**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**

**DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

**ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE**




# USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO COMO TECNOLOGIA SOCIAL PARA CONVIVÊNCIA COMO O SEMIÁRIDO: ESTUDO EM ÁREAS RURAIS DO PIAUÍ

FABRÍCIO HIGO MONTURIL DE MORAIS

TERESINA, PIAUÍ
2025

FABRÍCIO HIGO MONTURIL DE MORAIS

# USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO COMO TECNOLOGIA SOCIAL PARA CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO: ESTUDO EM ÁREAS RURAIS DO PIAUÍ

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal do Piauí (UFPI) como requisito para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente. Linha de pesquisa: Planejamento, gestão e políticas socioambientais

Orientadora: Profa. Dra. Wilza Gomes Reis Lopes
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Tavares Lira

TERESINA, PIAUÍ
2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

M828u Morais, Fabrício Higo Monturil de.
Uso de sistemas fotovoltaicos de bombeamento como tecnologia social para convivência com o semiárido : estudo em áreas rurais do Piauí / Fabrício Higo Monturil de Morais. – 2025.
248 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Teresina, 2025.
"Orientadora: Profa. Dra. Wilza Gomes Reis Lopes".
"Coorientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Tavares Lira".

1. Energias renováveis. 2. Nexo água-energia-alimentos. 3. Tecnologias Sociais. 4. Transição Energética. I. Lopes, Wilza Gomes Reis. II. Lira, Marcos Antônio Tavares. III. Título.

CDD 621.45

Bibliotecária: Francisca das Chagas Dias Leite – CRB3/1004

FABRÍCIO HIGO MONTURIL DE MORAIS

# USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO COMO TECNOLOGIA SOCIAL PARA CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO: ESTUDO EM ÁREAS RURAIS DO PIAUÍ

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Associação Plena em Rede, da Universidade Federal do Piauí (UFPI) como requisito para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente. Linha de pesquisa: Planejamento, gestão e políticas socioambientais

Orientadora: Profa. Dra. Wilza Gomes Reis Lopes
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Tavares Lira

Defendida em: 25/04/2025.

## BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
WILZA GOMES REIS LOPES
Data: 13/06/2025 10:53:38-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Wilza Gomes Reis Lopes
(Presidente e Orientadora – UFPI)

Documento assinado digitalmente
gov.br
EMERSON MARIANO DA SILVA
Data: 13/06/2025 08:54:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Emerson Mariano da Silva
(Membro Externo à Instituição – UECE)

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOEL SILVA DOS SANTOS
Data: 13/06/2025 08:00:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Joel Silva dos Santos
(Membro Externo à Instituição – UFPB)

Documento assinado digitalmente
gov.br
ALBEMERC MOURA DE MORAES
Data: 12/06/2025 20:39:46-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Albemerc Moura de Moraes
(Membro Interno à Instittuição – UFPI)

Documento assinado digitalmente
gov.br
JAIRA MARIA ALCOBACA GOMES
Data: 11/06/2025 17:59:45-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes
(Membro Interna ao Curso – PRODEMA/UFPI)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder mais esta graça, mesmo sem merecimento algum, pois em 2 Cor 12, 9 está escrito que "*Basta-te a minha graça, pois é na fraqueza que a força manifesta todo o seu poder*", confirmando que os momentos de dificuldade que passamos são provações que Ele mesmo nos impõe para nos manter firmes na Fé, conforme está escrito em Rm 5, 3-5: "*Nós nos gloriamos tambem nas tribulações, sabendo que a tribulação produz a perseverança, a perseverança a virtude comprovada, a virtude comprovada a esperança. E a esperança não decepciona, porque o amor de Deus foi derramado em nossos corações pelo Espírito Santo que nos foi dado*". Dessa forma, agradeço também a Deus pelos momentos felizes que tive durante esta jornada, mostrando que o merecimento vem sempre Dele, e, também, pela oportunidade de servir a Ele cada vez mais, sem medo de encarar os desafios que me são impostos, pois assim está escrito em Fl 4,13: "*Tudo posso naquele que me fortalece*". Agradeço a Deus, principalmente, por nunca me abandonar, mesmo nos momentos em que, de alguma forma, me afastei Dele, me mostrado sempre que sem Ele, nada na minha vida seria possível, assim como está escrito em Jo 15, 5: "*Eu sou a videira e vós os ramos. Aquele que permanece em mim e eu nele produz muito fruto; porque, sem mim, nada podeis fazer*".

De forma incondicional, à minha esposa Hercylianna, pelo amor, carinho, paciência e presença constante tanto nos momentos de alegrias quanto nos momentos de dificuldades, que buscamos superar juntos, e aos meus filhos, Heloísa Maria e Gabriel Henrique, por serem o combustível que alimenta as minhas forças e revigora as minhas energias, como força motriz capaz de empreender tanto esforço. Aos meus pais, por me darem a base para entender que nada na vida se consegue sem esforço, honestidade e humildade, e pelo amor, carinho e auxilio diário e rotineiro que dão a mim, minha esposa e filhos. Sei que posso contar com vocês sempre.

Ao meu amigo de trabalho, amigo pessoal e cumpadre, Osvaldo Augusto, pela forte parceria, e por me incentivar sempre a crescer dentro do campo acadêmico, me fazendo acreditar que posso muito mais do que acredito. Muito do que produzi até agora na minha vida acadêmica foi devida a essa "parceria estratégica", como ele mesmo gosta de chamá-la. Ao meu amigo pela fé, amigo pessoal, companheiro de banda e agora cumpadre, Tiago Rodrigues, pela disponibilidade em sempre ajudar de coração, em especial pelo auxílio fundamental que me deu para o desenvolvimento da pesquisa de campo, emprestando o seu drone sem medir nenhum esforço. Seu exemplo de garra e empenho profissional me motivam a não esmorecer, sabendo que é através da Cruz, que a graça é dada por Deus.

À professora Wilza, minha orientadora, e ao professor Marcos Lira, meu co-orientador, pelo apoio e disponibilidade durante esta caminhada, pela compreensão nos momentos difíceis, pelo aconselhamento e estímulo permanente e pela sua amizade. Agradeço, também, aos membros da banca examinadora, professores Albemerc, Emerson, Jaíra e Joel, por dedicarem uma parcela do seu tempo lendo este trabalho e dando contribuições valiosas para a sua melhoria e profundidade científica.

E, finalmente agradeço a os amigos que fiz durante o doutorado e a todos que não foram citados, mas que, direta ou indiretamente, me ajudaram no desenvolvimento e conclusão desta pesquisa, me transmitindo conhecimento ou ajudando quando foram solicitados.

## RESUMO

Nas últimas décadas tem-se percebido mudanças no sistema climático da Terra, trazendo como efeito principal o surgimento de eventos extremos, como secas severas, que podem intensificar os desafios socioeconômicos e a vulnerabilidade. Uma das regiões mais afetadas pelas mudanças climáticas é o Semiárido Brasileiro (SAB), onde tem-se verificado o aumento de estiagens e secas, trazendo insegurança hídrica, alimentar e energética para a sua população. Dentre as atividades desenvolvidas no meio rural do SAB pode ser citada a agropecuária, desenvolvida por meio da agricultura familiar e da criação de bovinos, caprinos e ovinos. Estas atividades geralmente apresentam baixo grau tecnológico e são fortemente dependentes da disponibilidade dos recursos naturais, principalmente a chuva. Outra característica marcante do SAB é a exclusão energética, verificada pelo baixo índice de eletrificação rural, devido às dificuldades de implantação de rede elétrica de distribuição. A falta de acesso à energia elétrica de qualidade vem prejudicando a qualidade de vida dos habitantes e atrasando o desenvolvimento agropecuário. Ações que busquem garantir a segurança hídrica, energética e alimentar, tendo em vista os desafios interpostos, como a degradação dos ecossistemas, demanda crescente, mudanças climáticas, urbanização e globalização, são expressos por meio do termo "nexo água-energia-alimentos". Assim, destaca-se a importância de estudos sobre do uso de tecnologias que possam auxiliar na convivência com o semiárido para o acesso à água e para outras atividades, inerentes ao bem-estar do ser humano. Essas tecnologias, conhecidas como Tecnologias Sociais, consistem em alternativas para as demandas dos indivíduos e comunidades em estado de vulnerabilidade econômica, política, jurídica e social. As recentes preocupações ambientais e de desenvolvimento sustentável renovaram o interesse no uso de sistemas fotovoltaicos de bombeamento em todo o mundo. Esta tecnologia demonstra potencial para o abastecimento de água em comunidades rurais que sofrem com a escassez hídrica, em especial as sem acesso à energia elétrica. O estado do Piauí dispõe de condições favoráveis para o uso da energia solar principalmente, nas áreas rurais, pelos elevados índices de irradiação solar. Associado a isso, verifica-se no semiárido, grande quantidade de aquíferos subterrâneos, com águas de ótima qualidade para consumo humano e outras finalidades. Dessa forma, a utilização da energia fotovoltaica poderia ser uma alternativa interessante, em termos de segurança energética, para a retirada de água dos aquíferos existentes na região. Assim, pretende-se analisar o funcionamento dos sistemas de bombeamento fotovoltaico, enquanto Tecnologia Social para auxiliar na convivência com o semiárido, considerando seus impactos socioeconômicos em comunidades rurais do Piauí.



