



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

LEONARDA FEITOSA CAJUAZ CASTRO

**PROPOSIÇÃO CONCEITUAL DE REGULAMENTAÇÃO DE INCENTIVOS À
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA BASEADA EM IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS**

**FORTALEZA
2024**

LEONARDA FEITOSA CAJUAZ CASTRO

PROPOSIÇÃO CONCEITUAL DE REGULAMENTAÇÃO DE INCENTIVOS À GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA BASEADA EM IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Doutor em Engenharia Elétrica. Área de
concentração: Energias Renováveis e Sistemas
Elétricos.

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

Coorientadores:
Prof. Dr. Antonio Paulo de Hollanda Cavalcante.
Prof. Dr. José Nuno Fidalgo.
Prof. Dr. João Paulo Tomé Saraiva.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C351p Castro, Leonarda Feitosa Cajuaz.

Proposição conceitual de regulamentação de incentivos à geração fotovoltaica : baseada em impactos socioeconômicos / Leonarda Feitosa Cajuaz Castro. – 2024.

103 f. : il. color.

Tese (doutorado) — Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2024.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

Coorientação: Prof. Dr. Antonio Paulo de Hollanda Cavalcante.

1. Análise Bibliométrica. 2. Projetos Fotovoltaicos. 3. Alívio Multidimensional da Pobreza. I. Título.

CDD 621.3

LEONARDA FEITOSA CAJUAZ CASTRO

PROPOSIÇÃO CONCEITUAL DE REGULAMENTAÇÃO DE INCENTIVOS À GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA BASEADA EM IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Doutor em Engenharia Elétrica. Área de
concentração: Energias Renováveis e Sistemas
Elétricos.

Aprovada em: xx/xx/yyyy.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante (Co-orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ricardo Silva Thé Pontes

Universidade Estadual do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter-me dado a graça de viver este momento, pelo discernimento e acompanhamento durante toda a minha trajetória no Doutorado.

Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho, pela confiança, dedicação, amizade e orientação durante esses quatro anos de pesquisa na Universidade Federal do Ceará.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante, que, com maestria, mostrou a importância e sinergia entre as áreas de planejamento urbano e energético.

Aos Professores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Dr. Nuno Fidalgo e Dr. Joao Paulo, pela receptividade, atenção e disponibilidade durante e após o intercâmbio em Portugal.

Aos professores participantes da Banca examinadora, Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso e Prof. Dr. Ricardo Silva Thé Pontes, pelo tempo dedicado e pelas valiosas contribuições.

À minha família, em especial ao meu marido, Pedro Marcelino Castro, pela sabedoria, paciência e contribuição em todos os momentos, e aos meus filhos, João Pedro, Mateus e Maria Leonarda, por sempre me apoiarem e compreenderem em todos os desafios que vivemos juntos ao longo deste tempo.

O Sol, com todos aqueles planetas girando em torno dele, ainda pode amadurecer um cacho de uvas como se ele não tivesse mais nada no universo a fazer. (Galileu Galilei)

RESUMO

Motivados por iniciativas, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), em particular o ODS 1 - Erradicação da Pobreza e o ODS 7 - Energia Limpa e Acessível, e com base no estado da arte, a presente proposta de tese tem como objetivo a proposição de estratégias/métodos para o estabelecimento de projetos fotovoltaicos (PFV) em países com alto índice Gini. Inicialmente, considerando o período de 2003 a 2022, é encontrado um total de 336 publicações na base de dados Scopus. Os resultados mostram que a redução da pobreza energética está frequentemente associada à geração FV e sua aplicação nas zonas rurais. Assim, uma lacuna é identificada na aplicação FV em áreas urbanas com o objetivo de reduzir a pobreza multidimensional nos países com alto índice Gini, bem como uma integração sinérgica de energia e planejamento urbano. Nesse contexto, é proposto o desenvolvimento de políticas que promovam o estabelecimento da citada aplicação FV em áreas selecionadas, usualmente ocupadas por famílias de baixa renda e caracterizadas por edifícios baixos, oferecendo melhor acesso à irradiação solar. O presente estudo traz novas perspectivas sobre a análise e avaliação abrangente destes projetos, ao mesmo tempo que considera aspectos sociais, ambientais e econômicos. A proposição apresentada é baseada no estudo aprofundado de uma série de leis, regulamentações e projetos de lei brasileiros, bem como a comparação destas com as existentes na Europa. Dentre as lacunas identificadas na regulamentação brasileira, a conceituação formal de Comunidades de Energia é uma das mais relevantes, uma vez que foi identificado o uso equivocado do termo, quando este é relacionado aos assentamentos informais, anteriormente conhecidos como favelas. Ademais, foi identificado que as atuais leis, bem como as que estão em fase de votação no legislativo brasileiro mantém o foco na redução de tarifas, na pobreza energética e na diversificação da matriz elétrica. Além de apresentarem redundância, como identificado entre o Decreto 12.084/2024 que trata do programa energia limpa no projeto Minha Casa, Minha Vida, a Lei 14300 que institui o programa de energia elétrica social (PERS) e o PL nº 2.458/2022. A proposição apresentada já unifica vários artigos e incisos destas legislações, além de considerar benefícios para além da redução da tarifa e diversificação da matriz energética. A integração entre os planejamentos energético e urbano é reforçado, uma vez que a forma como a cidade é construída contribui diretamente para a demanda e eficiência energética. Devido a isso, a proposta de criação de áreas específicas para os PFVAPM, a

utilização da Outorga Onerosa da Autorização de Uso e o IPTU verde, devem ser considerados tanto no Plano Diretor e com observância na Lei de Uso e Ocupação do solo, bem como nas regulamentações inerentes ao uso das energias renováveis como a Lei 14.300 ou ainda no PL 624/2023, pois essas modificações são vitais ao desenvolvimento sustentável das cidades. Além disso, essa melhoria contribui ainda para mitigar riscos de direito de acesso ao sol para projetos de geração distribuída de uma maneira geral. A partir da simulação desenvolvida do CVE é possível comprovar a viabilidade financeira dos PFVAPM, exclusivamente com investimento privado, onde os benefícios para o investidor são apresentados sob a forma de redução da tarifa de energia elétrica, com um CVE de 0,17 BRL/KWh. Na composição deste CVE estão incluídos benefícios aos cidadãos pobres, como remuneração média mensal da ordem de 50% do valor do salário-mínimo, formação para instalação e manutenção do sistema FV dentre outros. Além disso, é feita melhoria na composição para cálculo do CVE onde é previsto o investimento de substituição dos inversores no intervalo de 10 e 20 anos de implantação do sistema. A proposição conceitual apresentada se mostra eficiente, além de poder ser adequada a outros tipos de fonte de geração, bem como a outros países, para tanto sendo necessário adequar às realidades das leis locais.

Palavras-chave: análise bibliométrica; projetos fotovoltaicos; alívio multidimensional da pobreza.

ABSTRACT

Motivated by initiatives such as the United Nations (UN) Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 1 - No Poverty and SDG 7 - Affordable and Clean Energy, and based on the state of the art, this thesis proposal aims to propose strategies/methods for the establishment of Photovoltaic Projects (PPVs) in countries with a high Gini index. Initially, considering the period from 2003 to 2022, a total of 336 publications were found in the Scopus database. The results show that reducing energy poverty is often associated with photovoltaic (PV) generation and its application in rural areas. Thus, a gap is identified in the application of PV in urban areas with the aim of reducing multidimensional poverty in countries with a high Gini index, as well as in the synergistic integration of energy and urban planning. In this context, the development of policies promoting the establishment of the aforementioned PV application in selected areas, usually occupied by low-income families and characterized by low-rise buildings, is proposed, offering better access to solar irradiation. This study provides new perspectives on the comprehensive analysis and evaluation of these projects while considering social, environmental, and economic aspects. The presented proposition is based on an in-depth study of a series of Brazilian laws, regulations, and bills, as well as a comparison of these with those existing in Europe. Among the gaps identified in Brazilian regulations, the formal concept of Energy Communities is one of the most relevant, as the misuse of the term was identified when it is related to informal settlements, formerly known as favelas. Moreover, it was found that current laws, as well as those under consideration in the Brazilian legislature, maintain a focus on tariff reduction, energy poverty, and diversification of the electricity matrix, while also presenting redundancies, as identified between Decree 12.084/2024, which deals with the Clean Energy program in the Minha Casa Minha Vida project, Law 14.300, which establishes the Social Electricity Program (PERS), and Bill No. 2.458/2022. The presented proposition already unifies various articles and sections of these legislations, in addition to considering benefits beyond tariff reduction and energy matrix diversification. The integration of energy and urban planning is reinforced since the way a city is built directly contributes to energy demand and efficiency. Therefore, the proposal to create specific areas for Photovoltaic Projects for Multidimensional Poverty Alleviation (PFVAPM), the use of the Burdened Granting of Use Authorization, and the Green Property Tax should be considered both in the Master Plan, with observance of the Land

Use and Occupation Law, and in the regulations inherent to the use of renewable energies, such as Law 14.300 or even Bill 624/2023, as these changes are vital to the sustainable development of cities. Furthermore, this improvement also helps mitigate the risk to the right of access to sunlight for distributed generation projects in general. Based on the developed Levelized Cost of Electricity (LCOE) simulation, it is possible to prove the financial feasibility of PFVAPM exclusively with private investment, where the benefits for the investor are presented in the form of reduced electricity tariffs, with an LCOE of 0.17 BRL/kWh. In this LCOE composition, benefits to poor citizens are included, such as an average monthly remuneration of around 50% of the minimum wage, training for the installation and maintenance of the PV system, among others. Additionally, an improvement is made to the LCOE calculation composition, where the investment in replacing inverters is planned within 10 to 20 years of the system's implementation. The presented conceptual proposition proves to be efficient and can also be adapted to other types of generation sources, as well as to other countries, provided that it is adapted to the realities of local laws.

Keywords: bibliometric analysis; photovoltaic projects; multidimensional poverty alleviation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Metodologia de Indicadores da PE na UE.....	19
Figura 2 - Número de publicações relacionadas ao PFVAP.....	24
Figura 3 - Número de publicações por país.....	25
Figura 4 - Rede de colaboração entre autores.....	27
Figura 5 - Rede de colaboração entre países.....	27
Figura 6 - Palavras-chave indexadas.....	28
Figura 7 - Palavras-chave do autor.....	29
Figura 8 - Conceitos associados com PE.....	32
Figura 9 - PE e as capacidades humanas.....	33
Figura 10 - Indicadores e benefícios dos PFVAP (continua).....	50
Figura 10 - Indicadores e benefícios dos PFVAP (continuação).....	51
Figura 10 - Indicadores e benefícios dos PFVAP (conclusão).....	52
Figura 11 - Etapas da metodologia proposta.....	54
Figura 12 - Fluxo do processo de RSL e AB.....	55
Figura 13 - Definição de critérios Quantitativos da revisão sistemática.....	56
Figura 14 - Resultado qualitativo- Indicação de prioridade de leitura.....	56
Figura 15 - Dimensões espaciais do PD de Fortaleza.....	59
Figura 16 - Divisão do Município em macrozoneamento urbano.....	61
Figura 17 - Classificação das atividades.....	62
Figura 18 - Parâmetros urbanos de Ocupação ZO.....	64
Figura 19 - Divisão dos bairros de Fortaleza com seus respectivos IDHs.....	67
Figura 20 - Altimetria das edificações na Barra do Ceará.....	68
Figura 21 - Altimetria edificações Meireles.....	69
Figura 22 - Altimetria edificações do Pirambu.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Países com alto IDH e coeficiente de Gini.....	18
Tabela 2 - Métricas de nível de periódicos internacionais (continua).....	25
Tabela 2 - Métricas de nível de periódicos internacionais (conclusão).....	26
Tabela 3 - Modelos de financiamento PFVAP (continua).....	40
Tabela 3 - Modelos de financiamento PFVAP (conclusão).....	40
Tabela 4 - Classificação das CE quanto a localização e o propósito.....	42
Tabela 5 - Requisitos de acesso à atividade, requisitos de medição, modelos de negócios e remuneração no Brasil, Alemanha, Portugal e Espanha (continua).....	44
Tabela 5 - Requisitos de acesso à atividade, requisitos de medição, modelos de negócios e remuneração no Brasil, Alemanha, Portugal e Espanha (conclusão).....	45
Tabela 6 - Modelos de negócio identificados na Alemanha.....	46
Tabela 7- Identificação dos 10 bairros com maiores e menores presença de energia elétrica domiciliar em Fortaleza.....	70
Tabela 8 - Identificação dos 10 bairros com maior e menor acesso à rede geral de água em Fortaleza.....	71
Tabela 9 - Identificação dos 10 bairros com maior e menor acesso à rede geral de esgoto ou pluvial.....	72
Tabela 10 – Ficha Técnica do Indicador (continua).....	83
Tabela 10 – Ficha Técnica do Indicador (conclusão).....	84
Tabela 11 – Ficha Técnica do Indicador Geração de Emprego (continua).....	84
Tabela 11 – Ficha Técnica do Indicador Geração de Emprego (conclusão).....	85
Tabela 12 – Ficha Técnica do Indicador Emissão de CO ₂ evitada (continua).....	85
Tabela 12 – Ficha Técnica do Indicador Emissão de CO ₂ evitada (conclusão).....	86
Tabela 13 – Ficha Técnica do Indicador percentual de investimento público x privado (continua).....	86
Tabela 13 – Ficha Técnica do Indicador percentual de investimento público x privado (conclusão).....	87
Tabela 14 – Premissas para realização do cálculo do CNE.....	88
Tabela 15 – Valor presente líquido dos custos totais do projeto.....	89
Tabela 16 – Previsão de geração de energia elétrica do sistema FV.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Análise Bibliométrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AVC	Avaliação do Ciclo de Vida
CAPEX	<i>Capital expenditure</i> (Custos de capital investido)
CEC	Comunidades de Energia Cidadã
CER	Comunidade de Energia Renovável
CNE	Custo Nivelado de Eletricidade
CPAD	Conselho para Alívio e Desenvolvimento da Pobreza
EM	Estados Membro
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de Efeito Estufa
I.A	Índice de Aproveitamento
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEPE	Indicador Europeu de Pobreza Energética
IPED	Indicador de Pobreza Energética Doméstica
IPET	Indicador de Pobreza Energética dos Transporte
IPM	Índice de Pobreza Multidimensional
IVA	Imposto sobre o Valor Agregado
KPIs	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicador de performance)
LIP	Linha Internacional de Pobreza
LpT	Programa Luz para Todos
LPUOS	Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	<i>Operational expenditure</i> (Custo operacional)
PDFOR	Plano Diretor Participativo de Fortaleza
PE	Pobreza Energética
PESAP	Programa de Energia Solar para Alívio da Pobreza

PEST	Política, Economia, Social e Tecnologia
PFVAP	Projeto Fotovoltaico para Alívio da Pobreza
PFVAMP	Projeto Fotovoltaico para Alívio Multidimensional da Pobreza
PME	Pequenas ou Médias Empresas
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPC	Poder de Paridade de Compra
PPP	Parceria Público-Privada
RIE-eq	Retorno do Investimento em Energia
RMB	Renminbi (moeda chinesa)
RN	Resolução Normativa
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
SFVBA	Sistemas Fotovoltaicos para Bombeamento de Água
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats</i> (Pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças)
T.O	Taxa de Ocupação
TER	Tempo de Retorno de Energia
TGEE	Taxa de Emissão de Gases de Efeito Estufa
TRC	Tempo de Retorno de Carbono
UE	União Europeia
ZEDUS	Zonas Especiais de Dinamização Urbanística e Socioeconômica
ZIA	Zona de Interesse Ambiental
ZO	Zona de Orla

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Motivação.....	18
1.2 Objetivos e Estrutura.....	21
2. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA (AB) – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
2.1 Tipos de documentos e idiomas.....	23
2.2 Características gerais dos documentos.....	23
2.3 País de origem.....	24
2.4 Padrões de publicação de periódicos e categorias de assuntos Scopus.....	25
2.5 Coautoria.....	26
2.6 Palavras-chave do autor e indexadas.....	27
3. PROJETO FOTOVOLTAICO PARA ALÍVIO DA POBREZA (PFVAP): ESTADO DA ARTE.....	31
3.1 Pobreza Energética (PE).....	31
3.2 Estudos de Caso de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil.....	35
3.3 Modelos de negócios e financiamento associados ao PFVAP: resultados e discussões.....	38
3.4 Avaliação PFVAP.....	48
4. METODOLOGIA.....	54
4.1 1ª Etapa - Revisão Sistemática da literatura (RSL) e Análise bibliométrica (AB).....	54
4.2 2ª Etapa – Integração entre os planejamentos energético e urbano.....	57
4.2.1 Título I - Ordenamento Territorial.....	59
4.2.2 Título II – Do Zoneamento Urbano.....	60
4.2.3 Título III – Do Parcelamento do Solo.....	61
4.2.4 Título IV – Do Uso e da Ocupação do Solo.....	61
4.3 3ª Etapa – Desenvolvimento de apoio financeiro a partir dos governos federais, estaduais, municipais, ONGs e investidores privados.....	64
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
5.1 Integração do planejamento urbano e energético: estudo de caso de Fortaleza.....	66
5.1.1 Barra do Ceará.....	67
5.1.2 Meireles.....	68
5.1.3 Pirambu.....	69
5.1.4 Condições domiciliares dos bairros de Fortaleza.....	70
5.2 Proposição de Regulamentação Premissas.....	72
5.3 Proposição de alteração no PL 624/2023.....	75
5.4 Metodologia de avaliação dos PFVAMP.....	83
5.5 Cenário técnico-financeiro de aplicação da proposição da tese.....	87
6 CONCLUSÃO.....	90
REFERÊNCIAS.....	93

1. INTRODUÇÃO

O Banco Mundial estima que, até 2030, 575 milhões de pessoas em todo o mundo possam entrar na pobreza em decorrência dos impactos causados pelas mudanças climáticas (ONU, 2023). Esse número é validado proporcionalmente com as estimativas disponíveis para o aumento da pobreza decorrente dos múltiplos efeitos associados à pandemia de coronavírus (COVID-19). A relação entre conflitos armados, mudanças climáticas e pobreza é definida pelo impacto econômico imediato, com influência direta e indireta nas condições de vida e bem-estar. Os impactos ambientais, como enchentes e secas prolongadas, também são fatores que contribuem para o aumento da pobreza (Jafino *et al.*, 2020).

Para a ONU, a pobreza envolve mais do que a falta de recursos e de rendimento que garantam meios de subsistência sustentáveis. A pobreza manifesta-se através da fome e da má nutrição, do acesso limitado à educação e a outros serviços básicos, da discriminação e da exclusão social, bem como da falta de participação na tomada de decisões (ONU, n.d.).

Tradicionalmente, a pobreza é medida com base na renda do indivíduo. A definição do valor da Linha Internacional de Pobreza (LIP) é um valor mínimo definido para a aquisição dos bens necessários para sustentar um adulto, expresso em dólares estadunidenses. Tal indicador é definido periodicamente pelo Banco Mundial e tem como uma das bases de cálculo o Poder de Paridade de Compra (PPC)¹. A última atualização no valor da LIP ocorreu em setembro de 2022, quando o Banco Mundial adotou o valor de US\$ 2,15 (World Bank, 2022). Assim sendo, conceituar a pobreza está diretamente relacionado à sua quantificação, por isso, um conceito de aplicação geral é tão desafiador, e até hoje não há consenso sobre o mesmo. Este desafio é corroborado pelas diversas abordagens que a pobreza pode ter (Machado Filho, 2017).

Considerando novas abordagens sobre pobreza, outros indicadores, além da LIP, foram desenvolvidos:

- Índice de Desenvolvimento Humano (IDH): é um indicador de país que leva em consideração três parâmetros: vida longa e saudável (medida pela expectativa de vida ao nascer); educação (medida pela taxa de alfabetização de adultos e taxa de

¹ O PPC é usado para comparações internacionais, mede quanto uma determinada moeda poderia comprar se não fosse influenciada pelas razões de mercado ou de política econômica que determinam a taxa de câmbio. Leva em conta, por exemplo, diferenças de rendimentos e de custo de vida. https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2146:catid=28&Itemid=23

escolarização bruta combinada do ensino primário, secundário e superior, bem como os anos de escolaridade obrigatória); e nível de vida (medido pelo PIB per capita com paridade do poder de compra em dólares dos Estados Unidos da América (EUA));

- Índice de Pobreza Multidimensional (IPM): adotado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), avalia várias privações que as pessoas experimentam em seu cotidiano, como saúde precária, educação insuficiente e baixo padrão de vida;
- Índice de Gini: avalia o grau de concentração de renda em determinado grupo. É a medida do desvio da distribuição de renda entre indivíduos ou famílias em um país em relação a uma distribuição perfeitamente igual. Um valor de 0 representa igualdade absoluta, enquanto um valor de 100 representa desigualdade absoluta (PNUD, 2020).

Apesar dos indicadores avaliarem os países, é importante destacar que, dentro de um mesmo país, os resultados dos índices podem variar imensamente para diferentes grupos étnicos (ONU, 2022).

A Agenda 2030 das Nações Unidas (ONU) reconhece a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, como o maior desafio enfrentado pela humanidade e um requisito indispensável para um desenvolvimento sustentável. Os 17 ODS são integrados e indivisíveis, visando alcançar e manter um equilíbrio entre as dimensões ambiental, econômica e social do desenvolvimento sustentável (ONU, 2022). O “ODS 1 – Erradicação da Pobreza” e o “ODS 7 – Energia Limpa e Acessível” estão significativamente correlacionados, uma vez que o consumo de energia é frequentemente utilizado como um indicador do nível de bem-estar das sociedades modernas. Portanto, a Pobreza Energética (PE) pode ser usada para identificar e caracterizar a pobreza; a falta de fornecimento de energia pode impactar o potencial de desenvolvimento econômico entre 1% e 2%, causando perdas efetivas (Molyneaux *et al.*, 2012; Mulugetta, Urban, 2010). Segundo o *World Energy Assessment* (UNDP, 2000), fornecer energia adequada e acessível é essencial para erradicar a pobreza, melhorar o bem-estar humano e a qualidade de vida pelos padrões mundiais (PNUD, 2019).

Nesse contexto, o uso da energia solar para reduzir a PE tem sido abordado desde 1985 (Gregson, 1995). Nos últimos anos, as pesquisas têm se concentrado no uso da geração FV

para contribuir com o alívio da pobreza (Piai *et al.*, 2020). Tais estudos investigam aspectos muito específicos: Eletrificação Rural (ER) e redução da PE (Diouf, Miezan, 2021; Obeng *et al.*, 2008; Yang, 2003); uso doméstico de energia solar (Liu *et al.*, 2018); relação entre PE e desenvolvimento econômico (Acharya, Sadath, 2019); métricas, escalas, perspectivas e limites da PE (Sareen *et al.*, 2020). Muitos estudos desenvolvem políticas de apoio à redução da PE utilizando plantas FV e avaliam o potencial de aquecimento solar passivo, entre outras aplicações (Liu *et al.*, 2019). Outras pesquisas, voltadas ao desenvolvimento de projetos, buscam determinar o tamanho e a localização ideais (Zhang *et al.*, 2019) e enfatizam a importância de focar nas regiões onde predomina a pobreza, sem considerar apenas as famílias de baixa renda. A maior parte dos estudos sobre este tema se concentra em zonas rurais ou é aplicada concomitantemente com outros projetos, como aquecimento e habitação social (Geall *et al.*, 2018).

Considerando as aplicações em regiões semiáridas, tem-se dado atenção significativa à escassez de água (Nobre *et al.*, 2019). A maioria dos estudos que visam validar os resultados desses projetos está relacionada aos impactos financeiros e indicadores ambientais (Han *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020) ou à avaliação da satisfação do usuário com tecnologias de energia renovável (Ding *et al.*, 2021; Mirza, 2015). Outro campo de pesquisa que associa o uso de tecnologias renováveis, especialmente FV, é o da redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e melhoria da qualidade do ar (Acosta-Pazmiño *et al.*, 2021; Brunet *et al.*, 2021; Papadopoulou *et al.*, 2019). Assim, os PFVAP têm sido aplicados em vários países e em diferentes escalas.

Apesar de os termos parecerem sinônimos, existem diferenças entre projetos de redução da PE, centrados no acesso à energia, e projetos de redução da pobreza, considerando suas múltiplas dimensões; o acesso à energia não garante a redução da pobreza local, embora seja uma relação coincidente (Sadath, Acharya, 2017). As privações multidimensionais são devidas à falta de acesso ou à falta de qualidade da energia acessada. A educação, a saúde e a criação de empregos devem ser consideradas numa abordagem integrativa, e não apenas as questões monetárias (Marchand *et al.*, 2019).

1.1 Motivação

De acordo com o *Human Development Report 2020* (PNUD, 2020), dentre os 66 países classificados com altíssimo desenvolvimento humano, o número 1 é a Noruega, com um IDH de 0,957 e um coeficiente de Gini² de 27. Alguns países classificados com alto IDH, como é o caso do Brasil e da China, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Países com alto IDH e coeficiente de Gini

Posição	País	IDH (2019)	Coeficiente de Gini
67	Trinidad e Tobago	0,796	-
69	Albânia	0,795	33,2
70	Cuba	0,783	-
72	Sri Lanka	0,782	39,8
73	Bósnia e Herzegovina	0,780	33,0
74	México	0,779	45,4
74	Ucrânia	0,779	26,1
78	Antígua e Barbuda	0,778	-
79	Peru	0,777	42,8
81	Armênia	0,776	34,4
82	Macedônia do Norte	0,774	34,2
83	Colômbia	0,767	50,4
84	Brasil	0,765	53,9
85	China	0,761	38,5
86	Equador	0,759	45,4

Fonte: (PNUD, 2020).

Na Tabela 1, é possível identificar a presença de países de continentes diversos, como Europa (Bósnia e Herzegovina), América Central (Cuba), Ásia (China) e América do Sul (Brasil). É importante destacar que um alto IDH não assegura um baixo nível de pobreza geral no país, uma vez que, para os casos com coeficiente de Gini maior ou próximo de 50, a condição de desigualdade na distribuição de renda representa a concentração da riqueza em somente metade da população.

