fotovoltaico pode ser classificado como isolado, híbrido ou conectados à rede. (Solar Brasil, 2022).

Logo, o funcionamento das células fotovoltaicas que compõem os módulos fotovoltaicos (como são corretamente conhecidas as placas solares) é extremamente dependente da entrada das partículas de luz (os fótons) em seu interior.

Figura 3 - Painel Solar sobre telhado residencial



(Fonte: Bluesol, 2022)

No tocante ao tipo de geração de energia, em sistemas isolados geralmente se utiliza alguma forma de armazenamento de energia, de forma a armazenar todo o potencial gerador momentâneo para utilização posterior, feito na maior parte dos casos através de baterias ou um conjunto dessas seja em paralelo ou em série a depender da demanda e aplicação do sistema gerador. Em alguns sistemas não há a necessidade de armazenamento, como é o caso de sistemas fotovoltaicos para irrigação, nos quais toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios.

Já sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia como, por exemplo, turbinas eólicas, geração diesel e módulos fotovoltaicos.

Todavia, há algum ônus quanto a utilização de várias formas de geração de energia elétrica, que por sua vez, torna-se complexa pela necessidade de controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário. Em geral, esse tipo de sistema é empregado para instalações de médio a grande porte vindo a atender um número maior de usuários.

O tipo mais utilizado em instalações de pequeno porte, são os sistemas de geração interligados à rede (Figura 4) que por sua vez atua como uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte (utilizado na maioria das residências, via concessionária), sem a necessidade de armazenar a energia gerada, nesse caso, toda a energia gerada é injetada na rede, todavia quando a energia gerada for maior que a energia consumida pela residência, ela é utilizada como crédito de energia para o cliente para posterior utilização da energia gerada e fornecida pela concessionária.

Nesses casos, a medida em que a unidade geradora passa a obter créditos, estes são utilizados em forma de desconto em suas próximas faturas junto à concessionária, vale ressaltar ainda a necessidade da presença do inversor na instalação do sistema para a conversão da energia de corrente contínua gerada pelo sistema supracitado em corrente alternada, e por conseguinte o perfeito funcionamento dos equipamentos elétricos do imóvel.

Figura 4 - Exemplo de sistema de painéis solares interligados à rede da concessionária

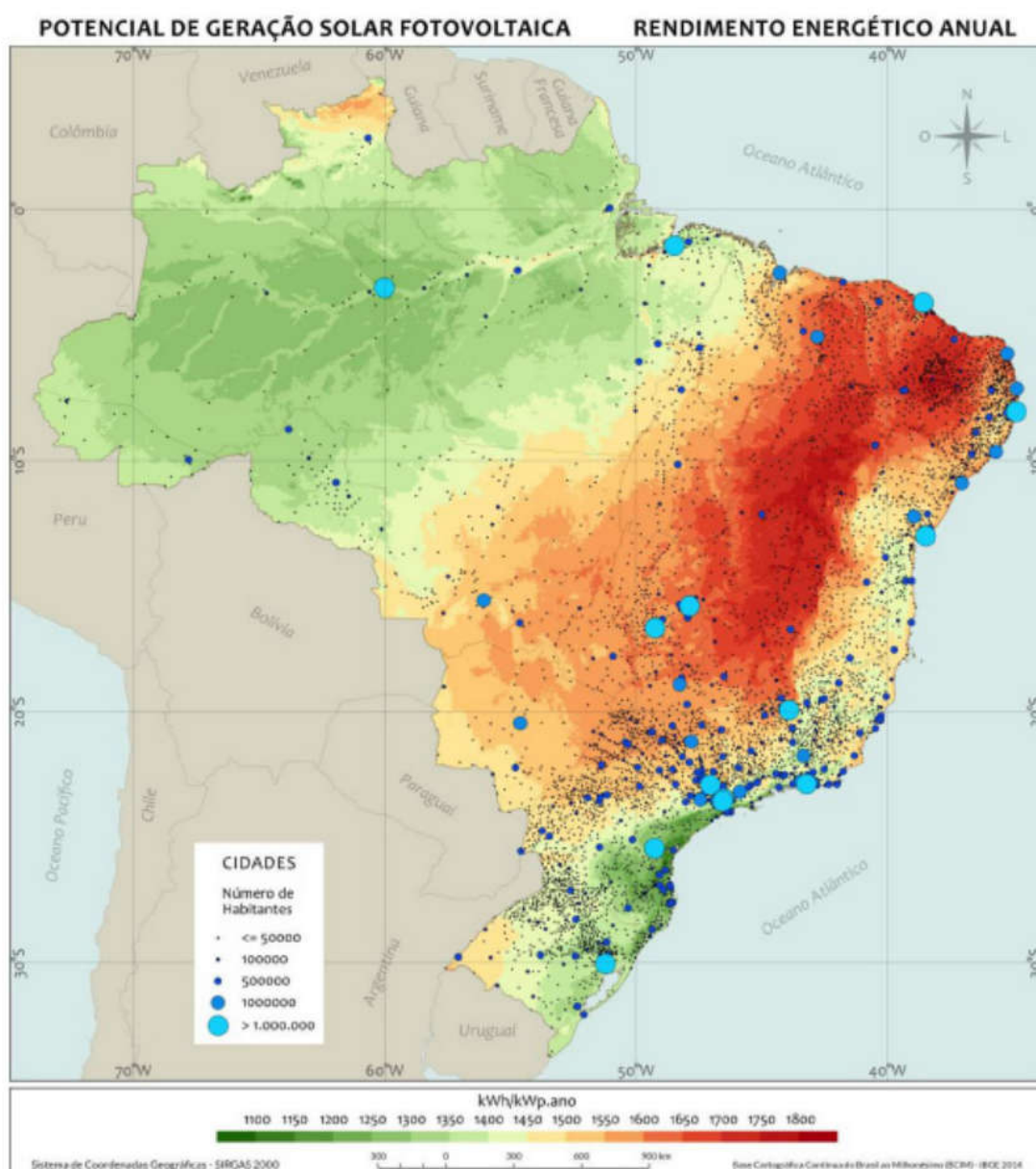


(Fonte: APZ Energia solar, 2022)

3 EVOLUÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA NO BRASIL

No Brasil, por sua vasta extensão territorial, é possível observar diversas variações entre estações e clima em todas as regiões, as quais é possível observar por meio do Atlas Brasileiro de Energia Solar, publicado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (Pereira et al., 2017), de forma detalhada o potencial de geração de energia solar fotovoltaica do território nacional com base no rendimento energético de kWh/kWp (Figura 5).

Figura 5 - Potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil



(Fonte: Pereira, et. al, 2017)

De acordo com o observado no estudo desenvolvido por Pereira et. al (2017) ficou comprovado que o Nordeste possui os melhores parâmetros para geração fotovoltaica, apresentando um rendimento energético que alcança mais de 1.800 kWh/ kWp em alguns lugares da Região. Isto representa um atrativo tanto para os investidores, quanto para a população local que visa um melhor aproveitamento na região da fonte solar para geração fotovoltaica, e além da questão ambiental, fazer-se valer do custo-benefício proporcionado por tal tipo de geração de energia.

A região Nordeste, a qual se aplica o objeto de estudo desse trabalho ainda ocupa um lugar não tão prestigiado no mercado que envolve a geração de energia fotovoltaica conforme a Tabela 1, ficando atrás de regiões que possuem um potencial gerador bastante inferior ao observado no Nordeste, como por exemplo, na região Sul e Sudeste.

Tabela 1 - Potência geradora atual por região do Brasil

Unidade Geográfica	Fotovoltaica	
	Potência (kW)	% Brasil
Brasil	10.820.444	100,00
Norte	722.492	6,68
C.Oeste	1.708.523	15,79
Sul	2.286.140	21,13
Sudeste	3.870.651	35,77
Nordeste	2.232.642	20,63
AL	102.187	0,94
BA	411.121	3,80
CE	377.546	3,49
MA	274.192	2,53
PB	188.448	1,74
PE	344.991	3,19
PI	225.620	2,09
RN	244.409	2,26
SE	64.128	0,59

(Fonte: ANEEL, 2022. Adaptado pelo autor)

Embora os dados acima, fornecidos pela ANEEL (2022), indiquem um certo desperdício e/ou oportunidade perdida de mobilizar a sociedade de forma indireta tanto na movimentação da economia da região, e ainda em aspectos sociais, no que

se refere à obtenção de energia limpa, há que se destacar que existem movimentos que preconizam um investimento maciço na região do Nordeste, por parte do governo e empresas privadas, a qual se espera atingir o potencial gerador de energia fotovoltaica, observado por natureza, assim como a estimativa de que a energia solar fotovoltaica ocupe por volta de 91,3% da matriz geradora de energia (EPE,2022), assim como citou Bezerra (2022):

“(…)Nos últimos anos, o crescimento desse mercado superou as estimativas mais otimistas dos órgãos governamentais. Para os próximos anos, prevê-se crescimento expressivo, estimando-se alcançar em 2031, em um cenário de referência, a potência entre 37,2 GW, com 4,2 milhões de adotantes, de acordo com projeções da Empresa de Pesquisa Energética (MME; EPE, 2022), o que exigirá investimentos da ordem de R\$ 122 bilhões no período, dos quais cerca de R\$ 25 bilhões no Nordeste. Cabe destacar que a redução histórica do preço dos sistemas fotovoltaicos, aliada à disponibilidade de fontes de financiamento e aos benefícios proporcionados pela legislação atual, tem estimulado sobremaneira esse mercado.” (BEZERRA, 2022)

Outrossim, tal como citado por Bezerra (2022) e acompanhado do atento olhar do mercado que se volta cada vez mais às causas ambientais, outro fator que influencia na disponibilidade e, por conseguinte, a expansão das empresas especializadas em instalações de coletores solares, fora o preço médio unitário, observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Estimativa de preço médio unitário ano a ano

Ano	Módulos solares		
	Valor (US\$ milhões)	Estimativa de potência (MWp)	Estimativa de preço médio unitário (US\$/Wp)
2012	7,11	7,97	0,89
2013	18,72	30,33	0,62
2014	16,80	25,72	0,65
2015	44,45	87,00	0,51
2016	256,62	659,37	0,39
2017	350,33	1.077,44	0,33
2018	580,53	1.868,39	0,31
2019	1.010,49	3.993,00	0,25
2020	1.027,05	4.781,32	0,21
2021	2.344,74	9.750,00	0,24

(Fonte: Ministério da economia, 2022)

Assim, com a expectativa de evolução do mercado da energia solar, surgiu a preocupação e a necessidade de regular e equilibrar tal evolução para que a experiência final ao usuário aconteça da melhor forma possível e mais segura também. Então, em janeiro de 2022, foi criada e aprovada a Lei que é conhecida como o Marco Regulatório da Geração Distribuída de Energia.

4 MARCO REGULATÓRIO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA

Além de contribuir com o desenvolvimento social, econômico e ambiental do país, de modo a despressurizar os recursos hídricos e reduzir a fatura de energia elétrica, há a possibilidade de a unidade geradora injetar a energia excedente de sua microgeração, como citado anteriormente e à medida que injeta essa energia na rede da concessionária há a conversão de créditos na forma de desconto, por outro lado, de forma a manter o crescimento sustentável, a regulação e segurança jurídica, ainda que entre polêmicas no que ficou popularmente conhecido como “taxação do sol”, foi sancionada em janeiro de 2022 a Lei 14.300, lei que institui o marco legal a microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o programa de Energia Renovável Social (PERS), denominada TUSD (Tarifa de Uso do Sistema Distribuído) - Fio B (Brasil, 2022).

Para tanto, existe a definição para as potências instaladas para micro é de até 75 kW. No caso da minigeração, a potência instalada deve ser menor ou igual a 3 MW para fontes não despacháveis, como a fotovoltaica, ou menor ou igual a 5 MW para fontes despacháveis, como pequenas centrais hidrelétricas. Atualmente, os consumidores que utilizam energia própria em residências, comércios, pequenas indústrias, propriedades rurais e prédios públicos não pagam tarifa para custear o sistema de distribuição de energia elétrica, ao contrário do que ocorre na geração centralizada caracterizada por grandes centrais de produção.