**Palavras-chave:** Energias renováveis, Nexo água-energia-alimentos, Tecnologias Sociais, Transição Energética.

## ABSTRACT

In recent decades, changes in the Earth's climate system have been observed, with the main effect being the emergence of extreme events, such as severe droughts, which can intensify socioeconomic challenges and vulnerability. One of the regions most affected by climate change is the Brazilian Semi-Arid Region (SAB), where there has been an increase in droughts and dry spells, causing water, food, and energy insecurity for its population. Among the activities carried out in the rural areas of the SAB are agriculture and livestock farming, developed through family farming and the raising of cattle, goats, and sheep. These activities generally have a low technological level and are heavily dependent on the availability of natural resources, especially rain. Another striking feature of the SAB is energy exclusion, evidenced by the low rate of rural electrification, due to the difficulties of implementing an electricity distribution network. The lack of access to quality electricity has been harming the quality of life of the inhabitants and delaying agricultural development. Actions that seek to ensure water, energy, and food security, in view of the challenges posed, such as ecosystem degradation, growing demand, climate change, urbanization, and globalization, are expressed through the term "water-energy-food nexus." Thus, the importance of studies on the use of technologies that can help in coexisting with the semi-arid region for access to water and other activities inherent to human well-being is highlighted. These technologies, known as Social Technologies, consist of alternatives for the demands of individuals and communities in a state of economic, political, legal, and social vulnerability. Recent environmental and sustainable development concerns have renewed interest in the use of photovoltaic pumping systems worldwide. This technology shows potential for water supply in rural communities suffering from water scarcity, especially those without access to electricity. The state of Piauí has favorable conditions for the use of solar energy, especially in rural areas, due to high levels of solar radiation. Associated with this, there are a large number of underground aquifers in the semi-arid region, with water of excellent quality for human consumption and other purposes. Thus, the use of photovoltaic energy could be an interesting alternative, in terms of energy security, for the withdrawal of water from existing aquifers in the region. Therefore, we intend to analyze the functioning of photovoltaic pumping systems as a social technology to assist in coexistence with the semi-arid region, considering their socioeconomic impacts on rural communities in Piauí.



**Keywords:** Renewable energies, Water-energy-food nexus, Social Technologies, Energy Transition.

## RESUMEN

En las últimas décadas se han observado cambios en el sistema climático de la Tierra, cuyo principal efecto ha sido la aparición de fenómenos extremos, como sequías severas, que pueden intensificar los retos socioeconómicos y la vulnerabilidad. Una de las regiones más afectadas por el cambio climático es el Semiárido Brasileño (SAB), donde se ha observado un aumento de las sequías, lo que ha provocado inseguridad hídrica, alimentaria y energética para su población. Entre las actividades que se desarrollan en el medio rural del SAB cabe mencionar la agricultura y la ganadería, que se llevan a cabo mediante la agricultura familiar y la cría de ganado vacuno, caprino y ovino. Estas actividades suelen presentar un bajo grado tecnológico y dependen en gran medida de la disponibilidad de recursos naturales, principalmente de la lluvia. Otra característica destacada del SAB es la exclusión energética, que se verifica por el bajo índice de electrificación rural, debido a las dificultades para implantar una red eléctrica de distribución. La falta de acceso a una energía eléctrica de calidad está perjudicando la calidad de vida de los habitantes y retrasando el desarrollo agropecuario. Las acciones que buscan garantizar la seguridad hídrica, energética y alimentaria, teniendo en cuenta los retos que se plantean, como la degradación de los ecosistemas, la creciente demanda, el cambio climático, la urbanización y la globalización, se expresan mediante el término "nexo agua-energía-alimentos". Así, se destaca la importancia de los estudios sobre el uso de tecnologías que puedan ayudar a convivir con el semiárido para el acceso al agua y otras actividades inherentes al bienestar del ser humano. Estas tecnologías, conocidas como Tecnologías Sociales, consisten en alternativas a las demandas de los individuos y comunidades en situación de vulnerabilidad económica, política, jurídica y social. Las recientes preocupaciones medioambientales y de desarrollo sostenible han renovado el interés por el uso de sistemas fotovoltaicos de bombeo en todo el mundo. Esta tecnología demuestra su potencial para el abastecimiento de agua en comunidades rurales que sufren escasez hídrica, especialmente aquellas sin acceso a la energía eléctrica. El estado de Piauí cuenta con condiciones favorables para el uso de la energía solar, principalmente en las zonas rurales, debido a los altos índices de radiación solar. Además, en la región semiárida hay una gran cantidad de acuíferos subterráneos con agua de excelente calidad para el consumo humano y otros fines. De este modo, el uso de la energía fotovoltaica podría ser una alternativa interesante, en términos de seguridad energética, para la extracción de agua de los acuíferos existentes en la región. Así, se pretende analizar el funcionamiento de los sistemas de bombeo fotovoltaico, como tecnología social para ayudar a la convivencia con el semiárido, teniendo en cuenta sus impactos socioeconómicos en las comunidades rurales de Piauí.



**Palabras clave:** Energías renovables, Nexo agua-energía-alimentos, Tecnologías Sociales, Transición Energética.

## LISTA DE FIGURAS

**Páginas**

**Figura 2.1.** Descrição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. ..... 29
**Figura 3.1.** Configuração básica de um SFB para fornecimento de água. ..... 41
**Figura 3.2.** Configurações de um sistema fotovoltaico de bombeamento. ..... 42
**Figura 3.3.** Principais motores elétricos utilizados em SFB. ..... 44
**Figura 4.1.** Bacia do Rio Parnaíba. ..... 64
**Figura 4.2.** Quantidade de poços cadastrados no SIAGAS nos estados brasileiros até junho de 2023. ..... 71
**Figura 4.3.** Classificação dos municípios piauienses: (a) Poços por Município; (b) Densidade Demográfica; (c) Habitantes por Poço; (d) Área em km² por Poço. ..... 73
**Figura 4.4.** Localização dos poços RIMAS (a) do estado do Piauí e espacialização da Profundidade (b), do Nível da Água (c) e da Vazão (d) ..... 77
**Figura 4.5.** Localização das estações do INMET (a) e espacialização da Média anual da irradiação solar no estado do Piauí, em kWh/m²/dia (b). ..... 80
**Figura 4.6.** Variação das médias mensais e da média anual para o estado do Piauí, em kWh/m²/dia. ..... 81
**Figura 4.7.** Médias mensais da irradiação solar no estado do Piauí, em kWh/m²/dia. ..... 82
**Figura 4.8.** Espacialização do Índice de Bombeamento (a) e da Vazão Específica (b) no estado do Piauí. ..... 86
**Figura 5.1.** Localizaçaodos SBB identificados na pesquisa. ..... 107
**Figura 5.2.** Principais atividades econômicas desenvolvidas nas comunidades visitadas. ... 109
**Figura 5.3.** Outras formas de renda desenvolvidas nas comunidades visitadas. ..... 110
**Figura 5.4.** Beneficiamento agroindustrial de farinha. ..... 111
**Figura 5.5.** Pscicultuta intensiva e produção de mel. ..... 111
**Figura 5.6.** Criação de suínos para abate na localidade Ponta da Serra, Oeiras, PI. ..... 112
**Figura 5.7.** Renda média das famílias beneficiadas. ..... 113
**Figura 5.8.** Formas de captação da água antes da instalação dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento ..... 114
**Figura 5.9.** Formas naturais de abastecimento de água. ..... 115
**Figura 5.10.** Formas tradicionais para captação da água de poços. ..... 116
**Figura 5.11.** Banheiros improvisados para tomar banho. ..... 117
**Figura 5.12.** Condições de acesso à energia elétrica nas comunidades beneficiadas. ..... 119
**Figura 5.13.** Armazenamento de água de alguns dos SFB identificados na pesquisa. ..... 120