Em relação à classificação da PE, a União Europeia (UE) apresenta grande maturidade quanto à mensuração e acompanhamento da evolução do processo de controle e

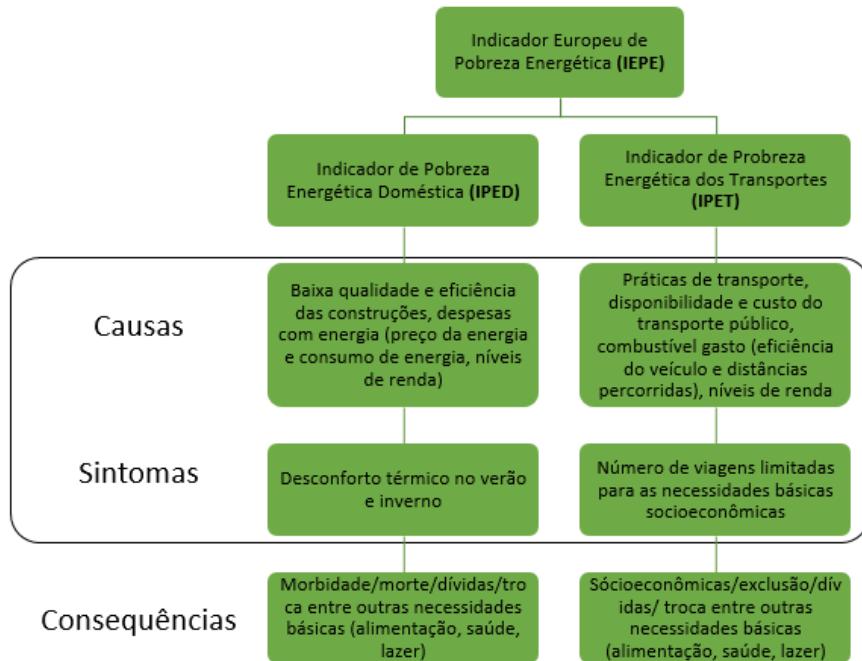
² Medida do desvio da distribuição de renda entre indivíduos ou famílias em um país de uma distribuição perfeitamente igual. Um valor de 0 representa igualdade absoluta, um valor de 100 desigualdade absoluta. <https://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2020.pdf>

redução da PE. Na Figura 1, é apresentada a metodologia utilizada para a definição dos indicadores e seus nexos.

O nível de detalhamento da metodologia mostra, além das causas, os sintomas causados pelo não atendimento a cada um dos indicadores. Como consequência do Indicador de Pobreza Energética Doméstica (IPED), podem ser geradas situações como morbidade, dívidas e troca entre outras necessidades básicas, como alimentação, saúde e lazer. No caso do Indicador de Pobreza Energética dos Transportes (IPET), destacam-se a exclusão e as dívidas.

No caso dos Estados Unidos da América (EUA), a definição formal para a PE também leva em consideração as questões relacionadas à eficiência térmica das edificações e o valor das contas de energia. O país tem uma lei específica para atendimento assistencial de energia para baixa renda desde 1994 (Bednar, Reames, 2020). A UE dispõe de uma plataforma específica com dados associados à PE que podem ser utilizados por interessados em entender, estudar e propor ações para o combate ou redução da pobreza energética (EERE, 2022). Ademais, a União conta com uma metodologia específica para a definição de indicadores da PE, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Metodologia de Indicadores da PE na UE



Fonte: Adaptado de Saheb *et al.* (2019).

No Brasil, a PE continua a ser abordada sob o aspecto do acesso, da disponibilidade, da dinâmica social ou dos efeitos das políticas nacionais para eliminar o uso de combustíveis tradicionais (Mazzone *et al.*, 2021; Poveda *et al.*, n.d.). Contudo, em 2003, o governo brasileiro iniciou o Programa Luz para Todos (LpT), com o objetivo de universalizar o acesso e o uso da energia elétrica, tendo como público-alvo famílias vulneráveis sem acesso à eletricidade. Em 2010, foi iniciado o programa de apoio ao acesso à energia elétrica por meio da “Tarifa Social de Baixa Renda”, regulamentada pela Lei nº 12.212/2010 e pela resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), cujo objetivo principal é ajudar as famílias de baixa renda a pagarem suas contas de energia por meio de descontos proporcionais, de acordo com o nível de consumo mensal de eletricidade. Ambos os projetos continuam em andamento no país.

Com o objetivo de caracterizar tais iniciativas, esta tese analisa padrões de publicação e tendências de pesquisa por meio de Análise Bibliométrica (AB), utilizando o VOSviewer. As investigações associadas ao PFVAP são classificadas considerando modelos de negócios e financiamento e avaliação de projetos; em seguida, os resultados são discutidos e são sugeridas recomendações para tendências futuras.

Considerando que a maioria das investigações sobre o PFVAP se concentra na associação entre o alívio da pobreza e os sistemas FV nas zonas rurais, e que as zonas urbanas têm melhores infraestruturas de água e abastecimento, a pobreza urbana está aumentando mesmo com a diminuição da pobreza rural (Ravallion *et al.*, 2007). Assim, identifica-se uma lacuna na aplicação de PFV em áreas urbanas de países com alto índice de Gini, visando reduzir a pobreza multidimensional, bem como uma integração sinérgica entre os planejamentos energético e urbano.

Como uma contribuição inovadora para o contexto do planejamento energético e urbano, esta proposta de tese sugere o desenvolvimento de políticas que promovam o estabelecimento de Projetos Fotovoltaicos para Alívio da Pobreza Multidimensional (PFVAPM) em áreas selecionadas da cidade, ocupadas por famílias de baixa renda, caracterizadas por edifícios baixos e altos níveis de radiação solar. Tais políticas podem obter apoio financeiro de instituições de desenvolvimento dos governos municipais, estaduais e federais, de Organizações Não Governamentais (ONGs), bem como de investidores privados, como a população de alta renda que vive em outras partes da cidade.

Considerando o contexto mencionado, destacam-se as seguintes linhas de pesquisa que necessitam de uma análise mais aprofundada:

- Aplicações de PFV distribuídos para o alívio da pobreza multidimensional (APM), indo além do acesso à eletricidade e da redução dos custos associados.
- Proposta de definição formal de comunidades energéticas para países com alto índice de Gini.
- Modelos de negócios/financiamento associados aos PFVAPM, que vão além da redução dos custos de energia elétrica e da compensação tarifária.
- Regulamentação do direito de acesso ao fluxo de energia em áreas urbanas, visando reduzir os riscos do PFVAPM.

1.2 Objetivos e Estrutura

A presente tese tem como objetivo geral propor o desenvolvimento de políticas que promovam o estabelecimento de PFVAP em áreas urbanas selecionadas de países com alto índice de Gini, ocupadas por famílias de baixa renda e residentes em construções baixas, com pouco sombreamento, que oferecem melhor acesso à irradiação solar.

Os objetivos específicos são:

- Analisar dados pertinentes aos projetos das comunidades energéticas da UE, por ser o bloco com legislação formalizada para a redução da pobreza energética desde 2009, e ter como resultados benefícios ambientais e sociais;
- Analisar a legislação existente sobre comunidades energéticas na UE, com o objetivo de identificar melhores condições regulatórias que possam ser aplicadas ao Brasil;
- Desenvolver cenários para a avaliação de impactos de médio e longo prazo, considerando a metodologia proposta;
- Analisar a dinâmica de interação dos diferentes atores dos PFVAPM, levando em consideração os possíveis cenários para a redução da pobreza.

A Tese está estruturada da seguinte forma: o Capítulo 1 apresenta a motivação e os objetivos da Tese; no Capítulo 2, são apresentados os resultados obtidos da AB, a identificação das tendências e as lacunas referentes ao tema; no Capítulo 3, é apresentado o estado da arte dos

PFVAPM quanto aos países que os utilizam, os modelos de negócios e financiamentos, bem como as metodologias de avaliação e indicadores relacionados; a metodologia, com a apresentação dos métodos de coleta de dados e a criação de cenários para a formulação das políticas públicas sobre PFVAPM desenvolvidas, é apresentada no Capítulo 4; os resultados e discussões são apresentados no Capítulo 5; por fim, as conclusões são detalhadas no Capítulo 6; as referências são apresentadas na sequência.

2. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA (AB) – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta os resultados da AB realizada, com o objetivo principal de identificar as lacunas e as tendências de pesquisa mais relevantes no setor de estudo. A análise busca subsidiar e complementar a Revisão Sistemática da Literatura (RSL).

2.1 Tipos de documentos e idiomas

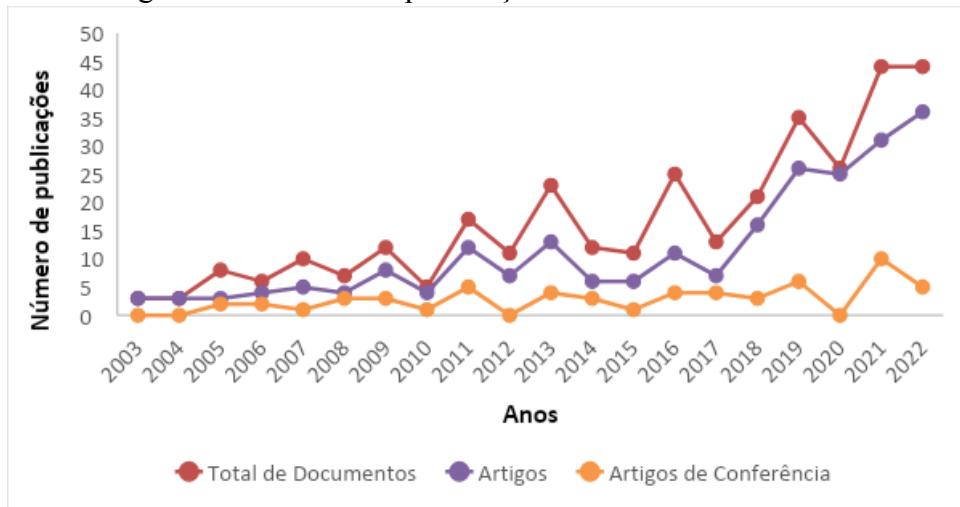
Para a AB em questão, foi utilizada a base de dados da Scopus, com um total de 336 documentos identificados de acordo com os critérios de seleção estabelecidos para a revisão bibliométrica. Essas publicações são classificadas em cinco tipos: artigos de periódicos (230 trabalhos – 68,5%), artigos de conferências (57 trabalhos – 17%), capítulos de livros (24 trabalhos – 7,1%), revisões (20 trabalhos – 6%), revisões de conferências/notas (2 trabalhos cada – 1,1%) e livros (1 livro – 0,3%). Vale ressaltar que não foram identificadas publicações duplicadas.

Artigos de periódicos e artigos de conferências foram selecionados para análise posterior, uma vez que a base de dados Scopus oferece a opção mais abrangente de download com base em parâmetros bibliométricos. Quanto ao idioma de publicação, 327 documentos estão escritos em inglês, enquanto nove estão em chinês e um em espanhol.

2.2 Características gerais dos documentos

Considerando a base de dados obtida a partir da busca bibliográfica, a Figura 2 mostra o número total de publicações por ano relacionadas ao tema PFVAP, bem como as variações ao longo dos anos. Observa-se um crescimento no número de publicações ao longo do tempo, passando de apenas três publicações em 2003 para 44 em 2022. A ênfase é dada aos artigos de periódicos, cujo número aumentou de três em 2003 para 36 em 2022.

Figura 2 - Número de publicações relacionadas ao PFVAP



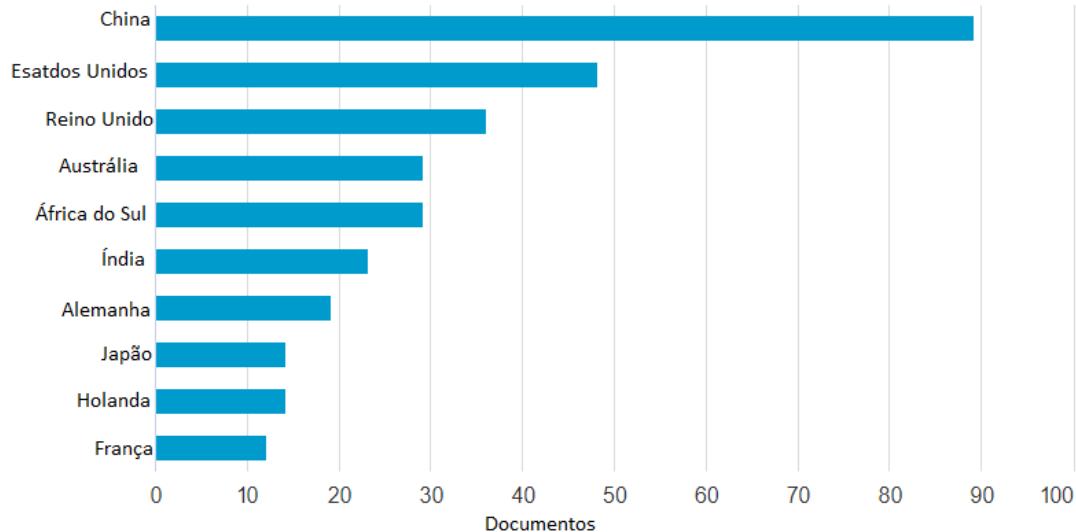
Fonte: Base de dados Scopus.

2.3 País de origem

Os países de origem das publicações estão apresentados na Figura 3. A China destaca-se com um total de 90 publicações, enquanto os EUA ocupam a segunda posição, com 48 publicações. O grande número de publicações da China pode estar relacionado ao fato de que, em 2014, a Administração Nacional de Energia da China (NEA) e o Escritório do Grupo Líder do Conselho para Alívio e Desenvolvimento da Pobreza (CPAD) emitiram políticas conjuntas que deram início ao Programa de Energia Solar para Alívio da Pobreza (SEPAP) (Geall, Shen, 2017).

Nos EUA, as publicações analisadas abordam uma variedade de temas, desde a eletrificação solar e seu impacto social (Jacobson, 2007) até a associação de energia de baixo custo e baixo carbono em áreas rurais (Casillas, Kammen, 2011). É importante destacar que uma parcela significativa das publicações por país está relacionada a estudos científicos aplicados a outros países (Boller *et al.*, 2017; Gray *et al.*, 2019; Weaver, 2006).

Figura 3 - Número de publicações por país



Fonte: Base de dados Scopus.

2.4 Padrões de publicação de periódicos e categorias de assuntos Scopus

Para uma frequência de pelo menos cinco documentos publicados, foram identificadas um total de 202 fontes diferentes. A revista Energy Policy tem o maior número de publicações no período, com 26; Energy for Sustainable Development compreende 14 documentos, seguida por Sustainability Switzerland com 11 documentos; Energy e Renewable Energy têm, cada uma, um total de nove documentos. Na Tabela 2, é mostrada a posição dos periódicos citados de acordo com as métricas de categoria e nível, referentes ao ano de 2022 e coletadas diretamente do site Scopus.

Tabela 2 - Métricas de nível de periódicos internacionais (continua)

Fonte	Rank	Categoria	Cite Score	Percentil mais alto	SNIP	SJR
<i>Energy Policy</i>	11/379	Gestão, Monitoramento, Política e Legislação	12.4	97%	2.034	2.126
<i>Energy for Sustainable Development</i>	38/125	Energias Renováveis, Sustentabilidade e Meio Ambiente	9.8	82%	1.802	1.44
<i>Sustainability</i>	58/215	Energias Renováveis, Sustentabilidade e Meio Ambiente	5	58%	1.310	0.664

Tabela 2 - Métricas de nível de periódicos internacionais (conclusão)

Fonte	Rank	Categoria	Cite Score	Percentil mais alto	SNIP	SJR
<i>Energy</i>	22/215	Energias Renováveis, Sustentabilidade e Meio Ambiente	13.4	90%	2.038	2.041
<i>Renewable Energy</i>	21/215	Energias Renováveis, Sustentabilidade e Meio Ambiente	13.6	90%	2.108	1.877

Fonte: Adaptado de Scopus (n.d.).

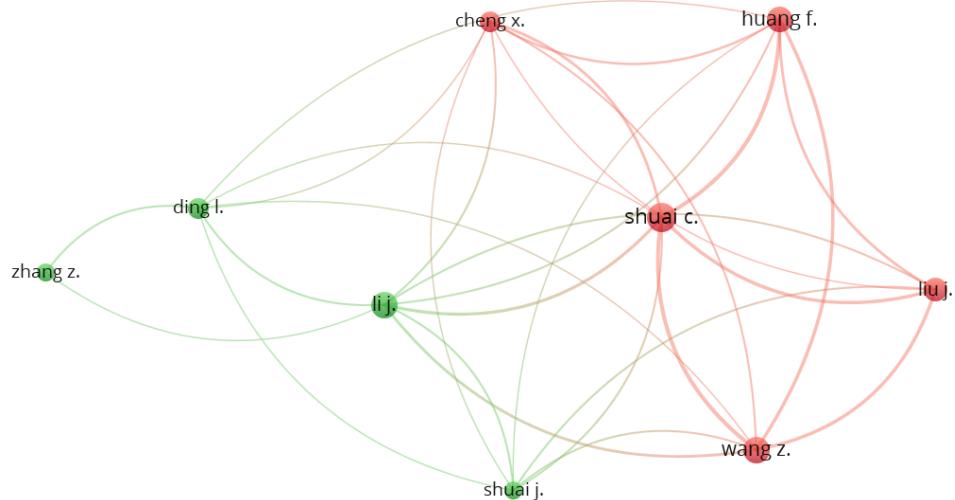
É possível identificar na coluna de classificação que três dos periódicos estão entre os 25 primeiros em sua categoria. É o caso de *Energy Policy*, que ocupa a 11^a posição entre 379 periódicos.

Além disso, são analisadas as características das publicações em termos de número Total de Publicações (TP), Número de Autores (NA) e relação NA/TP. O TP aumenta significativamente em 2011 (17 publicações e 43 autores associados) e entre 2016 e 2022, quando as publicações representam 61,9% do total do período. Também entre 2016 e 2022, observa-se um aumento expressivo no NA: de 65 em 2016 para 125 em 2022. O aumento de NA e TP denota uma intensa colaboração entre especialistas no tema.

2.5 Coautoria

Na Figura 4, é mostrado o agrupamento dos principais autores na pesquisa sobre PFVAP com base nas relações de coautoria. Há um total de 12 colaborações entre os autores. Essas redes apresentam frequências maiores ou iguais a quatro. O tamanho de cada círculo representa o número de artigos publicados sobre o assunto, enquanto as cores denotam possíveis agrupamentos com base no número de colaborações entre autores distintos. A espessura da linha de conexão entre dois círculos corresponde à força do vínculo.

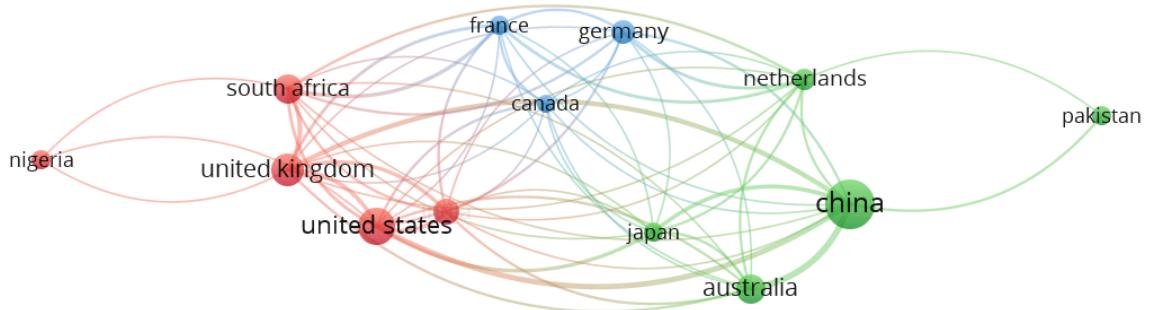
Figura 4 - Rede de colaboração entre autores



Fonte: VOSviewer.

Na Figura 5, são apresentadas as relações entre os países, destacando a liderança da China e dos EUA em número de publicações. Quanto ao número de citações de documentos de um determinado país, o Reino Unido se destaca com um total de 2.353 citações, seguido pela China com 1.326 citações. Essas redes apresentam frequências maiores ou iguais a 10.

Figura 5 - Rede de colaboração entre países



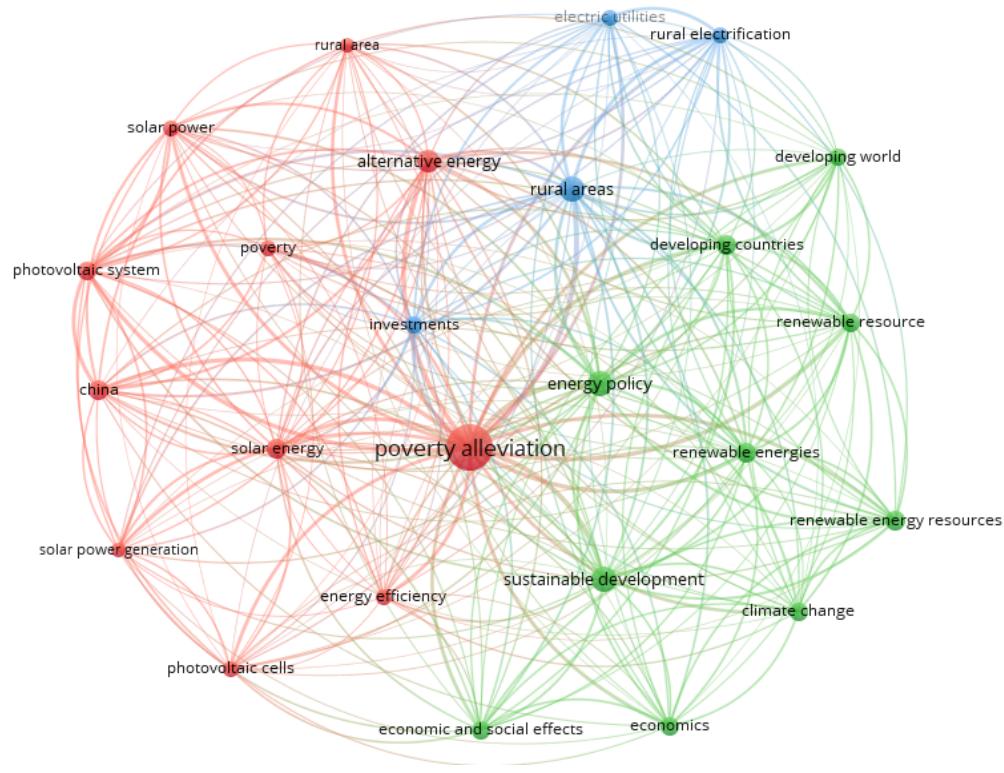
Fonte: VOSviewer.

2.6 Palavras-chave do autor e indexadas

As palavras-chave indexadas com frequências maiores ou iguais a 20 são classificadas, e um grupo de palavras-chave é listado na Figura 6. Um total de 25 palavras-chave indexadas foi identificado. A mais representativa é “alívio da pobreza”, com um total de 79 ocorrências. A segunda é “zona rural”, com 57 ocorrências. Isso corrobora o fato de que

inicialmente o PFVAP era destinado a aplicações em áreas rurais. Outros temas identificados incluem investimento, efeitos econômicos e sociais, desenvolvimento sustentável e edifícios solares.

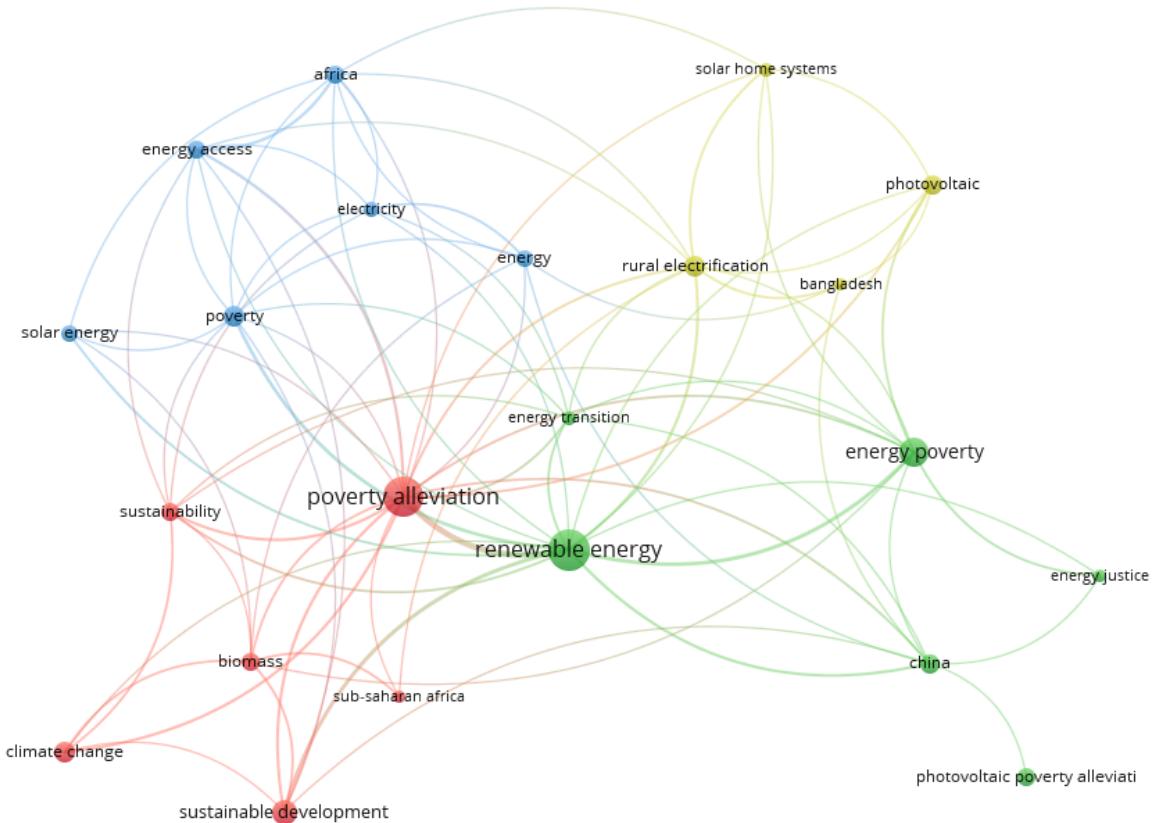
Figura 6 - Palavras-chave indexadas



Fonte: VOSviewer.

No caso das palavras-chave dos autores, são consideradas frequências maiores ou iguais a cinco. Conforme a Figura 7, a palavra-chave mais representativa é “energia renovável”, com um total de 47 ocorrências, seguida por “alívio da pobreza”, com 46 ocorrências, e “pobreza energética”, com 23 ocorrências.