Há que se falar ainda que tal taxa, após instituição da lei, estabelece que as regras atuais para o segmento, previstas em resoluções da ANEEL, devem ser mantidas até dezembro de 2045 para aqueles que instalarem os sistemas fotovoltaicos em até 12 meses após a publicação da norma para solicitações após esse período serão passíveis de transição tarifária, observada na Tabela 3, (15% anuais até o montante de 90% em 2028), assim para quem está em transição entre o 13ª mês a publicação da lei terão direito a uma transição até 31 de dezembro de 2028.

Após esta data, a transição deve encerrar em 31 de dezembro de 2028, vale ressaltar que o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a ANEEL têm 18 meses a partir da publicação da referida lei para estabelecer as política de utilização, diretrizes e valoração dos custo a serem implementados, o que gera um questionamento acerca dessas taxas nos usuários mais cautelosos (Sicredi, 2022).

Tabela 3 - Prazos para transição às taxas estabelecidas pelo Marco Regulatório

Prazo	Transição	Período de Isenção
Até o 12º mês da publicação da Lei (6 de janeiro de 2023)	Não	23 anos
A partir do 13º mês até após publicação da Lei	Sim	Não possui isenção - Acréscimo de 15% anuais até 90% em 2028

(Fonte: Lei 14.300/22, Brasil, 2022 – adaptado pelo autor)

4.1. REGRAS TARIFÁRIAS

Independente do pouco consumo de energia em um mês, o consumidor deverá pagar uma tarifa mínima. Para quem não está isento dos encargos até 2045, a medida prevê faturamento mínimo se o consumo medido for menor que o consumo mínimo faturável, desconsiderando-se as compensações. Tal tarifa será aplicada a 100% dos projetos a partir de 2023 (ANEEL, 2022).

Ademais, a lei traz consigo consertos nas distorções no que se refere ao pagamento em duplicidade no valor a ser contabilizado na presença de rede elétrica disponível para uso no local.

4.2. COMPENSAÇÃO DE CRÉDITOS

Independente do pouco consumo de energia em um mês, o consumidor deverá pagar uma tarifa mínima. Para quem não está isento dos encargos até 2045, a medida prevê faturamento mínimo se o consumo medido for menor que o consumo mínimo faturável, desconsiderando-se as compensações.(Figura 6)

Figura 6 - Programa de compensação de créditos



(Fonte: Lumiere Solar)




4.3. LINHA DO TEMPO DOS MARCOS REGULATÓRIOS

Em suma, todos os marcos possuem um caráter socioeconômico que visa regular e estabilizar não só a economia, porém todas as taxas que vem surgindo ao longo do tempo mobilizam o mercado a um certo encurtamento da franca expansão atual.

Dado o exposto, surge a urgência em aplicar o quanto antes, no estudo de caso em questão nesse trabalho, já que com o tempo, poderão ser instituídos novos encargos não relacionados ao custo de geração da energia e, conforme estudo da Empresa de Pesquisa Energética, com maiores cargas tarifárias e outros encargos, que, eventualmente poderá ser prejudicado ao longo do tempo. A respeito disso, a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (Abradee) demonstrou preocupação com o aumento nos custos da energia elétrica gerada a partir de sistemas fotovoltaicos.

Observa-se desse modo que já na aquisição de um aparelho é possível optar por equipamentos mais econômicos, a exemplo a simples substituição de lâmpadas incandescentes e/ou compactas por equipamentos de LED, que possuem uma eficiência energética e desempenho luminoso muito superiores (Figura 8).

Figura 8 - Comparativo entre os tipos de lâmpadas

	Comum	Fluorescente	LED
Tipo			
Durabilidade	1 ano	5 anos	15 anos
Consumo	50 W	10 W	5 W
Economia	x	até 80%	até 95%
Emissão de calor	ALTA	MÉDIA	BAIXA
Ecológica	Não contém mercúrio	Contém mercúrio	Não contém mercúrio
Eficiência	Pouca	Mediana	Muita

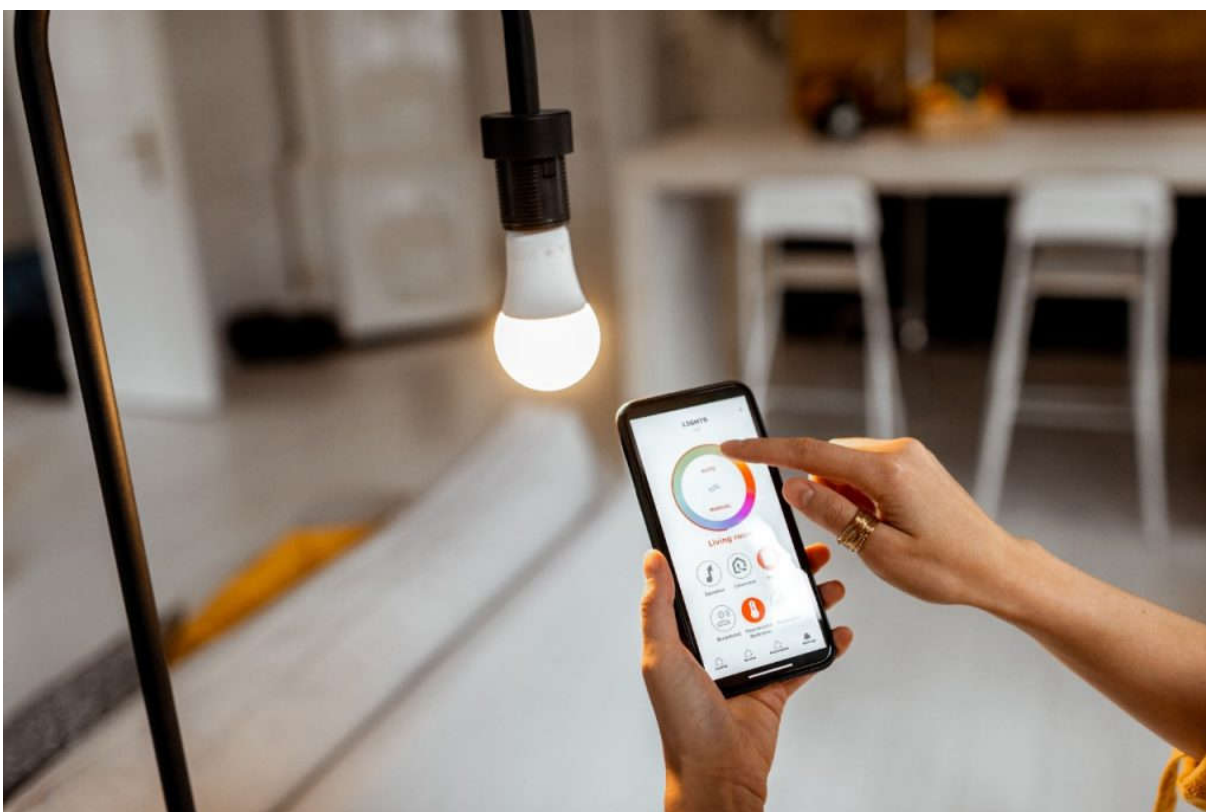
Fonte: Arquetizze, 2022. (Adaptado)

Por meio de pequenas e acessíveis alterações, seja voltada à aquisição de um equipamento com maior eficiência energética, ou ainda substituição de aparelhos antigos e poucos eficientes é possível obter ganhos econômicos e ambientais, este último o mais importante para um futuro sustentável, dessa forma além das ações previamente citadas há, atualmente, no mercado sistemas de automação nas chamadas “casas inteligentes”.

Estas, por sua vez, para Martins e Meneguzzi (2014), são conceituadas com uma residência composta por um conjunto de dispositivos e sensores capazes de se comunicarem entre si, podendo ser operados remotamente através de um sistema de controle, que são capazes de realizar funções lógicas a partir de uma série de condições pré-estabelecidas pelos usuários, assim como também aquelas que

possuem a capacidade de aprender, recomendando automaticamente cenários de iluminação, climatização, som ambiente, entre outros. Ou seja, são sistemas que dispõem de sensores de presença ou de acionamento remoto via *smartphone* (Figura 9) sendo necessário apenas uma conexão de internet para sua utilização.

Figura 9 - Exemplo de automação residencial com acionamento remoto



(Fonte: PhdSEG, 2021)

5.1 NORMAS PARA SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA SOLAR

Diante do que fora previamente exposto, é notório que a relevância que o assunto vem ganhando, tanto pela sua expansão no mercado, tal como debates como o marco regulatório, utilização, frutos de uma progressão da evolução tecnológica em território nacional, que podem ser observados, inclusive na forma de evolução histórica em diversas normas publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e não somente normas, mas também em estudos, publicações, teses, e expansão de especialidades nas universidades (MENEGUZZI, 2014), normas essas que buscam regulamentar os equipamentos. As normas que continuam em vigor são as seguintes:

- NBR IEC 62116 Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: norma publicada em março de 2012, cujo objetivo é fornecer um procedimento de ensaio para avaliar o desempenho das medidas de prevenção de ilhamento utilizadas em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR);
- NBR 16149 Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição: norma publicada em março de 2013, que estabelece as recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica e estabelece seus requisitos;
- NBR 16150 Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – assim como padroniza todos os procedimento de ensaio de conformidade: norma publicada em abril também de 2013, que 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 NBR16149;
- NBR 16274 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – há a expectativa de uma alteração dessas normas em função do marco regulatório da geração distribuída, como forma de reação aos novos materiais que serão utilizados com o intuito de baratear e tornar viável a utilização da energia fotovoltaica, Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho: norma publicada em março de 2014, que 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.

5.2 INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS (INI-R)

Seguindo a linha das normas brasileiras, foram desenvolvidos no ano de 2010 vários regulamentos, são eles: o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), assim como seus documentos complementares, como os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC) e os Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R. Os RTQ-C e RTQ-R apresentam os requisitos necessários para classificação do nível de eficiência energética das edificações, estes, por sua vez foram substituídos, no ano de 2022, e aglomerados no que ficou denominado por Instrução Normativa Inmetro para a classificação de Eficiência Energética de edificações comerciais, de serviços e públicas, especifica os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética (INI-C), assim como a Instrução Normativa Inmetro para a classificação de Eficiência Energética de edificações Residenciais (INI-R), especifica os critérios e os métodos para a classificação de edificações residenciais visando classifica-las por meio do percentual da redução de consumo energético.

As edificações submetidas a esta INI-R devem atender às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) vigentes e aplicáveis, neste documento são apresentados os procedimentos para a determinação da classificação de eficiência energética de edificações residenciais, foco do presente trabalho, muito utilizado atualmente como atrativo para novos negócios, em especial empreendimentos residenciais.

Outrossim, o RAC apresenta os procedimentos de submissão para avaliação, os direitos e deveres de cada um dos envolvidos, o modelo da ENCE, a lista de documentos que devem ser encaminhados, os formulários para preenchimento, dentre outros.

Nesse trabalho, terá uma ênfase maior no Instrução Normativa Inmetro para a classificação de Eficiência Energética de edificações Residenciais (INI-R), que de uma forma mais detalhada, tem como objetivo criar condições para redução do percentual do nível de consumo e eficiência energética de edificações residenciais

unifamiliares e multifamiliares. Para isso, o documento especifica requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética.

A classificação do nível de eficiência de uma unidade habitacional autônoma (UH) – que corresponde a uma unidade de uma edificação multifamiliar (que são os edifícios residenciais multifamiliares, exemplificados por condomínios e apartamentos) ou a uma edificação unifamiliar (casa, objeto do estudo) – é o resultado de uma equação que leva em consideração os três fatores a seguir: Região geográfica, de acordo com o mapa político do Brasil, na qual a edificação está localizada; Sistema de aquecimento de água e Desempenho térmico da envoltória da UH quando ventilada naturalmente. Sendo os dois primeiros itens já abordados no presente trabalho, portanto no âmbito da eficiência energética o imóvel em questão já contemplaria, de uma forma generalista, mais da metade, dos principais temas, já o terceiro tema será tratado a seguir, de forma sucinta.