**Figura 5.14.** Detalhes das características físicas dos SFB de pequeno porte identificados na pesquisa. ..... 122
**Figura 5.15.** Detalhes das características físicas dos SFB de maior porte identificados na pesquisa. ..... 123
**Figura 5.16.** Problemas técnicos identificados em alguns dos sistemas. ..... 124
**Figura 5.17.** Instalações com sistema de armazenamento de água danificado. ..... 126
**Figura 5.18.** Sistemas com grande quantidade de árvores nas proximidades causando sombreamento nos módulos. ..... 127
**Figura 6.1.** Distribuição dos estabelecimentos de agricultura familiar no Brasil, com destaque para o Piauí. ..... 139
**Figura 6.2.** Principais utilizações da água bombeada pelo sistema. ..... 143
**Figura 6.3.** SBF aplicados em sistemas de irrigação ..... 144
**Figura 6.4.** Formas de irrigação utilizando a água bombeada pelos SBF. ..... 145
**Figura 6.5.** Criação intensiva de animais com água fornecida através do SBF. ..... 146
**Figura 6.6.** Criação extensiva de animais com água fornecida através do SBF ..... 147
**Figura 6.7.** Piscicultura intensiva com água fornecida através do SFB instalado. ..... 148
**Figura 6.8.** Abastecimento comunitário utilizando sistema fotovoltaico de bombeamento.. 149
**Figura 6.9.** Destinação da produção antes e depois da instalação dos sistemas. ..... 150
**Figura 6.10.** Percentual de famílias que tiveram incrementos na sua produção. ..... 151
**Figura 6.11.** Comercialização da produção na comunidade Labino, Ilha Grande. ..... 152
**Figura 6.12.** Complementação da renda das famílias com a comercialização da produção nas comunidades. ..... 152
**Figura 6.13.** Dimensão mais importante dos sistemas de bombeamento fotovoltaico. ..... 153
**Figura 7.1.** Fases e Etapas do SIDMATECS. ..... 166
**Figura 7.2.** Plantio de feijão em fase experimental, produzindo no mês de setembro, utilizando a água retirada do subsolo com o SFB instalado na comunidade Barbosa, José de Freitas, PI. ..... 180
**Figura 7.3.** Criatório de peixes com água fornecida por um SFB instalado na comunidade Sobradinho, José de Freitas, PI. ..... 181
**Figura 7.4.** Cisterna instalada pelo próprio usuário para armazenar a água retirada pelo sistema. ..... 186
**Figura 7.5.** Gráfico de Radar do uso dos SFB como Tecnologia Social. ..... 192

## LISTA DE TABELAS

**Páginas**

**Tabela 4.1**. Dados dos Poços RIMAS localizados no estado do Piauí. ..... 75
**Tabela 4.2.** Estações Meteorológicas Automáticas localizadas dentro do Estado do Piauí. ... 79
**Tabela 4.3.** Classificação da radiação solar ..... 84
**Tabela 4.4.** Características dos Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamentopara atender o estado do Piauí ..... 87
**Tabela 5.1.** Situação dos SFB identificados durante a pesquisa. ..... 105
**Tabela 6.1.** SFB instalados no meio rural piauiense visitados durante a pesquisa. ..... 142
**Tabela 7.1.** Resultados da etapa de Planejamento. ..... 171
**Tabela 7.2.** Resultados da etapa de Desenvolvimento. ..... 174
**Tabela 7.3**. Resultados da etapa de Aplicação. ..... 176
**Tabela 7.4.** Resultados da etapa de Reaplicação. ..... 179
**Tabela 7.5**. Resultados da etapa de Eficácia. ..... 182
**Tabela 7.6.** Resultados da etapa de Inclusão Social. ..... 186
**Tabela 7.7.** Resultados da etapa Qualidade de Vida. ..... 188
**Tabela 7.8**. Resultados da etapa de Empoderamento. ..... 190
**Tabela 7.9.** Avaliação do uso dos SFB como Tecnologia Social. ..... 191

## LISTA DE QUADROS

**Páginas**

**Quadro 2.1**. Principais Tecnologias de convivência com o Semiárido identificadas nos artigos. .....36
**Quadro 7.1.** Comunidades visitadas durante a pesquisa. .....168
**Quadro 7.2**. Indicadores selecionados para a avaliação dos SFB. .....169
**Quadro 7.3.** Escala Likert para a conversão das respostas do formulário.....170
**Quadro 7.4.**Grau de convergência dos índices. .....170

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ASA-Brasil | Articulação do Semiárido no Brasil |
| BDMEP | Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa |
| CA | Corrente Alternada |
| CBRTS | Centro Brasileiro de Referência em Tecnologia Social |
| CC | Corrente Contínua |
| CCP | Coeficiente de Correlação de Pearson |
| $CO_2$ | Dióxido de Carbono |
| Codevasf | Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco |
| CPRM | Serviço Geológico do Brasil |
| CRISES | Centre de Recherche sur les Innovations Sociales |
| DNOCS | Departamento Nacional de Obras Contra as Secas |
| EAs | Estabelecimentos Agropecuários |
| Fadex | Fundação Fundação Cultural e de Fomento à Pesquisa, Ensino, Extensão e Inovação |
| FNDE | Fundo Nacional de Desenvolvimento Escolar |
| GD | Geração Distribuída |
| I+D | Investigação e Desenvolvimento |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDH | Índice de Desenvolvimento Humano |
| IDW | Inverse Distance Weighted |
| IEA | International Energy Agency |
| IFOCS | Instituto Federal de Obras Contra as Secas |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| IOCS | Inspetoria de Obras Contra as Secas |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| IPEA | Instituto Brasileiro de Pesquisa Econômica e Aplica |
| ITDG | Intermediate Technolgy Development Group |

| | |
|---|---|
| ITS | Instituto de Tecnologia Social |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| ONGs | Organizações Não Governamentais |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| P1+2 | Programa Uma Terra Duas Águas |
| P1MC | Programa 1 Milhão de Cisternas Rurais |
| PAA | Programa de Aquisição de Alimentos da Agricultura Familiar |
| PI | Piauí |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PNAD | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios |
| PNAE | Programa Nacional de Alimentação Escolar |
| PNRA | Programa Nacional de Reforma Agrária |
| PNUD | Programa das Nações Unidas pelo Desenvolvimento |
| PROINF | Programa de Apoio a Projetos de Infraestrutura e Serviços nos Territórios Rurais |
| PRONAF | Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar |
| PRONAMP | Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural |
| RIMAS | Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas |
| RTS | Rede de Tecnologia Social |
| SFB | Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento |
| SAB | Semiárido Brasileiro |
| SEMAR-PI | Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí |
| SIAGAS | Sistema de Informações de Águas Subterrâneas |
| SIDMATECS | Sistema de Indicadores para Diagnóstico, Monitoramento e Avaliação de Tecnologias Sociais |
| SIG | Sistemas de Informações Geográficas |
| SoLAR | Solar Irrigation for Agricultural Resilience |
| SUDENE | Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste |
| TD | Territórios de Desenvolvimento |
| TS | Tecnologias Sociais |
| UN | United Nations |

# SUMÁRIO

**Páginas**


**1 INTRODUÇÃO ..... 17**

**2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E TECNOLOGIAS SOCIAIS ..... 28**

**2.1 Mudanças climáticas e eventos extremos ..... 28**

**2.2 Evolução do conceito de Tecnologia Social ..... 30**

**2.3 Tecnologias sociais aplicadas ao semiárido ..... 33**

**2.4 Políticas públicas para a difusão de tecnologias sociais de acesso à água no SAB ..... 36**

**3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO (SFB) ..... 40**

**3.1 Vantagens e desvantagens dos SFB ..... 40**

**3.2 Configurações e equipamentos dos SFB ..... 41**

**3.3 Pesquisas relacionadas aos SBF em regiões semiáridas ..... 44**

*3.3.1. Análise de viabilidade econômico-financeira ..... 45*

*3.3.2. Avaliação de desempenho operacional ..... 46*

*3.3.3. Dimensionamento eficiente de sistemas ..... 49*

*3.3.4. Levantamento e análise dos recursos hídricos e solares ..... 50*

*3.3.5. Modelagem computacional ..... 51*

*3.3.6. Pesquisa social aplicada ..... 53*

*3.3.7. Rastreamento solar e MPPT ..... 54*

*3.3.8. Revisões sistemáticas da literatura ..... 55*

*3.3.9. Sustentabilidade ambiental ..... 56*

*3.3.10. Técnicas de otimização ..... 56*

**4 LEVANTAMENTO DOS RECURSOS SOLARES E HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS PARA A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO NO ESTADO DO PIAUÍ, BRASIL ..... 59**

**4.1 Introdução ..... 60**

**4.2 Recursos hídricos subterrâneos do estado do Piauí ..... 63**

**4.3 Metodologia ..... 64**

*4.3.1 Coleta, tratamento e análise dos dados ..... 64*

*4.3.2 Critérios para dimensionamento de SFB ..... 67*

*4.3.3 Apresentação dos dados coletados através de mapas temáticos ..... 68*

*4.3.4 Interpolação IDW (Inverse Distance Weighted) ..... 69*

**4.4 Resultados e discussão ..... 70**

*4.4.1 Caracterização da demanda hídrica subterrânea do Piauí ..... 70*

*4.4.2 Análise dos recursos hídricos subterrâneos ..... 75*

*4.4.3 Análise do recurso solar ..... 79*

*4.4.4 Integração dos recursos solar e hídrico subterrâneo ..... 85*

**4.5 Considerações Finais ..... 88**

**4.6 Referências ..... 90**

**5 INICIATIVAS RECENTES VOLTADAS PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO NO MEIO RURAL DO PIAUÍ, BRASIL ..... 99**

**5.1 Introdução ..... 101**

**5.2 Metodologia ..... 103**

**5.3 Resultados e discussão ..... 104**

*5.3.1 Identificação das comunidades beneficiadas ..... 104*

*5.3.2 Realidade socioeconômica das comunidades ..... 108*

a. Atividades produtivas das comunidades beneficiadas ..... 108

b. Abastecimento de água ..... 114

c. Acesso à energia elétrica ..... 118

*5.3.3 Características técnicas dos sistemas instalados ..... 119*

*5.3.4 Problemas técnicos e dificuldades no uso e gestão dos sistemas instalados ..... 123*