Figura 7 - Palavras-chave do autor



Fonte: VOSviewer.

Como conclusões parciais do presente capítulo, destacam-se:

- “Alívio da pobreza” é um termo comum tanto nas palavras-chave indexadas quanto nas palavras-chave dos autores, correspondendo a uma representação de 7,68% e 5,08%, respectivamente. Considerando o tipo de fonte de energia utilizada, destaca-se a energia solar, especificamente “fotovoltaica”, com variações como “PV” e “sistema fotovoltaico”.
- São identificadas variações de palavras-chave como “energia solar”, “PV”, “PV solar” e “sistema(s) solar(es) doméstico(s)”.
- A frequência das palavras-chave evidencia os principais campos da pesquisa e denota possíveis linhas para trabalhos futuros. Algumas palavras aparecem tanto nas palavras-chave indexadas quanto nas palavras-chave dos autores, como “desenvolvimento sustentável”, “mudanças climáticas” e “eletrificação rural”, destacando assim a tendência da pesquisa.
- A biomassa surge como a segunda fonte de energia renovável relevante.

Em relação às palavras-chave indexadas, é importante destacar a presença de termos como “área rural”, “eletrificação rural” e “redes de transmissão de energia elétrica”. Esse aspecto indica que o principal objetivo desta linha de pesquisa ainda é garantir o abastecimento de energia, ao mesmo tempo em que possibilita a redução da pobreza energética rural. Embora “países em desenvolvimento” apareça como uma palavra-chave indexada, também é um termo comum encontrado entre as palavras-chave dos autores. Nesse sentido, pode-se identificar países subdesenvolvidos, como a África Subsaariana e Bangladesh, como sujeitos de pesquisa, sendo este último considerado um dos países menos desenvolvidos, segundo a ONU.

A AB possui algumas limitações importantes que devem ser observadas, como as relacionadas à base de dados escolhida, à formatação das strings de busca com o uso de operadores booleanos e à definição da frequência de ocorrência associada aos itens utilizados no VOSviewer, entre outros problemas. Por exemplo, outras fontes de energia, como a eólica e a dendroenergia³, são mencionadas nesta pesquisa, mas são identificadas apenas no estudo do estado da arte, realizado a partir do mesmo banco de dados usado pelo VOSviewer. Além disso, conforme identificado na SLR, um dos grandes problemas relacionados à implantação do PFVAP é o financiamento para moradores de baixa renda. O termo mais próximo encontrado na bibliometria, na forma de palavra indexada, é “investimento”.

³ Definida como a energia obtida a partir da biomassa da madeira, que corresponde por 87% da bioenergia consumida mundialmente (Santos *et al.*, 2016).

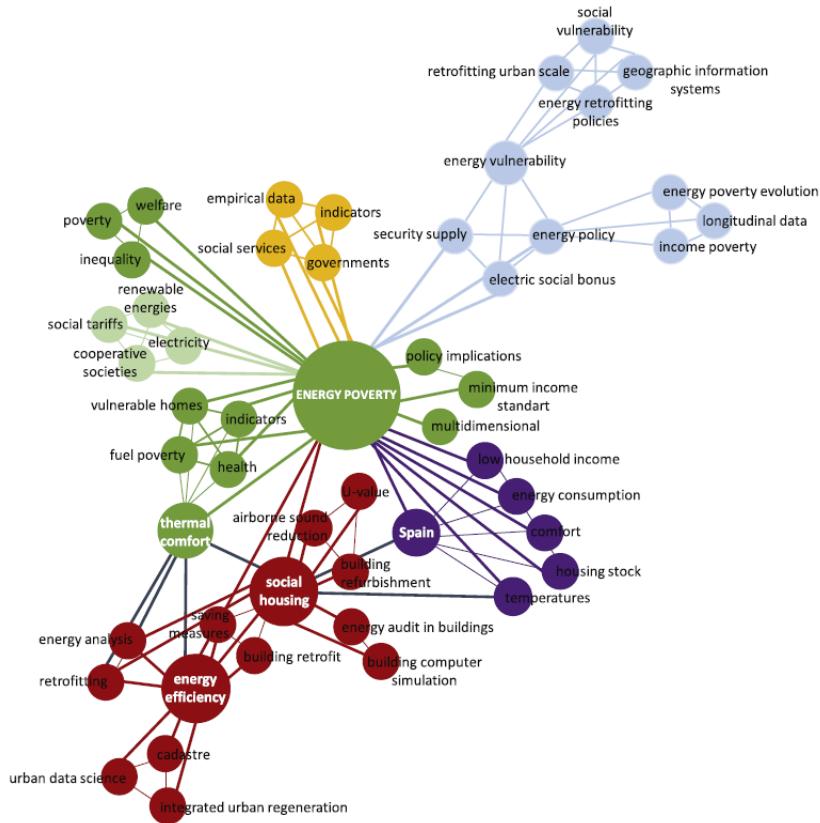
3. PROJETO FOTOVOLTAICO PARA ALÍVIO DA POBREZA (PFVAP): ESTADO DA ARTE

O estado da arte sobre PFVAP é apresentado neste capítulo para ratificar e complementar os resultados obtidos na AB. O capítulo explora as principais linhas de pesquisa, divergências, conclusões e tendências, contribuindo diretamente para o desenvolvimento dos objetivos específicos e, consequentemente, para o objetivo geral da tese.

3.1 Pobreza Energética (PE)

O conceito de PE surgiu em 1991 no livro de Boardman (Moore, 2012), sendo entendido como a situação vivida por algumas famílias em diversos países, cujo bem-estar é afetado pelo baixo consumo de energia devido a fatores financeiros e ambientais, tanto em suas residências quanto em seu ambiente sociopolítico. A PE também é definida como a impossibilidade de escolher serviços energéticos em termos de confiabilidade, qualidade, segurança e proteção ambiental, em condições econômicas que apoiem o desenvolvimento econômico e social de famílias e indivíduos (González-Eguino, 2015). Além disso, um novo conceito relacionado à PE está associado a três áreas na Espanha (Uche-Soria; Rodríguez-Monroy, 2020). Os conceitos relacionados à PE são mostrados na Figura 8.

Figura 8 - Conceitos associados com PE

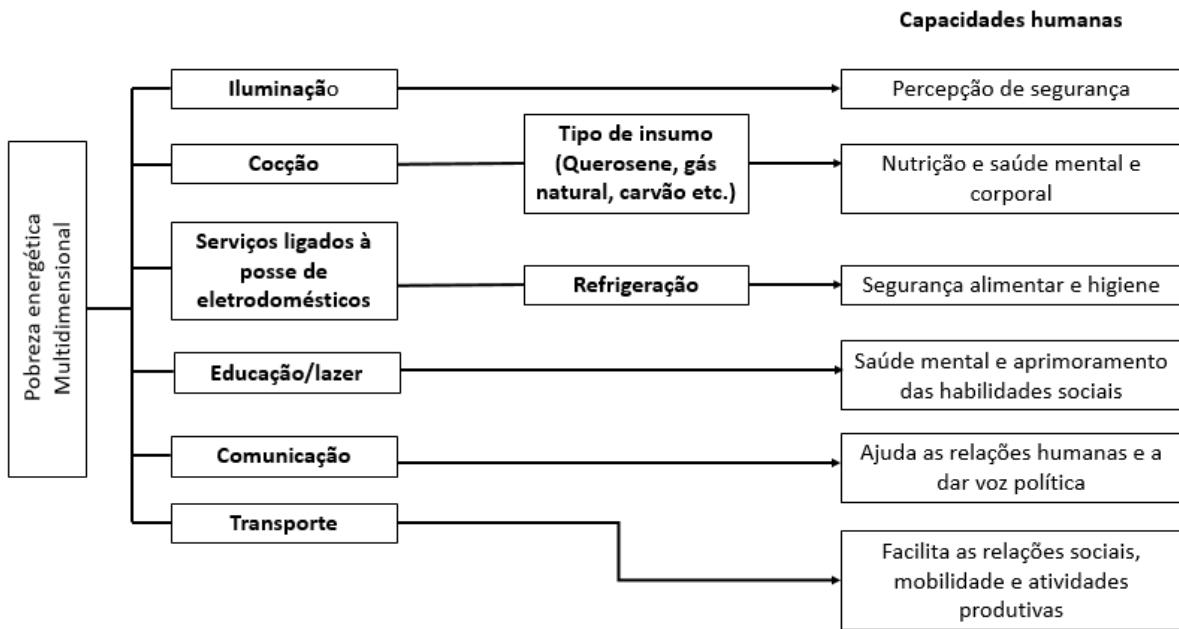


Fonte: Uche-Soria e Rodríguez-Monroy (2020).

Os círculos verdes representam a PE, diretamente associada à pobreza em geral, à renda mínima e às questões de saúde; os círculos vermelhos estão associados à habitação social subsidiada e à eficiência energética nos edifícios; os círculos azuis estão associados à vulnerabilidade energética, centrando-se na garantia do acesso à energia em termos econômicos e de saúde, e considerando questões interligadas e dependentes de políticas públicas; os círculos amarelos, que são mais difíceis de categorizar, representam, por exemplo, o papel da governança.

De maneira semelhante, Mazzone *et al.* (2021) correlacionam as questões da PE com as capacidades humanas e, consequentemente, com a condição de pobreza multidimensional. Conforme ilustra a Figura 9, para cada serviço suprido pela energia há um impacto direto nas capacidades humanas. Por exemplo, a iluminação pública tem um impacto direto na percepção de segurança, e a aquisição ou posse de equipamentos eletrodomésticos está relacionada à condição de saúde e à higiene alimentar.

Figura 9 - PE e as capacidades humanas



Fonte: Mazzone *et al.* (2021).

Questões relacionadas à saúde, ao empoderamento das mulheres e à formação educacional são aspectos relevantes associados ao uso de energias renováveis, especialmente a solar (Gray *et al.*, 2019; MacLachlan *et al.*, 2017). No entanto, outras fontes de energia também foram avaliadas no contexto de projetos de alívio da pobreza (Galvão *et al.*, 2020; Yadoo; Cruickshank, 2012). Por exemplo, no Nepal, a política de desenvolvimento de biomassa e a política de investimento estrangeiro são utilizadas para o desenvolvimento de soluções de energia renovável aplicadas a projetos rurais. Destacam-se a biomassa (biogás e fogões melhorados), as tecnologias solares (FV, fogões solares, esquentadores e secadores) e a Micro-hídrica (MH), com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento rural e na redução da pobreza (Ojha, 2003).

A influência dos subsídios relacionados ao sistema solar doméstico na redução da pobreza rural é analisada por T. Li *et al.* (2018). No Nordeste da Inglaterra, é proposta uma avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida da geração FV ligada à rede, centrando-se em questões técnico-econômicas, ambientais e sociais (T. Li *et al.*, 2018). As conexões entre a geração FV e a redução da pobreza são investigadas, juntamente com a renda, a aceitação social da tecnologia e a acessibilidade, em Bangladesh (Meah; Ali, 2019). Os fatores que afetam a escolha das fontes de energia pelas famílias são analisados por Liu e Bah (2021).

Os elevados custos dos serviços energéticos tradicionais determinam a vontade dos agregados familiares pobres da África Subsariana de pagarem por diferentes tipos de acesso à eletricidade, incluindo redes de baixo custo e tecnologias fora da rede (Sievert; Steinbuks, 2020). Também na África, uma investigação em zonas rurais da Serra Leoa mede a percepção dos beneficiários locais de dois miniprojetos solares ligados à rede, relativamente ao potencial de exploração de energias renováveis, ao envolvimento comunitário e à redução da pobreza (Liu; Bah, 2021). Um estudo de caso realizado na Espanha em 2018 visa avaliar os benefícios da exploração do potencial FV das coberturas para cobrir parte do consumo de eletricidade do distrito, reduzindo as faturas de energia e utilizando o excedente de eletricidade para fornecer energia às bombas de calor (Romero Rodríguez *et al.*, 2018).

Considerando o contexto brasileiro, muitos projetos no semiárido visam garantir o acesso à água potável, tornar sua disponibilidade mais eficiente ou reduzir o impacto nas mudanças climáticas (Padilha Campos Lopes *et al.*, 2020; Reges *et al.*, 2021). A análise de viabilidade associada a tais projetos normalmente considera cinco questões principais: acessibilidade, custos de eficácia, aspectos financeiros, impactos ambientais e redução da pobreza (Baurzhan; Jenkins, 2016).

A acessibilidade está associada à condição *on-grid* ou *off-grid* dos sistemas instalados, impactando diretamente a efetividade dos custos relacionados à implantação, operação e manutenção; tal aspecto também é de grande relevância na determinação do CNE. A análise de viabilidade de sistemas FV considera principalmente o nível de radiação solar, mas aspectos técnicos relacionados à tipologia do sistema, seja na rede ou fora da rede, influenciam as análises sobre a distância às estradas e ao acesso às redes elétricas (Maleki *et al.*, 2017).

Enfatiza-se a importância dos projetos prioritários nas zonas rurais, considerando que as zonas urbanas normalmente já têm um melhor acesso à água e à energia. No entanto, de acordo com Ravallion *et al.* (2007), embora a pobreza rural esteja em declínio, a pobreza urbana está aumentando. Portanto, o critério precisa ser reavaliado, incluindo o crescimento dos assentamentos urbanos informais e dos moradores de rua. Adicionalmente, riscos de inundações, terremotos e a garantia de acesso ao fluxo solar são aspectos que devem ser considerados na análise de viabilidade.

3.2 Estudos de Caso de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil

3.2.1 Sistemas Fotovoltaicos para Bombeamento de Água (SFVBA)

Sistemas Fotovoltaicos para Bombeamento de Água (SFVBA) foram o tema da tese de Dominique Campana em 1973. No entanto, a primeira aplicação prática de tais sistemas só foi relatada em 1977 no Mali, no projeto denominado Mali Aqua Viva (Fedrizzi, 2003). O projeto reduziu os impactos da seca e motivou a implantação de usinas similares em países europeus. Como consequência, o primeiro projeto comercial foi implementado na Córsega, França, em 1978.

Entre 1979 e 1981, os SFVBA foram instalados com o apoio do PNUD, do Banco Mundial (BM) e do Grupo de Desenvolvimento de Participação Intermediária Tecnológica, com o objetivo de avaliar o desempenho de plantas entre 100 e 300 Wp para irrigação em áreas rurais do Mali, Filipinas e Sudão. A partir deste projeto-piloto, foram identificadas questões importantes: o grande potencial de aplicação em áreas rurais e a necessidade de melhorar a confiabilidade dos equipamentos e reduzir os custos associados. Após esses projetos pioneiros, um programa de cooperação foi iniciado em 1990, envolvendo a Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) e sete países (Argentina, Brasil, Indonésia, Jordânia, Filipinas, Tunísia e Zimbábue), visando avaliar o custo real e a maturidade dos sistemas (Fedrizzi, 2003).

No Brasil, o estado do Ceará (região semiárida) foi selecionado para a implementação do projeto, envolvendo 15 pequenas comunidades rurais. Para reduzir dificuldades relacionadas à manutenção e à aquisição de dados, todos os locais foram escolhidos num raio de 150 km de Fortaleza, capital do Ceará. Além disso, também eram obrigatórias as seguintes condições: poços com vazão mínima de 1,2 m³/h; presença de rede elétrica até 6 km dos locais; comunidade local com uma escola e/ou posto de saúde; a água deveria servir a uma comunidade e não a um agricultor específico; e a comunidade deveria demonstrar vontade de aderir ao projeto. Os sistemas foram equipados com bombas centrífugas multiestágios de três tamanhos diferentes para atender à altura manométrica e à vazão exigidas de cada local; as bombas foram acopladas a motores assíncronos conectados a inversores (Aragão *et al.*, 1994). As potências nominais das plantas FV foram: 700 Wp (total de 11 unidades), 800 Wp (3 unidades), 1050 Wp e 1200 Wp; cada módulo FV tinha uma potência de 50 Wp. Um total de cinco plantas foram equipadas com

dataloggers para medição de corrente e tensão CC, irradiação solar, vazão da bomba e nível dinâmico de água. As seguintes grandezas foram calculadas a partir de tais variáveis: potência FV, altura manométrica, potência hidráulica, eficiência FV e eficiência geral do sistema.

Os resultados mostraram que a maioria das bombas era ligeiramente superdimensionada, operando em uma faixa operacional baixa (Aragão *et al.*, 1994). A eficiência do sistema variou entre 1,5% e 3,5%; a eficiência FV ficou em torno de 11,59%, e nenhuma degradação foi observada. Em alguns locais, o consumo de água foi muito inferior ao estimado devido à baixa aceitação da água de poços profundos, que tem sabor diferente da água rasa de lagos ou rios devido ao seu conteúdo mineral. No aspecto social, a subestimação da cultura local em alguns locais foi um ponto fraco do projeto, uma vez que o não envolvimento da comunidade local, desde o processo de concepção dos projetos até a sua entrada em operação, pode ter contribuído para o desinteresse ou falta de sentimento de pertencimento da comunidade em relação ao projeto.

Após identificar esses problemas, um grupo de sociólogos desenvolveu atividades visando integrar o projeto à comunidade. Assim, ao observar a cultura e os hábitos, e ao mesmo tempo identificar os formadores de opinião nas comunidades, o nível de aceitação dos sistemas pode ser alterado. Como consequência das atividades desenvolvidas, relacionadas à saúde, higiene e alimentação, observou-se uma redução no número de crianças com problemas intestinais, devido ao uso de água adequada e às ações de higiene. Uma cartilha de capacitação foi utilizada nas escolas da comunidade, visando buscar aceitação por meio das crianças, já que parte da população adulta era analfabeta.

Adicionalmente, foi realizada uma análise de custo-efetividade para avaliar o projeto rural no Ceará, comparando bombas solares, eólicas, a diesel e elétricas convencionais, considerando as seguintes condições: janela de tempo de 15 anos; taxa de juros anual de 12%; ausência de valor residual e avaliação dos custos associados à instalação de SFVBA com base no mercado nacional. Conforme os resultados, os SFVBA caracterizam-se por um baixo custo operacional e um elevado investimento, representando uma opção econômica se a ligação à rede mais próxima estiver a apenas 7 km do local.

Algumas variáveis também influenciam o desempenho: operação sem intervenção humana; conservação ambiental; aceitação pela população e outros custos relacionados aos serviços, como melhoria das condições de saúde e de vida (Aragão *et al.*, 1994). Quase três

décadas após a conclusão do programa GTZ, as vantagens e desvantagens do envolvimento comunitário nos resultados dos SFVBA continuam em estudo. Outro ponto a ser considerado é o apoio requerido pela comunidade após a implantação desses projetos para manter o sistema operacional (Short; Oldach, 2003).

3.2.2 Projetos Fotovoltaicos Ilha das Cinzas (Amazônia) e Revolusolar (Rio de Janeiro)

Dentre os projetos realizados por ONGs, destacam-se os projetos de energia na comunidade Ilha das Cinzas, no Pará, e o Revolusolar: revolução solar nas favelas do Rio de Janeiro. Ambos são projetos vanguardistas nas questões de uso de energia FV para a redução da pobreza (Biswas *et al.*, n.d.).

A comunidade da Ilha das Cinzas, localizada na Amazônia brasileira, é composta por 50 famílias. Destas, 10 possuem sistemas solares instalados em suas casas, mas os sistemas não funcionam corretamente e, por conseguinte, as famílias continuam dependentes de sistemas de geração a diesel que, além de terem altos custos operacionais, trazem grandes impactos ambientais.

Como forma de mitigar esse problema, foi desenvolvido o projeto "Energia solar para a soberania alimentar das famílias ribeirinhas". Os principais objetivos deste projeto são:

- Readequação e assistência técnica aos sistemas solares já instalados na comunidade (10 famílias);
- Projeto e instalação de 40 sistemas solares adicionais para as famílias que ainda dependem de geradores a gás. Estes sistemas serão utilizados para necessidades básicas, bombeamento de água e/ou produção, como irrigação e fertilização (com esgoto tratado) de plantações de açaí, além do processamento do açaí com batedeiras elétricas;
- Reforço das capacidades dos membros da comunidade, especialmente mulheres e jovens, para a instalação, operação e manutenção das instalações solares;
- Promoção do intercâmbio de experiências com outras comunidades.

O projeto foi concebido com o intuito de melhorar a qualidade de vida das 50 famílias que vivem na comunidade, que é reconhecida como solidária e inclusiva: A Ilha das

Cinzas já é conhecida na região como um modelo comunitário de solidariedade e inclusão, superando os desafios locais.

Por outro lado, o projeto Revolusolar: revolução solar nas favelas do Rio de Janeiro teve como objetivo a criação da primeira cooperativa de energia solar numa favela do Brasil. O objetivo desse projeto é, com a criação da cooperativa, atender às demandas energéticas dos moradores das favelas Babilônia e Chapéu Mangueira, mitigando os problemas recorrentes de apagão, preço elevado e qualidade da eletricidade nessas localidades. Além disso, busca corrigir o sentimento de injustiça e impotência social dos moradores.

O projeto foi iniciado em 2021, com o objetivo de atender a 35 famílias das duas comunidades. O engajamento dos moradores foi realizado com base em um método desenvolvido chamado Ciclo Solar, que envolve, além das instalações, a formação profissional de instaladores solares, educação ambiental para crianças e jovens, formação de uma equipe local capaz de instalar e manter os sistemas, e manutenção dos sistemas de forma a garantir a vida útil do projeto, bem como a criação de autonomia local.

O Revolusolar associa ainda essa metodologia à capacidade de geração de empregos, uma vez que qualifica os moradores para o mercado crescente de energia solar FV. Ademais, com a geração própria de energia FV, os beneficiários da cooperativa podem economizar até 90% dos gastos com energia, permitindo reinvestimento em lazer, cultura e educação. O projeto democratiza o acesso à energia limpa, reduz o uso de combustíveis fósseis, contribui para a descarbonização e promove ações educativas e socioambientais.

3.3 Modelos de negócios e financiamento associados ao PFVAP: resultados e discussões

A geração FV, como recurso distribuído, apresenta riscos diretamente associados à falta de uma definição clara dos direitos de propriedade dos telhados, aos riscos relacionados às políticas de geração e acesso às redes de distribuição, e às incertezas quanto à rentabilidade (Luo *et al.*, 2016; Vermeylen, 2010). O uso da análise estratégica política, econômica, social e tecnológica – pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças (PEST-SWOT) – permite identificar as internalidades (pontos fortes e fracos) e as externalidades (oportunidades e ameaças) da geração FV, incluindo aspectos políticos, econômicos, sociais e tecnológicos (Hou *et al.*, 2019).

Assim, considerando que os PFVAP são direcionados principalmente à população de baixa renda, a necessidade de recursos para investimentos iniciais, associada ao longo prazo de retorno do investimento, torna as condições de financiamento um grande desafio e/ou barreira. Por isso, o primeiro passo é determinar quanto cada família pode investir e por quanto tempo consegue manter o investimento, além de saber se está disposta a fazê-lo. O segundo passo é decidir se os dados coletados anteriormente são viáveis para os investidores (Nduka, 2021); as respostas a essas perguntas podem restringir a implementação do PFVAP.

Vários modelos de financiamento para PFVAP foram testados ao longo dos anos: modelos de microcrédito, banco de aldeia e Parceria Público-privada (PPP) são exemplos apresentados na Tabela 3, com suas vantagens e desvantagens. Um estudo comparativo foi realizado, utilizando modelos de jogos dinâmicos para as seguintes modalidades de financiamento: 1) contribuição do governo para todas as despesas de capital, 2) fundos de alívio da pobreza mais empréstimos para famílias pobres, e 3) fundos de alívio da pobreza mais investimentos de empresas fotovoltaicas. O terceiro tipo de investimento trouxe os melhores resultados em termos de rendimento e redução da pobreza (Zhang *et al.*, 2018). Portanto, para motivar a participação de empresas no PFVAP, são propostas quatro estratégias: 1) concessão de cotas para projetos FV voltados à construção de usinas comerciais; 2) uso de estratégias de PPP ou de construir-operar-transferir (COT); 3) permissão para que empresas FV emitam títulos ou utilizem investimentos fiduciários; 4) fornecimento de suporte técnico às empresas FV para reduzir os custos envolvidos. Outra estratégia que permite às unidades FV rurais gerarem receitas independentes é criar um padrão de negociação de resposta à demanda baseado em preços para propriedades rurais, a fim de melhorar as receitas de vendas e o consumo local (Tu *et al.*, 2020).

Os governos desempenham um papel importante na formulação do PFVAP, uma vez que são frequentemente as principais fontes de investimento inicial e de políticas de incentivo (subsídios, redução de impostos, entre outros). Por exemplo, os locais para instalação do PFVAP na China foram determinados com base na classificação regional de acordo com os níveis de irradiação solar. A tarifa de referência de energia das usinas FV provinciais variou de acordo com as categorias de área de recursos, de 0,1 USD a 0,13 USD. Considerando as horas de luz solar e a capacidade instalada para estimar a geração de receitas, os subsídios estatais de 0,07 USD representaram cerca de 50% das receitas provenientes da venda de eletricidade (Zhang *et al.*, 2021).

Tabela 3 - Modelos de financiamento PFVAP (continua)

Referência	Modelo de Negócio	Vantagens	Desvantagens
(Wahidul K Biswas, Diesendorf and Bryce, 2004)	Microcrédito	A gestão é feita por uma empresa implementadora; O projeto pode ser individual ou cooperativo; O período de retorno é oito vezes menor que o da eletrificação rural.	Necessidade de estender o limite de crédito; Os limites de financiamento para cooperativas podem não ser suficientes para atingir o objetivo do projeto.
(Li <i>et al.</i> , 2018)	Contrato de compra de energia	Nenhum ou baixos custos iniciais; Arrecadação de fundos para proprietários que não conseguem obter autofinanciamento; O lucro é assegurado por tarifas fixas de eletricidade; Os proprietários assumem a propriedade do sistema com a opção de compra no final do contrato.	Os proprietários precisam de uma boa quantidade de crédito; Existem políticas de compromisso de longo prazo que envolvem penalidades por quebra de contrato; Não inclui o fornecimento de energia para a própria comunidade.
	Leasing	Arrecadação de fundos para proprietários que não conseguem obter autofinanciamento; Os pagamentos de arrendamento são fixos para os investidores; Ele fornece uma garantia de produção para o proprietário.	O aluguel está vencido na fase de operação; Os fundos não podem ser utilizados para um fim específico devido à falta de regulamentação.
	Financiamento colaborativo/ Crowdfunding	Capta fundos do público e integra fundos dispersos; Os investidores podem desistir do projeto após o período de <i>lockup</i> ; Os custos do fundo são mais baixos do que outros métodos de financiamento.	O <i>crowdfunding</i> envolve a questão da legalidade; Os riscos de inadimplência são altos, sem a existência de leis e seguros relevantes.
	Special Purpose Vehicle (SPV)	Geralmente é aplicado às plantas FV baseadas em telhados de grande escala; Envolve vários investidores, incluindo instituições financeiras e investidores individuais; O financiamento da dívida é fornecido por bancos a uma taxa de juros mais baixa (incentivos políticos).	O mutuário possui uma participação de 15% - 30% do projeto fotovoltaico; O empréstimo é integralmente reembolsado pelas faturas de eletricidade, pelo que é necessária uma garantia de produção.