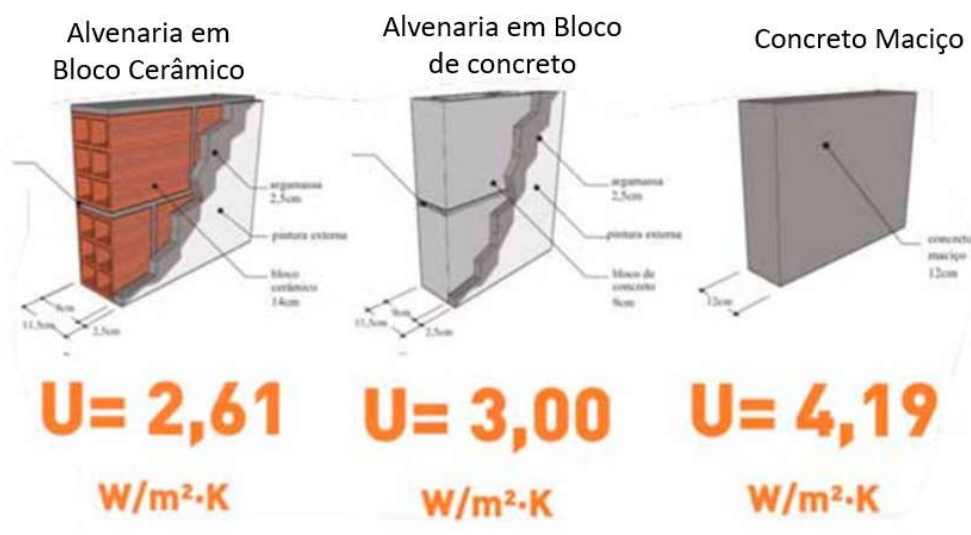
Como supracitado, sendo o objeto de estudo em questão uma edificação unifamiliar, passa-se a considera a sua classificação do nível de eficiência equivalente ao resultado da classificação da unidade habitacional autônoma. Enquanto para uma edificação multifamiliar, sua classificação do nível de eficiência é o resultado da média ponderada da classificação de todas as unidades habitacionais autônomas da edificação pela área útil das UHs, excluindo terraços e varandas. Entretanto, as edificações devem seguir alguns pré-requisitos, como, por exemplo, ângulos de sombreamento (inclusive os das fachadas, áreas de aberturas, dentre outros (com algumas exceções), que contemplam os seguintes tópicos de destaque:

- **ENVOLTÓRIA:**

- **Transmitância térmica** – Engloba desde a pintura, películas nos vidros, tipos de materiais, posições estratégicas dos cômodos para economia energética de equipamentos de refrigeração e até mesmo no custo de aquisição do mesmo. Nos dias atuais, principalmente por conta da norma de desempenho e até das certificações ambientais, o desempenho térmico das edificações está cada vez mais em voga. Conhecer o desempenho térmico de materiais para especificar o tipo de vedação de um projeto irá influenciar enormemente no desempenho térmico e no consumo energético futuro da sua edificação.

Por exemplo, vide Figura 10, tem-se a transmitância térmica de 3 habituais materiais utilizados na construção civil:

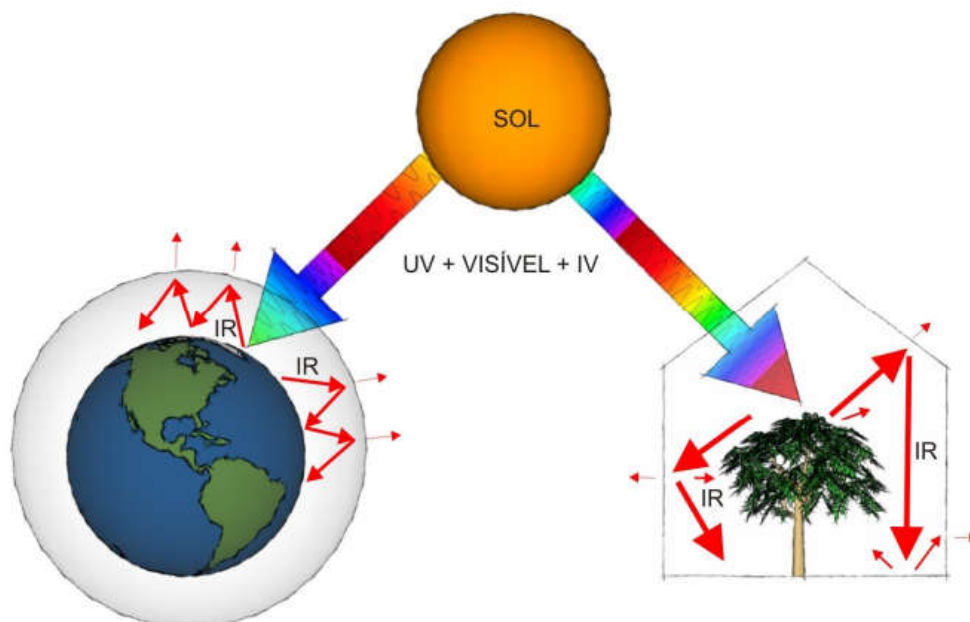
Figura 10 - Transmitância de materiais



(Fonte: CA2, 2022)

Onde a variável de transmitância U dada em $W/m^2 \cdot K$ apresenta bons níveis de isolamento térmico quanto menor for seu valor.

Outrossim, acerca dos materiais de vedação dos imóveis, cada vez mais são utilizados vidros em esquadrias, por sua beleza ao conjunto da obra e também por sua translucidez que proporciona aos usuários a experiência da iluminação natural. As principais trocas térmicas de um edifício ocorrem através dos fechamentos transparentes. Nas fachadas envidraçadas, a radiação é o principal fator de troca entre a envoltória e os cômodos propriamente ditos, pois os vidros comuns são transparentes a ondas curtas e opacos a ondas longas, podendo causar o efeito estufa (Figura 11), o calor entra e não sai. A luz visível, por sua vez, que quando excessiva, causa o efeito incômodo do ofuscamento nos ambientes.

Figura 11 - Comparativo efeito estufa - Vidros

(Fonte: Cornetet, 2009)

De forma a amenizar a grande entrada da energia solar por radiação e a alta transmitância que acontece através de uma esquadria, ou até mesmo fachada envidraçada, observou-se que projetistas buscam soluções arquitetônicas que impeçam a radiação direta, como “*brises-soleil*” (Figura 12) proteções solares externas ou internas; vidros com melhores performances térmicas, como os coloridos, que absorvem mais a radiação; os refletivos, que refletem mais a energia solar; e os vidros insulados, que se propõem a diminuir as trocas térmicas e as sensações de parede fria ou quente; ou podem utilizar uma associação destas soluções.

Figura 12 - Fachadas protegidas por películas e brises



(Fonte: ArchTrends, 2022)

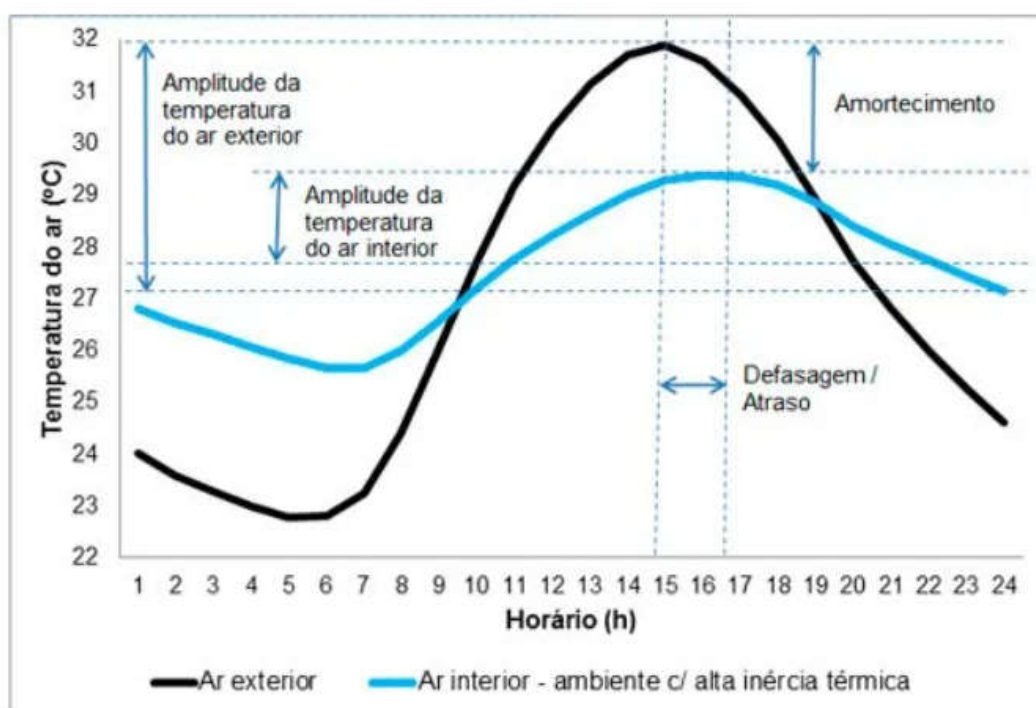
- **Capacidade térmica** – capacidade calorífica de toda envoltória e seu entorno, de acordo com exposição direta ao sol, áreas de proximidade (por exemplo, mata, outras edificações, mar, desertos, etc.). Nesse ponto, tem-se que o conjunto de técnicas passivas de climatização são de extrema importância para os ambientes e eram muito utilizadas em edifícios quando não havia ventiladores ou ar condicionado, fazendo uma relação com o objeto de estudo, é possível verificar que tais técnicas podem ajudar no potencial de eficiência energética do imóvel. Nessa situação, a interação térmica entre a envoltória do edifício e o clima do local sempre será responsável por proporcionar condições térmicas adequadas ao ser humano. No contexto de edificações construídas no século passado, as edificações eram projetadas tomando cuidados específicos quanto à forma do edifício, o tipo de componentes, aberturas, elementos de sombreamento, dentre outros. Daí surge o conceito de inércia térmica que é uma das técnicas passivas

de climatização que tem sido utilizada milenarmente, principalmente em locais com grande amplitude diária da temperatura do ar exterior e radiação solar intensa. Envoltórias de edifícios antigos, com alta inércia térmica, costumam ter alta capacidade térmica, com componentes construtivos espessos, em pedra, solo ou tijolos maciços, pequenas aberturas, elementos de sombreamento e até mesmo parte da edificação enterrada, com contribuições da inércia térmica do solo.

No Brasil, há vários exemplos de edificações antigas com alta inércia térmica, vários deles remontando ao século XVIII, com influência da arquitetura colonial, construídas com técnicas tradicionais da época, com uso de elementos como tijolo cerâmico maciço, pedra, taipa de pilão, taipa de mão, adobe ou pau a pique (RODRIGUES, 1979).

Como é possível observar na figura abaixo:

Figura 13 - Perfil horário da temperatura do ar exterior em relação ao do ar interior



(Fonte: BRITO, 2015)

Desse modo, imóveis com utilização da inércia térmica, respeitando as condições da zona climática a qual estão inseridos, podem demandar

um menor consumo energético, e por consequência um melhor conforto térmico aos usuários.