**5.4 Considerações Finais ..... 128**

**5.5 Referências ..... 129**

**6 A UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO PELA AGRICULTURA FAMILIAR NO MEIO RURAL do piauí, brasil ..... 133**

**6.1 Introdução ..... 134**

**6.2 Panorama da agricultura familiar no Brasil ..... 137**

**6.3 Metodologia ..... 141**

**6.4 Resultados e discussão ..... 142**

*6.4.1 Principais aplicações dos sistemas ..... 142*

a. Agricultura Irrigada ..... 144

b. Criação de Animais ..... 146

c. Piscicultura intensiva ..... 148

d. Abastecimento Doméstico ..... 148

*6.4.2 Efeitos da instalação dos sistemas nas comunidades ..... 149*

**6.5 Considerações finais ..... 154**

**6.6 Referências ..... 155**

**7 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO INSTALADOS NO MEIO RURAL DO PIAUÍ, BRASIL, COMO TECNOLOGIA SOCIAL DE CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO ..... 161**

**7.1 Introdução ..... 162**

**7.2 Avaliação, Diagnóstico e Monitoramento de Tecnologias Sociais ..... 164**

**7.3 Metodologia ..... 167**

**7.4 Resultados e discussão ..... 171**

*7.4.1 Fase de Construção e Difusão ..... 171*

a. Planejamento ..... 171

b. Desenvolvimento ..... 174

c. Aplicação ..... 176

d. Reaplicação ..... 179

*7.4.2 Fase de Resultados e Impactos* ..... *182*
a. Eficácia ..... 182
b. Inclusão Social ..... 186
c. Qualidade de Vida ..... 188
d. Empoderamento ..... 189
*7.4.3 Avaliação geral* ..... *191*
**7.5 Considerações finais** ..... **194**
**7.6 Referências** ..... **195**
**8 CONCLUSÕES** ..... **201**
**REFERÊNCIAS** ..... **206**
**APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA** ..... **220**
**APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO** ..... **225**
**APÊNDICE C – FORMULÁRIO** ..... **227**
**APÊNDICE D – CARTILHA INFORMATIVA SOBRE SFB** ..... **233**
**APÊNDICE E – MAPA INTERATIVO COM INFORMAÇÕES DOS SFB VISITADOS DURANTE A PESQUISA** ..... **247**
**APÊNDICE F – ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE A PESQUISA** ..... **248**

# 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a evolução industrial, vistos no último século em todo o mundo, trouxeram consigo o aumento significativo na demanda por energia, tendo como consequência o esgotamento dos recursos naturais disponíveis, além de problemas ambientais, como, por exemplo, a forte poluição causada pela queima dos combustíveis fósseis usados para atender a essa demanda (Kannan; Vakesan, 2016). De acordo com dados estatísticos da *International Energy Agency* (IEA), a demanda global de energia sofreu aumento de 2,2%, em 2024, sendo a maior parte (cerca de 80%) proveniente de países com mercados emergentes e economias em desenvolvimento (IEA, 2024). Necessita-se, portando, de políticas energéticas que envolvam soluções tecnológicas menos poluentes e que auxiliem no suprimento dessa demanda de forma sustentável, envolvendo, em especial, as fontes renováveis de energia.

Além da crise energética, tem-se a demanda por água, bem como o desafio de produzir alimentos para uma demanda alimentar que, em nível global, tem crescimento estimado entre 15 e 40%, nas próximas décadas (Gamarra-Rojas; Fabre, 2017). Uma variedade de elementos impulsiona essa expansão na demanda alimentarr, a exemplo do incremento na renda individual e nos índices de urbanização. Soma-se a isso a crescente variedade nas dietas alimentares, a extensão dos programas de distribuição de renda e alimentos e o desenvolvimento do mercado de rações em diferentes nações (Neves et al., 2020). No passado, o aumento da produtividade devido à expansão da froteira agrícola, foi capaz de suprir essa demanda, evitando a falta generalizada de alimentos. Porém, esse aumento de produtividade pode não se repetir no futuro, devido à atual desaceleração do crescimento das áreas agrícoas, podendo ser reduzido ainda mais por problemas relacionados ao clima (Saath; Fachinello, 2018).

Assim, dentre os problemas causados pelo crescimento acelerado da demanda alimentar, está a insegurança alimentar, devida, principalmente, à incapacidade da produção de acompanhá-la. Conforme Buainain, Garcia e Vieira (2016), a mencionada inabilidade não reside apenas na carência de tecnologia, recursos financeiros, mão de obra ou bens naturais, mas, também, em fatores de ordem econômica, política e institucional. Adicionalmente, Belik e Correa (2013) apontam que a suficiência de alimentos representa apenas um aspecto da insegurança alimentar, visto que, mesmo em nações com produção agrícola, parcela significativa da população enfrenta dificuldades financeiras para adquirir esses produtos. Percebe-se, portanto, que o problema relacionado ao crescimento da demanda alimentar não é apenas a insegurança alimentar vista pela ótica da falta de alimentos, mas, também, pelo acesso justo e equitativo a esses alimentos.

Dessa forma, existe forte relação entre os temas água, energia e alimento, devendo-se encontrar soluções que aumentem a sinergia entre essas temáticas e diminuam a pressão de uma sobre a outra, garantindo que haja água, energia e alimentos para as gerações futuras, contribuindo, assim, para o desenvolvimento sustentável (Mariani *et al.*, 2016). Ações que buscam garantir a segurança hídrica, energética e alimentar, são expressas por meio do termo "nexo água-energia-alimentos", que, na visão de Souza e Versieux (2020), tem como motivação principal assegurar à população o acesso a esses recursos, tendo em vista os desafios interpostos, como a degradação dos ecossistemas, demanda crescente, mudanças climáticas, urbanização e globalização.

Como exemplo de área que necessita dessas ações, pode-se citar o Semiárido Brasileiro (SAB), que se estende pelos nove estados da região Nordeste, onde a diminuição da disponibilidade de recurso hídricos, provocará o declínio das atividades agrícolas, comprometendo os índices socioeconômicos, tornando sua população ainda mais vulnerável aos seus efeitos (Tavares; Arruda; Silva; 2019). Segundo Moraes *et al.*, (2020), milhares de pessoas residentes em áreas rurais ainda sofrem com a carência de água potável, frequentemente ligada à ausência de energia elétrica e à falta de alimentos, fatores que intensificam a pobreza nessas localidades

Angelotti, Fernandes Junior e Sá (2011) afirmam que grande parte da população vulnerável residente no SAB desenvolve atividades agrícolas, como a agricultura familiar de sequeiro, que apresenta baixo grau tecnológico e que depende fortemente da disponibilidade dos recursos naturais. De acordo com Litre *et al.* (2017), a agricultura familiar é uma das atividades que, além de impactar, deve ser impactada pelas mudanças climáticas, tendo como resultados modificações na produtividade das culturas, na eficiência dos métodos de produção e até mesmo nos modos de vida. Dessa forma, segundo Mesquita *et al.* (2020, p. 602), as populações rurais do semiárido que dependem da agricultura familiar poderão sofrer "com perdas de culturas e animais, redução de renda, descontinuidade de participação em programas sociais de aquisição de alimentos, dentre outros".

De acordo com Silva, Pinheiro e Ferraz (2020), o SAB é a região do Brasil com maior concentração de pobreza, sendo que a fome está ligada diretamente à renda domiciliar, e a maioria das famílias depende fortemente de programas sociais para a segurança alimentar. Por outro lado, segundo Jean *et al.* (2024), no SAB a renda familiar também esta ligada às questões de pobreza energética, conceituada como a incapacidade social e financeira de acesso a serviços energéticos, pois o custo pago pela energia elétrica afeta a renda familiar. Em 2021 cerca de 28% dos residentes da região deixaram de comprar alimentos básicos para garantir o

fornecimento de energia elétrica em suas casas. Para Leite, Sousa e Silva (2023), a vulnerabilidade de muitas localidades do SAB também pode ser observada a partir do déficit hídrico, em que a média diária de consumo de água por morador, para beber, cozinhar e fezer a sua higiene pessoal, é pouco mais da metade estabelecida pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que é de 110 litros por dia.

Segundo Marengo, Torres e Alves (2017), ao longo do tempo, tem-se verificado aumentos na frequência e duração das estiagens e secas extremas, atingindo principalmente, às populações dessa região, aumentando, mais ainda, o risco em relação à segurança hídrica, alimentar e energética. De acordo com Bursztyn (2020), após as últimas secas da região do SAB, que em alguns locais chegaram a durar sete anos, foi exposto um conjunto de vulnerabilidades sociais, energéticas, alimentares e produtivas. Para Dantas (2020), as atividades produtivas em regiões semiáridas, além de passarem por limitações impostas não apenas por causas naturais, como a irregularidade das chuvas e a baixa fertilidade dos solos, ainda sofrem com a oferta limitada e irregular dos produtos e sua baixa inserção no mercado. No último censo agropecuário brasileiro, realizado em 2017, foram identificados mais de 5,0 milhões endereços como estabelecimentos agropecuários. Desses, aproximadamente, 3,9 milhões foram classificados como agricultura familiar, ou seja, cerca de 78%. De acordo com o censo, uma parcela significativa desses estabelecimentos agropecuários se encontra na região Nordeste (IBGE, 2019).