Fonte: Adaptado de Y. Li *et al.* (2018).

3.3.1. Comunidades de energia na Europa e no Brasil

Apesar dos diversos modelos de financiamento para PFVAP, o modelo de negócios previsto na maioria dos casos busca tornar a energia acessível não só do ponto de vista técnico, mas também sob uma perspectiva econômica.

O modelo de repartição de energia, ou os benefícios decorrentes do uso do PFVAP para a comunidade, é semelhante ao das Comunidades de Energia (CE). As CE estão surgindo como uma solução para mitigar a pobreza energética e as mudanças climáticas, uma vez que seu principal objetivo é obter benefícios ambientais, econômicos e sociais para os participantes, especialmente em termos de aumento da produção local utilizando recursos primários renováveis.

Na UE, as Diretivas D2018 e D944 estabeleceram um regime comum para a promoção das CE. Considerando a relevância do tema na atualidade, alguns estudos têm sido desenvolvidos com abordagens diversas, como: análise comparativa dos regulamentos dos Estados-Membros (Rocha *et al.*, 2021); comunidades isoladas (Barara *et al.*, 2015); foco em famílias (Braeuer *et al.*, 2021); análise técnico-econômica (Brumana *et al.*, 2022); e modelos de mercado (Ehrtmann *et al.*, 2021). A comparação entre as regulamentações em vigor nos diferentes países que já alcançaram algum grau de maturidade nessa questão pode contribuir para a mitigação de riscos, bem como para a redução do tempo necessário para o desenvolvimento e a implementação de normas.

Nesse contexto, a presente pesquisa visa fornecer informações relevantes sobre o tema, realizando uma análise comparativa entre as regulamentações no Brasil, Alemanha, Portugal e Espanha, identificando aspectos comuns e barreiras ainda existentes. A escolha desses países justifica-se pelo fato de que a Alemanha é o país da Europa com a maior quantidade de CE implantadas, sendo um dos pioneiros no processo de regulamentação e implantação; Portugal e Brasil, por serem os países onde a presente tese foi desenvolvida; e Espanha, por ter seu mercado de eletricidade interligado ao de Portugal, conhecido como Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL).

As diretrizes da UE definem pelo menos dois tipos de CE: Comunidades de Energia Renovável (CERs) e Comunidades de Energia Cidadã (CECs). A Diretiva UE D2018 apresenta as seguintes definições relacionadas às CERs: são baseadas em participação voluntária, autônoma e efetiva, controladas por acionistas ou sócios localizados na proximidade dos projetos de energia

renovável desenvolvidos por tal pessoa jurídica; os acionistas ou sócios são pessoas físicas; compreendem micro, pequenas ou médias empresas (PMEs), bem como autoridades locais, incluindo municípios; seu objetivo principal é fornecer benefícios ambientais, econômicos ou sociais da comunidade para seus acionistas ou membros, ou para as áreas locais onde operam, ao invés de lucro financeiro (art. 2-16).

Ainda nesta diretiva, é dada a definição de autoconsumidores, como sendo um consumidor final que produz eletricidade renovável para consumo próprio, em suas instalações situadas dentro de limites confinados ou, se permitido por um Estado-Membro (EM), em outras instalações, podendo armazenar ou vender eletricidade renovável de produção própria, desde que, para os autoconsumidores de energia renovável não domésticos, essas atividades não constituam sua principal atividade comercial ou profissional (*European Union, 2018*).

Por sua vez, a D944 define CEC como pessoa jurídica com participação aberta e voluntária, efetivamente controlada por seus membros ou titulares de participações, que podem ser pessoas físicas, autoridades locais, incluindo municípios, ou pequenas empresas. As CECs visam proporcionar benefícios ambientais, econômicos ou sociais aos seus sócios ou titulares de participações, ou também às áreas locais onde atuam, sem gerar lucro financeiro (*European Union, 2019; Seyfang et al., 2013*). Além disso, há uma classificação quanto à localização e ao propósito das CE. Neste caso, a classificação é apresentada na Tabela 4, onde é possível observar que as comunidades classificadas como não localizadas são aquelas em que qualquer pessoa pode usufruir dos benefícios, independentemente da localização. No entanto, as CE localizadas devem incluir residentes de locais específicos, como bairros, municípios, entre outros.

Tabela 4 - Classificação das CE quanto a localização e o propósito

	Comunidades não baseadas em locais	Comunidades com base no local
Propósito único	Estabelecido exclusivamente para produção, gestão e compra de energia, respeitando as regras. Os membros podem ser de qualquer localização.	Estabelecido exclusivamente para produção, gestão e compra de energia, respeitando as regras. Os membros precisam ser de uma localização específica.
Múltiplo propósitos	Pode realizar a produção, gestão e compra de energia, outras commodities e serviços, obedecendo a regras compartilhadas. Os membros podem ser de qualquer local.	Pode realizar a produção, gestão e compra de energia, outras commodities e serviços, obedecendo a regras compartilhadas. Os membros precisam ser de uma determinado localização

Fonte: Biresselioglu *et al.* (2021).

Considerando essas definições, é possível identificar a semelhança com o que é estabelecido na Resolução Normativa (RN) nº 687/2015, do Brasil, que define a geração compartilhada como: a reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada. Nesse contexto, o autoconsumo remoto é definido como unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluindo matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a geração excedente será compensada (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2015).

Ademais, a referida resolução traz uma definição relacionada à potência: microgeração distribuída é a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utiliza cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; minigeração distribuída se diferencia da microgeração pela potência instalada, superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

Na Tabela 5, são apresentados detalhes sobre requisitos de acesso à atividade, requisitos de medição, modelos de negócios e remuneração para os países analisados.

Tabela 5 - Requisitos de acesso à atividade, requisitos de medição, modelos de negócios e remuneração no Brasil, Alemanha, Portugal e Espanha (continua)

Aspectos	Brasil	Alemanha	Portugal	Espanha
Acesso às comunidades de energia	Para sistemas conectados à rede, um projeto técnico e financeiro deve ser apresentado para aprovação prévia da concessionária de energia local, observando os limites de potência e o tipo de unidade. Não há definição legal dos termos CEC e CER.	Os CEC devem ser compostos por, pelo menos, 10 pessoas singulares, que sejam membros com direito a voto, ou acionistas com os mesmos direitos. Nenhum sócio ou acionista da empresa detém mais de 10% dos direitos de voto. Não há definições legais para CERs.	Pode-se beneficiar do conceito de unidade de produção de autoconsumo independentemente do nível de tensão das instalações, que são classificadas em: a) autoconsumidores individuais; b) Autoconsumidores coletivos, organizados em condomínios de edifícios, grupos de autoconsumidores situados no mesmo edifício ou área, apartamentos ou moradias, e outras infraestruturas situadas em área delimitada; c) CERs.	Os autoconsumidores estão ligados ao sistema elétrico de baixa tensão, enquanto a unidade geradora tem potência instalada inferior a 100 kW. O registo ocorre por meio de ofício emitido às comunidades autónomas das cidades de Ceuta e Melilla com base nas informações relativas à rede de baixa tensão.
Medição	Os requisitos técnicos do sistema de medição são definidos pelo PRODIST Módulo 5 e Módulo de Procedimento de Rede 2.14. A aplicação depende do tipo de geração. Em ambos os casos, o uso de medidores inteligentes é obrigatório.	A “Lei de Operação de Pontos de Medição” estabelece que o operador da instalação está autorizado a gerenciar os pontos de medição ao invés de contratar uma empresa terceirizada para este fim. Os mesmos requisitos legais que a lei impõe a empresas terceirizadas são válidos para o operador neste caso.	A Portaria nº 231/2013 define os requisitos técnicos e funcionais dos sistemas de medição. Bididirecionalidade e capacidade de telemedição são questões obrigatórias. Além disso, ao conectar os sistemas à rede elétrica de serviço público (RESP), a contagem pelo operador da rede torna-se obrigatória. Também é obrigatório medir a energia elétrica total nas seguintes condições:	O Real Decreto 1110/2007 é o documento que regulamenta as questões inerentes à medição de energia, incluindo as condições de medição do autoconsumo. O documento é bastante abrangente e apresenta a classificação por tipo de ponto de medição e limite para posteriormente estabelecer requisitos técnicos para medição.

Tabela 5 - Requisitos de acesso à atividade, requisitos de medição, modelos de negócios e remuneração no Brasil, Alemanha, Portugal e Espanha (conclusão)

			a) autoconsumidores coletivos; b) autoconsumidores individuais conectados à (RESP) e quando a potência instalada for superior a 4 kW; c) energia extraída ou injetada nas unidades de armazenamento associadas às de unidade de produção de autoconsumo coletivo quando conectadas à (RESP).	Além disso, apresenta as especificações de medição para cada tipo de autoconsumo, como autoconsumo com ou sem excedente. Medidores inteligentes são obrigatórios.
Modelos de Negócios	Os projetos em vigor caracterizam-se basicamente pelo formato cooperativo.	Além do modelo cooperativo, apresenta também o <i>Regional Balancing Pool</i> e o modelo peer-2-peer	Considerando que a regulamentação ainda é muito carente, os projetos em vigor caracterizaram-se basicamente pelo formato cooperativo.	Considerando que a regulamentação ainda é muito recente, os projetos em vigor caracterizaram-se basicamente pelo formato cooperativo.
Remuneração	Independentemente da modalidade instalada, a remuneração depende exclusivamente da compensação energética.	Na maioria dos casos, as instalações do CER têm um esquema de apoio público, com um FiT pago aos proprietários das usinas. Os níveis de potência acima de 100 kW são negociados através de um mercador. Neste caso, um prêmio é pago ao proprietário da planta.	O excedente de energia pode ser negociado: a) em mercado organizado ou bilateral, inclusive com contratos de compra de energia; b) por meio do participante do mercado mediante pagamento de preço acordado entre as partes; c) através do facilitador de mercado. Neste último caso, um facilitador compra o excedente de energia em um FiT regulado que reflete o preço do mercado atacadista.	Basicamente, existe um regime de compensação de energia para a geração com excedente. Os autoconsumidores com excedente são remunerados de acordo com o excedente horário de energia injetado na rede de acordo com a regulamentação em vigor. No caso de instalações com regime de remuneração específico para autoconsumo com excedente e sem compensação, as mesmas condições são válidas.

Fonte: Elaborada pelo autor.

No caso da Alemanha, foram identificados pelo menos três diferentes modelos de negócios, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Modelos de negócio identificados na Alemanha

	Modelo Cooperativo de Eletricidade Regional	Modelo de pool de balanceamento regional	Modelo ponto a ponto
Infraestrutura	Instalações FV e/ou eólicas (mínimo 100 kW), com foco em instalações eólicas; Marketing local para clientes finais de varejo como atividade principal; Principalmente com base no engajamento voluntário dos cooperados.	Instalações FV, biogás ou eólicas, com foco em instalações FV pequenas/médias equilibradas em um pool de balanceamento regional; O operador da usina vende eletricidade gerada localmente a um parceiro de marketing por meio de uma empresa de comercialização de eletricidade.	Instalações FV, eólicas, hidrálicas ou de biogás; O operador da usina atua como fornecedor oficial de eletricidade; A maioria das tarefas do fornecedor de eletricidade é delegada ao operador da plataforma P2P.
Modelo Financeiro	Parte da receita da venda de energia elétrica vai para a cooperativa.	Em alguns casos, uma pequena parcela das vendas de eletricidade vai para o operador da usina; Na maioria dos casos não há receita adicional para o operador da planta.	As receitas das vendas de energia elétrica são divididas entre o operador da usina e o fornecedor da plataforma P2P.
Propósito	Fornecimento de eletricidade verde gerada regionalmente; Opcional: fornecimento de eletricidade cidadã gerada a partir de instalações de propriedade da cooperativa.	Fornecimento de eletricidade verde gerada regionalmente; Promover uma região autossuficiente em eletricidade.	Fornecimento de eletricidade verde gerada regionalmente; Fornecendo eletricidade de uma planta de ER específica, que o cliente pode escolher.

Fonte: Elaborada pelo autor com base em *New Clean Energy Communities in a Changing European Energy System (NEWCOMERS)*

Embora a legislação dos Estados Membros (EM) tenha sido desenvolvida com base nas Diretivas D944 e D2018, as definições de CEC e CER em cada EM são singulares. A semelhança com os PFVAP (Projetos de Fotovoltaica para a Alívio da Pobreza) permite caracterizar as CEs como possíveis PFVAP, dependendo exclusivamente da fonte de energia utilizada para essa classificação. No caso específico do Brasil, a geração distribuída e o conceito aplicado aos tipos de geração avaliados têm como principal objetivo reduzir a conta de energia elétrica e contribuir para a diversificação da matriz energética. Esse é o objetivo especificado no Programa de Energia Renovável Social (PERS), destinado a investimentos na instalação de

sistemas FV e de outras fontes renováveis, na modalidade local ou remota compartilhada, para os consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda (CONGRESSO NACIONAL, 2022). Além disso, no Brasil não há uma definição formal para as modalidades avaliadas como CE, apesar das semelhanças existentes.

A comercialização da energia excedente não é permitida no Brasil para consumidores residenciais, sendo autorizado apenas o sistema de compensação. Nos EM da UE, a limitação da localização das CEs próximas ao projeto de geração associado, conforme determinado pela D2018, recebeu uma nova interpretação dada pelo DL 15/2022 de Portugal, onde o conceito se estende à proximidade elétrica, e não apenas à proximidade física. Isso proporciona maior abrangência e segurança jurídica para a expansão da atividade de autoconsumo (PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, 2022). No Brasil, existe uma restrição geográfica associada à área de concessão da concessionária de energia. Na legislação dos quatro países analisados, foi identificado o uso obrigatório de medidores bidirecionais, sendo o modelo de negócio mais comum o de cooperativa.

É importante destacar que está em tramitação na Câmara dos Deputados do Brasil o PL 624/2023, que dispõe sobre o financiamento do PERS, previsto no art. 36 da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, tendo como apensado o PL nº 4.449, de 2023, com o objetivo de criar o Programa Renda Básica Energética (REBE) (Senado Federal, 2023).

O PL 624/2023 tem como objetivo garantir o acesso à eletricidade para famílias em situação de vulnerabilidade social, na faixa de consumo de até 220 kWh (duzentos e vinte quilowatts-hora) por mês, substituir o benefício da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) e desenvolver a produção e a tecnologia nacional. O PL define em seu Art. 2º que o REBE será operacionalizado com a instalação de centrais de microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica renovável, preferencialmente de energia solar fotovoltaica, sobretudo em áreas rurais, flutuantes em lâmina d'água de reservatórios de hidrelétricas e no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida, com o objetivo de gerar energia renovável para atender famílias de baixa renda. Ademais, em seu parágrafo único, esclarece que a energia renovável a que se refere o caput deste artigo deverá ser convertida no crédito definido no inciso VI do caput do art. 1º da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, no âmbito do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE).

O PL 624/2023 apresenta como melhoria em relação à Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, a substituição do benefício da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) pelo desenvolvimento da produção e tecnologia nacional, proporcionando autonomia aos beneficiários do projeto. Além disso, traz um marco de referência de consumo único, diferente das escalas de descontos previstos na Tarifa Social de Energia Elétrica, que variam de acordo com o consumo mensal de energia. De forma complementar, o PL 624 inova ao permitir a comercialização do excedente de energia elétrica gerada e não consumida pela unidade consumidora, no caso de unidades habitacionais de famílias de baixa renda inscritas no Cadastro Único ou que tenham entre seus membros algum beneficiário do Benefício de Prestação Continuada (BPC), contempladas com a aquisição e instalação de equipamentos destinados à geração de energia elétrica com base em fonte solar fotovoltaica para uso próprio ou para injeção total ou parcial na rede elétrica das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica, na forma do regulamento.

Apesar disso, as lacunas identificadas nesta tese continuam sem ser abordadas neste PL: aplicação em áreas urbanas; foco diferente da garantia de acesso à energia e redução dos valores da tarifa; falta de definição de aplicação com metodologia de comunidades de energia; e ausência de definição de métricas e indicadores para benefícios sociais, ambientais e financeiros.

3.4 Avaliação PFVAP

Na perspectiva da redução da pobreza em suas diversas dimensões, é necessário utilizar métricas e ferramentas específicas para avaliar os resultados do PFVAPM (J. Li *et al.*, 2020). Essas métricas e ferramentas de avaliação podem fornecer informações úteis sobre as condições iniciais, como áreas com melhores condições de irradiação solar e impacto social, considerando também a interação entre os indicadores dessas ferramentas e identificando lacunas que precisam ser preenchidas com recursos limitados (Linkov *et al.*, 2013; Sharifi; Murayama, 2013).

Durante a revisão da literatura, foram identificadas três linhas de pesquisa relacionadas aos indicadores e resultados do PFVAPM:

1. Sustentabilidade, abordando indicadores e resultados formulados nos contextos social, ambiental e econômico;

2. Desempenho técnico, avaliando a eficiência do PFVAPM com base em indicadores como capacidade geradora instalada, mão de obra, custo operacional, número de módulos e irradiação solar (Wu *et al.*, 2018; Yi *et al.*, 2019);
3. Impacto dos investimentos, considerando o valor total liberado para microfinanciamento (empréstimos de crédito especialmente concebidos para famílias pobres, com valor inferior a 7,84 USD por empréstimo, prazos de financiamento inferiores a 3 anos, sem necessidade de hipoteca, baixas taxas de juros e desconto financeiro) (Huang *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020).

Um resumo dos estudos associados à sustentabilidade está listado na Figura 10. Nessa figura, são identificadas diversas metodologias utilizadas na definição de indicadores e resultados, como: Teoria da Mudança (TM), redes sociais para fins de financiamento, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Análise de Energia Líquida (AEL), Análise de Componentes Principais (ACP), Análise de Envoltória de Dados (AED), Análise de Proporção Cinzenta (APC) e abordagem de meios de subsistência urbanos sustentáveis. Além disso, também são mencionados alguns indicadores financeiros, como: Tempo de Retorno de Energia (TRE), Retorno do Investimento em Energia (RIE-eq), Taxa de Emissão de Gases de Efeito Estufa (TGEE) e Tempo de Retorno de Carbono (TRC).

Figura 10 - Indicadores e benefícios dos PFVAP (continua)

Objetivo país / continente	Tipo de análises	Indicador/Benefícios					
		Uso FV					
		Redução de GEE	Substituição de combustíveis fósseis	Melhoria da qualidade do ar interior	Taxa de conexão à rede	Uso da terra	Redução do desmatamento e/ou impacto ambiental
PFVAP avaliação (China)	Estudo empírico (LCA, NEA)						✓
PFVAP desempenho (China)	Estudo empírico (PCA, DEA, GRA)			✓			
Desenvolvimento de indicadores sociais (África)	SULA aplicação	✓	✓	✓			✓
Análise de Benefícios (Costa do Marfim)	Estudo empírico	✓	✓				✓
Avaliação da redução da pobreza (África)	Estudo empírico (ToC)		✓	✓			
Análise dos impactos sociais (China)	Estudo de caso				✓	✓	✓
Avaliação dos benefícios (China)	Modelo Teórico						

Objetivo país / continente	Tipo de análises	Indicador/Benefícios					
		Retorno				Resultado/Investidores	
		EPBT	EROIPE-eq	GHCg-R	CPBT	Eletricidade autoconsumida ou lucro da venda	Promoção reputacional
PFVAP avaliação (China)	Estudo empírico (LCA, NEA)	✓	✓	✓	✓		
PFVAP desempenho (China)	Estudo empírico (PCA, DEA, GRA)						
Desenvolvimento de indicadores sociais (África)	SULA aplicação						
Análise de Benefícios (Costa do Marfim)	Estudo empírico						
Avaliação da redução da pobreza (África)	Estudo empírico (ToC)						
Análise dos impactos sociais (China)	Estudo de caso						
Avaliação dos benefícios (China)	Modelo Teórico					✓	✓

Figura 10 - Indicadores e benefícios dos PFVAP (continuação)

Objetivo país / continente	Tipo de análises	Indicador/Benefícios					
		Ativos		Capital Financeiro		Capital de Gênero	
		Acesso a novas tecnologias	Aumento da riqueza material	Apoio financeiro à manutenção	Custo-benefici o	Despesas reduzidas	Aumento da renda
PFVAP avaliação (China)	Estudo empírico (LCA, NEA)						
PFVAP desempenh o(China)	Estudo empírico(P CA, DEA, GRA)						
Desenvolvi mento de indicadores sociais (África)	SULA aplicação			✓	✓	✓	✓
Análise de Benefícios (Costa do Marfim)	Estudo empírico	✓	✓				✓
Avaliação da redução da pobreza (África)	Estudo empírico (ToC)					✓	
Análise dos impactos sociais(Chi na)	Estudo de caso						✓
Avaliação dos benefícios (China)	Modelo Teórico						

Objetivo país / continente	Tipo de análises	Indicador/Benefícios					
		Capital de Gênero			Participação em PFVAP		
		Segurança de renda	Suporte governamental (subsidios e políticas similares)	Aumento do nível de subsistência	Economia regional	Improvement of social welfare	Training
PFVAP avaliação (China)	Estudo empírico (LCA, NEA)						
PFVAP desempenh o(China)	Estudo empírico(P CA, DEA, GRA)				✓	✓	✓
Desenvolvi mento de indicadores sociais (África)	SULA aplicação	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Análise de Benefícios (Costa do Marfim)	Estudo empírico						
Avaliação da redução da pobreza (África)	Estudo empírico (ToC)				✓	✓	✓
Análise dos impactos sociais(Chi na)	Estudo de caso		✓	✓	✓		✓
Avaliação dos benefícios (China)	Modelo Teórico						

Figura 10 - Indicadores e benefícios dos PFVAP (conclusão)

Objetivo país / continente	Tipo de análises	Indicador/Benefícios						
		Participação em PFVAP						
		Employment	Time saving, increase of hours of opportunity	Physical and mental health improvement	Education	Security improvement	Increased business	Access to information
PFVAP avaliação (China)	Estudo empírico (LCA, NEA)							
PFVAP desempenho (China)	Estudo empírico(P CA, DEA, GRA)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Desenvolvimento de indicadores sociais (África)	SULA aplicação	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Análise de Benefícios (Costa do Marfim)	Estudo empírico			✓	✓	✓	✓	
Avaliação da redução da pobreza (África)	Estudo empírico (ToC)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Análise dos impactos sociais (China)	Estudo de caso	✓	✓					
Avaliação dos benefícios (China)	Modelo Teórico							

Fonte: Adaptado de Wlokas (2011).

Como conclusões parciais deste capítulo, destaca-se que as lacunas de pesquisa identificadas tanto na AB quanto no estado da arte estão relacionadas às questões de investimento e às dificuldades associadas ao desenvolvimento de modelos de negócios capazes de atender às demandas de comunidades carentes e garantir o retorno do investimento. Além disso, os resultados sustentáveis ainda necessitam de melhorias em várias áreas: envolvimento do usuário no projeto desde sua fase de implantação, treinamento adequado do usuário, qualidade das instalações e materiais, e retorno financeiro efetivo. A aplicação do PFVAP em ambientes urbanos para finalidades além da redução de tarifas de energia e da diversificação da matriz energética não foi identificada nesta pesquisa. Esses são tópicos relevantes para esforços de pesquisa atuais e futuros.

Portanto, é possível concluir que, apesar dos inúmeros benefícios relacionados ao uso do PFVAP, é fundamental compreender os valores e prioridades dos usuários finais, pois essas questões favorecem o engajamento com os projetos (Chen *et al.*, 2021; F. Huang *et al.*, 2020). Esse critério é reforçado por Y. Huang *et al.* (2021) e Peters *et al.* (2018), que afirmam que o conhecimento limitado da população local representa um grande desafio para o PFVAP. Além

disso, a população local frequentemente não tem acesso a informações sobre políticas, operação e manutenção do sistema PFVAP. Outros pontos de melhoria identificados incluem mecanismos de mercado ineficientes, baixa eficiência operacional, falta de órgãos públicos atuantes e altas taxas de abandono.

4. METODOLOGIA

Nesta seção, são detalhadas as etapas metodológicas utilizadas no desenvolvimento da Proposta de Regulamentação (PR), bem como as definições necessárias para sua elaboração. As etapas da metodologia estão apresentadas na Figura 11.

Figura 11 - Etapas da metodologia proposta



Fonte: próprio autor.