- **Absortância solar das superfícies** – cores envolvidas e tipos de materiais utilizados que podem absorver, propagar, ou refletir os raios solares, causando desconforto quando não seguindo as principais normas de eficiência. O índice de absortância mostra quanto a parede externa vai absorver de calor. Então uma parede de 60% de absortância vai absorver 60% dessa radiação. Se tiver uma parede clara, ou seja, de 60% absortância ou menos, a norma de desempenho pede um valor de transmitância térmica menor ou igual a 3,7. Caso sejam utilizadas cores escuras na fachada externa do seu projeto (com absortância maior que 60%), mais de 60% de toda radiação incidente nessa parede será absorvida. Tal como na tabela que pode ser observada na Tabela 4, sendo as zonas bioclimáticas 3, 4, 5, 6, 7, e 8 as predominantes em território nacional:

Tabela 4 - Transmitância térmica NBR 15575

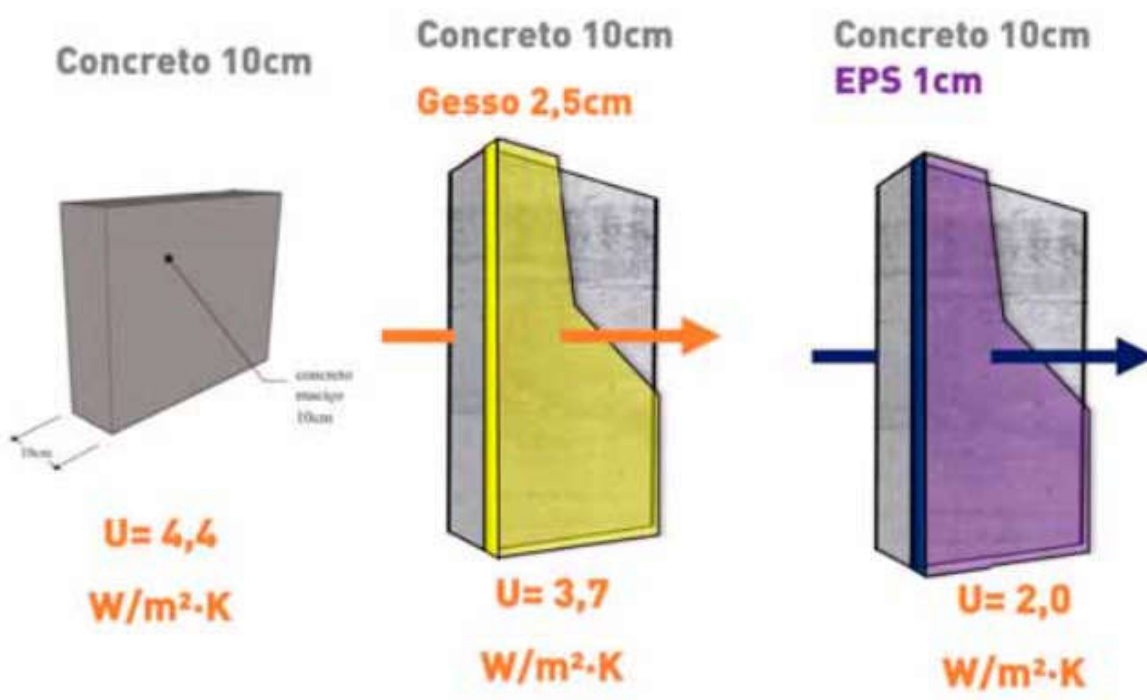
Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
^a α é absortância à radiação solar da superfície externa da parede.		

(Fonte: ABNT, 2021)

Nesses caso, a norma exige usar um nível de transmitância ainda menor, ou seja a exigência é que se aumente o isolamento térmico da parede (isolamento térmico que pode ser obtido pelo aumento da

espessura das alvenarias que ficaram em contato direto com a radiação solar, uso de camada protetora de gesso ou EPS). Vide Figura 14:

Figura 14 - Métodos de redução da transmitância térmica



(Fonte: CA2, 2022)

- **Áreas mínimas de abertura para ventilação e Ventilação cruzada** – São normativos que seguem os planos diretores de cada cidade, observados e desenvolvidos por autoridades municipais, com condições e requisitos mínimos de projeto e com uso de estratégias geralmente arquitetônicas com enfoque na ligação entre as áreas do fluxo de ar de acordo as variações climáticas e condições disponíveis na maior parte do tempo na região;
As áreas mínimas de aberturas são observadas, e são obrigatórias, conforme a NBR 15757/21 e COE – Código de Obras e Edificações (2017) observados na Tabela 6.

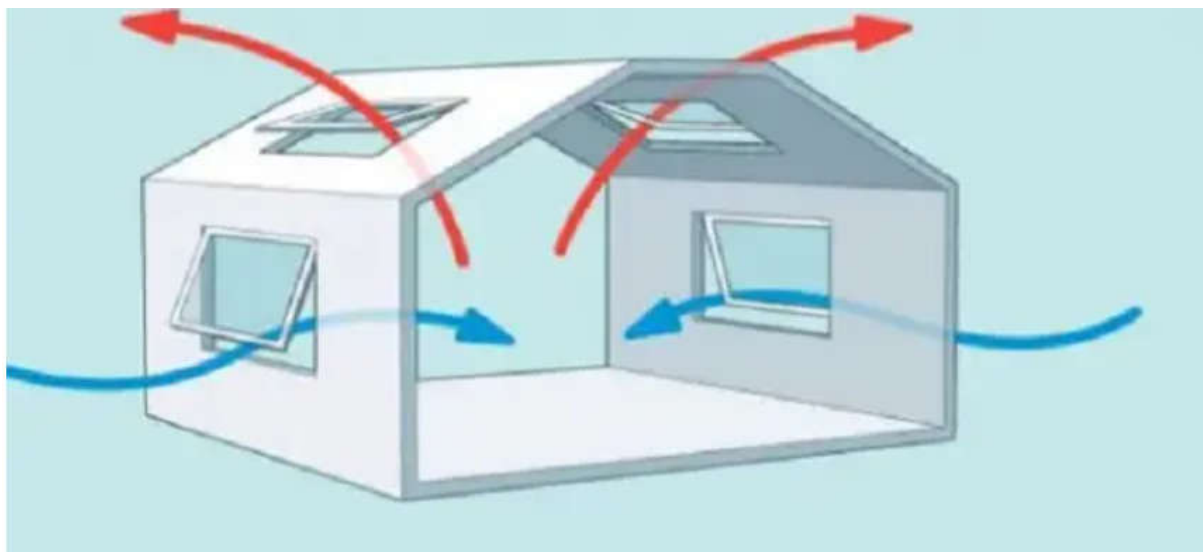
Tabela 5 - Dimensões mínimas de compartimentos residenciais

USO DA EDIFICAÇÃO	COMPARTIMENTOS	PÉ-DIREITO	ÁREA	CONTER CÍRCULO DE DIÂMETRO
HABITAÇÃO	Repouso (Quartos)	2,50 m	5,00 m ²	2,00 m
	Estar (Sala)			
	Estudo			
	Cozinha	2,50 m	-	1,50 m
	Lavanderia	2,30 m	-	0,90 m
	Sanitários	2,30 m	-	0,90 m
	Circulação	2,30 m	-	0,90 m
	Terraços	2,30 m	-	-

(Fonte: COE, 2007)

Por sua vez, a ventilação cruzada, também conhecida como ventilação natural cruzada, se trata de um mecanismo usado na construção civil para favorecer a entrada e saída de ar no ambiente interno, tornando-o mais arejado. De modo que, para que ocorra a ventilação natural cruzada em um ambiente, é preciso que existam ao menos duas aberturas em paredes opostas ou adjacentes na arquitetura em questão (portas, janelas...), pois só assim o ar fluirá pelo ambiente e será capaz de carregar o ar quente para fora, deixando o ar fresco dentro do espaço.

Figura 15 - Exemplo de funcionamento da ventilação cruzada



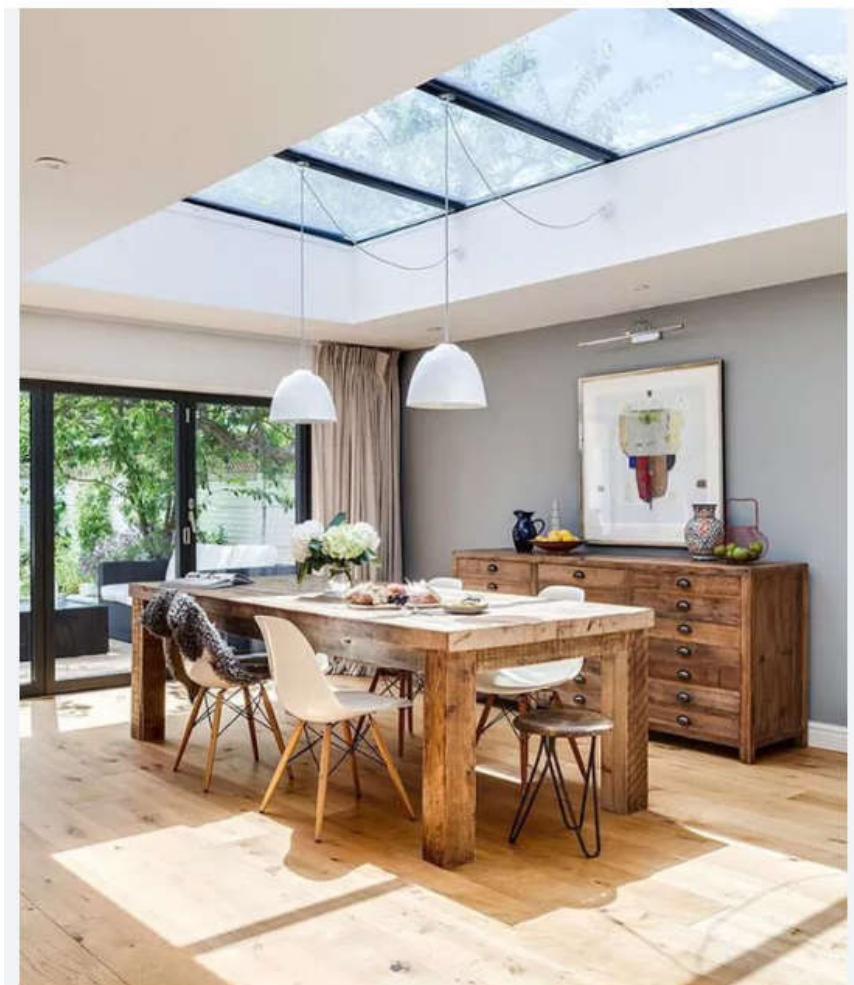
(Fonte: ArchTrends, 2022)

○ Iluminação natural – Passa pela utilização de materiais translúcidos, artifícios com claraboia quando ambientes estão isolados ou com aberturas de ventilação/iluminação reduzidas são excelentes formas de utilizar a iluminação solar. Já é possível observar que os projetos arquitetônicos atuais têm priorizado a iluminação natural, já que a prática traz diversos benefícios para a saúde, além de ter uma estética muito agradável. A técnica se resume a basicamente utilizar a luz do sol para iluminar os ambientes internos, aproveitando ao máximo as condições naturais na região (Figura 15).

Já em ambientes menores, os quais os usuários permanecem apenas por um pequeno intervalo de tempo, ou ainda em ambientes mais distantes das aberturas tais como

portas e janelas, como mencionado previamente, ou meramente por estética arquitetônica, é possível a utilização de claraboias, que proporcionam a utilização da iluminação natural.

Figura 16 - Exemplo de utilização da iluminação artificial e claraboias



(Fonte: ArchTrends, 2022)

6 PAYBACK

Apesar de apresentar grandes resultados econômicos ao longo do tempo, a utilização de sistemas, em especial os fotovoltaicos, que otimizam a eficiência energética residencial, dependem de um aporte financeiro relativamente alto, logo há que se falar no *payback* que é utilizado para a verificação quando um investimento se pagará e trará ganhos efetivos. Abreu Filho (2007) que reitera:

“O critério consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. O período *payback* é o tempo necessário para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito.”

Todavia, com base no estudo de viabilidade dirigido por Santos (Santos, et. al, 2016), observa-se que à época da pesquisa, o *payback* do projeto de instalação é dado no ano 12, o qual o projeto terá o retorno do investimento somente no décimo segundo ano após sua instalação, considerando um horizonte de 25 anos, após este período, conta-se que os demais valores dos próximos fluxos de caixa serão de lucro para o investidor em uma residência unifamiliar com consumo médio de 138 kWh/mês.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 DIMENSIONAMENTO DO PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO OBJETO DE ESTUDO

O estudo de caso e análise de viabilidade da implantação do projeto de microgeração fotovoltaica contempla as características descritas abaixo:

7.2 TIPO DE LIGAÇÃO E TENSÃO DE ATENDIMENTO

A unidade consumidora é ligada em ramal de ligação em baixa tensão, através de um circuito trifásico à quatro condutores, sendo três condutor(es) FASE de diâmetro nominal 10 mm² e um condutor NEUTRO de diâmetro nominal 10 mm², com tensão de atendimento em 380V, derivado de uma rede de distribuição secundária da **EQUATORIAL ENERGIA** no estado de Alagoas.