Segundo Moraes *et al.* (2020), a exclusão elétrica no semiárido é outro ponto importante a ser analisado, considerando que, embora tenham ocorridos mudanças positivas, como o aumento do índice de eletrificação rural, ainda há habitantes em regiões remotas sem acesso à energia elétrica, por conta de dificuldades geográficas, econômicas, dentre outras. De acordo com Viana *et al.* (2019), aproximadamente 600 mil residências rurais não têm acesso à energia elétrica e, nas regiões rurais que possuem acesso, muitas vezes a energia é de má qualidade, propiciando a falta de energia por longos períodos, prejudicando a qualidade de vida dos habitantes e atrasando o desenvolvimento agropecuário. Para Mitschere Rüther (2012), o aumento da extensão da rede elétrica de distribuição é a principal maneira de levar energia elétrica para regiões sem acesso, porém, essa implantação se torna inviável, na grande maioria das vezes, porque se tem o impasse do alto custo de implantação somado ao aumento de perdas e ao aumento do custo da geração de energia elétrica.

Dessa forma, deve-se compreender que o acesso à água e à energia elétrica se constituem em direitos básicos e essenciais que devem contemplar a todos, e que, por sua vez, poderão promover acesso a outros bens fundamentais para a existência humana. Neste sentido, Sarmento

(2016, p. 1646), afirma que se deve “assegurar a todos o acesso a condições materiais básicas para uma vida digna”. Esse pressuposto, conhecido como direito ao mínimo existencial, é derivado do princípio da dignidade da pessoa humana, manifestado nos direitos essenciais para uma vida digna descritos na constituição magna de diversos países. Apesar do seu reconhecimento normativo, grande parte das pessoas, ainda, vive exposta à insegurança alimentar, sem acesso à educação, saúde precária, sem moradia adequada e nem saneamento básico.

De acordo com Sarmento (2016), a noção de mínimo existencial pode fundamentar reivindicações relacionadas ao acesso a bens e serviços essenciais como água, energia elétrica e vestuário adequado, sem que outros direitos sociais sejam prejudicados. No mesmo contexto, Silva e Ponzilacqua (2020) reforçam a necessidade de garantir quantidade mínima de água para que as pessoas possam beber, fazer sua higiene pessoal e de seus lares, cozinhar, lavar roupas e utensílios, lembrando que diversos instrumentos jurídicos vêm reconhecendo esse acesso como direito humano fundamental, por meio de pactos, tratados e normas internacionais.

Neste contexto, o acesso à energia elétrica também pode ser considerado, no mundo moderno, como um bem indispensável para se ter uma vida digna. Para Lippo e Rocha (2021, p. 131), “a energia elétrica em nossa era, é mais do que essencial, é vital”. Após a massificação do uso da energia elétrica, no século passado, hoje, todos, sem exceção, dependem dela. Muitos dos direitos fundamentais estão ligados à energia elétrica. Por meio dela, pode-se ter acesso à saúde, educação, trabalho, lazer e ao consumo de produtos e execução de serviços.

Silva et al. (2020) apontam que a crescente compreensão das restrições e das consequências sociais e ecológicas tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas de sustentabilidade como alicerce para uma relação de coexistência com o SAB. Neste sentido, Teixeira, Silva e Farias (2018) destacam que o sucesso do planejamento ambiental reside na implementação de propostas e ações que considerem profundamente as características ambientais e socioeconômicas locais, com o objetivo primordial de promover o uso sustentável dos recursos naturais.

Sendo assim, segundo Morais, Guimarães e Lopes (2023), é crucial o desenvolvimento de pesquisas acerca da aplicação de tecnologias que facilitem a adaptação à vida no semiárido, especialmente no que concerne ao acesso à água e a outras atividades essenciais para a qualidade de vida humana, pois, de acordo com Silva *et al.* (2020), a base para o incentivo de práticas agroecológicas provém da relação diferenciada com a natureza, vista por meio dos valores e modos de vida, além da produção diferenciada.

Essas tecnologias, conhecidas como Tecnologias Sociais (TS), segundo Malvezzi, (2007), podem ser definidas como produtos, técnicas ou metodologias de transformação social, destinadas à solução de problemas básicos, que sejam sustentáveis, de fácil manejo, baixo custo, replicáveis e desenvolvidas em interação com a comunidade. Para Queiroz *et al.* (2022), sua difusão teve início a partir do século XXI, e, desde então, vêm impulsionando a adaptação das populações aos efeitos negativos das mudanças climáticas, contendo o avanço da vulnerabilidade, tendo um importante papel nos campos do desenvolvimento sustentável. As Tecnologias Sociais caracterizam-se por serem adaptadas aos pequenos produtores e consumidores de baixa renda, para satisfazer as necessidades humanas básicas, viabilizar economicamente empreendimentos familiares, cooperativas populares e pequenas empresas, além serem ambientalmente sustentáveis (Araújo; Cândido, 2015).

Sendo assim, as recentes preocupações ambientais e de desenvolvimento sustentável aumentaram o interesse no uso de sistemas de bombeamento de água movidos à energia renovável em todo o mundo, pois minimizam a dependência de eletricidade à base de diesel, gás e carvão. Além disso, tendo em vista a escassez de eletricidade na grande maioria das áreas rurais, o bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica está se concretizando com uma alternativa, cada vez mais, promissora em todo o mundo (Chandel; Naik; Chandel, 2017).

A região Nordeste do Brasil, que se encontra em boa parte dentro do SAB, dispõe de condições favoráveis para o uso da energia solar, o que se traduz em ampla margem para suprir as demandas individuais, porém seu uso é inibido em pequenas unidades produtoras familiar, em especial, pela falta de integração de políticas públicas (Bursztyn, 2020). Os autores Almeida e Almeida (2022) apontam que a energia solar ainda possui baixa adesão, especialmente em zonas rurais que não contam com infraestrutura de distribuição de energia elétrica. Essas condições são determinadas pelos elevados índices de irradiação solar com baixa variabilidade interanual das médias anuais (Morais; Moraes; Barbosa, 2019), de modo que possui grande potencial para a utilização da energia solar, para o acesso à água em comunidades rurais, por meio do uso da tecnologia fotovoltaica aplicada a sistemas de bombeamento de água (Moraes *et al.*, 2020).

Além da elevada irradiação solar, verifica-se no SAB, grande quantidade de aquíferos subterrâneos, com água de ótima qualidade para consumo humano e outras finalidades. Em sua maioria, são terrenos constituídos de rochas sedimentares, o que propicia baixo escoamento superficial e uma grande infiltração (Santiago; Sales; Paula, 2013). Percebe-se, então, a possibilidade de usar os altos índices de radiação solar aliado à abundância de água subterrânea, do semiárido, em que a utilização da energia fotovoltaica desponta como alternativa

interessante, em termos de segurança energética, para a retirada de água dos aquíferos existentes na região.

De acordo com Dantas (2020), abre-se espaço para a utilização da energia solar fotovoltaica, visando o desenvolvimento econômico e social do SAB no contexto da adaptação aos efeitos das mudanças climáticas, colaborando também para a política ambiental por meio da redução de gases de efeito estufa. Neste contexto, Campos e Alcântara (2018) afirmam que, os sistemas fotovoltaicos utilizados para bombear de água têm se tornado cada vez mais uma alternativa benéfica, sobretudo em áreas rurais, pois também estimula novos processos produtivos, propiciando a expansão da área de cultivo com outras espécies, aumentando a produtividade e gerando benefícios econômicos.

Sabe-se que além do consumo humano, o provimento de água é essencial para atividades econômicas comuns em zonas rurais, como, por exemplo, irrigação de culturas e manutenção da pecuária. Portanto, a dificuldade de acesso à energia elétrica nesses tipos de localidades pode aumentar ainda mais a deficiência existente nessas atividades. Na ausência de soluções adequadas, os moradores dessas regiões são obrigados a suprir as demandas rurais básicas utilizando medidas que, muitas vezes, são ineficientes e que podem acarretar um alto custo (Calca *et al.*, 2021). Na visão de Melo *et al.* (2021), nesses locais, o processo de captação da água é bastante precário, geralmente feito com esforço manual para retirar a água de cacimbas em fundo de quintal, ou mesmo de lagoas distantes e carregadas em lombos de animais, e, em alguns poucos casos, utilizando bombas movidas a combustível fóssil.

Destaca-se, portanto, a importância de estudos sobre do uso de tecnologias, que possam contribuir para convivência do homem em comunidades rurais de regiões semiáridas, onde são comuns a escassez hídrica e a falta de energia. Ressalta-se, então, a possibilidade do uso da energia solar fotovoltaica para bombeamento de água, o que poderia contribuir para o acesso à água e para outras atividades inerentes, tendo como principais impactos, os de ordem socioeconômica, como a melhoria da qualidade devida e o bem-estar do ser humano.