4.1 1ª Etapa - Revisão Sistemática da literatura (RSL) e Análise bibliométrica (AB)

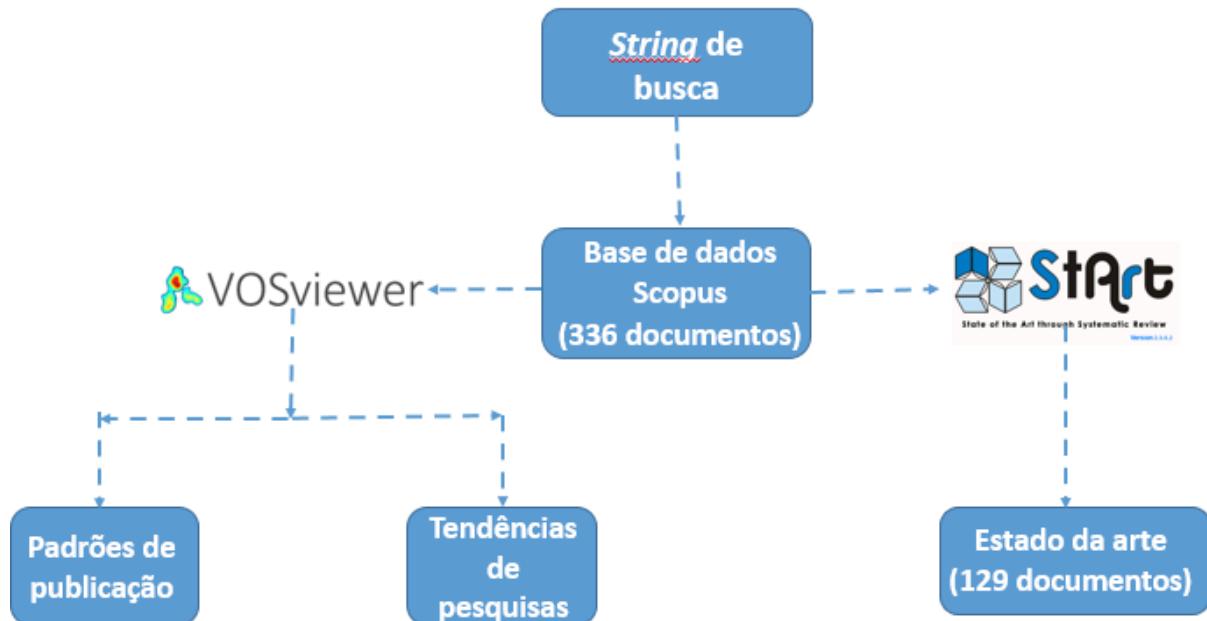
Nesta primeira etapa, foram realizados os processos de RSL e AB. A metodologia para a pesquisa inicial foi concebida considerando a integração entre os ODS1 e ODS7, onde, na primeira fase, foi realizada a RSL relacionada ao papel da geração FV no alívio da pobreza, conforme Pullin e Stewart (2006), com as seguintes questões específicas:

1. Quais são os principais modelos de negócio/financiamento utilizados pelo PFVAP?
2. Quais são as principais metodologias de avaliação de resultados e indicadores implementadas na literatura científica?

Essas perguntas visam identificar tendências e perspectivas para aplicações regionais ou locais, bem como seus impactos na pobreza multidimensional.

O protocolo de revisão específico foi definido com o uso de ferramentas próprias para RSL e AB, de forma a incluir o máximo possível de estudos relevantes na área de pesquisa. A Figura 12 apresenta o fluxo aplicado nesta fase.

Figura 12 - Fluxo do processo de RSL e AB



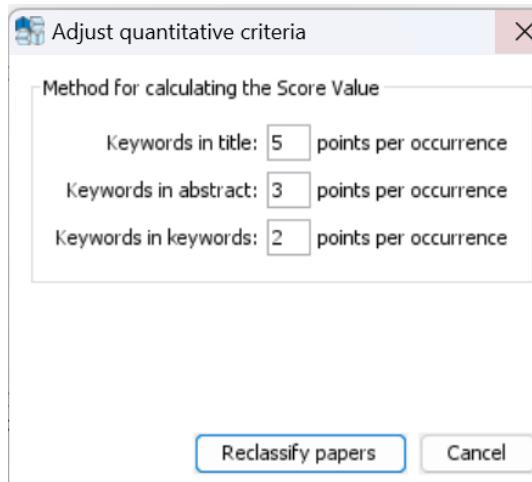
Fonte: próprio autor.

As buscas foram realizadas na base de dados Scopus, utilizando as seguintes strings: (TITLE-ABS-KEY (fotovoltaica AND energia AND para AND pobreza AND alívio) OR TITLE-ABS-KEY (distribuído AND geração AND para AND pobreza AND alívio) OR TITLE-ABS-KEY (solar AND energia AND para AND pobreza AND alívio) OR TITLE-ABS-KEY (solar AND pv AND para AND pobreza AND alívio) OR TITLE-ABS-KEY (solar AND eletrificação AND para AND pobreza AND alívio) OR TITLE-ABS-KEY (fotovoltaico AND energia AND anti-pobreza)). As pesquisas iniciais produziram 336 correspondências.

A partir da configuração dos critérios quantitativos definidos no protocolo de RSL no StArt, apresentados na Figura 13, foi realizado um refinamento inicial da pesquisa. Nessa etapa, são definidas as pontuações que devem ser atribuídas a cada artigo, considerando o número de ocorrências das palavras-chave relacionadas na string de busca.

No exemplo apresentado, para cada palavra-chave definida no protocolo da RSL encontrada no título, são computados cinco pontos; para cada palavra-chave encontrada no resumo, são computados três pontos; e para cada palavra-chave identificada nas palavras-chave do artigo, são computados dois pontos.

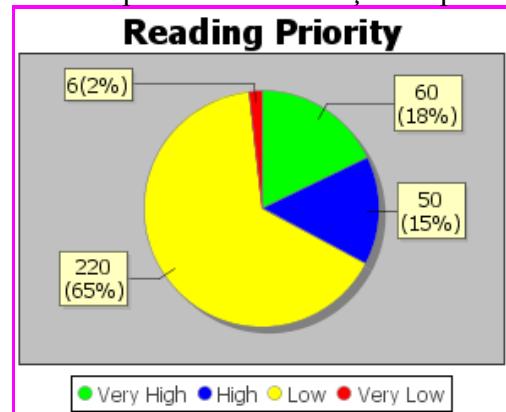
Figura 13 - Definição de critérios Quantitativos da revisão sistemática



Fonte: Start - lapes.dc.ufscar.br (2022).

Na Figura 14, é apresentado o resultado qualitativo inicial. Nessa fase de avaliação quantitativa, a própria ferramenta de revisão sistemática identifica os artigos duplicados, dos quais foram encontrados 2 (dois) nessa condição. De acordo com a classificação qualitativa, foi realizada a leitura dos resumos dos artigos e uma nova classificação; alguns artigos foram excluídos da análise final após essa etapa.

Figura 14 - Resultado qualitativo- Indicação de prioridade de leitura



Fonte: Start - lapes.dc.ufscar.br (2022).

Os critérios de exclusão foram: artigos relacionados à eficiência energética e artigos que utilizam algoritmos na mensuração da pobreza. Os critérios de inclusão foram: artigos de pesquisa sobre geração distribuída, energia, energia solar ou energia fotovoltaica para alívio da pobreza, publicados entre 2003 e 2022, em periódicos indexados internacionalmente, no idioma inglês e disponíveis na íntegra para leitura. Após a aplicação desses critérios, foram selecionados 129 (cento e vinte e nove) artigos para reavaliação. Em seguida, o VOSviewer foi utilizado para construir e visualizar mapas bibliométricos, destacando sua capacidade de exibir grandes conjuntos de dados de forma facilmente interpretável (VOSviewer, n.d.).

O banco de dados selecionado no Scopus serviu como fonte de entrada para o VOSviewer. Os parâmetros bibliométricos utilizados na análise das publicações sobre PFVAP nos últimos 20 anos incluem: tipo e idioma das publicações; número total de publicações; número de autores e média de autores por publicação; desempenho dos autores; padrões de publicação por país; métricas dos periódicos; análise de citações e colaboração; e coanálise de autores e palavras-chave extraídas dos registros do Scopus.

4.2 2^a Etapa – Integração entre os planejamentos energético e urbano

Na Etapa 2, foi realizado um estudo sobre a legislação pertinente ao uso e à ocupação do solo, além de uma análise das condições sociais dos bairros da cidade de Fortaleza, que serviu como base para o estudo de caso. Essa etapa considerou que estudos recentes relacionam a forma urbana ao comportamento da demanda por energia e propõem modelos de integração entre os planejamentos urbano e energético como uma forma de reduzir o consumo energético e/ou torná-lo mais eficiente, bem como diminuir a emissão de gases de efeito estufa (Collaço *et al.*, 2019; Creutzig *et al.*, 2016). Esses estudos fazem parte de uma sequência de pesquisas que influenciam, ou foram influenciadas por, movimentos de pesquisadores que destacam a importância da integração dos planejamentos urbano e energético para influenciar estilos de vida (Yazdanie *et al.*, 2017).

Partindo do Plano Diretor (PD), que é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão da cidade e tem como finalidade ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais e garantir o bem-estar de seus habitantes, o estudo reconhece o PD como uma ferramenta essencial para considerações e novas propostas de integração entre os planejamentos

energético e urbano. Reconhecido como uma das leis mais importantes da sociedade, que deve ser elaborada e aprovada com participação social, o Plano Diretor de Fortaleza (PDFOR) tem a previsão de apresentação de uma minuta viável no primeiro semestre de 2024, contemplando um conjunto de políticas públicas agrupadas em conformidade com seis eixos temáticos, a saber:

1. Meio Ambiente: abrange a importância de preservar o ambiente natural na convivência e manutenção do ambiente construído.
2. Social: visa promover a equidade, justiça e sustentabilidade social, bem como o bem-estar da população, propondo políticas integradas em áreas como saúde e assistência social.
3. Cultura, Educação, Pesquisa e Inovação: tem por objetivo apresentar propostas para as políticas de educação pública, valorização e desenvolvimento cultural, desenvolvimento da ciência e tecnologia, e promoção e estímulo à inovação.
4. Desenvolvimento Econômico Sustentável: apresenta políticas com grande potencial para geração de riqueza, distribuição e desconcentração de renda, ampliação de postos de trabalho formais, e promoção do empreendedorismo de forma sustentável, proporcionando igualdade de acesso às oportunidades por meio de parcerias e cooperação entre o Poder Público, universidades e empresas.
5. Governança: visa a capacidade dos governos e da sociedade civil de participarem do planejamento do desenvolvimento municipal em suas etapas de planejamento, execução, monitoramento e avaliação de políticas, programas e projetos, de forma eficiente, eficaz e efetiva.
6. Desenvolvimento Urbano: busca promover a sustentabilidade urbana entre o ambiente natural e o construído, contribuindo positivamente para os índices de qualidade ambiental e desenvolvimento humano, social, econômico e cultural do município de Fortaleza (Prefeitura de Fortaleza, 2023).

No 1º Seminário On-line de Projetos e Propostas para o Plano Diretor (PD) de Fortaleza, foram apresentadas as dimensões espaciais previstas dentro do PD, conforme mostrado na Figura 15. A priorização dos eixos temáticos e das dimensões espaciais do PD valida o momento oportuno para a apresentação da proposta de regulamentação específica sobre o zoneamento energético, parte integrante desta tese, com foco nos aspectos ambientais, sociais e de desenvolvimento urbano.

Figura 15 - Dimensões espaciais do PD de Fortaleza

Diz respeito às ações focadas no tecido social, econômico e cultural local. Ou seja, observando as demandas e necessidades de cada localidade.

Focada nos sistemas ambientais existentes, de forma a manter o equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação do meio ambiente.

Responsável pela abordagem macro da cidade, considerando sua conexão com as cidades circundantes, levando em conta a integração entre as dimensões social, ambiental e econômica.



Desenvolvimento Local e Inclusão



Meio Ambiente e Paisagem



Oportunidades e Desenvolvimento Sustentável

Fonte: Adaptado de Prefeitura de Fortaleza (2023).

A Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS) é uma lei municipal que decorre do Plano Diretor Participativo de Fortaleza (PDPFOR) e o complementa. A LPUOS é organizada em sete títulos, dos quais são utilizados neste estudo os seguintes: Título I - Ordenamento Territorial; Título II - Do Zoneamento Urbano; Título III - Do Parcelamento do Solo; e Título IV - Do Uso e da Ocupação do Solo.

O zoneamento é um instrumento que divide o território do município em zonas, áreas ou setores e estabelece regras para cada uma delas, de acordo com suas características. Essas regras têm como objetivo definir como será a utilização do solo, enquanto o PD deve estabelecer normas e estratégias sobre como deve ocorrer o desenvolvimento da cidade, determinando para onde e como a cidade deve crescer.

4.2.1 Título I - Ordenamento Territorial

Este título atende às diretrizes alinhadas com as questões gerais da política urbana, abrangendo tanto estratégias para mitigar problemas como:

1. As distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;
2. A proximidade e os conflitos entre usos e atividades incompatíveis; a multiplicidade e a interação entre diferentes grupos sociais, bem como entre os usos nas diversas localidades e bairros do território municipal;

3. A indução e promoção de intervenções para o desenvolvimento urbano, ambiental e socioeconômico em todo o município, com prioridade para as áreas com precárias condições de habitabilidade, ocupadas por população de baixa renda;
4. A indução à intensificação do uso e ocupação do solo e à ampliação dos níveis de adensamento construtivo nas áreas com disponibilidade de infraestrutura e serviços urbanos, onde há significativa presença de imóveis não utilizados ou subutilizados.

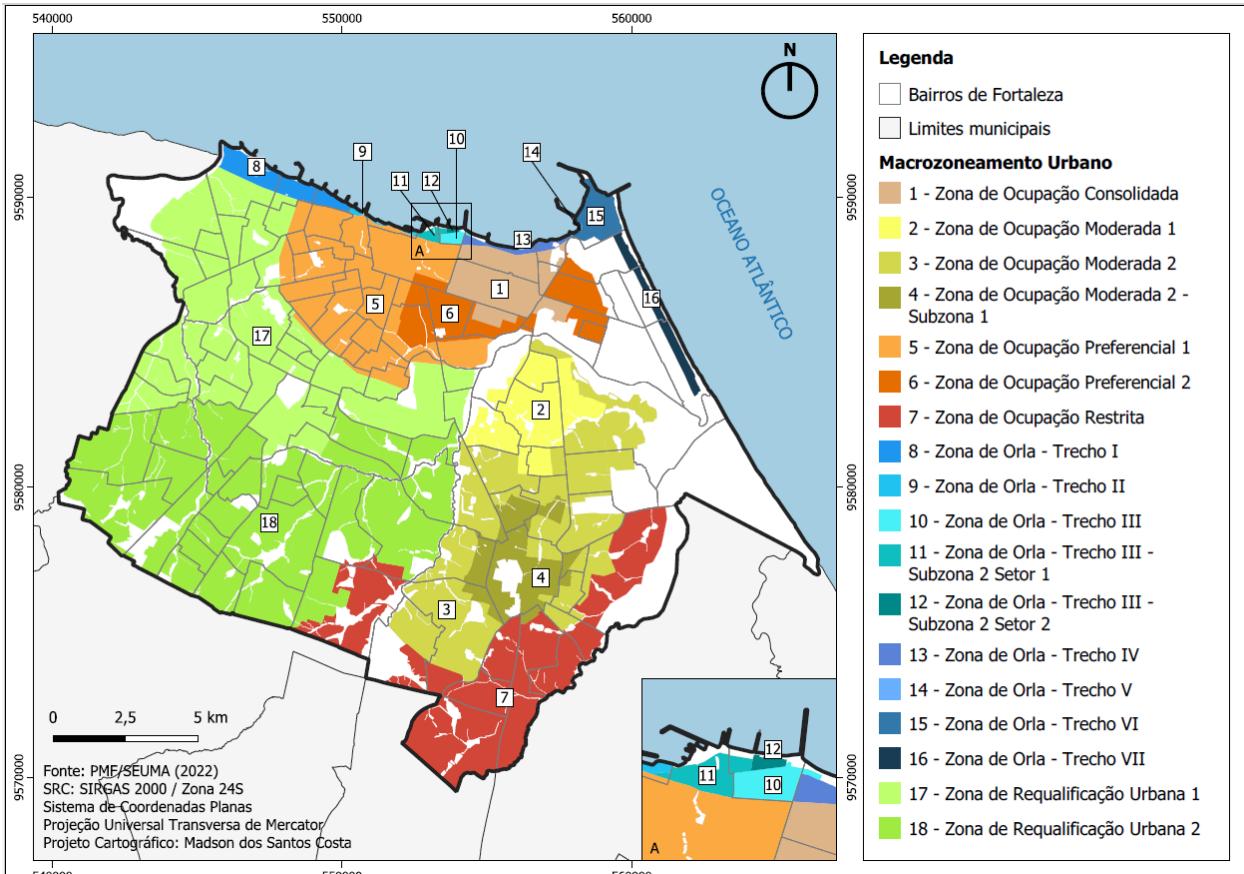
4.2.2 Título II – Do Zoneamento Urbano

O zoneamento busca definir as condições desejadas para cada área, considerando a necessidade ou o interesse em preservação ambiental, ocupação comercial ou residencial, entre outros objetivos (Prefeitura de Fortaleza, n.d.). O PDFOR divide o território do município em duas macrozonas:

- Macrozona de Proteção Ambiental: Constituída por ecossistemas de interesse ambiental, bem como por áreas destinadas à proteção, preservação, recuperação ambiental e ao desenvolvimento de usos e atividades sustentáveis.
- Macrozona de Ocupação Urbana: Corresponde às porções do território caracterizadas pela significativa presença do ambiente construído, refletindo a diversidade das formas de uso e ocupação do solo.

A Figura 16 apresenta as delimitações das macrozonas urbanas, com suas zonas especiais e subdivisões.

Figura 16 - Divisão do Município em macrozoneamento urbano



Fonte: Adaptado de Prefeitura de Fortaleza (2017)

4.2.3 Título III – Do Parcelamento do Solo

O parcelamento do solo urbano consiste na subdivisão da terra em unidades juridicamente independentes, com individualidade própria, destinadas à edificação. O parcelamento do solo é permitido em todo o território, exceto em terrenos alagadiços ou sujeitos a inundações, terrenos aterrados com lixo residual ou materiais nocivos à saúde pública, sem que sejam previamente saneados.

4.2.4 Título IV – Do Uso e da Ocupação do Solo

Este título trata da classificação dos usos e atividades no Município. Define que as atividades são categorizadas conforme seu porte, natureza e/ou nível de incômodo que geram. Estabelece ainda que a adequação das atividades em Fortaleza depende do zoneamento nas Zonas

Especiais de Dinamização Urbanística e Socioeconômica (ZEDUS), Zona da Orla (ZO) — Trechos I, II, III, IV, VI e VII —, Zona de Recuperação Ambiental (ZRA), e Zona de Interesse Ambiental (ZIA), bem como da classificação viária. A Figura 17 apresenta a classificação das atividades com seus respectivos grupos e subgrupos.

Figura 17 - Classificação das atividades

GRUPO	SUBGRUPO	
Residencial	R	Residencial
Comercial	CV	Comercial varejista
	CA	Comércio atacadista e depósitos
	INF	Inflamáveis
	CSM	Comércio e serviços múltiplos
SERVIÇOS	H	Hospedagem
	PS	Prestação de serviços
	SAL	Serviços de alimentação e azer
	SP	Serviços pessoais
	SOE	Serviços de oficinas e especiais
	SE	Serviços de educação
	SS	Serviços de saúde
	SUP	Serviços de utilidade pública
	SB	Serviços bancários e afins
INDUSTRIAL	IA	Industrias adequadas ao meio urbano
	II	Industrias incômodas ao meio urbano
	IN	Industrias nocivas ou perigosas ao meio urbano
INSTITUCIONAL	EAG	Equipamento para atividade administrativa governamental
	EDS	Equipamento para atividade de defesa e segurança
	ECL	Equipamento para cultura e lazer
	EAR	Equipamento para atividade religiosa
	EAI	Equipamento para atividades insalubres
	EVP	Equipamento para vendas de artigos diversificados em carater permanentes
	EAT	Equipamento para atividade de transporte

Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Fortaleza *et al.* (2017).

Os parâmetros urbanos de ocupação das zonas são definidos com base no meio ambiente, na infraestrutura básica e nas densidades existentes e projetadas, compreendendo:

I - Taxa de Permeabilidade: relação entre a parte do lote ou gleba que permite a infiltração de água, permanecendo totalmente livre de qualquer edificação, e a área total do lote.

II - Taxa de Ocupação (TO): percentual da área do terreno ocupado pela projeção da edificação no plano horizontal. Não são computados nesta projeção os elementos das

fachadas, como brises, jardineiras, marquises, pérgolas e beirais. É definido para: a) Solo; b) Subsolo.

III - Índice de Aproveitamento (IA): quociente entre a área total de todos os pavimentos do edifício e a área total do terreno. Pode ser classificado como: a) Básico; b) Mínimo; c) Máximo.

IV - Fator de Planejamento: instrumento que busca incentivar ou desestimular o adensamento em determinadas áreas da cidade com base na infraestrutura existente (especialmente transporte e trânsito) ou obter maior contrapartida financeira pela venda de potencial construtivo em áreas valorizadas da cidade.

V - Altura Máxima das Edificações.

VI - Dimensões Mínimas do Lote: a) Testada; b) Profundidade; c) Área.

VII - Fração do Lote: índice utilizado para calcular o número máximo de unidades destinadas à habitação ou ao comércio e serviço no lote.

A Figura 18 apresenta os parâmetros urbanos de ocupação para a Zona de Ocupação (ZO) da orla de Fortaleza. Esta área foi escolhida devido à disparidade de IDH identificada entre os bairros de uma mesma macrozona urbana.

Figura 18 - Parâmetros urbanos de Ocupação ZO

ZONAS DE OCUPAÇÃO		ZO I	ZO II	ZO III		
		Zona de Orla Trecho I	Zona de Orla Trecho II	Zona de Orla Trecho III Praia do Iracema		
		Barra do Ceará Papicu	Jacarecanga Moura Brasil	Subzona 1 Monsenhor Tabosa	Subzona 2 ZEPH/	
Taxa de Permeabilidade (%)		30	20	25	20	10
Taxa de Ocupação TO (%)	Solo	50	50	60	60	80
	Subsolo	50	50	60	60	-
Taxa de Ocupação TO (%)	Básico	1,00	1,50	2,00	1,00	1,00
	Mínimo	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	Máximo	1,00	1,50	2,00	2,00	1,00
Fator de Planejamento (Fp)		-	-	-	-	-
Altura máxima da edificação (m)		15,00	24,00	48,00	48,00	10,50
Dimensões mínimas do lote	Testada (m)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	Profundidade (m)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	Área (m²)	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00
(1) Fração do lote	Áreas de aplicação	1 2 3 4 5	- - - - 100,00	30,00 - - - -	- 45,00 - - -	- - - - -
ZONAS DE OCUPAÇÃO		ZO IV	ZO V	ZO VI	ZO VII	
		Zona de Orla Trecho IV	Zona de Orla Trecho V	Zona de Orla Trecho VI	Zona de Orla Trecho VII	
		Meireles e Mucuripe	Iate Clube	Cais do Porto	Praia do Futuro	
Taxa de Permeabilidade (%)		20	20	30	40	
Taxa de Ocupação TO (%)	Solo	60	60	60	50	
	Subsolo	60	60	60	50	
Taxa de Ocupação TO (%)	Básico	3,00	1,00	1,00	2,00	
	Mínimo	0,25	0,25	0,10	0,10	
	Máximo	3,00	1,00	1,00	2,00	
Fator de Planejamento (Fp)		1,50	-	-	1,50	
Altura máxima da edificação (m)		72,00	15,00	48,00	36,00	
Dimensões mínimas do lote	Testada (m)	5,00	5,00	12,00	8,00	
	Profundidade (m)	25,00	25,00	25,00	25,00	
	Área (m²)	125,00	125,00	300,00	200,00	
(1) Fração do lote	Áreas de aplicação	1 2 3 4 5	30,00 - - - -	- - - - 75,00	- - - - -	

Fonte: Prefeitura Municipal de Fortaleza et al. (2017)

4.3 3ª Etapa – Desenvolvimento de apoio financeiro a partir dos governos federais, estaduais, municipais, ONGs e investidores privados

Nesta etapa, são identificadas as políticas de incentivo e apoio financeiro para projetos de geração de energia renovável, com o objetivo principal de analisar e identificar possíveis lacunas que precisam ser abordadas para mitigar os riscos associados aos projetos fotovoltaicos voltados para o alívio da pobreza energética.

Atualmente, as ações para a implantação de projetos de energia renovável em comunidades carentes no Brasil são desenvolvidas de cinco formas principais:

1. Ações previstas na Lei 14.330: Institui o Programa de Energia Renovável Social (PERS), destinado a investimentos na instalação de sistemas fotovoltaicos e de outras fontes renováveis, na modalidade local ou remota compartilhada, para consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda, conforme a Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010.
2. Decreto Lei nº 12.084, de 28/07/2024: Institui o programa de Energia Limpa no Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) para unidades das faixas urbana 1 (renda bruta familiar mensal até R\$ 2.640,00) e rural 1 (renda bruta familiar anual até R\$ 31.680,00).
3. Imposto Sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana Verde (IPTU Verde), que incentiva a adoção de práticas sustentáveis nas propriedades urbanas.
4. Financiamentos incentivados pelos governos, como o FNE SOL do Banco do Nordeste.
5. Ações realizadas por ONGs, que atuam em comunidades carentes no Brasil.