7.3 POTÊNCIA DISPONIBILIZADA

A potência disponibilizada para unidades consumidora onde será instalada a microgeração distribuída será igual à:

- $PD [kVA] = (380[V] \times 40 [A] \times \sqrt{3})/1000$
- $PD [kW] = 26,33 [kVA] \times 0,92$
- $VN = 380 V$
- $IDG = 40 A$
- $NF = \sqrt{3}$
- $FP = 0,92$
- **$PD (kVA) = 26,33 kVA$**
- **$PD (kW) = 24,22 kW$**

NOTA 2: A potência de geração deve ser menor ou igual a potência disponibilizada PD em kW.

7.4 REQUISITOS PARA A INSTALAÇÃO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O modelo a ser utilizado para o a implantação do projeto de microgeração levará em consideração as principais características do imóvel, como, por exemplo, sua carga instalada, sua descrição, perfil de consumo e dados da residência unifamiliar. Para tal há que se falar nas normas e os documentos mínimos necessários para regularização mediante a concessionária de energia elétrica local (Equatorial Energia), conforme descrito na Tabela 7:

Tabela 6 - Documentação obrigatória para solicitação de acesso de microgeração distribuída

Documentos Obrigatórios	Até 10 kW	Acima de 10 kW	Observações
1. Formulário de Solicitação de Acesso	SIM	SIM	
2. ART do Responsável Técnico	SIM	SIM	
3. Diagrama unifilar do sistema de geração, carga, proteção e medição	SIM	SIM	
4. Diagrama de blocos do sistema de geração, carga e proteção	NÃO	SIM	Até 10kW apenas o diagrama unifilar
5. Memorial Técnico Descritivo	SIM	SIM	
6. Projeto Elétrico, contendo:	NÃO	SIM	
6.1. Planta de Situação			Itens integrantes do Projeto Elétrico
6.2. Diagrama Funcional			
6.3. Arranjos Físicos ou layout e detalhes de montagem			
6.4. Manual com Folha de Dados (datasheet) dos Inversores (fotovoltaica e eólica) ou dos geradores (hidrica, biomassa, resíduos, cogeração, etc)			
7. Certificados de Conformidade dos Inversores ou o número de registro de concessão do INMETRO para a tensão nominal de conexão com a rede	SIM	SIM	Inversor acima de 10 kW, não é obrigatória a homologação, apresentar apenas certificados de conformidade.
8. Dados necessários para registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/scg	SIM	SIM	
9. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012	SIM, ver observação	SIM, ver observação	Apenas para os casos de autoconsumo consumo remoto, geração compartilhada e EMUC
10. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os Integrantes	SIM, ver observação	SIM, ver observação	Apenas para EMUC e geração compartilhada.
11. Documento que comprove o reconhecimento pela ANEEL, no caso de cogeração qualificada	SIM, ver observação	SIM, ver observação	Apenas para cogeração qualificada
12. Contrato de aluguel ou arrendamento da unidade consumidora	SIM, ver observação	SIM, ver observação	Quando a UC geradora for alugada ou arrendada
13. Procuração	SIM, ver observação	SIM, ver observação	Quando a solicitação for feita por terceiros
14. Autorização de uso de área comum em condomínio	SIM, ver observação	SIM, ver observação	Quando uma UC individualmente construir uma central geradora utilizando a área comum do condomínio

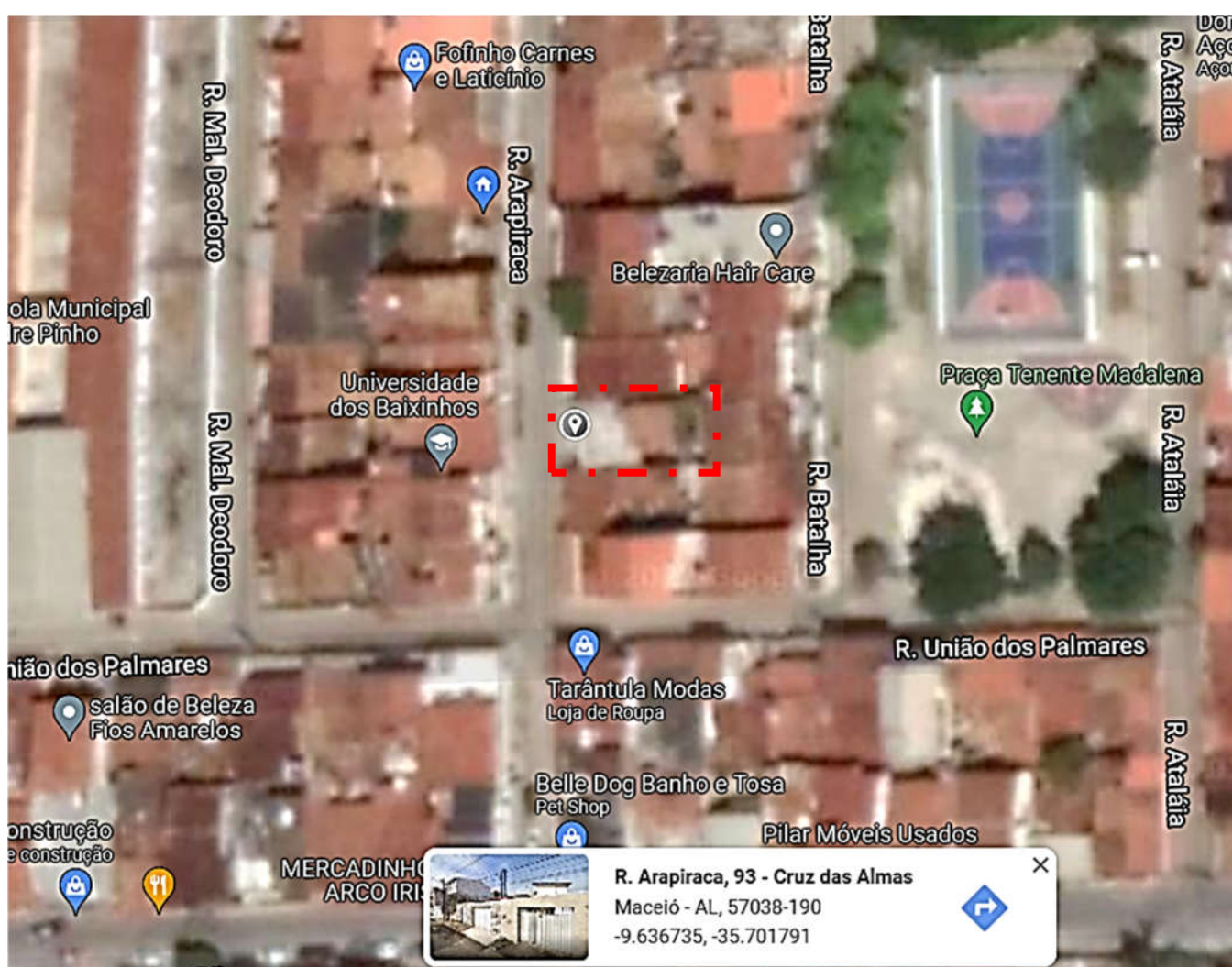
(Fonte: Equatorial Energia, 2019)

7.5 DADOS DA UNIDADE CONSUMIDORA

Imóvel unifamiliar localizado na cidade de Maceió, com cobertura em duas águas, platibanda, localização aproximada e dados adicionais descritos abaixo, assim como a imagem via satélite, observada via Google Maps e sinalizada com o contorno tracejado.

Endereço Completo: Rua Arapiraca, 93, Cruz das Almas, Maceió-AL.

Figura 17 - Imagem via satélite do imóvel a ser analisado



(Fonte: Google Maps, 2022. Acesso em 30 de setembro de 2022)

7.6 QUADRO DE CARGAS

Tabela 7 - Levantamento de carga

ITEM	DESCRIÇÃO	P(W) [A]	QUANT. [B]	CI [C = (A*B)/1000]	(kW)	FP [D]	CI (kVA) [E = C/D]	FD [F]	D(kW) [G = CxF]	D(kVA) [H = ExF]
1	Ar condicionado 12.000 BTU's	1.700	01	1,7		0,8	2,13	1	1,7	2,13
2	Chuveiro Elétrico	4.500	01	4,5		1,00	4,5	0,65	2,93	2,93
3	Máquina de Lavar Roupa	950	01	0,95		0,85	1,12	0,8	0,76	0,90
4	Ferro Elétrico	550	01	0,55		1,0	0,55	0,8	0,44	0,44
5	Micro-Ondas	1.200	01	1,2		0,92	1,30	0,8	0,96	1,04
6	Ventilador	200	03	0,6		0,85	0,71	0,75	0,45	0,53
7	Geladeira	500	01	0,5		0,85	0,59	0,8	0,4	0,47
8	Notebook	500	01	0,5		0,90	0,56	0,8	0,4	0,44
9	Iluminação	6	23	0,14		1,00	0,14	0,8	0,11	0,11
10	TV	100	02	0,2		0,85	0,24	0,75	0,15	0,18
TOTAL		---	---				11,82		8,30	9,16

(Fonte: Autor, 2022)

7.7 MÉDIA DE CONSUMO MENSAL

O consumo mensal foi obtido por meio de acesso ao site da concessionária Equatorial energia e transformado na Tabela 9 para facilitar a visualização. Desse modo, obteve-se a média de 245,7 kWh / mês.

Tabela 8 - Média e histórico de consumo mensal

MÊS	ANO	CONSUMO (kWh)
outubro	2021	251
novembro	2021	252
dezembro	2021	248
janeiro	2022	243
fevereiro	2022	266
março	2022	255
abril	2022	235
maio	2022	269
junho	2022	232
julho	2022	228
agosto	2022	217
setembro	2022	252
TOTAL		2948
MÉDIA		245,7

(Fonte: Equatorial Energia Alagoas, 2022, adaptado pelo autor)

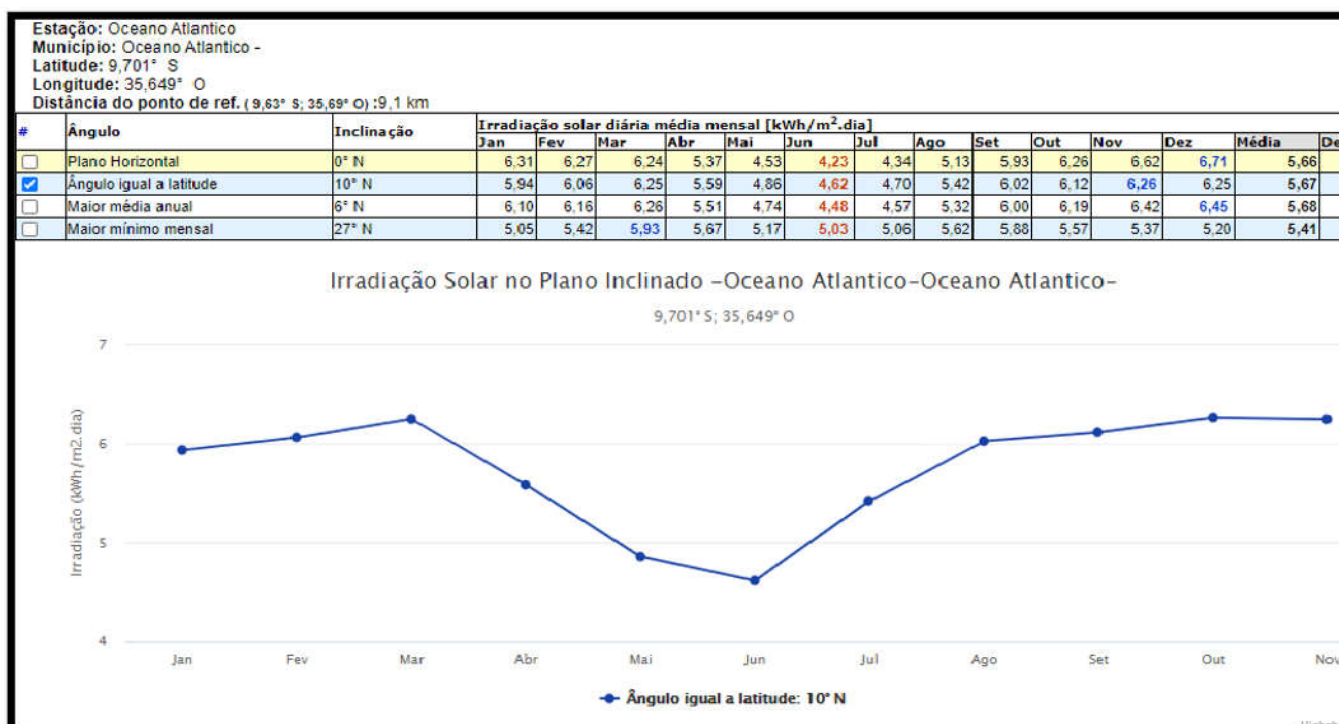
7.8 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO

Para concluir a estimativa do valor final de gerações diária e mensal de energia, é necessário realizar uma análise da cidade mais próxima do local do objeto de estudo, que nesse trabalho, é a cidade de Maceió, com aberturas de mês a mês para acompanhamento do histórico e, por fim, a média do potencial gerador de energia distribuída.