Nesse contexto, o estado do Piauí apresenta dificuldades de acesso à água, que, segundo Marques, Almeida e Pessoa (2023), em grande parte está relacionada à má governança estatal e ao mau uso e manejo inadequado dos recursos hídricos. Enquanto para Fernandes *et al.* (2020), os riscos à segurança alimentar são provocados por condições naturais severas, que são pioradas, a cada dia, pelos eventos globais extremos associados às mudanças climáticas, além das dificuldades de acesso à energia elétrica por grande parte da população. Por outro lado, de acordo com Monteiro e Cabral (2023), no Piauí tem-se a presença de grande quantidade de água

subterrânea de boa qualidade para uso doméstico e agrícola, por estar assentado sobre a Bacia Sedimentar do Rio Parnaíba.

Estima-se que, entre 1981 e 2002, tenham sido instalados mais de 3.200 Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento (SFB), em todo o território brasileiro, sendo o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municipios (PRODEEM) a principal política de difusão desta tecnologia para acesso à água no Brasil. Com investimento de cerca de 10 milhões de dólares, somente no âmbito desse programa, ao todo foram instalados cerca de 2.500 sistemas (Fedrizzi; Sauer, 2002). Segundo Moraes *et al.* (2017), várias dessas experiências de instalação de SFB no âmbito do PRODEEM não lograram êxito ou atingiram níveis satisfatórios em comunidades rurais. Embora, foi observado que, apesar de a energia solar fotovoltaica já ser considerada uma tecnologia energética bem consolidada, tem deixado de funcionar, logo nos primeiros anos após a sua instalação, talvez por falhas institucionais na gestão e na implantação, que não consideraram a dinâmica das comunidades em que foram instalados.

Além disso, segundo Moraes *et al.* (2020), até o ano de sua pesquisa haviam sido instalados 322 SFB para fornecer água para consumo doméstico, consumo animal e irrigação de pequeno porte, em comunidades rurais do SAB, sendo aproximadamente 50 instalações no estado do Piauí. Percebe-se, portanto que os sistemas foram mal distribuídos, sendo baixa a quantidade de sistemas instalados no Piauí, tendo em vista a extensão territorial do estado e a quantidade de sistemas que foram instalados em todo o Brasil. Após a implantação destes sistemas, e do estudo de todas essas iniciativas, novos sistemas que foram instalados no estado do Piauí, foram provenientes de iniciativas de órgãos públicos, instituições não-governamentais, além de algumas poucas instalações do tipo particular. Recentemente, percebeu-se um aumento significativo de empresas especializadas em montagem de sistemas de energia solar fotovoltaica, que aliado à facilidade de se obter financiamentos, a exemplo das linhas de crédito ofereciadas pelo Banco do Nordeste visando a instalação de sistemas de geração por fontes renováveis, cresceu o numero de instalações particulares (Oliveira; Lira; Moraes, 2018).

Assim, pretende-se responder as seguintes questões de pesquisa: a) Como estão dispostos os recursos hídricos subterrâneos e solares para fins de instalação de SFB no estado do Piauí? b) Quais outras iniciativas para a instalação de SFB foram executadas para atender o meio rural do estado do Piauí? c) Quais as principais aplicações dos SFB instalados no meio rural do Piauí, voltadas para a agricultura familiar? d) Em que medida é possível considerar os SFB como tecnologia social para auxiliar na convivência com o semiárido?

Como hipóteses, no que tange aos recursos hídricos subterrâneos e solares, acredita-se que o estado do Piauí apresente condições favoráveis para a utilização de SFB, em especial aquelas relacionadas à irradiação solar, nível da água em relação à superfície e vazão, devendo ser mais difundidos. Acredita-se ainda que, os SFB identificados na pesquisa, em sua maioria, foram instalados no meio rural do Piauí por meio de iniciativas das instituições públicas de ensino do estado do Piauí, através de projetos de pesquisa e extensão. Ademais supõe-se que os SFB instalados puderam funcionar em sua plenitude, proporcionando mudanças significativas nas comunidades, em diversas aplicações auxiliando na convivência com o meio rural de clima semiárido.

Além disso, supõe-se que nos locais em que foram instalados, os Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento foram usados, principalmente, para fins produtivos, em especial voltados para a agricultura familiar de subsistência. Com isso, a população das comunidades rurais do Piauí, que recebeu a implantação de sistemas fotovoltaicos para captação de água, teve benefícios sociais e econômicos, trazendo melhoria da qualidade de vida e perspectivas para a diminuição da vulnerabilidade. Desta forma, dentro do nexo água-energia-alimentos, a energia solar fotovoltaica pode ser considerada como tecnologia social, podendo auxiliar na convivência com o semiárido, garantindo o mínimo existencial e a segurança alimentar para a população vulnerável.

Neste trabalho, o objetivo geral é analisar o funcionamento dos sistemas de bombeamento fotovoltaico, enquanto Tecnologia Social para auxiliar na convivência com o semiárido, considerando seus impactos socioeconômicos em comunidades rurais do Piauí.

Como objetivos específicos, tem-se: a) Analisar a disposição dos recursos hídricos subterrâneos e solares para fins de utilização de SFB no Piauí; b) Identificar as principas iniciativas para a instalação de SFB no estado do Piauí; c) Caracterizar as principais aplicações dos SFB no meio rural do Piauí voltadas para a agricultura familiar; d) Validar o uso dos SFB como tecnologia social em comunidades rurais piauienses.

Ressalta-se que na literatura nacional e internacional apresentam-se muitos trabalhos relacionados aos sistemas de energia solar fotovoltaicos, versando sobre diversos aspectos técnicos. Porém, ainda não se considerou na literatura científica a possibilidade de aplicação dos SFB como uma tecnologia social, tendo em vista os conceitos apresentados e as características necessárias para que uma determinada tecnologia seja considerada como tal. Em relação aos estudos relacionados ao potencial para a utilização de sistemas fotovoltaicos, nenhum foi direcionado para o uso de sistemas de bombeamento, analisando de forma conjunta os recursos solares e hídricos subterrâneos do estado do Piauí.

O presente trabalho constitui a primeira pesquisa que busca analisar e validar o uso da energia solar fotovoltaica como uma tecnologia social para auxiliar na convivência com o semiárido, por meio de indicadores qualitativos e quantitativos, analisados de forma holística. Para esta análise foram considerados o contexto atual da utilização desta tecnologia, bem como o seu potencial de utilização e suas possibilidades de aplicação no estado do Piauí, em especial no meio rural do semiárido piauiense. Ressalta-se, ainda, a relevância do tema, considerando-se realidades similares em outras regiões, que partilham das mesmas dificuldades, relacionadas ao contexto das mudanças climáticas, necessitando de estudos e soluções para a diminuição da vulnerabilidade ainda presente. Assim, neste estudo destaca-se seu caráter interdisciplinar, em que são discutidos aspectos relacionados a diferentes áreas do conhecimento, como ciências econômicas, ciências sociais, geografia, engenharia elétrica e ciências ambientais, podendo contribuir para pesquisas em áreas diversas.

De forma resumida, no que se refere à metodologia, este trabalho pode ser dividido em três etapas. A primeira etapa foi desenvolvida por meio de pesquisa bibliográfica, em que, por meio do método Prisma 2020, foi construído o referencial teórico, que dá suporte conceitual e mostra o estado da arte, relacionado à temática desenvolvida. A segunda etapa consiste em pesquisa documental, visando analisar a disposição dos recursos hídricos subterrâneos e solares no Piauí. Para isso foi feita a espacialização de dados coletados no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e no Serviço Geológico do Brasil, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (SGB/CPRM), em mapas temáticos identificando as zonas mais propícias para a instalação dos SFB.

Na terceira etapa, desenvolvida por meio de pesquisa de campo, foi feita a identificação das principais iniciativas para a instalação dos SBF no Piauí, por meio da técnica conhecida como bola de neve, identificando-se comunidades rurais que foram beneficiadas por meio de instituições públicas e não-governamentais. Também, foram realizadas visitas nas comunidades rurais piauienses beneficiadas com a instalação de SFB, em que foram realizadas entrevistas com usuários ou líderes comunitários, para caracterização das principais aplicações dos SFB, como também, o levantamento dos principais benefícios da instalação desses sistemas para as famílias. Para a entrevista, foram aplicados formulários de pesquisa, elaborados com base no Sistema de Indicadores para Diagnóstico, Monitoramento e Avaliação de Tecnologias Sociais (SIDMATECS), visando avaliar o uso dos SBF como tecnologia social, que promova segurança hídrica, energética e alimentar no meio rural do Piauí.