Como conclusões parciais deste capítulo, são detalhadas as etapas da metodologia implementada na tese, abordando as tendências e lacunas identificadas na AB e na RSL, bem como no estado da arte dos PFVAP. É desenvolvida uma análise comparativa entre as legislações relativas às “comunidades” de energia no Brasil e na Europa. Destaca-se a importância do PDAFOR e da LPUOS para a presente tese, com a proposição de uma regulamentação específica para PFVAPM. Propõe-se também uma legislação complementar que assegure o direito de acesso ao recurso solar, visando reduzir o impacto dos sombreamentos em projetos fotovoltaicos em ambientes urbanos. Modelos de incentivos, como o IPTU Verde, já operacional em cidades como Araraquara (SP), Balneário Camboriú (SC), Florianópolis (SC), Guarulhos (SP), Maringá (PR), Rio de Janeiro (RJ), Salvador (BA), Santa Maria (RS), Uberaba (MG) e Vila Velha (ES), são considerados na proposição de regulamentação desta tese.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

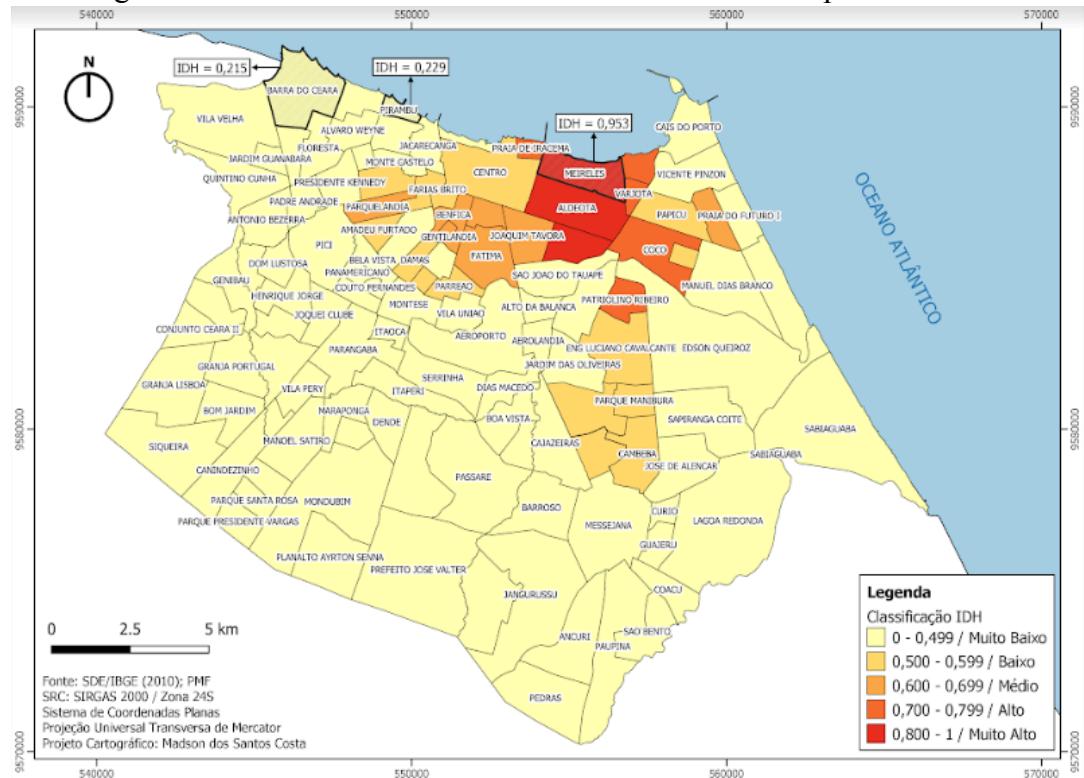
No presente capítulo, são apresentadas definições, premissas e proposições necessárias para a integração entre o planejamento urbano e energético, com o objetivo de contribuir para a redução da pobreza multidimensional por meio da implantação dos PFVAPM. A proposta de regulamentação desenvolvida visa se inserir no debate nacional, considerando as regulamentações existentes (Lei 14.300, Decreto 12.084/2024) e as que estão em tramitação no poder legislativo brasileiro (PL 2.458/2022 e PL 624/2023).

5.1 Integração do planejamento urbano e energético: estudo de caso de Fortaleza

Fortaleza apresenta um IDH de 0,754 e está dividida em 119 bairros, cada um com seu próprio IDH. Observa-se uma variação significativa, com o IDH de 0,119 para o Conjunto Palmeiras, caracterizado por famílias de baixa renda, e 0,953 para Meireles, uma área com altos edifícios residenciais e comerciais (Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico, n.d.). A Figura 19 mostra o mapa do IDH por bairros de Fortaleza, destacando os valores dos IDHs dos bairros analisados nesta pesquisa: Barra do Ceará, Meireles e Pirambu.

Quanto ao acesso à irradiação solar, há um conflito: as melhores condições de irradiação, devido à quase ausência de edifícios altos e, consequentemente, pouca sombra nos telhados, são encontradas nas áreas ocupadas por famílias de baixa renda. No entanto, essas famílias geralmente não têm condições financeiras para investir em projetos FV. Por outro lado, no topo da hierarquia social da cidade, famílias de alta renda vivem em áreas onde o acesso ao recurso solar é limitado devido às sombras das construções altas.

Figura 19 - Divisão dos bairros de Fortaleza com seus respectivos IDHs



Fonte: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico (n.d.)

Embora o presente estudo mencione uma cidade específica e respeite suas particularidades, a metodologia desenvolvida é aplicável à maioria das grandes cidades dos países em desenvolvimento, considerando as semelhanças relevantes entre elas.

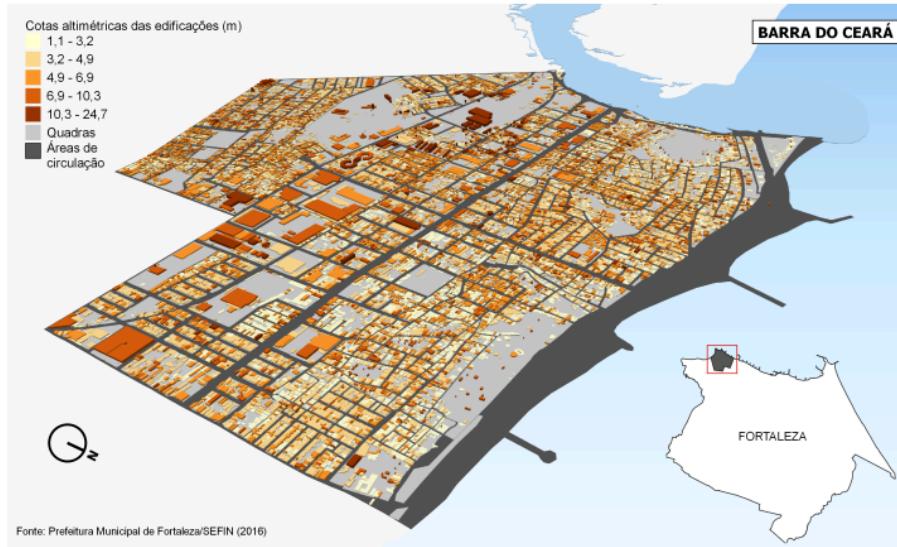
Nesta fase, para a análise e escolha inicial dos bairros, conforme previsto nas etapas metodológicas da proposta apresentada na Figura 11, foram considerados os parâmetros de ocupação urbanística com o objetivo de identificar os riscos associados ao crescimento vertical das construções. Inicialmente, foram analisados os bairros Barra do Ceará, Meireles e Pirambu, por fazerem parte do mesmo zoneamento e apresentarem IDHs discrepantes.

5.1.1 Barra do Ceará

O bairro da Barra do Ceará é classificado com um IDH muito baixo (0,2157), ocupando a 101^a posição na classificação de IDHs por bairro em Fortaleza, entre um total de 119 bairros.

Com uma população de 73.423 habitantes, a Barra do Ceará é classificada como Zona de Orla I e tem um parâmetro urbano que estabelece a altura máxima permitida para as edificações em 15 metros. A altimetria predominante da Barra do Ceará é apresentada na Figura 20.

Figura 20 - Altimetria das edificações na Barra do Ceará



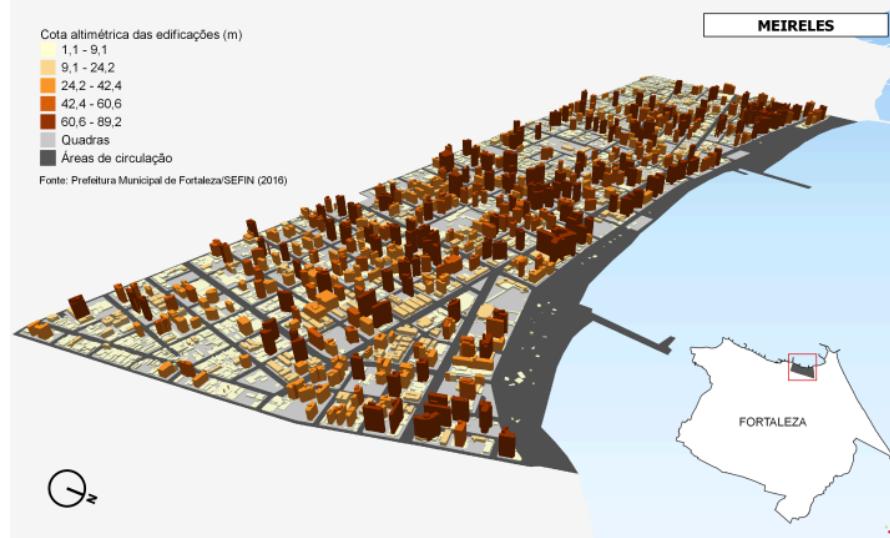
Fonte: Próprio autor.

5.1.2 Meireles

O bairro do Meireles é o bairro com o IDH mais alto da cidade de Fortaleza, com um valor de 0,9531, ocupando a primeira posição no ranking de IDHs por bairro. Classificado como Zona de Orla II, o Meireles tem um parâmetro urbano que estabelece a altura máxima permitida para as edificações em 72 metros e conta com uma população de 36.982 habitantes.

Devido à sua proximidade com o mar e à sua localização como uma área nobre da cidade, o bairro sofre intensa especulação imobiliária, resultando na construção predominante de edificações verticais, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Altimetria edificações Meireles



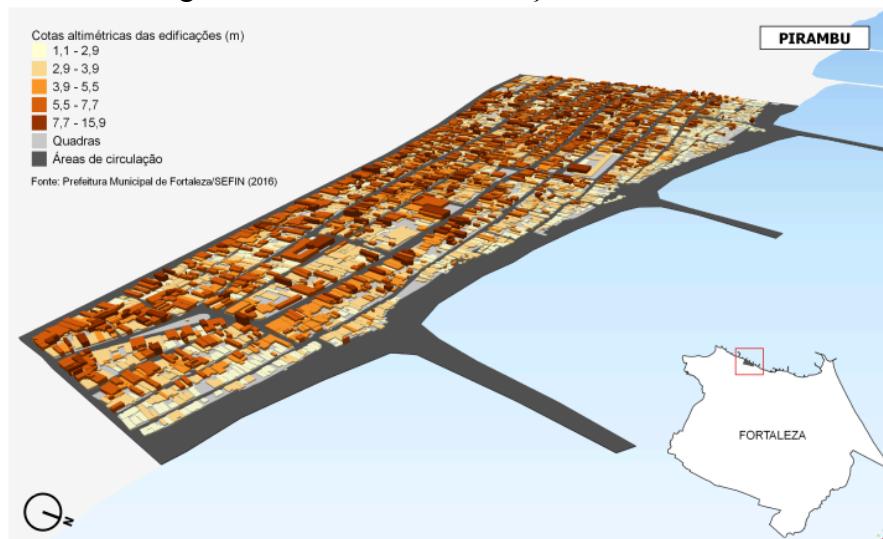
Fonte: Próprio autor.

5.1.3 Pirambu

O bairro do Pirambu ocupa a 95^a posição no ranking de bairros por IDH, com um valor de 0,2298, classificado como muito baixo. Com uma população de 19.545 habitantes, o bairro é classificado como Zona de Ocupação Moderada 2 (ZOM 2), com uma altura máxima permitida para edificações de 48 metros.

A Figura 22 apresenta a predominância altimétrica das construções no bairro.

Figura 22 - Altimetria edificações do Pirambu



Fonte: Próprio autor.

5.1.4 Condições domiciliares dos bairros de Fortaleza

De forma complementar aos parâmetros urbanísticos, foi utilizado o resultado do estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), que traça o perfil municipal de Fortaleza.

Nesta pesquisa, foram calculados e mapeados indicadores relacionados à proporção de domicílios com acesso à rede geral de água, com banheiro de uso exclusivo, com esgotamento sanitário adequado, com presença de energia elétrica e com coleta de lixo realizada por serviço de limpeza. Dentre os indicadores apresentados no estudo do IPECE, aquele que serão considerados de forma complementar ao processo de definição dos bairros para a realização do estudo de caso são:

Percentual de domicílios com presença de energia elétrica: este indicador é o que detém o melhor desempenho entre os demais. Um total de 99,70% das residências de Fortaleza possui este serviço. Na Tabela 7 é apresentado o percentual de domicílios com presença de energia elétrica, apresentando os dez bairros com maior percentual de atendimento ao indicador, bem como os dez bairros com menores percentuais de atendimento a este indicador.

Tabela 7- Identificação dos 10 bairros com maiores e menores presença de energia elétrica domiciliar em Fortaleza

BAIRROS	%de domicílios com energia elétrica	BAIRROS	%de domicílios com energia elétrica
Ceará	98,94	Ceará	97,7
10 maiores		10 menores	
Cidade 2000	100,00	Manuel Dias Branco	95,02
Praia de Iracema	100,00	Sabiaguaba	97,42
José Bonifácio	100,00	Pirambú	97,86
Cambeba	100,00	Parque Presidente Vargas	98,41
Damas	100,00	Granja Portugal	99,02
Varjota	100,00	Pedras	99,19
Guararapes	100,00	Praia do Futuro II	99,19
Meireles	99,99	Mata Galinha	99,21
Conjunto Ceará I	99,98	São Bento	99,26
Alagadiço	99,98	Jacarecanga	99,35

Fonte: IPECE (2012).

Percentual de domicílios ligados à rede geral de água: apesar da cidade em si possuir um valor médio de 93,31% dos domicílios ligados à rede geral de água, verifica-se que alguns bairros da cidade detêm proporções abaixo de 80%, mais precisamente Vila Velha, Sabiaguaba e Jardim Guanabara. Importante destacar que o uso destes indicadores ratifica a pobreza multidimensional independentemente da presença da energia elétrica nos domicílios.

A Tabela 8 apresenta a classificação dos 10 bairros com maior ou menor percentual de domicílios para este indicador.

Tabela 8 - Identificação dos 10 bairros com maior e menor acesso à rede geral de água em Fortaleza

BAIRROS	% de domicílios ligados à rede geral de água	BAIRROS	% de domicílios ligados à rede geral de água
Ceará	77,22	Ceará	93,31
10 maiores		10 menores	
Bom Futuro	99,54	Jardim Guanabara	55,84
Conjunto Ceará II	99,30	Sabiaguaba	66,84
Cidade 2000	99,01	Vila Velha	77,36
Aerolândia	99,00	Jardim Iracema	80,87
Canindezinho	98,87	Praia do Futuro	82,18
Parreão	98,78	Jóquei Club (São Cristovão)	82,19
Jardim América	98,73	Jacarecanga	82,77
Guajeru	98,71	Floresta	82,79
Granja Lisboa	98,69	Quintino Cunha	83,14
Cajazeiras	98,48	Pirambú	84,29

Fonte: IPECE (2012).

Percentual de domicílios ligados à rede geral de esgoto ou pluvial: este indicador é o que detém pior resultado, apresentando de forma clara a significativa desigualdade na oferta deste serviço.

Em análise geográfica dos bairros é possível identificar que os bairros da Cidade 2000, Conjunto Ceará I, Meireles, Bom Futuro e Parreão possuem mais de 98% dos domicílios ligados à rede geral de esgoto, enquanto os bairros do Parque Santa Rosa, Parque Manibura, Curió, Parque Presidente Vargas e Pedras detêm menos de 5%. A proporção de residências em Fortaleza com este serviço é de 59,56%. A Tabela 9 nos apresenta os 10 bairros com maior ou menor acesso à rede de esgotos em Fortaleza.

Tabela 9 - Identificação dos 10 bairros com maior e menor acesso à rede geral de esgoto ou pluvial

Bairros	% de domicílios ligados à rede geral de esgoto	Bairros	% de domicílios ligados à rede geral de esgoto
Ceará	32,76	Fortaleza	59,56
10 maiores		10 menores	
Cidade 2000	99,89	Pedras	0,54
Conjunto Ceará I	99,69	Parque Presidente Vargas	2,41
Meireles	99,01	Curió	2,76
Bom Futuro	98,83	Parque Manibura	4,85
Parreão	98,60	Parque Santa Rosa	4,97
Praia de Iracema	97,98	Sabiaguaba	5,67
Joaquim Távora	97,98	Mata Galinha	6,29
Fátima	97,97	José de Alencar	7,27
Aldeota	97,89	Cidade dos Funcionários	8,22
José Bonifácio	97,85	Planalto Ayrton Senna	9,32

Fonte: IPECE (2012).

A criação do cenário inicial para análise e proposição de regulamentação primou por atender a lacuna identificada que foi o de considerar não somente os beneficiários de baixa renda, mas sim aqueles que residem em áreas em que há prevalência da pobreza multidimensional com base no IDHs dos bairros e no resultado da pesquisa do perfil municipal de Fortaleza.

A análise preliminar para escolha do bairro para realização do estudo de caso nos direciona para o Pirambu por apresentar IDH (0,229828725), classificado como muito baixo e ainda estar classificado entre os 10 bairros com menor número de domicílios atendidos com serviços de acesso à energia elétrica e à rede geral de água.

5.2 Proposição de Regulamentação Premissas

Tendo sido escolhido o bairro, a primeira proposição de regulamentação diz respeito ao direito de acesso ao fluxo do sol. O objetivo principal desta regulamentação é mitigar os riscos inerentes à falta de uma definição clara dos direitos de propriedade dos telhados, das políticas de geração FV e das incertezas de rentabilidade para o investidor.

1^a Proposição – Inclusão na LPUOS, conforme apresentado na Figura 17, que trata da classificação das atividades por zoneamento urbano, o subgrupo Geração de Energia Renovável para as áreas mapeadas como sendo áreas prioritárias para implantação dos PFVAPM, sendo garantido ao investidor período mínimo igual ao de garantia prevista para os equipamentos de geração (em média 20 anos), de acesso ao fluxo do sol, conforme o previsto no projeto de viabilidade técnica e financeira pré-implantação.

De forma complementar, ressalta-se que, para além da garantia de geração FV, o direito ao Sol tem o objetivo de garantir, a todos os cidadãos, o acesso à luz solar em seus imóveis privados e espaços públicos. Esse direito é importante para assegurar qualidade de vida, uma vez que a luz solar é fundamental para a saúde, o bem-estar e o conforto das pessoas. Além disso, de acordo com a Lei Federal nº 10.257/2001, estabelece as diretrizes gerais da política urbana, prevendo a realização do estudo de impacto de vizinhança, de forma a contemplar os efeitos positivos e negativos de empreendimentos ou atividades, a serem definidas por lei municipal, quanto à qualidade de vida da população residente na área e suas proximidades.

Sequencialmente, a normatização sobre o termo CE é imprescindível para novas proposições de regulamentação não somente para os PFVAPM, mas para a geração distribuída como um todo.

No projeto Revolusolar (Biswas et al., n.d.) é possível identificar claramente que o uso do termo comunidade está diretamente associado aos assentamentos informais, anteriormente denominados de favelas, ou seja, o uso do termo comunidade por esses projetos não está necessariamente associado à definição de comunidades de energias renováveis. Precipuamente são feitas proposições de alteração nas definições existentes no capítulo 1 no seu artigo 1º da Lei 14.300, bem como novas inclusões (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2022). Os textos sublinhados são os propostos para serem modificados e/ou incluídos na referida Lei.

Tais alterações e inclusões têm como objetivo subsidiar a definição e criação dos PFVAPM bem como a modalidade de Comunidades de Energias Renováveis (CERs), de forma a responder à lacuna referente a necessidade de atualização da Lei 14.300 no que diz respeito aos métodos de remuneração e de modelos de negócio para o sistema FV de uma forma geral e não somente para atendimento aos PFVAPM.

III - Consórcio de consumidores de energia elétrica: reunião de pessoas físicas e/ou jurídicas (públicas ou privadas) consumidoras de energia elétrica instituído para a geração de energia destinada a consumo próprio, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora.

VI - Crédito de energia elétrica: excedente de energia elétrica não compensado por unidade consumidora participante do SCEE no ciclo de faturamento em que foi gerado, que será registrado e alocado para uso em ciclos de faturamento

subsequentes, ou vendido para a concessionária ou permissionária em que está conectada a central consumidora-geradora ou que poderá ser utilizado como REFIS junto a Receita Federal ou a Secretaria Estadual da Fazenda;

VII - Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: conjunto de unidades consumidoras localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, podendo ser separadas por vias públicas, passagem aérea ou subterrânea ou por propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento, em que as instalações para atendimento das áreas de uso comum, por meio das quais se conecta a microgeração ou minigeração distribuída, constituam uma unidade consumidora distinta, com a utilização da energia elétrica de forma independente, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento;

X - Geração compartilhada: modalidade caracterizada pela reunião de consumidores, por meio de consórcio, cooperativa, comunidade de energia renovável, condomínio civil voluntário ou edilício ou qualquer outra forma de associação civil, instituída para esse fim, composta por pessoas físicas ou jurídicas (públicas ou privadas) que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, com atendimento de todas as unidades consumidoras pela mesma distribuidora;

XIV - Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE): sistema no qual a energia ativa é injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída na rede da distribuidora local, cedida a título de empréstimo gratuito e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia de unidades consumidoras participantes do sistema ou ainda utilizada como REFIS junto a Receita Federal ou a Secretaria Estadual da Fazenda;

XV – Comunidade de Energia Renovável (CER): São comunidades constituídas por participação voluntária, autônoma e efetiva controladas por acionistas ou sócios (todos os integrantes definidos na geração compartilhada) na modalidade de consumo local e/ou remoto desenvolvidos pela pessoa jurídica, compreendendo pessoa física, micro, pequenas e medianas empresas, bem como autoridades locais, incluído os municípios, onde o objetivo é fornecer benefícios ambientais, sociais e econômicos da comunidade aos seus acionistas, sócios ou membros, para áreas locais onde opera

ao invés do lucro financeiro. Benefícios estes previstos dentro da definição do SCEE ou ainda na conversão de melhoria para os equipamentos participantes da comunidade (escolas, postos de saúde, creches etc.). Neste caso, as melhorias devem se previamente aprovadas através de assembleia com a participação de 50%+1 dos acionistas, sócios, membros da comunidade;

XVI – Imposto Predial Urbano Verde (IPTUV): Destinado a contribuir com a preservação recuperação e proteção do meio ambiente concedendo descontos no IPTU de 3% para cada medida definida dentro da Lei, adotada pelo contribuinte, podendo chegar até o desconto máximo de 20% do valor total do IPTU. Para o caso de investidores em PFVAPM o valor da redução deve ser de 10% a 20%, devendo ser renovado anualmente mediante a comprovação anual do investimento.

XVII - Outorga Onerosa de Alteração de Uso do Solo (OOAU): consiste no pagamento de contrapartida financeira pelo beneficiário em favor da possibilidade de flexibilização dos indicadores de uso e ocupação do solo (Câmara Municipal de Fortaleza, 2022), deve ser observada de forma a garantir o não sombreamento de PFVAPM com prazo assegurado de 20 anos a contar da data de entrada em operação prevista no parecer de acesso;

XVIII - Mercado Livre de Energia: representa uma modalidade na qual os consumidores podem negociar livremente a energia elétrica com os fornecedores, escolhendo produtos e serviços mais aderentes às demandas individuais de cada um;

XIX – Grupo Serviços – Subgrupo Geração de Energia Renovável: criação do novo subgrupo específico para áreas de geração de energia renovável a partir da FV, dentro do Zoneamento de baixo IDH. Tendo como principal objetivo assegurar a não expansão vertical das construções e assim impactar na produção de energia FV prevista e implantada.

5.3 Proposição de alteração no PL 624/2023

Nesta fase é realizada avaliação do PL 624/2023 com o intuito precípua de atender às lacunas identificadas do estado da arte, a saber:

1. Atender, além dos consumidores de baixa renda, os consumidores que não estão enquadrados como tal e, consequentemente, não têm direito ao benefício da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), mas que moram em áreas urbanas e em bairros com IDH entre baixo e muito baixo;
2. Atender às demandas da área urbana, onde há um crescimento contínuo de ocupações informais e um aumento geral da pobreza;
3. Criar ou adequar incentivos e atrair investimentos além dos investimentos públicos, de forma a garantir a escalabilidade dos PFVAPM e a assegurar retorno sobre o investimento realizado pelos investidores, sejam eles pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado. Ressalta-se aqui a necessidade de regulamentação complementar para garantir o acesso ao fluxo solar como forma de mitigar os riscos associados ao sombreamento de projetos já executados;
4. Propor novos modelos de negócio capazes de atender às demandas das comunidades carentes, com foco não apenas na geração de energia elétrica ou na redução da tarifa de energia elétrica, mas também na diversificação da matriz energética;
5. Criar uma metodologia de avaliação dos resultados dos PFVAPM com base em indicadores.

Para melhor entendimento do perfil do consumidor a ser atendido pelos PFVAPM, é necessário esclarecer que, de acordo com a regulamentação do Cadastro Único (Decreto nº 6.135/2007), considera-se de baixa renda as famílias com renda familiar mensal per capita de até meio salário-mínimo ou as famílias com renda mensal total de até três salários-mínimos.

O Salário-Mínimo (SM) é definido como a remuneração devida ao trabalhador adulto, sem distinção de sexo, por dia normal de serviço, capaz de satisfazer, em determinada época e região do país, suas necessidades normais de alimentação, habitação, vestuário, higiene e transporte (Decreto-Lei nº 399, art. 2º). Os bens e as quantidades estipuladas variam por região, sendo que a Região 2 considera o Nordeste e parte do Norte do Brasil: Estados de Pernambuco, Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte, Alagoas, Sergipe, Amazonas, Pará, Piauí, Tocantins, Acre, Paraíba, Rondônia, Amapá, Roraima e Maranhão.

O Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE) é responsável por definir o valor da cesta básica por região. Entre março e abril de 2024, nas

cidades do Norte e do Nordeste, onde a composição da cesta é diferente, os menores valores médios foram registrados em Aracaju (R\$ 582,11), João Pessoa (R\$ 614,75) e Recife (R\$ 617,28) (DIEESE, 2024). O impacto disso é ampliado pelo valor das tarifas de energia, onde cerca de 45% dos nordestinos comprometem pelo menos metade do orçamento familiar com a conta de luz. Esse dado é da pesquisa de Justiça Energética realizada pelo Instituto Polis, em parceria com a Inteligência em Pesquisa e Consultoria Estratégica (Ipec). Quando considerado o número de famílias na Região, o levantamento aponta que 62% delas precisam deixar de comprar alimentos básicos para conseguir pagar a energia (Instituto Polis e Inteligência em Pesquisa e Consultoria Estratégica (Ipec), 2024). Portanto, considera-se apto a participar dos PFVAPM todo aquele que tem renda entre o salário-mínimo nominal e o necessário, conforme definido pelo DIEESE (DIEESE, 2020).

Partindo destas premissas, é feita a proposta de complementação ao PL 624/2023, onde o texto complementar proposto, é apresentado em sublinhado, seguido da justificativa para a sugestão de alteração.

Texto original PL 624/2023

Art. 1º Fica instituído o Programa Renda Básica Energética (Rebe), com o objetivo de garantir o acesso à eletricidade a famílias em situação de vulnerabilidade social na faixa de consumo de até 220 kWh (duzentos e vinte quilowatts-hora) por mês, de substituir o benefício da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE) e de desenvolver a produção e a tecnologia nacional

Texto Sugerido

Art. 1º Fica instituído o Programa Renda Básica Energética (Rebe), com o objetivo de garantir o acesso à eletricidade a famílias em situação de vulnerabilidade social, considerando a faixa de renda definida com base no salário-mínimo nominal e o salário-mínimo necessário estipulado pelo DIEESE, devendo ser priorizados os que estão inscritos no cadastro único, porém não se limitando a estes.