Para encontrar a irradiação solar média incidente nas placas, foi utilizado primeiramente o programa SunData, disponibilizado online pelo Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), que utiliza dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar como referência. Nesse software, o usuário insere a latitude e a longitude do local e são apresentados quatro valores de irradiação média mensal em função de diferentes inclinações que, para Maceió, são:

- Plano Horizontal: 0° N;
- Ângulo Igual à Latitude do Local: 10° N;
- Ângulo que apresenta a maior Média Anual: 6° N;
- Ângulo que apresenta o Maior Mínimo Mensal: 27°

Tabela 9 - Irradiação Solar – Cidade de Maceió



(Fonte: Adaptada de CRESESB, 2018)

A partir dos dados de irradiação solar e dos parâmetros obtidos do projeto, o cálculo da energia estimada a ser produzida é definido pela fórmula descrita na equação abaixo:

Equação energia diária estimada a ser produzida (7.1)

$$kWp = \frac{Emd.G}{Gpd.Prat}$$

Dados:

Emd = 245,7 kWh / mês / 30 dias = 8,19 kWh / dia

G = 1;

Gpd = Potencial gerador diário dado por 5,67kW / m².dia;

Prat = Performance *Ratio* – 0,8;

Desse modo, se obtém o resultado de potência produzida igual a kWp = 1,81 kWp

A ser redimensionado para kWp = 2,28 com a utilização de 5 módulos (conforme modelo a ser dimensionado conforme características observadas observado no item 7.10).

7.9 HORAS DE SOL PLENO

A média diária anual de horas de sol pleno representa o número de horas que a irradiância solar permanece constante e igual a 1 kW/m². Para determiná-la, basta dividir a irradiação global pela irradiância constante:

(7.2)

$$HSP = \frac{5,31 \frac{kWh}{m^2 \cdot dia}}{1 \frac{kW}{m^2 \cdot dia}} = 5,31 h/dia$$

Da Equação (7.3):

$$E_{pm} = P_s \cdot R_{sol} \cdot P_{rat}$$

Substituindo os valores a serem dimensionados, multiplicados por 30 dias, têm-se:

$$E_{sist} = 1,81 \cdot 5,67 \cdot 0,8 \cdot 30 = 246,30 \text{ kWh/mês}$$

7.10 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR

Para o cálculo do número de placas solares, e substituindo os valores na equação, os quais as variáveis são representadas por (7.4):

N_p : é a quantidade de módulos fotovoltaicos;

E_{sist} : é o consumo médio mensal, expresso em quilowatt-hora por mês (kWh/mês);

P_{mod} : é a potência máxima de um módulo, expressa em watts (W) = 455 W (vide item 7.11);

η : é o rendimento do sistema fotovoltaico, padronizado em 80%

$$N_p = \frac{E_{sist} \cdot 1000}{HSP \cdot P_{mod} \cdot 30 \cdot \eta} \quad (7.4)$$

Que resulta em:

$$N_p = (246,3048 \cdot 1000) / (5,31 \cdot 455 \cdot 30 \cdot 0,8) = 4,25 \text{ módulos solares.}$$

A saber, cada placa do modelo fornecido pelo fabricante *Canadian Solar* possui um potencial gerador de acordo com suas dimensões dado pela multiplicação da sua largura e comprimento (área = 2,22 m²), o qual totaliza kWp = 0,21 kWp / m².dia que dividindo pela demanda oriunda da energia diária estimada, obtêm-se aproximadamente **4,25 módulos solares, sendo necessário considerar uma margem de aumento eventual de demanda, que precisam ser redimensionadas para 5 unidades.** Estas, por sua vez, possuem:

$$\text{kWp} = 0,455 * 5 \text{ módulos} = 2,28 \text{ kW} / \text{m}^2.\text{dia.}$$

Assim, a energia a ser produzida em um mês é calculada de acordo com a equação abaixo:

Egm = PS * Rsol *30*Prat, os quais têm-se:

- Potência do Sistema dos Módulos: PS;
- Radiação solar do local de instalação: Rsol;
- Performance Ratio: Prat;
- Energia Gerada Mensal: Egm;

Logo, tem-se que:

$$\text{Egm} = \text{PS} * \text{Rsol} * 30 * \text{Prat}$$

$$\text{Egm} = 2,28 * 5,67 * 30 * 0,8$$

$$\text{Egm} = 310,27 \text{ kWh/mês.}$$

7.11 CARACTERÍSTICAS DO GERADOR E INVERSOR

A *performance* do sistema pode ser observada nas Tabela 11 e 12 com detalhes.

Tabela 10 - Características técnicas do gerador

Fabricante	Canadian Solar
Modelo	CS3W - 455ms
Max. Potencia Nominal (Pmax)	455 W
Tensao de Operacao (Vmp)	41,3 V
Corrente de Operacao (Imp)	11,02 A
Tensao de Circuito Aberto (Voc)	49,3 V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	11,66 A
Eficiência de Modulo	20,60%
Temperatura de Operacao	-40C ~ +85C
Desempenho antichamas do modulo	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)
Max. valor nominal do fusivel de serie	20 A
Classe da aplicacao	Classe A
Tolerancia de potencia	0 ~ + 10 W
Comprimento (m)	2,11
Largura (m)	1,05
Área (m²)	2,22

(Fonte: Canadian Solar, 2022, adaptada pelo autor)

Tabela 11 - Performance do sistema fotovoltaico

Estudo da Performance do Sistema

INDICADOR	Média Anual
Temperatura máxima por mês	29°C
Inicial	100%
Perdas por sombreamento	1,5%
Temperatura	7,5%
Sujidade	1,0%
Mismatching	0,5%
Tol. Potência	4,0%
Perdas C.C.	4,0%
Tracking Losses	1,0%
Eficiência do Inversor	2,0%
Perdas C.A.	3,5%
Performance Ratio	80%

(Fonte: Geosolar, 2022)

O sistema possui uma potência estimada de 2,28 kWp de módulos e inversor de 2,5 kWp.

7.12 SOMBREAMENTO

A sombra produzida pela presença de possíveis obstáculos à luz solar pode interferir no rendimento dos painéis uma vez que os módulos são projetados para que quando instalados, as placas fotovoltaicas estejam preparadas para receberem luz solar em toda a sua extensão. Isso pode ser comprometido com a interferência das sombras de árvores e vegetações, prédios vizinhos, entre outras coisas, tal fenômeno é chamado de sombreamento do sistema fotovoltaico. Dessa forma, é importante verificar se há algum no entorno da residência ou na própria arquitetura do imóvel.

No estudo de caso, verificou-se que não há nada no entorno que possa causar um sombreamento, sequer projeção da estrutura do reservatório de água superior que se encontra abaixo da cobertura do imóvel.

Além dos itens que podem, eventualmente, causar um sombreamento nas placas solares mencionados anteriormente, há um ponto importante: a posição do sol durante o dia de acordo com o a estação do ano e o eixo de inclinação da terra o sol muda de posição no céu conforme as horas vão passando, e isso é capaz de causar sombreamentos em alguns períodos do dia que não são percebidos — o que pode se tornar um grande problema.

Por fim, é válido ressaltar ainda, a título de informação, que para efeito de cálculo de uma residência em Maceió, de acordo com Ferreira (2018), o ângulo de elevação do sol ao meio dia solar no solstício de inverno em Maceió é igual a $56,95^\circ$.

7.13 CÁLCULO DO PAYBACK

Para a análise do *payback* foram considerados os orçamentos obtidos em duas fontes diferentes, porém em ambos os casos, o retorno estimado alcança patamares aceitáveis e que proporcionam certa segurança no momento da tomada de decisão por parte dos interessados com um investimento inicial de R\$ 16481,49 (Figura 18).

Figura 18 - Estimativa de investimento inicial



Estimativa de Investimento

VALOR TOTAL R\$ 16.481,49

(Fonte: Bluesun Solar, 2022)

Nesse caso, em posse o valor estimado de investimento inicial atualizado e em observância às tarifas descritas nas tabelas 13 e 14, é possível estimar o custo anual com base no consumo médio anual oriundo das faturas de consumo mensal

obter a taxa de ajuste médio anual e também o ajuste tarifário anual médio da série histórica iniciada em 2015 até o presente ano, 2022 e comparar com o custo total em 20 anos, caso não sejam utilizados os módulos solar de obtenção de energia fotovoltaica. Segue:

Tabela 12 - Tarifa em R\$/kWh - Equatorial Alagoas

Residencial Normal			
TARIFA CONVENCIONAL			
Classe	Tarifa (R\$/kWh)		
Residencial	0,75049		
Classe	Horário Ponta	Horário Intermediário	Horário Fora Ponta
Residencial	1,60209	1,04095	0,63257

Resolução Homologatória ANEEL no 3.033/2022
 De: 03/05/2022
 Início de Vigência: 03/05/2022 a 02/05/2023

(Fonte: Equatorial Energia, 2022)

Custo médio anual = Consumo médio mensal (kWh) * Tarifa (R\$/kWh) * 12 meses

Logo: Custo médio anual = 245,7 * 1,60 * 12 = R\$ 393,12 * 12 = **R\$ 4717,44 / ano**

Neste cenário, não foram considerados épocas sazonais de aumento de tarifa, como por exemplo a Tarifas Amarela ou Vermelha, que geram um incremento adicional na tarifa por kWh, uma vez que esses valores dependem da variação de outros fatores tanto políticos como ocorrências, ou ausência, de fenômenos naturais e/ou estações do ano. Ademais, para a taxa média anual de ajuste fora observado os valores descritos na Tabela 14.

Tabela 13 - Percentual anual de ajuste tarifário

Empresa	Consumidores residenciais - B1
Equatorial Alagoas	19,86%

(Fonte: Equatorial Energia, 2022. Adaptada pelo autor)

Por fim, para o cálculo do *payback* serão considerados o valor médio de manutenção, estimado em R\$5000 ao longo de 20 anos (Portal Solar, 2022) que fornece um valor médio de R\$ 200 anuais para manutenção de uma microgeração fotovoltaica distribuída de até 4 kWp que é muito superior ao calculado para o imóvel objeto de estudo desse trabalho (calculado: 2,28 kWp), assim o Valor Presente dado pela equação (7.5):

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad (7.5)$$

Onde:

- Vp é o valor presente, expresso em Reais (R\$);
- VF é o valor futuro, expresso em reais (R\$);
- i é a taxa de juros, padronizada em 0,7% a.m.;
- n é o período, expresso em meses.