Este trabalho está composto pela **Introdução,** em que são apresentados o tema, a problemática, as hipóteses da pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos, a sua

relevância, resumo da metodologia e a estrutura da tese. Para o referencial teórico, foram elaborados dois itens, sendo um deles intitulado **Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento (SFB)**, em que está apresentada a caracterização da tecnologia solar fotovoltaica para bombeamento de água, enfocando os principais componentes e configurações, e uma retrospectiva histórica com as principais políticas públicas relacionadas à energia solar no Brasil. No segundo item teórico, intitulado **Tecnologias Sociais para a convivência com o Semiárido,** foi abordada a evolução do conceito de Tecnologia Social, bem como as principais tecnologias sociais de convivência com o semiárido, em especial as de acesso à água, difundidas por meio de políticas públicas.

Destaca-se que os resultados da pesquisa, que atendem aos objetivos específicos propostos, estão apresentados em forma de artigos científicos, e compreendem os quatro capítulos seguintes.

Dessa forma, no quarto capítulo, é apresentado o artigo intitulado **Levantamento dos recursos solares e hídricos subterrâneos para a utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento no estado do Piauí, Brasil,** em que estão indicados como estão dispostos os recursos solares e hídricos subterrâneos no estado do Piauí, e os principais indicativos que determinam o potencial para a utilização da energia solar fotovoltaica como alternativa hídrica e energética, para o bombeamento de água, com vistas para uso doméstico e econômico.

No quinto capítulo, que tem como título: **Iniciativas recentes para a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento no meio rural do Piauí, Brasil**, apresentam-se as principais iniciativas para a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento no meio rural do Piauí, provenientes de instituições públicas e instituições não-governamentais, e realizadas após as principais políticas públicas energéticas brasileiras que visaram a eletrificação do meio rural por meio de fontes renováveis de energia.

O sexto capítulo, se refere ao artigo **A utilização dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento pela agricultura familiar no meio rural do Piauí, Brasil**, em que, por meio de visitas *in loco* em comunidades rurais piauienses beneficiadas com a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, foi feita a análise das principais aplicações e benefícios trazidos para a agricultura familiar.

No sétimo capítulo, intitulado **Avaliação dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento instalados no meio rural do Piauí, Brasil, como tecnologia social de convivência com o semiárido** é apresentado o artigo em que é discutido o uso dos sistemas de bombeamento no meio rural do Piauí como medida adaptativa, no contexto das mudanças climáticas, configurando-se como Tecnologia Social de convivência no semiárido.

No último capítulo denominado **Conclusões,** são apresentados e comentados os resultados encontrados nesta pesquisa. Por fim, apresenta-se item **Referências,** em que estão listados os autores citados na Introdução e no Referencial Teórico, seguido dos **Apêndices** elaborados para a pesquisa.

# 2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E TECNOLOGIAS SOCIAIS

## 2.1 Mudanças climáticas e eventos extremos

Mudanças no clima da Terra, decorrentes do aumento da temperatura global, vêm sendo observadas desde a década de 1950, provocando impactos nos ecossistemas terrestres, tendo incidência direta sobre a segurança hídrica e alimentar em nível global e regional (Silva; Colombo, 2019). Dentre os principais efeitos das mudanças climáticas, tem-se o surgimento de eventos climáticos extremos, como secas severas em alguns locais e enchentes frequentes em outros, provocados por mudanças na frequência e intensidade da temperatura e das chuvas (Assad *et al.*, 2022), gerando impactos econômicos negativos nos sistemas de produção agrícola e na pecuária, por serem os setores da economia mais sensíveis à instabilidade climática (Cintra; Melo; Menezes, 2020).

Além disso, as mudanças climáticas podem acarretar o processo de desertificação, em que alterações na estrutura biótica dos ecossistemas, como a perda da biodiversidade e a redução da fertilidade do solo, diminuem a evapotranspiração nesses locais, provocando a diminuição das chuvas, e o consequente aumento das secas (Tavares; Arruda; Silva, 2019). Logo, como consequência direta das mudanças climáticas, tem-se o aumento da escassez hídrica, que torna urgente a criação de medidas adaptativas de modo a auxiliar as populações e atividades econômicas mais afetadas pelos seus impactos negativos.

Portanto, propostas de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas são necessárias, pois podem ajudar a diminuir os riscos à produção alimentar, ao ponto que podem ajudar a aumentar o abastecimento hídrico e energético das regiões mais prejudicas e mais vulneráveis a tais efeitos. Sob a perspectiva de Lima, Silveira e Vasconcelos Júnior (2020), a administração dos recursos hídricos e energéticos deve visar, de maneira eficaz, a sustentabilidade, a diminuição de disputas pelo acesso a esses recursos e a atenuação da fragilidade das comunidades mais impactadas.

Com o objetivo de atender as necessidades e demandas atuais, aliado à busca pelo Desenvolvimento Sustentável, foi criada, em 2015, a Agenda 2030, pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), em que os países membros se comprometeram a atingir 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), por meio de 169 metas, nos 15 anos subsequentes, como pode ser visto na Figura 4. Esses objetivos visam erradicar a pobreza, assegurando uma vida próspera e de plena realização pessoal, promover sociedades pacíficas, justas e inclusivas, com base em um espírito de solidariedade global, reforçada de modo que o

progresso econômico, social e tecnológico ocorra em harmonia com a natureza, sobretudo por meio da gestão integrada e sustentável dos recursos naturais (UN, 2015).

**Figura 2.1.** Descrição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

| | | | |
|---|---|---|---|
| | OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL |   | **Objetivo 1.** Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares. |
|   | **Objetivo 2.** Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável. |   | **Objetivo 3.** Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todas e todos, em todas as idades |
|   | **Objetivo 4.** Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todas e todos. |   | **Objetivo 5.** Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas. |
|   | **Objetivo 6.** Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. |   | **Objetivo 7.** Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos. |
|   | **Objetivo 8.** Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas e todos. |   | **Objetivo 9.** Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação. |
|   | . **Objetivo 10.** Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles. |   | **Objetivo 11.** Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis |
|   | **Objetivo 12.** Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. |   | **Objetivo 13.** Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos. |
|   | **Objetivo 14.** Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável. |   | **Objetivo 15.** Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade. |
|   | **Objetivo 16.** Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis. |   | **Objetivo 17.** Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável. |

Fonte: Elaborado pelos autores com base em UN (2015).

Entre os ODS, destaca-se o ODS 2: “Fome zero e agricultura sustentável”, que busca acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável. Destaca-se também o ODS 6: “Água potável e saneamento”, que visa garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável de forma universal, equitativa e segura para todos, protegendo ecossistemas relacionados com a água, reduzindo a poluição, aumentando a eficiência no uso da água através de retiradas sustentáveis, a fim de reduzir a quantidade de pessoas que sofrem com a escassez de água, fortalecendo a participação das comunidades locais para a melhoria da gestão da água. Cita-se, também, o ODS 7: “Energia acessível e limpa”, que almeja o atendimento das seguintes metas: universalização do acesso, aumento da participação das energias renováveis, dobrar a taxa global de eficiência energética, além de reforçar a cooperação internacional em pesquisas e transferência de tecnologia (UN, 2015).

Na visão de Silva (2018, p. 677), os ODS apresentam interconexões e fundamentam-se no princípio da indivisibilidade dos direitos humanos. Tal princípio sustenta a ideia de que a plena efetivação de um direito humano depende da implementação dos demais direitos. Assim, segundo Mccauley (2017), com ODS 7 busca-se assegurar alguns aspectos de justiça energética, como a aplicação de direitos sociais e ambientais para cada componente do sistema energético, relacionado à segurança no abastecimento, acessibilidade ao serviço e sustentabilidade. Silva *et al.* (2022, p. 11), destacam a importância do ODS 6, afirmando que o “acesso à água é considerado um bem universal e um direito humano a ser garantido a todos os cidadãos”, cabendo à sociedade contemporânea a missão de preservar, conservar e distribuir de forma equitativa este elemento essencial para a sobrevivência do planeta. Fortolan *et al.* (2022), por sua vez defendem que é responsabilidade do Estado implementar ações que alcancem o ODS 2, buscando promover o desenvolvimento rural de forma sustentável e garantindo o direito de todos os trabalhadores do campo a uma vida digna, sem fome e com acesso à alimentação adequada.

## 2.2 Evolução do conceito de Tecnologia Social

O conceito de Tecnologia Social foi construído ao longo do tempo, dentro de contextos marcados por desigualdades sociais, a partir do termo Inovação Social (Sousa; Pozebbon, 2020). O conceito de Inovação Social, por sua vez, surge como uma evolução do conceito tradicional de Inovação (Weber; Silva, 2020). Vale a pena ressaltar “que o termo “tecnologia

social" é muitas vezes utilizado no Brasil para definir iniciativas de inovação social" (Medeiros *et al.*, 2017, p. 959).

O significado de Inovação em seu sentido tradicional começou a ganhar corpo no início do século XX, a partir dos trabalhos de Schumpeter, em sua Teoria do Desenvolvimento Econômico (Echalar. Lima; Oliveira, 2020). "O economista austríaco, Joseph Alois Schumpeter foi um dos mais proeminentes autores a inspirar definições da Inovação [...] com foco de análise do progresso econômico dos países" (Aires; Costa; Brandão, 2022, p. 3).