A alteração no Art.1º é justificado pelo fato de que a participação no cadastro único pode ser excludente para várias outras famílias que por diferenças pequenas em seus salários ficam fora do enquadramento, porém permanecem em condição de pobreza quando avaliadas sobre o poder aquisitivo de cestas básicas e manutenção de outras necessidades básicas como transporte, saúde, lazer, educação, saneamento, etc. O teto de 220 kWh, pode não refletir as necessidades de famílias em diferentes regiões do Brasil, onde o consumo pode variar

significativamente devido a fatores climáticos, como temperaturas mais altas em algumas áreas que exigem mais uso de climatização.

Texto original PL 624/2023

Art. 2º O Rebe será operacionalizado com a instalação de centrais de microgeração e de minigeração distribuída de energia elétrica renovável, preferencialmente de energia solar fotovoltaica, sobretudo em áreas rurais, flutuantes em lâmina d’água de reservatórios de hidrelétricas e no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida, com o objetivo de gerar energia renovável para atender as famílias de baixa renda.

Texto Sugerido

Art. 2º O Rebe será operacionalizado com a instalação de centrais de microgeração e de minigeração distribuída de energia elétrica renovável, preferencialmente de energia solar fotovoltaica, sobretudo em áreas rurais, flutuantes em lâmina d’água de reservatórios de hidrelétricas, projetos de urbanização de favelas, assentamentos informais, agricultura familiar, em bairros com baixo ou muito baixo IDH e no âmbito do Programa Minha Casa, Minha Vida, com o objetivo de gerar energia renovável para atender às famílias que tenha renda mensal entre os valores do salário mínimo nominal e o salário mínimo necessário, definidos pelo DIEESE.

A alteração considera o fato de que a geração compartilhada e remota traz benefícios relacionados à escala, a redução de custo de transação para realocações de beneficiários, entre outros, mas não permite benefícios que apenas a geração local traz, como: engajamento, sensibilização e conscientização da comunidade local, geração de emprego e renda local, valorização dos imóveis e territórios, disseminação da iniciativa na sociedade, etc.

Texto original PL 624/2023

Parágrafo único. A energia renovável a que se refere o caput deste artigo deverá ser convertida no crédito definido no inciso VI do caput do art. 1º da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, no âmbito do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE).

Texto Sugerido

O SCEE deverá contemplar para além do sistema de compensação a possibilidade de comercialização do excedente para as companhias de energia onde estão localizados os projetos, além do uso dos créditos como REFIS para outras dívidas junto à União, Estado e Município ou até mesmo junto às concessionárias.

A modalidade de compensação de energia prevista do SCEE traz situações em que o excedente pode não ser utilizado pelo gerador, criando um benefício para a concessionária e um ônus para o usuário. A venda do excedente para as concessionárias de energia, além de gerar renda extra, pode ser usada como valor agregado no reajuste às concessionárias de energia. O REFIS já é uma realidade para outras modalidades de geração renovável e, portanto, deve ser considerado nos PFVAMP.

Texto original PL 624/2023

Art. 3º Serão beneficiárias do Rebe as unidades habitacionais de família de baixa renda que se enquadrem nos incisos I e II do caput e no § 1º do art. 2º da Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010.

Texto Sugerido

Art. 3º Serão beneficiários do REBE, famílias que tenham renda mensal entre os valores do salário-mínimo nominal e o salário-mínimo nominal e o necessário, definidos pelo DIEESE. Tendo prioridade, os consumidores de energia elétrica inscritos no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (CadÚnico), instituído pela Lei nº 8.742. A mesma justificativa aplicada ao Art.1º é aplicada a este item.

Texto original PL 624/2023

Parágrafo único. A central geradora de microgeração e de minigeração distribuída será gerenciada diretamente pela ENBPar ou mediante contratação de cooperativas de energia solar fotovoltaica ou de associações ou condomínios da região em que for instalada ou por licitação específica, vedada a participação de concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica e de suas controladas, controladoras, coligadas e subsidiárias.

Texto Sugerido

Parágrafo único. A central geradora de microgeração e de minigeração distribuída será gerenciada diretamente pela ENBPar ou mediante contratação de cooperativas de energia solar fotovoltaica ou de associações ou condomínios da região em que for instalada ou pelos representantes legais das comunidades de energia renovável ou por licitação específica, vedada a participação de concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica e de suas controladas, controladoras, coligadas e subsidiárias.

A criação da modalidade comunidade de energia renovável traz a inovação de ter consórcio ou cooperativas, ou outros modelos contratuais que permitam a participação de

empresas de pequeno, médio e grande porte, além de entidades públicas ou privadas. Além disso, o modelo de negócio CER tem como premissa permitir o compartilhamento da energia e dos resultados, podendo ainda o resultado financeiro ser direcionado para melhorias comuns à CER.

Texto original PL 624/2023

Art. 5º Os recursos direcionados ao Rebe serão alocados de forma independente a partir de recursos destinados à TSEE, de que trata o art. 1º da Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010, associados à Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), de que trata o art. 13 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, entre outros recursos, observadas a disponibilidade financeira e a viabilidade técnica das ações propostas.

Texto Sugerido

Art. 5º Os recursos direcionados ao Rebe serão alocados de forma independente a partir de recursos destinados ao Programa de Energia Renovável Social (PERS), de que trata o Art. 36 da Lei nº 14.300, destinados ao Programa de Energia Renovável Social (PERS), de que trata o Art. 36 da Lei nº 14.300, de 06 de janeiro de 2022, associados aos recursos do Programa de Eficiência Energética, investimentos privados com retorno sobre a forma de IPTU verde, contabilização de créditos de carbono, selo ESG, benefícios decorrentes da venda do excedente de energia e ou ainda da compensação de créditos.

Com o intuito de ampliar o benefício para mais famílias, é fundamental a ampliação das fontes dos recursos que serão utilizados para financiar o REBE, não devendo concentrar-se naqueles já alocados para a tarifa social. Desde sua criação em 2010, o Programa de Energia Renovável Social (PERS) ainda não conta com regulamentação específica nem alocação de recursos, resultando na ausência de projetos executados e deixando inúmeras famílias desatendidas. Diante desse cenário, sugere-se a realocação de recursos provenientes do Programa de Eficiência Energética (PEE).

As distribuidoras de energia elétrica indicam que as atuais medidas de eficiência, como a substituição de lâmpadas convencionais por modelos mais eficientes, já alcançaram um ponto de saturação. Além disso, é essencial aproveitar as próximas revisões dos contratos de concessão das distribuidoras para incluir contrapartidas sociais que viabilizem e priorizem projetos voltados para o PERS, fortalecendo o compromisso com a sustentabilidade e a justiça social no acesso à energia.

Texto original PL 624/2023

Art. 6º São fontes de recursos do Rebe: I – recursos orçamentários da União: a) destinados à ENBPar; b) transferidos por meio de capitalização à ENBPar; c) transferidos à CDE no âmbito da previsão constante do § 1º-H do art. 13 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; II – empréstimos realizados perante bancos públicos, privados e de fomento e fundos públicos ou privados; III – recursos da CDE que seriam aplicados na TSEE, nos termos do art. 7º desta Lei; IV – recursos oriundos de Programa de Eficiência Energética (PEE), de que trata o inciso V do caput do art. 1º da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000; e V – recursos do Programa de Energia Renovável Social (PERS), de que trata o § 1º do art. 36 da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022.

Texto Sugerido

Art. 6º São fontes de recursos do Rebe: I – recursos orçamentários da União: a) destinados à ENBPar; b) transferidos por meio de capitalização à ENBPar; c) transferidos à CDE no âmbito da previsão constante do § 1º-H do art. 13 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; II – empréstimos realizados perante bancos públicos, privados e de fomento e fundos públicos ou privados; III – recursos da CDE que seriam aplicados na TSEE, nos termos do art. 7º desta Lei; IV – recursos oriundos de Programa de Eficiência Energética (PEE), de que trata o inciso V do caput do art. 1º da de fomento e fundos públicos ou privados; III – recursos da CDE que seriam aplicados na TSEE, nos termos do art. 7º desta Lei; IV – recursos oriundos de Programa de Eficiência Energética (PEE), de que trata o inciso V do caput do art. 1º da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000; e V – recursos do Programa de Energia Renovável Social (PERS), de que trata o § 1º do art. 36 da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, investimentos privados com retorno sobre a forma de IPTU verde, contabilização de créditos de carbono, selo ESG, benefícios decorrentes da venda do excedente de energia e ou ainda da compensação de créditos.

A forma de manutenção dos programas sociais deve antever para além do processo de incentivo ao investimento público, o privado. Isso deve acontecer como forma, inclusive, de mudança de mentalidade quanto às políticas sociais, trazendo resultado positivo não somente ao beneficiário direto, mas tornando o investidor privado também um beneficiário.

Texto original PL 624/2023

Art 10- O Art. 13º da Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, passa a vigorar acrescida do seguinte: § 6º É permitida a comercialização do excedente de energia elétrica gerada e não consumida pela unidade consumidora, no caso de unidades habitacionais de famílias de

baixa renda, inscritas no Cadastro Único ou que tenham entre seus membros algum beneficiário do Benefício de Prestação Continuada (BPC), contempladas com a aquisição e a instalação de equipamentos destinados à geração de energia elétrica com base em fonte solar fotovoltaica para uso próprio ou para injeção total ou parcial na rede elétrica das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica, na forma do regulamento.

Texto Sugerido

§ 6º É permitida a comercialização do excedente de energia elétrica gerada e não consumida pela unidade consumidora participante do SCEE, no caso de beneficiários definidos na premissa desta lei, preferencialmente os inscritos no Cadastro Único ou que tenham entre seus membros algum beneficiário do Benefício de Prestação Continuada (BPC), contempladas com a aquisição e a instalação de equipamentos destinados à geração de energia elétrica com base em fonte solar fotovoltaica para uso próprio ou para injeção total ou parcial na rede elétrica com órgãos públicos, concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica, na forma do regulamento. Além de permitir o uso dos créditos no abatimento de dívidas junto a Receita Federal ou ainda a Secretaria da Fazendo observando o formato do REFIS, ou até mesmo com as concessionárias de serviços de utilidade pública para os participantes do programa seja no formato individual ou como comunidade. Para além dos benefícios para os participantes das CERs, investidores privados na modalidade de Pessoa Física passam a ter o benefício de isenção do Imposto de Renda pelo mesmo prazo de 5 anos.

Já está previsto no artigo 36-A da Lei nº 14.620/2023 que “A unidade consumidora participante do SCEE poderá comercializar excedente de energia elétrica com órgãos públicos desde que seja beneficiária de programa social ou habitacionais das esferas federal, estadual, distrital ou municipal.” Portanto, faz-se necessário a atualização da redação no que diz respeito ao abatimento de dívidas nos âmbitos federais, estaduais e ou municipais, seja para os beneficiários ou ainda para os investidores privados dos programas associados a geração de energia FV em áreas classificadas como prioritárias para aplicação destes projetos. Além disso, conforme regulamentado pelo Ministério de Minas de Energia através da Portaria N°78/GM/MME, os incentivos concedidos de isenção de Pis e Cofins para projetos de minigeração distribuída, devem ser ampliados para investidores privados na modalidade de Pessoa Física com o benefício de isenção do Imposto de Renda pelo mesmo prazo concedido pela Portaria N°78/GM/MME, ou seja, de cinco anos, mediante investimento em PFVAMP.

Aqui ressalta-se a necessidade de consolidação de legislações atuais consolidação de legislações atuais como o Decreto 12.084 de 28 de junho de 2024, que institui o Programa Energia Limpa no Programa minha casa minha vida e demais projetos de Lei como o 2953/2022, que Institui o Programa de Energia Renovável para Agricultura Familiar e para Consumidores de Baixa Renda - Programa Luz do Sol e o próprio PL 624/2023.

5.4 Metodologia de avaliação dos PFVAMP

Para definir a metodologia de avaliação dos PFVAPM, é necessário, primeiramente, estabelecer os objetivos de cada projeto. Conforme proposto nesta tese, a ideia é que esses projetos atendam a pelo menos um indicador social, um ambiental e um econômico, com um objetivo distinto da simples diversificação da matriz e da redução da tarifa de energia elétrica.

Para a definição dos indicadores a serem utilizados no acompanhamento e avaliação dos PFVAPM, é proposto o formulário "Ficha Técnica do Indicador" (FTI), apresentado na Tabela 10. A FTI detalha as definições de cada item, explicando o que deve ser informado em cada campo. Vale destacar que os itens "periodicidade da compilação dos dados", "periodicidade da análise" e "meta" devem ser avaliados considerando o nível de maturidade dos gestores, além da estratégia adotada em cada projeto.

Tabela 10 – Ficha Técnica do Indicador (continua)

NOME E LOCALIZAÇÃO DO PFVAM	Definição do nome e localização do PFVAMP
DATA DE INÍCIO DE AVALIAÇÃO DO PROJETO	Definição de data de início de coleta de dados e preenchimento do indicador
NOME DO INDICADOR	Nome de identificação do indicador
PERSPECTIVA	Ambiental, social ou econômica
DESCRIÇÃO E JUSTIFICATIVA	Descrição e justificativa do indicador
FÓRMULA (MÉTODO DE CÁLCULO)	Definição matemática do método/cálculo do indicador
DEFINIÇÃO DE TERMOS A) NUMERADOR B) DENOMINADOR	Descreva o significado de cada termo que compõe a fórmula do indicador. Exemplo: a) N° de usuários beneficiados: quantidade de usuários efetivos do PFVAMP b) N° previsto de usuários beneficiados: quantidade de usuários previstos do PFVAMP

Tabela 10 – Ficha Técnica do Indicador (conclusão)

METODOLOGIA DE COLETA E COMPILAÇÃO	Para obtenção do número de beneficiários é necessário realizar cadastro prévio dos que estão selecionados para participar do PFAVMP. Será computado como beneficiário o CPF atendido a partir do início da execução do PFVAMP
FONTE	Todas as informações necessárias podem ser coletadas e consolidadas através do CRM, por exemplo.
FONTE	Todas as informações necessárias podem ser coletadas e consolidadas através do CRM, por exemplo.
UNIDADE DE MEDIDA	Índice ou percentual
RESPONSÁVEL	O responsável por coletar e consolidar a informação é o colaborador.
PERIODICIDADE DA COMPILAÇÃO	A compilação das informações é mensal ou bimestral etc.
PERIODICIDADE DA ANÁLISE	A análise das informações é mensal ou bimestral etc.
META	Qual o valor com base na unidade de medida se espera obter e em qual período

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como exemplo da utilização da FTI aplicada à cidade de Fortaleza, no bairro do Pirambu, o primeiro indicador proposto é apresentado na Tabela 12: Indicador Social – Geração de Renda.

Este indicador é classificado como de perspectiva social, e seu objetivo é definido na FTI. A periodicidade de medição e análise mensal visa criar uma série histórica de geração de renda com base na data de implantação do projeto. A meta do indicador é que pelo menos 10% da população prevista para ser atendida pelo projeto passe a gerar renda com base no projeto.

Tabela 11 – Ficha Técnica do Indicador Geração de Emprego (continua)

NOME E LOCALIZAÇÃO DO PFVAM	Bairro Pirambu
DATA DE INÍCIO DE AVALIAÇÃO DO PROJETO	Data fictícia
NOME DO INDICADOR	Geração de renda
PERSPECTIVA	Social
DESCRIPÇÃO E JUSTIFICATIVA	Objetivo medir e acompanhar a quantidade de renda gerada advindas do processo de implantação dos PFVAMP, seja pela geração de renda por conta da implantação e manutenção (a ser realizada após treinamento pela comunidade beneficiada) ou pela oportunidade de geração de renda com outras atividades possibilitadas pelo PFVAMP.

Tabela 11 – Ficha Técnica do Indicador Geração de Emprego (conclusão)

FÓRMULA (MÉTODO DE CÁLCULO)	Quantidade de usuários com renda/quantidade de usuários sem renda
DEFINIÇÃO DE TERMOS A) NUMERADOR B) DENOMINADOR	a) Nº de usuários com renda: quantidade de usuários efetivos que passaram a ter renda decorrente da implantação do PFVAMP, seja pelo conhecimento adquirido para implantação e manutenção do sistema, seja pelo aluguel do seu telhado para geração ou pelo desenvolvimento de outra atividade que foi possibilitada após a implantação do PFVAMP. b) Nº previsto de usuários sem renda: quantidade de usuários sem renda antes do PFVAMP
METODOLOGIA DE COLETA E COMPILAÇÃO	Para obtenção do número de beneficiários é necessário realizar cadastro prévio dos que estão selecionados para participar do PFAVMP. Será computado como beneficiário o CPF atendido a partir do início da execução do PFVAMP
FONTE	Pesquisa local com os participantes do PFVAMP.
UNIDADE DE MEDIDA	Índice ou percentual
RESPONSÁVEL	Coordenação do projeto local
PERIODICIDADE DA COMPILAÇÃO	A compilação das informações é mensal
PERIODICIDADE DA ANÁLISE	A análise das informações é mensal
META	Geração de renda para pelo menos 10% da população sem renda.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O segundo indicador é a emissão de dióxido de carbono (CO_2) evitada, apresentado na Tabela 13. Este indicador pertence à perspectiva ambiental e, além disso, é um dos parâmetros avaliados em aplicativos de avaliação técnica e financeira, como o PVsyst e o PVsol.

Tabela 12 – Ficha Técnica do Indicador Emissão de CO_2 evitada (continua)

NOME E LOCALIZAÇÃO DO PFVAM	Bairro Pirambu
DATA DE INÍCIO DE AVALIAÇÃO DO PROJETO	Data fictícia
NOME DO INDICADOR	Emissão de CO_2 evitada
PERSPECTIVA	Ambiental
DESCRIPÇÃO E JUSTIFICATIVA	Os PFVAMP têm como objetivo atender aos pilares da sustentabilidade buscando resultados outros diferentes da diversificação da matriz energética. Estimar o quanto se evitou de emissão de CO_2 , é um indicador importante sobre o aspecto ambiental, mas que também pode contribuir como resultado financeiro através da venda de créditos de carbono.

Tabela 12 – Ficha Técnica do Indicador Emissão de CO2 evitada (conclusão)

FÓRMULA (MÉTODO DE CÁLCULO)	Eletricidade produzida (Kw/h) x fator de emissão de CO2 (Kg/ Kw/h)= CO2 produzido (Kg)
DEFINIÇÃO DE TERMOS A) NUMERADOR B) DENOMINADOR	O fator emissão de CO2 relacionado acima, pode ser obtido através do relatório mensal do órgão Ministério da Ciência e Tecnologia, que têm como objetivo estimar a quantidade de CO2 associada a uma geração de energia elétrica determinada.
METODOLOGIA DE COLETA E COMPILAÇÃO	Os dados de geração serão obtidos a partir do sistema de monitoramento da planta de geração
FONTE	A partir do controle de energia gerada pelo PFVAMP
UNIDADE DE MEDIDA	Percentual
RESPONSÁVEL	Coordenação do projeto local
PERIODICIDADE DA COMPILAÇÃO	A compilação das informações é mensal
PERIODICIDADE DA ANÁLISE	A análise das informações é mensal
META	Ainda não definido por não ter dados anteriores

Fonte: Elaborada pelo autor.

O terceiro indicador é a relação percentual entre os investimentos públicos e privados no PFVAMP, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 13 – Ficha Técnica do Indicador percentual de investimento público x privado (continua)

NOME E LOCALIZAÇÃO DO PFVAM	Bairro do Pirambu
DATA DE INÍCIO DE AVALIAÇÃO DO PROJETO	Data fictícia
NOME DO INDICADOR	Percentual de investimento público x privado
PERSPECTIVA	Econômica
DESCRÍÇÃO E JUSTIFICATIVA	Avaliar a atratividades dos PFVAMP para investidores privados
FÓRMULA (MÉTODO DE CÁLCULO)	(Valor do investimento público/valor total do projeto) <i>versus</i> (valor do investimento privado/valor total do projeto)
DEFINIÇÃO DE TERMOS A) NUMERADOR B) DENOMINADOR	Valor total do investimento Público no PFVAMP ou Valor total do investimento privado no PFVAMP Valor total do investimento necessário ao PFVAMP
METODOLOGIA DE COLETA E COMPILAÇÃO	Baseado no projeto de execução do PFVAMP e nos contrato de participação financeira público e privada
FONTE	A partir dos contratos celebrados

Tabela 13 – Ficha Técnica do Indicador percentual de investimento público x privado (conclusão)

UNIDADE DE MEDIDA	Percentual
RESPONSÁVEL	Coordenação do projeto local
PERIODICIDADE DA COMPILAÇÃO	A compilação das informações é mensal
PERIODICIDADE DA ANÁLISE	A análise das informações é mensal
META	Ainda não definido por não ter dados anteriores

Fonte: Elaborada pelo autor.

Além dos indicadores apresentados, há outros básicos que devem ser considerados na etapa inicial dos PFVAPM, tais como: número de pessoas atendidas pelo projeto; número de pessoas treinadas para a manutenção dos sistemas FV; percentual de geração real versus geração prevista; quantidade de avarias e manutenções no sistema; percepção de benefícios pela comunidade atendida; eletricidade autoconsumida ou lucro da venda; reinvestimento em saneamento básico; dívidas quitadas decorrentes da comercialização dos excedentes; valor percentual de benefícios obtidos pelos investidores privados, entre outros. A implantação dos indicadores deve ser avaliada levando-se em consideração o grau de maturidade de cada projeto, bem como o seu tempo de vida.

5.5 Cenário técnico-financeiro de aplicação da proposição da tese

Dentre os cenários possíveis de novos modelos de negócio e de avaliação financeira, o CVE é utilizado para realizar a simulação. O cenário previsto parte das premissas apresentadas na Tabela 14.

É importante destacar que são considerados os seguintes pontos:

- Atendimento à demanda total de energia (incluindo tanto o investidor quanto o beneficiário do PFVAPM), aproximadamente 900 kWh/mês.
- Investimento 100% privado.
- Substituição dos inversores do sistema FV nos anos 10 e 20 após a implantação.

- O Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), utilizado para medir a inflação e ajustar a taxa básica de juros definida pelo Banco Central do Brasil, foi o índice utilizado para calcular os reajustes dos custos fixos do projeto.

Tabela 14 – Premissas para realização do cálculo do CNE

Premissas	
Custo do Investimento Inicial (R\$)	25.000
Custo de operação e manutenção (R\$)	625
O&M Taxa de correção (%)	IPCA
Aluguel do telhado (R\$)	212
Treinamento (R\$)	600
Subsídios	
Produção anual de eletricidade (kWH)	11.750
Tempo de vida do projeto (anos)	25
Taxa de desconto (%)	10,34%
Data de início	01/08/2024
Taxa de correção (%) IPCA	4,10%

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Custo de operação e manutenção (O&M) do sistema é considerado como sendo de 2,5% do valor total do investimento inicial no projeto. Além deste, é estimado o tempo de vida do projeto como sendo de 25 anos.

Na Tabela 15 são apresentados os valores calculados com base nas premissas estabelecidas. Apesar de estarem sendo apresentados somente os valores até o ano 10 de operação do sistema, os cálculos são realizados para o tempo de vida do projeto igual a 25 anos.

Outro ponto a ser observado é que para a composição do cálculo do valor presente líquido (VPL) dos custos, no item O&M do ano 10, a taxa de correção utilizada é de 23%, considerando a necessidade de substituição do inversor. Essa mesma metodologia é considerada para o ano 20 do projeto.

Tabela 15 – Valor presente líquido dos custos totais do projeto

Custos totais	Início do projeto	Construção	Operação	Operação	Operação	Operação	Operação	Operação	Operação	Operação	Operação	Operação
Data	01/08/2024	01/08/2025	01/08/2026	01/08/2027	01/08/2028	01/08/2029	01/08/2030	01/08/2031	01/08/2032	01/08/2033	01/08/2034	
Ano desde a entrada em operação		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Investimento inicial	25.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O&M custos	-	-	901	933	965	999	1.034	1.070	1.108	1.147	1.185	1.410
Aluguel do telhado (R\$)	212	220	228	236	244	253	262	271	280	290	300	300
Treinamento	600	624	646	669	692	716	742	768	794	822	851	851
Fator de desconto	90,6%	82,1%	74,4%	67,5%	61,1%	55,4%	50,2%	45,5%	41,3%	37,4%		
Valor presente Líquido (VPL) custos	25.812	765	1.458	1.368	1.283	1.204	1.129	1.059	994	932	958	
VPL dos custos - Total (25 anos)	R\$ 43.813,81											

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a previsão de produção anual de energia elétrica, é considerada uma taxa de degradação na eficiência de geração do sistema como sendo de 2,5% para o primeiro ano e de 0,50% para os demais anos. Na Tabela 16, é o cálculo anual para o período inicial de 10 anos, porém o resultado do valor presente de geração de energia total é calculado com base no período de 25 anos.

Tabela 16 – Previsão de geração de energia elétrica do sistema FV

Produção total de energia	Entrada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produção anual	-	11.750	11.750	11.750	11.750	11.750	11.750	11.750	11.750	11.750	11.750
Fator de eficiência	-	97,6%	99,0%	98,5%	98,0%	97,5%	97,1%	96,6%	96,1%	95,6%	95,1%
Valor presente de geração de energia	-	11.463	11.633	11.575	11.518	11.461	11.404	11.347	11.290	11.234	11.178
Valor presente de geração de energia	275.258 kWh										

Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerado o VPL dos custos totais e o VP da geração para o período de 25 anos, é calculado um CVE de R\$ 0,16 (dezesseis centavos de real). O valor da tarifa de energia residencial vigente em (01/08/2024) nas concessionárias a de Fortaleza é de R\$ 0,62102/kWh, logo a diferença entre a tarifa residencial atual e o CVE é da ordem de R\$ 0,46 (quarenta e seis centavos de real), ou seja, o valor do CVE é atrativo para o investidor, por apresentar uma redução de mais de 20% no valor da tarifa residencial paga à concessionária local.

Como conclusão parcial, o presente capítulo apresenta os resultados e as discussões referentes ao estudo de caso para Fortaleza, as propostas de alteração nas atuações legislativas, bem como nos PLs que estão em tramitação no legislativo brasileiro, e a metodologia proposta para a medição e monitoramento do desempenho dos PFVAPM. As propostas de regulamentação ainda têm como base as diretrizes europeias, considerando o grau de maturidade existente naquele continente em relação às CE.