Assim sendo, é possível obter:

Tabela 14 - Payback baseado no orçamento inicial previsto

0	R\$	-	-R\$ 16,481,49	-R\$ 16,481,49	-R\$ 16,481,49	-R\$ 16,481,49	-R\$ 16,481,49
1	-R\$	4,717,44	-R\$ 200,00	R\$ 4,517,44	-R\$ 11,964,05	R\$ 4,221,91	-R\$ 12,259,58
2	-R\$	5,654,32	-R\$ 213,24	R\$ 5,441,08	-R\$ 6,522,97	R\$ 4,752,45	-R\$ 7,507,13
3	-R\$	6,028,64	-R\$ 227,36	R\$ 5,801,28	-R\$ 721,68	R\$ 4,735,58	-R\$ 2,771,56
4	-R\$	6,427,74	-R\$ 242,41	R\$ 6,185,33	R\$ 5,463,65	R\$ 4,718,76	R\$ 1,947,20
5	-R\$	6,853,25	-R\$ 258,45	R\$ 6,594,80	R\$ 12,058,44	R\$ 4,702,00	R\$ 6,649,20
6	-R\$	7,306,94	-R\$ 275,56	R\$ 7,031,37	R\$ 19,089,81	R\$ 4,685,30	R\$ 11,334,50
7	-R\$	7,790,66	-R\$ 293,81	R\$ 7,496,85	R\$ 26,586,66	R\$ 4,668,66	R\$ 16,003,16
8	-R\$	8,306,40	-R\$ 313,26	R\$ 7,993,14	R\$ 34,579,81	R\$ 4,652,08	R\$ 20,655,24
9	-R\$	8,856,28	-R\$ 333,99	R\$ 8,522,29	R\$ 43,102,09	R\$ 4,635,56	R\$ 25,290,80
10	-R\$	9,442,57	-R\$ 356,11	R\$ 9,086,46	R\$ 52,188,55	R\$ 4,619,10	R\$ 29,909,90
11	-R\$	10,067,67	-R\$ 379,68	R\$ 9,687,99	R\$ 61,876,54	R\$ 4,602,69	R\$ 34,512,59
12	-R\$	10,734,14	-R\$ 404,81	R\$ 10,329,33	R\$ 72,205,87	R\$ 4,586,35	R\$ 39,098,94
13	-R\$	11,444,74	-R\$ 431,61	R\$ 11,013,13	R\$ 83,219,00	R\$ 4,570,06	R\$ 43,669,00
14	-R\$	12,202,39	-R\$ 460,19	R\$ 11,742,20	R\$ 94,961,20	R\$ 4,553,83	R\$ 48,222,82
15	-R\$	13,010,19	-R\$ 490,65	R\$ 12,519,54	R\$ 107,480,74	R\$ 4,537,66	R\$ 52,760,48
16	-R\$	13,871,46	-R\$ 523,13	R\$ 13,348,33	R\$ 120,829,07	R\$ 4,521,54	R\$ 57,282,02
17	-R\$	14,789,75	-R\$ 557,76	R\$ 14,231,99	R\$ 135,061,06	R\$ 4,210,73	R\$ 61,492,75
18	-R\$	15,768,83	-R\$ 594,69	R\$ 15,174,15	R\$ 150,235,20	R\$ 4,489,48	R\$ 65,982,24
19	-R\$	16,812,73	-R\$ 634,05	R\$ 16,178,67	R\$ 166,413,88	R\$ 4,473,54	R\$ 70,455,77
20	-R\$	17,925,73	-R\$ 676,03	R\$ 17,249,70	R\$ 183,663,58	R\$ 4,457,65	R\$ 74,913,42
21	-R\$	19,112,41	-R\$ 720,78	R\$ 18,391,63	R\$ 202,055,21	R\$ 4,441,82	R\$ 79,355,24
22	-R\$	20,377,66	-R\$ 768,50	R\$ 19,609,16	R\$ 221,664,37	R\$ 4,426,05	R\$ 83,781,29
23	-R\$	21,726,66	-R\$ 819,37	R\$ 20,907,28	R\$ 242,571,66	R\$ 4,410,33	R\$ 88,191,62
24	-R\$	23,164,96	-R\$ 873,61	R\$ 22,291,35	R\$ 264,863,00	R\$ 4,394,66	R\$ 92,586,28
25	-R\$	24,698,48	-R\$ 931,45	R\$ 23,767,03	R\$ 288,630,04	R\$ 4,379,06	R\$ 96,965,34

(Fonte: Autor, 2022)

Decerto, é possível observar que já a partir do quarto ano de investimento o retorno financeiro já se faz presente, para que ao passar dos anos, o custo-benefício relacionado inicialmente seja “recuperado” e já estimula de forma positiva no quesito adesão à instalação o sistema.

Neste cenário, é possível observar que já a partir do sexto ano de investimento o retorno financeiro já se faz presente, para que ao passar dos anos, o custo-benefício relacionado também à vida útil dos equipamentos e manutenções seja atingido.

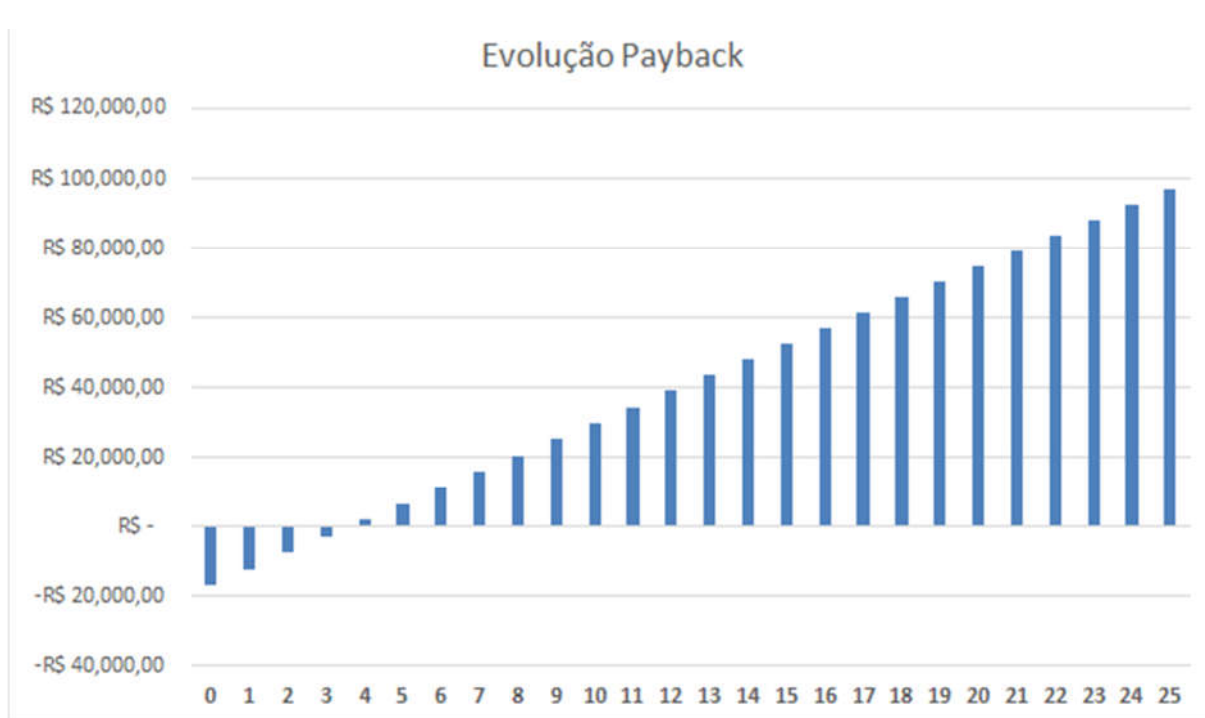
Ainda sobre o *payback* calculado previamente é possível observar da mesma forma, sendo considerada uma vida útil de 25 anos, há a possibilidade de avaliar a vantagem do investimento com o cálculo do valor presente líquido (VPL) – resultado da diferença entre a soma dos valores presentes de retorno e a soma dos valores presentes de investimento, precisando ser um valor positivo para que o investimento seja vantajoso – e a taxa interna de retorno (TIR) – taxa de juros para a

qual o VPL se torna zero, medindo a rentabilidade pela qual o capital está sendo remunerado.

O VPL e a TIR desse projeto podem ser observados a seguir, confirmando que esse é um investimento vantajoso:

$$\text{VPL} = 96965,34 - 16481,49 = \text{R\$ } 80483,85 \rightarrow \text{TIR} = 27,79\%$$

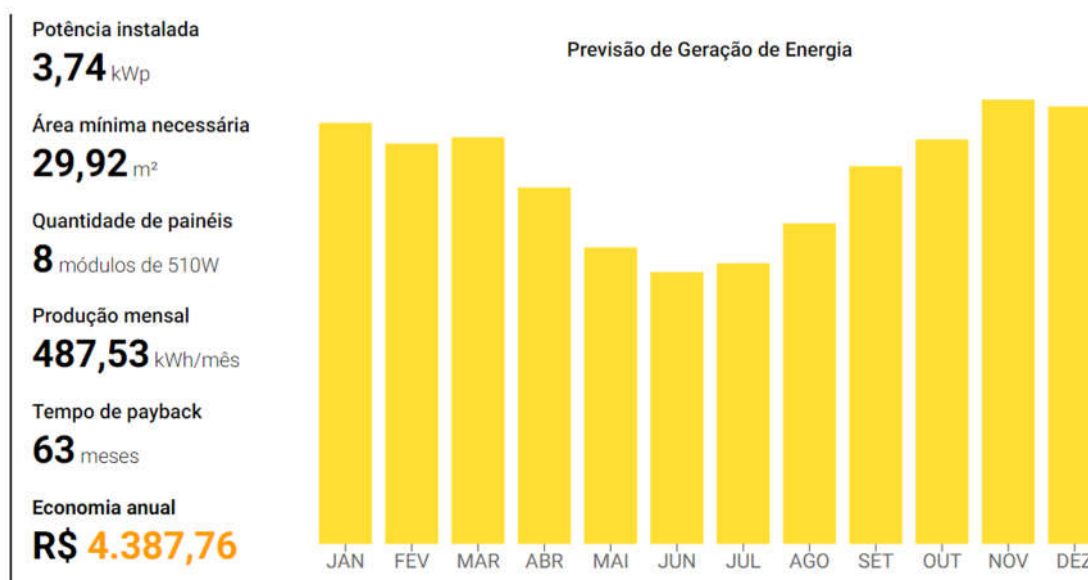
Figura 19 - Evolução do Payback ao longo de 25 anos



(Fonte: Autor, 2022)

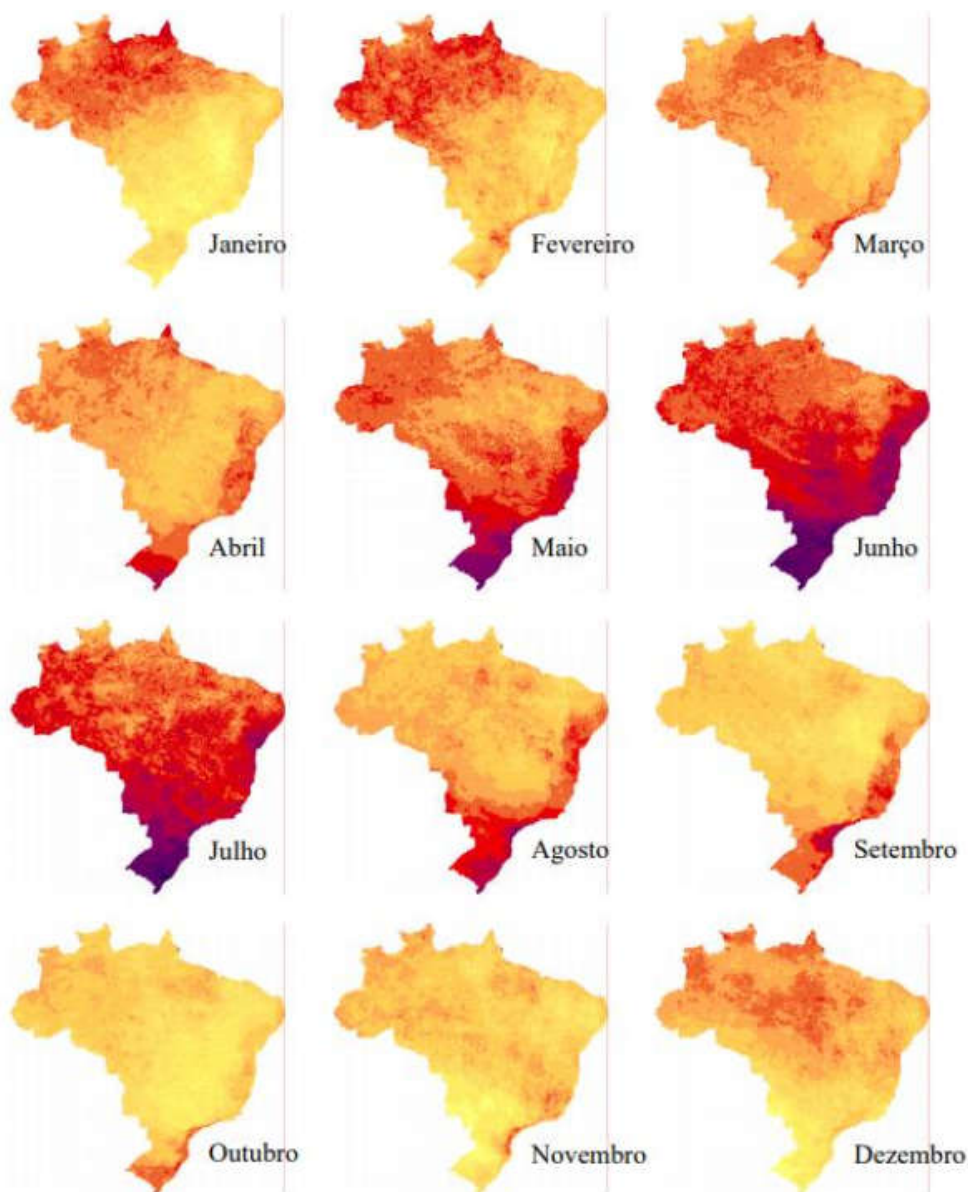
Em um segundo cenário, observando as especificações do objeto de trabalho já conhecidas, tem-se um *payback* um pouco menor, por volta de 5 anos e 3 meses (Figura 20), bem próximo do *payback* calculado acima, que pode ter sofrido alguma alteração por conta da quantidade e do tipo dos módulos dimensionados, assim como variações das taxas de ajuste anual, que sofreram impactos em decorrência da pandemia do Covid-19, porém ainda que consideradas todas as variáveis tal simulação via software do fornecedor, informa que o investimento também se mostra algo bastante vantajoso.

Figura 20 - Previsão de geração e Payback



(Fonte: Lumiere Solar, 2022)

Diante do exposto, com o avanço das tecnologias voltadas às fontes de energias renováveis, o barateamento dos equipamentos e insumos necessários, tal como crescimento no número de empresas especializadas em sistemas fotovoltaicos, é possível afirmar que o tema acerca da eficiência energética, em especifica a residencial está cada vez mais em foco, com oportunidades ainda a serem exploradas no mercado Nacional.

Figura 21 - Irradiação solar anual - Brasil

(Fonte: Martins, 2015)

A vantagem econômica se mostra ainda mais expressiva quando se leva em consideração uma vez que o local a nível de cidade e de entorno quanto a arquitetura da residência apresentam características favoráveis para o aproveitamento de energia solar como por exemplo ausência de sombreamento, irradiação quase o ano inteiro observado na Figura 21 (MARTINS, 2015).

8 CONCLUSÃO

Em suma, diante do exposto, é possível afirmar que o objetivo do trabalho fora atingido com êxito, pelas excelentes condições de implantação no estudo de caso que fora objeto de estudo nesse trabalho, a um custo relativamente baixo se comparado ao seu retorno financeiro e ambiental, bem como a evidência da urgência nas instalações de modo que a usufruir da isenção de taxas, que precedem ao marco.

Sobretudo por conta das tarifas que ainda não foram desdobradas para a população Brasileira, ficando como sugestão para futuros trabalhos a análise do impacto das referidas tarifas no payback dos sistemas instalados após o marco regulatório.

Por fim, vale ressaltar ainda que não foram considerados possíveis montantes e dividendos em fontes de investimento uma vez que nos dois casos, ao fim de 25 anos, para o imóvel em análise oferece um payback, atualizado em valor presente de aproximadamente de 588% em relação ao valor inicialmente investido, observado na figura 18 no tópico anterior.

Embora existam tecnologias mais recentes e outras já em estudos que otimizem e potencializem ainda mais os módulos solares, ou ainda as que combinam com outros sistemas, como o coletor termofotovoltaico, não abordados nesse trabalho, tal sistemas não se mostram, ainda, tão vantajosos uma vez que ainda existem poucos estudos e informações disponíveis sobre esse sistema, assim como fornecedores locais. Dessa forma, recomenda-se que essa análise seja feita posteriormente, como sugestão de um novo trabalho.

Por outro lado, a metodologia aqui utilizada, por tratar-se uma tecnologia bem mais conhecida, pode ser replicada para a análise de viabilidade da implantação de ambos os sistemas em qualquer outra residência construída ou não, porém vale salientar que demais condições, reformas ou grande modificações estruturais no imóvel que gerem ônus na implantação dos sistemas aqui citados podem tornar o projeto demasiadamente caro e, eventualmente, inviável.

Em um segundo plano, ao se tratar de uma futura expansão do imóvel, para que se aumente a carga instalada na residência, há a necessidade de um novo dimensionamento ou substituição de equipamentos que acarretará em um novo custo, custo este que já englobará novas tarifas TUSD – Fio B proveniente do marco regulatório a entrar em vigor em janeiro de 2023.

Por esse motivo, em caso de replicação da metodologia aqui utilizada, se faz necessário realizar um programa de necessidades para que o sistema todo comporte demanda dos usuários tanto as atuais quanto as futuras, em especial as que dimensionem ou programem tais expansões aproximadamente com o tempo de vida útil dos equipamentos, sendo possível optar por substituições parciais ou equipamentos com menor custo de manutenção e instalação, ou ainda maior ou menor vida útil.

9 REFERÊNCIAS

CASTRO, N., BRANDÃO R. **Causas da crise hídrica no Brasil**. Rio de Janeiro, 2021.

EPE. **Atlas da eficiência energética no Brasil – 2021**. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-651/Atlas2021_PT_2022_02_04.pdf>. Acesso em 05 de setembro de 2022.

MARTINS, Maria Paula de Souza. **INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. 1999. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de MBA em Energia Elétrica, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno et al. **MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: Uma prospectiva**. **Novos Estudos**, São Paulo, n. 79, p.47-69, nov. 2007.

LAMBERTS, Roberto et al. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia**. 2. ed. Florianópolis, 2010.

Ministério de Minas e energia. **BEN - Relatório Síntese – 2022** . Brasil, 2022.

CNN. **Conheça os tipos de energia renovável e quais são usados no Brasil**. Brasil, 2021. Disponível em: < <https://www.cnnbrasil.com.br/business/conheca-os-tipos-de-energia-renovavel-e-quais-sao-usados-no-brasil/>>. Acesso em 07 de setembro de 2022.

REIS, L. B. DOS. **Geração de Energia Elétrica**. 2a Edição. Barueri, 2011.

Portal Solar. **Novo projeto de lei prevê a adoção de energia solar em casas populares**. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/politica/legislativo/novo-projeto-de-lei-preve-a-adocao-de-energia-solar-em-casas-populares>>. Acesso em 03 de setembro de 2022.

Soletrol. **Como funciona o Aquecedor Solar de Água Soletrol**. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.soletrol.com.br/extras/como-funciona-o-aquecedor-solar-soletrol/>>. Acesso em 03 de setembro de 2022.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; **PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005 – Classe Residencial – Relatório Brasil**. Rio de Janeiro, ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

VARGAS, M., MESTRIA, M. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS: ILUMINAÇÃO E REFRIGERAÇÃO**. Fortaleza, 2015.

Arquitetizze. **Vantagens de utilizar lâmpadas LED**. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://arquitetizze.com.br/saiba-quais-sao-as-vantagens-de-utilizar-lampadas-led/>>

MARTINS, R.; MENEGUZZI, F. **A smart home model using JaCaMo framework**. In: **Industrial Informatics (INDIN)**. 12th IEEE International Conference, 2014.

PhdSEG. **Saiba mais sobre automação de iluminação residencial no centro da cidade**. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://phdseg.com.br/blog/2021/09/30/saiba-mais-sobre-automacao-de-iluminacao-residencial-no-centro-da-cidade/>>

ABREU FILHO, José Carlos de. **Finanças corporativas**. José Carlos Franco de Abreu Filho, Cristóvão Pereira de Souza, Danilo Américo Gonçalves, Marcus Vinícius Quintella Cury. Rio de Janeiro, Editora FGV, 2007.

SANTOS, F.A., SOUZA, C.A., DALFIO, V.A.O. **ENERGIA SOLAR: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG**. Minas Gerais, 2016.

BlueSol. **Painel solar, preço e como funciona**. Brasil, 2021. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>>. Acesso em 17 de outubro de 2022.

Solar Brasil. **Dicas antes de escolher o seu Painel Solar Fotovoltaico.** Brasil, 2019. <<https://www.solarbrasil.com.br/blog/dicas-antes-de-escolher-o-seu-painel-solar-fotovoltaico/>>. Acesso em 13 de outubro de 2022.

PZM Soltar. **Tipos de sistema solar fotovoltaicos.** Brasil, 2020. <<http://www.pzmsolar.com.br/pt-BR/solar-energy/>>. Acesso em 04 de novembro de 2022.

Energeasy Solar. **Marco Legal da Energia solar prevê mudanças em 2023. Brasil, 2022.** <<https://energeasysolar.com.br/marco-legal-da-energia-solar-preve-mudancas-em-2023/>>. Acesso em 01 de novembro de 2022.

Imprensa Nacional - Brasil, **Lei 14.300 de 6 de janeiro de 2022.** (Brasil, 2022) <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em 25 de outubro de 2022.

Sicredi. **Energia Solar: o que muda com o Marco Regulatório?** (Brasil, 2022) - <<https://www.sicredi.com.br/site/blog/energia-solar-o-que-muda-com-o-marco-regulatorio/>>. Acesso em 04 de novembro de 2022.

Neo Solar. **Marco legal geração e distribuição da energia solar.** (Brasil, 2022) <<https://www.neosolar.com.br/blog/marco-legal-geracao-distribuida-taxacao-energia-solar/>>. Acesso em 26 de outubro de 2022.

SAYURI, G. **ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIA SOLAR – TÉRMICA E FOTOVOLTAICA – EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM MACEIÓ.** (Trabalho de conclusão de curso, Maceió – AL, 2019).

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração distribuída.** Disponível em: < [https:// www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida](https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida) >. Acesso em: 10 setembro de 2022.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco J. Lopes de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. **Atlas brasileiro de energia solar. 2a. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 14 outubro de 2022.**

BEZERRA, F.D. **Micro e Minigeração Distribuída e suas Perspectivas com a Lei 14.300/2022, caderno setorial ETENE, Ano 7, Nº 234.** Brasil, agosto de 2022. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1342/3/2022_CDS_234.pdf>. Acesso em 01 de outubro de 2022.

CRESESB, **Centro de referência para as energias solar e eólica Sérgio de S. Brito.** Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 21 de setembro de 2022.

CA2, **Desempenho térmico de edificações.** Brasil, 2022. Disponível em: <<https://ca-2.com/desempenho-termico-de-edificacoes/>>. Acesso em: 15 de novembro de 2022.

CORNETET, M.C. **RECOMENDAÇÕES PARA ESPECIFICAÇÃO DE VIDROS EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS NA REGIÃO CLIMÁTICA DE PORTO ALEGRE-RS.** (Dissertação de Mestrado, Porto Alegre - RS, 2009).

ArchTrends. **BRISES.** Brasil, 2022. Disponível em: <<https://blog.archtrends.com/brises/>>. Acesso em: 14 de novembro de 2022.