As proposições apresentadas, além de atenderem às lacunas identificadas nas etapas anteriores da pesquisa, consolidam pelo menos três legislações: Lei 14.300, Decreto 12.084 de 28 de junho de 2024 e PL 624/2023. Tais documentos corroboram a tese inicial de que os projetos de energia FV no Brasil ainda têm como objetivo principal a redução da tarifa de energia e a diversificação da matriz energética, ficando de fora o objetivo de qualidade de vida e segurança social.

De forma complementar à validação da proposição conceitual de regulamentação, a simulação de um cenário para cálculo do CVE é apresentado e traz como resultado um CVE atrativo ao investidor, com uma redução na tarifa de energia elétrica, de mais de 20% em relação ao valor da tarifa aplicada pela concessionária local de energia elétrica.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de projetos fotovoltaicos para alívio da pobreza energética traz grandes e importantes lições, tanto de caráter técnico quanto social. Partindo das lacunas identificadas nesses projetos e da crescente população urbana, frequentemente em assentamentos informais, a solução proposta para a criação de regulamentação para os PFVAPM prima pelo processo inicial de integração entre os planejamentos energético e urbano, uma vez que o crescimento urbano, a ordenação do espaço físico e as demandas por energia dependem desta constituição.

A metodologia proposta é baseada nas áreas urbanas e transcende as questões de acesso à energia e à pobreza financeira. A proposta começa considerando o grau de desigualdade na distribuição de riqueza, através do Índice de Gini, e de forma complementar considera o IDH dos bairros, o que ratifica a necessidade de uma política específica para o meio urbano, uma vez que mesmo uma cidade com alto IDH não assegura que todos os bairros o tenham, conforme os parâmetros urbanísticos previstos na LPUOS.

Analizando os dados da cidade de Fortaleza, é possível comprovar que dentro de um mesmo zoneamento urbano é possível termos IDH muito alto, como é o caso do bairro do Meireles (0,953077045) e muito baixo para o bairro do Pirambu (0,229828725), além de escassez de acesso a outros serviços de necessidade básica como saneamento e acesso à água potável. Além disso, fica claro que o acesso à eletricidade por si só não elimina a pobreza

multidimensional. No quesito parâmetros urbanísticos, a escolha se deu em função da identificação de locais onde a predominância de altura das construções seja tal que não incorrem no risco de sombreamento nos projetos implantados, e como forma de assegurar o acesso ao recurso solar, se inicia a proposição de alteração da LPUOS com a criação de áreas para GD/PFVAPM onde se assegure o direito de acesso ao fluxo do sol observando os prazos estabelecidos pelo fornecedor dos equipamentos de geração de energia. Ademais, faz-se necessário e importante destacar que a Outorga Onerosa de Alteração de Uso do Solo também deve prever a garantia do acesso ao fluxo do sol.

Nas regulamentações existentes analisadas, é possível identificar a manutenção do objetivo de redução da pobreza energética, da tarifa de energia e da diversificação da matriz energética. Para além disso, em análise comparativa com legislações europeias, identifica-se a necessidade de atualização dos modelos de negócio relacionados à GD brasileira, bem como de novas modalidades, como a das comunidades de energia renovável. Ademais, a formalização da definição de CE é mandatória como forma de evitar o uso indevido do termo comunidade aplicado aos assentamentos informais, antigas favelas e às comunidades de energia em si.

No que tange aos incentivos e subsídios governamentais, identifica-se a necessidade de envolver o setor privado como forma de mudança de cultura e de funcionamento das políticas públicas sociais. Isso porque as regulamentações têm que ter um arcabouço que assegure segurança da manutenção das políticas propostas e muitas vezes, com a mudança de governo, os projetos podem perder força, chegando até mesmo a deixar de existir. A participação privada apresenta a possibilidade de mudança de cultura e postura da sociedade, na qual se torne possível mudar a visão sobre a GD como uma commodity e passe a ter seu papel principal associado à sustentabilidade da localidade onde o projeto está inserido. A Proposição prevê ainda metodologia de duração dos incentivos e subsídios, bem como retornos para os investidores para além do financeiro direto, como o IPTU verde, o REFIS, isenção do imposto de renda da pessoa física e melhoria da reputação social.

Por fim, observa-se que as atuais leis, assim como as que estão em fase de votação no legislativo brasileiro, mantém o foco na redução de tarifas, na pobreza energética e na diversificação da matriz elétrica. Além de apresentarem redundância como identificado entre o Decreto 12.084/2024 que trata do programa energia limpa no projeto minha casa minha vida, a

Lei 14300 que institui o programa de energia elétrica social (PERS) e o PL Nº 2.458/2022 e a proposição apresentada já unifica vários artigos e incisos destas legislações.

A realização de simulação para cenário com financiamento 100% privado apresenta resultados atrativos para o investidor, na qual se verifica uma redução de mais de 20% no valor da tarifa de energia quando comparado com a tarifa aplicada pela concessionária local de energia elétrica.

Além disso, a metodologia proposta pode ser adequada a outros tipos de fonte de geração, bem como a outros países, para tanto sendo necessário adequar à realidade das leis locais. Por conta disso, a proposição apresentada pode otimizar o planejamento e as tomadas de decisões em termos de diferentes métodos de escolha dos locais, modelos de negócio, subsídios, incentivos, métricas, principalmente por não haver metodologia similar na literatura.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, R. H.; SADATH, A. C. Energy poverty and economic development: Household-level evidence from India. **Energy and Buildings**, v. 183, p. 785–791, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.047>.
- ACOSTA-PAZMIÑO, I. P.; RIVERA-SOLORIO, C. I.; GIJÓN-RIVERA, M. Scaling-up the installation of hybrid solar collectors to reduce CO₂ emissions in a Mexican industrial sector from now to 2030. **Applied Energy**, v. 298, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117202>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687**. 2015. Disponível em: http://www.bioenergiaengenharia.com.br/RESOLUCAO%20NORMATIVA%20REN%20687_2015.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.
- ANDREO-MARTÍNEZ, P. *et al.* Production of biodiesel under supercritical conditions: State of the art and bibliometric analysis. **Applied Energy**, v. 264, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114753>.
- ARAGÃO, P. M. C.; CARVALHO, A. S. de; ANHALT, J. Photovoltaic water pumps for small communities in the semi-arid northeastern region of Brazil. **12TH European Photovoltaic Solar Energy Conference**, 1994.
- AZNAR-SÁNCHEZ, J. A. *et al.* Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 221, p. 38–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.243>.
- BARARA, M. *et al.* Flexible control for small power generation employing renewable energy source used in isolated communities. **56th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University**, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/RTUCON.2015.7343133>.
- BAURZHAN, S.; JENKINS, G. P. Off-grid solar PV: Is it an affordable or appropriate solution for rural electrification in Sub-Saharan African countries?. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.016>.
- BEDNAR, D. J.; REAMES, T. G. Recognition of and response to energy poverty in the United States. **Nature Energy**, v. 5, p. 432–439, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0582-0>.
- BIRESSELI OGLU, M. E. *et al.* Legal provisions and market conditions for energy communities in austria, germany, greece, italy, spain, and turkey: A comparative assessment. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132011212>.

BOLLER, M. *et al.* The design, installation and testing of a prototype photovoltaic system for remote villages along the Amazon River in Nauta, Peru. **Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)**, p. 1–7, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/GHTC.2017.8239346>.

BRAEUFER, F. *et al.* Optimal system design for energy communities in multi-family buildings: the case of the German Tenant Electricity Law. **Arxiv**, 2021. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2105.11195>. Acesso em 20 jun. 2024.

BRASIL. Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. **Diário Oficial da União**, 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-37246782>. Acesso em: 20 jun. 2024.

BRUMANA, G. *et al.* Techno-economic optimization of hybrid power generation systems: A renewables community case study. **Energy**, v. 246, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123427>.

BRUNET, C. *et al.* The three paradoxes of the energy transition - Assessing sustainability of large-scale solar photovoltaic through multi-level and multi-scalar perspective in Rwanda. **Journal of Cleaner Production**, v. 288, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125519>.

CÂMARA MUNICIPAL DE FORTALEZA. **Lei Complementar Nº 0343 - Outorga Onerosa de Alteração de Uso**. Fortaleza, 2022.

CASILLAS, C. E.; KAMMEN, D. M. The delivery of low-cost, low-carbon rural energy services. **Energy Policy**, v. 39, p. 4520–4528, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.018>.

CHEN, C. *et al.* Linking social-psychological factors with policy expectation: Using local voices to understand solar PV poverty alleviation in Wuhan, China. **Energy Policy**, v. 151, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112160>.

CNN BRASIL. **Censo 2022: Veja as 10 Maiores e Menores Cidades do País**. 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/censo-2022-veja-as-10-maiores-e-menores-cidades-do-pais/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

COLLAÇO, F. M. de A. *et al.* The dawn of urban energy planning – Synergies between energy and urban planning for São Paulo (Brazil) megacity. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 458–479, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.013>.

CONGRESSO NACIONAL. **Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CREUTZIG, F. *et al.* Urban infrastructure choices structure climate solutions. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 1054–1056, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate3169>.

DIEESE. **Pesquisa nacional da Cesta Básica de Alimentos.** 2020. Disponível em: <https://www.dieese.org.br/analisecestabasica/salarioMinimo.html#2023>. Acesso em: 20 jun. 2024.

_____. **Análise Cesta Básica 2024.** 2024.

DING, L. *et al.* How does satisfaction of solar PV users enhance their trust in the power grid? - Evidence from PPAPs in rural China. **Energy, Sustainability and Society**, n. 11, v. 31, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00306-4>.

DIOUF, B.; MIEZAN, E. The limits of the concession-led model in rural electrification policy: The case study of Senegal. **Renewable Energy**, v. 177, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.077>.

EERE. Low-Income Energy Affordability Data (LEAD) Tool. **LEAD**, 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/slsc/low-income-energy-affordability-data-lead-tool>. Acesso em: 20 jun. 2024.

EHRTMANN, M.; HOLSTENKAMP, L.; BECKER, T. Regional electricity models for community energy in germany: The role of governance structures. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, p. 1–24, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13042241>.

ELLEGAARD, O.; WALLIN, J. A. The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact. **Scientometrics**, v. 105, p. 1809–1831, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>.

EUROPEAN UNION. **Directives Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast).** 2018. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>. Acesso em: 20 jun. 2024.

_____. **Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU (recast).** 2019. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=EN>. Acesso em: 20 jun. 2024.

FEDRIZZI, M. C. **Sistemas Fotovoltaicos de Abastecimento de Água para uso comunitário: Lições apreendidas e Procedimentos para potencializar sua difusão.** 2003.

GALVÃO, M. L. de M. *et al.* Connections Between Wind Energy, Poverty and Social Sustainability in Brazil's Semiarid. **Sustainability**, v. 12, p. 864, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12030864>.

GEALL, S.; SHEN, W. **Energy Transformations-China Solar PV and poverty alleviation in China: Rhetoric and reality.** 2017. Disponível em: www.steps-centre.org/publications. Acesso em: 20 jun. 2024.

GEALL, S.; SHEN, W.; GONGBUZEREN. Solar energy for poverty alleviation in China: State ambitions, bureaucratic interests, and local realities. **Energy Research & Social Science**, v. 41, p. 238–248, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.035>.

GONZÁLEZ-EGUINO, M. Energy poverty: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.013>.

GRAY, L. *et al.* The power of small-scale solar: gender, energy poverty, and entrepreneurship in Tanzania. **Development in Practice**, v. 29, p. 26–39, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/09614524.2018.1526257>.

GREGSON, P. L. Solar Energy Fuels Solutions to Hunger and Poverty in Central America. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 95, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(95\)00299-5](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(95)00299-5).

HAN, M. *et al.* Chinese photovoltaic poverty alleviation: Geographic distribution, economic benefits and emission mitigation. **Energy Policy**, v. 144, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111685>.

HOU, J.; LUO, S.; CAO, M. A review on China's current situation and prospects of poverty alleviation with photovoltaic power generation. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5048102>.

HUANG, F. *et al.* Of job, skills, and values: Exploring rural household energy use and solar photovoltaics in poverty alleviation areas in China. **Energy Research and Social Science**, v. 67, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101517>.

HUANG, Y. *et al.* Social impact assessment of photovoltaic poverty alleviation program in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 290, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125208>.

INSTITUTO PÓLIS E INTELIGÊNCIA EM PESQUISA E CONSULTORIA ESTRATÉGICA. IPECE. **6 em cada 10 famílias do Nordeste deixam de comprar comida para pagar conta de luz.** 2024. Disponível em: <https://Diariodonordeste.Verdesmares.Com.Br/Negocios/6-Em-Cada-10-Familias-Do-Nordeste-Dexam-de-Comprar-Comida-Para-Pagar-Conta-de-Luz-1.3521967>. Acesso em: 20 jun. 2024.

_____. **Perfil Municipal de Fortaleza.** 2012. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2012/12/Ipece_Informe_44_12_novembro_2012.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

JACOBSON, A. Connective Power: Solar Electrification and Social Change in Kenya. **World Development**, v. 35, p. 144–162, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2006.10.001>.

JAFINO, B. A. *et al.* **Revised Estimates of the Impact of Climate Change on Extreme Poverty by 2030 Poverty and Shared Prosperity 2020 Background Paper.** 2020. Disponível em: <http://www.worldbank.org/prwp>. Acesso em: 20 jun. 2024.

KANDEAL, A. W. *et al.* Nano-enhanced cooling techniques for photovoltaic panels: A systematic review and prospect recommendations. **Solar Energy**, v. 227, p. 259–272, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.09.013>.

LI, J. *et al.* Has solar PV achieved the national poverty alleviation goals? Empirical evidence from the performances of 52 villages in rural China. **Energy**, v. 201, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117631>

LI, T.; ROSKILLY, A. P.; WANG, Y. Life cycle sustainability assessment of grid-connected photovoltaic power generation: A case study of Northeast England. **Applied Energy**, v. 227, p. 465–479, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.021>.

LI, Y. *et al.* A review of photovoltaic poverty alleviation projects in China: Current status, challenge and policy recommendations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.012>

LINKOV, I. *et al.* Resilience metrics for cyber systems. **Environment Systems and Decisions**, v. 33, p. 471–476, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10669-013-9485-y>.

LIU, Y.; BAH, Z. Enabling development impact of solar mini-grids through the community engagement: Evidence from rural Sierra Leone. **Energy Policy**, v. 154, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112294>.

LIU, Z. *et al.* Using solar house to alleviate energy poverty of rural Qinghai-Tibet region, China: A case study of a novel hybrid heating system. **Energy and Buildings**, v. 178, p. 294–303, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.042>.

_____. *et al.* Evaluating potentials of passive solar heating renovation for the energy poverty alleviation of plateau areas in developing countries: A case study in rural Qinghai-Tibet Plateau, China. **Solar Energy**, v. 187, p. 95–107, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.05.049>.

LUO, G. L. *et al.* Financing risks involved in distributed PV power generation in China and analysis of countermeasures. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 63, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.026>.

MACHADO FILHO, H. **Documentos Temáticos ONU Brasil.** 2017. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/publications/documentos-tematicos-ods-1-2-3-5-9-14>. Acesso em: 20 jun. 2024.

MACLACHLAN, A.; PECEN, R.; JOYE, N. Project education-based applied technologies for poverty alleviation, ending hunger, achieving food security and promoting sustainable Ag. **2017**

IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference (IHTC), p. 113–118, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/IHTC.2017.8058170>.

MALEKI, A. *et al.* A novel framework for optimal photovoltaic size and location in remote areas using a hybrid method: A case study of eastern Iran. **Energy Conversion and Management**, v. 153, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.061>.

MARCHAND, R. *et al.* Examining the relationship between energy poverty and measures of deprivation. **Energy Policy**, v. 130, p. 206–217, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.026>.

MAZZONE, A. et al. A multidimensionalidade da pobreza no Brasil: um olhar sobre as políticas públicas e os desafios da pobreza energética. **Revista Brasileira de Energia**, v. 27, 2021. DOI: <https://doi.org/10.47168/rbe.v27i3.644>.

MEAH, K.; ALI, Md. H. Sustainable Small-Scale Photovoltaic Technology for Poverty Alleviation—a Case Study in Bangladesh. **2019 IEEE Green Technologies Conference(GreenTech)**, p. 1–4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/GreenTech.2019.8767154>.

MIRZA, B. Energy Poverty and the Perception of, and Satisfaction with, Renewable Energy Technologies: The Case of Solar Villages in Pakistan. **Sustainable Access to Energy in the Global South**, p. 113–127, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20209-9_10.

MOLYNEAUX, L. *et al.* Resilience and electricity systems: A comparative analysis. **Energy Policy**, v. 47, p. 188–201, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.057>.

MOORE, R. Definitions of fuel poverty: Implications for policy. **Energy Policy**, v. 49, p. 19–26, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.057>.

MULUGETTA, Y.; URBAN, F. Deliberating on low carbon development. **Energy Policy**, v. 38, p. 7546–7549, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.049>.

NDUKA, E. How to get rural households out of energy poverty in Nigeria: A contingent valuation. **Energy Policy**, v. 149, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112072>.

NOBRE, P. *et al.* Solar smart grid as a path to economic inclusion and adaptation to climate change in the Brazilian Semiarid Northeast. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 11, p. 499–517, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-09-2018-0067>.

OBENG, G. Y. *et al.* Solar photovoltaic electrification and rural energy-poverty in Ghana. **Energy for Sustainable Development**, v. 12, 2008. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60418-4](https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60418-4).

OJHA, S. K. The promotion and development of renewable energy technologies: current status and pattern of use in Nepal. **International Journal of Energy Technology and Policy**, v. 1, p. 432, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJETP.2003.003858>.

- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- _____. ONU. **Novas Perspectivas Global Reportagens Humanas**. 2023. Disponível em: <https://News.Un.Org/Pt/Story/2023/07/1817247>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- PADILHA CAMPOS LOPES, M. *et al.* Water-energy nexus: Floating photovoltaic systems promoting water security and energy generation in the semiarid region of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 273, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122010>.
- PAPADOPOLOU, S. *et al.* Addressing Energy Poverty through Transitioning to a Carbon-Free Environment. **Sustainability**, v. 11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11092634>.
- PETERS, M. *et al.* Community solar initiatives in the United States of America: Comparisons with – and lessons for – the UK and other European countries. **Energy Policy**, v. 121, p. 355–364, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.022>.
- PIAI, J. C.; GOMES, R. D. M.; JANNUZZI, G. D. M. Integrated resources planning as a tool to address energy poverty in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 214, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109817>.
- POVEDA, Y. E. M.; LOSEKANN, L. D.; SILVA, N. R. da. Medindo a pobreza energética no Brasil uma proposta fundamentada no Índice de Pobreza. **ANPEC**, JEL: p. 36, i. 32, q. 40.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. **Cartilha de revisão do Plano Diretor**. n. d.
- _____. Mapa 01: **identificação das zonas por macrozonas**. 2017. Disponível em: <https://urbanismoe meioambiente.fortaleza.ce.gov.br/urbanismo-e-meio-ambiente/726-mapas-do-parcelamento-uso-e-ocupacao-do-solo-lei-n-236-2017>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- _____. Plano Diretor de Fortaleza. 2023. Disponível em: <https://Planodiretor.Fortaleza.Ce.Gov.Br/Ords/r/Diretor/Plano-Diretor/Grandes-Eixos?Session=4864435537390>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- _____. **Lei complementar Nº 236 - Parcelamento, uso e ocupação do solo no município de Fortaleza**. 2017.
- PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS. **Decreto-Lei Nº 15/2022**. 2022. Disponível em: <https://files.dre.pt/1s/2022/01/01000/0000300185.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. PNUD. **Relatório Anual**. 2019.

_____. PNUD. **Human development report 2020: the next frontier: human development and the Anthropocene.** 2020. Disponível em:
<https://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2020.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

PROSKURYAKOVA, L. N.; ERMOLENKO, G. V. The future of Russia's renewable energy sector: Trends, scenarios and policies. **Renewable Energy**, v. 143, p. 1670–1686, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.096>.

PULLIN, A. S.; STEWART, G. B. Guidelines for Systematic Review in Conservation and Environmental Management. **Conservation Biology**, v. 20, p. 1647–1656, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00485.x>.

RAVALLION, M.; CHEN, S.; SANGRAULA, P.. New evidence on the urbanization of global poverty. **Population and Development Review**, v. 33, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2007.00193.x>.

REGES, J. P. *et al.* Sizing Methodology of Floating Photovoltaic Plants in Dams of Semi-Arid Areas. **Journal of Solar Energy Engineering**, p. 1–44, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4052959>.

ROCHA, R. *et al.* Comparative Analysis of Self-Consumption and Energy Communities Regulation in the Iberian Peninsula. **2021 IEEE Madrid PowerTech**, p. 1–6, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/PowerTech46648.2021.9494916>.

ROMERO RODRÍGUEZ, L. *et al.* Mitigating energy poverty: Potential contributions of combining PV and building thermal mass storage in low-income households. **Energy Conversion and Management**, v. 173, p. 65–80, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.058>.

SADATH, A. C.; ACHARYA, R. H. Assessing the extent and intensity of energy poverty using Multidimensional Energy Poverty Index: Empirical evidence from households in India. **Energy Policy**, v. 102, p. 540–550, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.056>.

SAHEB, Y. *et al.* European Energy Poverty Index (EEPI). 2019.

SANTOS, F. A. *et al.* Dendroenergy. **Nucleus**, v. 13, p. 131–142, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1658>.

SAREEN, S. *et al.* European energy poverty metrics: Scales, prospects and limits. **Global Transitions**, v. 2, p. 26–36, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.01.003>.

SCOPUS. **Scopus**. 2021. Disponível em:
<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Desenvolvimento Humano, por bairro, em Fortaleza**. n.d. Disponível em: <http://www.fortaleza.ce.gov.br/sde>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei nº 624, de 2023.** 2023. Disponível em: http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarIntegra?codteor=2236558&filename=PL-624-2023. Acesso em: 20 jun. 2024.

SEYFANG, G.; PARK, J. J.; SMITH, A. A thousand flowers blooming? An examination of community energy in the UK. **Energy Policy**, v. 61, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.030>.

SHARIFI, A.; MURAYAMA, A. A critical review of seven selected neighborhood sustainability assessment tools. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 38, p. 73–87, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.06.006>.

SHORT, T. D.; OLDACH, R. Solar powered water pumps: The past, the present - and the future? **Journal of Solar Energy Engineering**, v. 125, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1115/1.1528923>.

SIEVERT, M.; STEINBUKS, J. Willingness to pay for electricity access in extreme poverty: Evidence from sub-Saharan Africa. **World Development**, v. 128, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104859>.

START. **Start**. 2022. Disponível em: http://www.lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool/. Acesso em: 20 jun. 2024

TU, Q. *et al.* Research on Rural Photovoltaic Trading Pattern Based on Price-Based Demand Response under Marketization Environment of Distributed Generation. **Diangong Jishu Xuebao**, v. 35, 2020. DOI: <https://doi.org/10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.191379>.

UCHE-SORIA, M.; RODRÍGUEZ-MONROY, C. Energy planning and its relationship to energy poverty in decision making. A first approach for the Canary Islands. **Energy Policy**, v. 140, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111423>.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. UNPD. **World Energy Assessment: Energy and the challenge of Sustainability**. 2000.

VERMEYLEN, S. Resource rights and the evolution of renewable energy technologies. **Renewable Energy**, v. 35, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.017>.

VIEIRA, S. B. Indexação automática e manual: revisão de literatura. **Ciência da Informação**, v. 17, 1988. DOI: <https://doi.org/10.18225/ci.inf..v17i1.298>.

VOSVIEWER. **VOSviewer**. 2022. Disponível em: <https://www.VOSviewer.com/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

WANG, Z. *et al.* Does solar PV bring a sustainable future to the poor? An empirical study of anti-poverty policy effects on environmental sustainability in rural China. **Energy Policy**, v. 145, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111723>.

_____. Is the photovoltaic poverty alleviation project the best way for the poor to escape poverty? A DEA and GRA analysis of different projects in rural China. **Energy Policy**, v. 137, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111105>.

WLOKAS, H. L. What contribution does the installation of solar water heaters make towards the alleviation of energy poverty in South Africa? **Journal of Energy in Southern Africa**, v. 22, 2011. DOI: <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2011/v22i2a3212>.

WU, Y. *et al.* Performance efficiency assessment of photovoltaic poverty alleviation projects in China: A three-phase data envelopment analysis model. **Energy**, v. 159, p. 599–610, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.06.187>.

WEAVER, B. M. Dendro: Biomass power from, by, and for the people of Sri Lanka. **American Solar Energy Society - Solar**, 2006.

WORLD BANK. **O avanço global na redução da pobreza extrema está estagnado**. 2022.

Disponível em:

<https://www.worldbank.org/pt/news/press-release/2022/10/05/global-progress-in-reducing-extreme-poverty-grinds-to-a-halt>. Acesso em: 20 jun. 2024.

YADOO, A.; CRUICKSHANK, H. The role for low carbon electrification technologies in poverty reduction and climate change strategies: A focus on renewable energy mini-grids with case studies in Nepal, Peru and Kenya. **Energy Policy**, v. 42, p. 591–602, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.029>.

YANG, M. China's rural electrification and poverty reduction. **Energy Policy**, v. 31, p. 283–295, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00041-1).

YAZDANIE, M.; DENZING, M.; WOKAUN, A. Cost optimal urban energy systems planning in the context of national energy policies: A case study for the city of Basel. **Energy Policy**, v. 110, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.009>.

YI, T. *et al.* Analysis of Driving Factors of Photovoltaic Power Generation Efficiency: A Case Study in China. **Energies**, v. 12, p. 355, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12030355>.

ZHANG, D. *et al.* A Bi-Level Locating and Sizing Optimal Model for Poverty Alleviation PVs Considering the Marketization Environment of Distributed Generation. **Diangong Jishu Xuebao/Transactions of China Electrotechnical Society**, v. 34, p. 1999–2010, 2016. DOI: <https://doi.org/10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.181824>

ZHANG, H. *et al.* Targeted poverty alleviation using photovoltaic power in China: Identifying financial options through a dynamic game analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 139, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.006>.

_____. Optimal subsidy reduction strategies for photovoltaic poverty alleviation in China: A cost-benefit analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 166, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105352>.