Para Franzoni e Silva (2016) o conceito de Inovação foi utilizado por muito tempo dentro de uma perspectiva econômica e tecnológica. No entanto, existe um avanço neste conceito, e, ao se direcionar para uma nova perspectiva em que os benefícios sociais são o destaque. Segundo os autores, o *Centre de Recherche sur les Innovations Sociales* (Crises), grupo de pesquisa referência em inovação e tecnologia social, dá o melhor conceito de Inovação Social como sendo

> Um processo social iniciado pelos atores sociais para responder a uma aspiração humana, suprir uma necessidade, trazer uma solução ou aproveitar uma oportunidade de ação, na intenção de mudar as relações sociais, de transformar um quadro de ação ou de propor novas orientações culturais (Crises, 2010, p. 5).

De acordo com Araújo e Cândido (2015), este conceito de Inovação surge também dentro do contexto dos problemas ambientais, tendo em vista que, em certa medida, a exclusão e a desigualdade social contribuem para a devastação dos recursos naturais. Dessa forma, deve haver, ainda, uma distinção entre o conceito de Inovação Social e Inovação Tecnológica, tendo em vista o resultado pretendido, pois a primeira visa a mudança social, e a segunda à criação de valor econômico.

Dentro deste contexto há ainda de se citar que o conceito de Tecnologia vem sendo largamente disseminado, mas o seu real significado muitas vezes não é compreendido, tendo em vista que não há uma distinção clara entre a inovação e a tecnologia (Mail *et al.*, 2022). Segundo os autores, o significado de tecnologia proposto pelo filósofo brasileiro Alvaro Pinto é o estudo da técnica, ou seja, uma habilidade de fazer ou um modo de produzir alguma coisa, e não necessariamente envolve a concepção instrumentalista, como o uso de máquinas ou sistemas.

Dessa forma, a discussão sobre novas formas ampliadas de pensar a tecnologia e seu papel na sociedade, que se iniciou por volta dos anos 1960, faz surgir o conceito de Tecnologia Apropriada. Estas era tecnologias convencionais já utilizadas nos países desenvolvidos, que

eram levadas aos demais países, por meio das multinacionais. Porém, perderam a força por volta dos anos 1980, por conta da globalização e do aumento da competitividade (Weber ; Silva, 2020).

As Tecnologias Apropriadas não resolveram os problemas sociais e ambientais dos países pobres, uma vez que os países desenvolvidos não conheciam a realidade e não consideraram o processo de assimilação e transferência da tecnologia pelas comunidades que seriam beneficiadas (Dagnino; Brandão; Novaes, 2010). Além disso, as tecnologias apropriadas podem não ser ideais para nações periféricas, visto que tendem a provocar a perda de empregos e não se ajustam às especificidades culturais e vocações de cada região, comportando-se de maneira similar às tecnologias de grande escala (Medeiros et al., 2017).

Finalmente, segundo Franzoni e Silva (2016), dentro do contexto de difusão de tecnologias convencionais para promover desenvolvimento, englobadas no conceito de Tecnologia Apropriada, emerge o conceito de Tecnologia Social, já com a ideia do uso de tecnologias não-convencionais para a resolução de demandas sociais. De acordo com Souza e Pozebbon (2020, p. 232), "o conceito de tecnologia social emergiu ao longo dos anos 1990 como tendo o potencial de contribuir para a consolidação de práticas democráticas concebidas e fundadas pela geração coletiva de ideias".

No Brasil, destaca-se o Centro Brasileiro de Referência em Tecnologia Social (CBRTS), que, em 2004, juntamente com diversos atores sociais, iniciou as discussões e reflexões a respeito do arcabouço teórico das Tecnologias Sociais, através de pesquisas, diálogos, e exames de experiências, criando a Rede de Tecnologias Sociais (RTS) (Araújo; Cândido, 2017). A rede surgiu como um marco analítico-conceitual, para ser uma alternativa mais eficaz para a resolução de problemas sociais, e um vetor para a adoção de políticas públicas que abordassem a relação ciência-tecnologia-sociedade (Dagnino; Brandão; Novaes, 2010). Entre os anos de 2005 e 2011, a RTS desempenhou um papel relevante com o propósito central de consolidar a replicação de tecnologias sociais em âmbito nacional como um instrumento para a formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento social (Lemos; Dechandt, 2019).

> Entre as definições mais adotadas de tecnologia social está a proposta pelo Instituto de Tecnologia Social (ITS), que considera as tecnologias sociais como um conjunto de técnicas e metodologias transformadas, desenvolvidas e/ou aplicadas em interação com uma população e que sejam apropriadas por ela, representando uma alternativa para a inclusão social e melhoria das condições de vida (Franzoni; Silva, 2016, p. 362).

Para uma determinada tecnologia seja considerada como Tecnologia Social, ela deve ser desenvolvida com a participação efetiva da comunidade, de modo a solucionar problemas sociais através de ações que visem o desenvolvimento econômico, social e ambiental, por meio de um planejamento adequado de modo que o conhecimento possa ser compartilhado e absorvido pela comunidade (Araújo; Cândido, 2017). Deve ser adaptada aos pequenos produtores e consumidores de baixo poder aquisitivo, ser orientada para o mercado interno e capaz de viabilizar pequenos empreendimentos incentivando o potencial e a criatividade dos usuários sem promover o controle hierarquização e dominação dentro das relações de trabalho (Dagnino; Brandão; Novaes, 2010). Dessa forma, o empoderamento deve ser o fator central de uma tecnologia social, que insira a comunidade como parte ativa do processo, e que, mesmo por meio de uma abordagem técnico-científica inovadora, possibilite a apropriação, o uso e a disseminação do conhecimento Souza e Pozebbon (2020).

De acordo com o Instituto de tecnologia Social (ITS) as tecnologias sociais devem buscar os seguintes valores: inclusão cidadã, participação, relevância social, eficácia e eficiência, acessibilidade, sustentabilidade, organização e sistematização, dimensão pedagógica, promoção do bem-estar e inovação. Dessa forma, a aplicação das Tecnologias Sociais implica em compromisso com a transformação social, criação de um espaço de descoberta de demandas e necessidades sociais, diálogo entre diferentes saberes e construção cidadã do processo democrático (ITS, 2007).

## 2.3 Tecnologias sociais aplicadas ao semiárido

As regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas cobrem cerca de 41% da das terras do planeta e ocorrem tanto em países desenvolvidos, quanto em países subdesenvolvidos, de todos os continentes com exceção da Antártida. Essas regiões são conhecidas como “terras secas” (Accioly *et al.,* 2019). As terras secas têm como característica comum o fenômeno natural das secas, que consiste na ausência ou redução da quantidade de chuvas, com valores de precipitação geralmente inferiores à média anual. Os impactos das secas dependem das suas condições sociais, econômicas e ambientais, sendo que, normalmente a condição socioeconômica é a que define a vulnerabilidade socioambiental das comunidades atingidas (Araújo, 2021).

A região Nordeste do Brasil está entre as regiões áridas e semiáridas mais vulneráveis do mundo, e um dos principais fatores é seu alto grau de dependência dos recursos naturais, principalmente diante de um cenário de mudanças climáticas. Por conta disso, indivíduos e

organizações dessa região vêm se articulando e desenvolvendo práticas para enfrentar as dificuldades de falta de água ou de produção de alimentos, por exemplo, em torno de um novo modelo de desenvolvimento capaz de envolver o uso de técnicas para a convivência com o semiárido (Ventura *et al.*, 2013).

Segundo Malvezzi (2016), a criação da Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), 1909, e, posteriormente, em 1919, transformada em Instituto Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), e em Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) no ano de 1945, foram as primeiras iniciativas para tentar lidar com as secas da região Nordeste, através da construção de açudes, barragens, projetos de irrigação e projetos assistencialistas. Para Tomaz e Florentino (2021), muitas dessas obras de infraestrutura privilegiavam os grandes proprietários de terra e eram controlados pelos políticos locais, em detrimento dos pequenos produtores, mais pobres.

Para Ventura *et al.* (2013), a maioria dessas políticas públicas de combate à seca foram, em sua maioria, equivocadas. Isso fez com que surgissem novos movimentos e organizações que defendiam a defesa e a inclusão dos pequenos produtores rurais do semiárido, através da democratização do acesso à água, como é o caso da rede Articulação do Semiárido no Brasil (ASA-Brasil), que, à época do estudo, já contava com mais de 1.000 organizações. O seu principal propósito era assegurar a convivência digna da população com o semiárido, colocando a vida como centro de todas as ações, dentro das dimensões humana, econômica, cultura, ambiental, científica e tecnológica. A efetivação desse modelo se dá por meio das tecnologias sociais de convivência com o semiárido.

As tecnologias sociais surgiram como fruto de uma mudança de paradigma, no qual o uso da tecnologia para a geração de lucro e vantagens no âmbito do mercado, após os diversos avanços da ciência nos campos político, econômico, educacional e social das últimas décadas, passou a ser visto em um sentido diverso, no qual experiencias e saberes visavam a geração de alternativas para as demandas dos indivíduos e comunidades em estado de vulnerabilidade econômica, política, jurídica e social (Nunes *et al.*, 2021). De acordo com Souza e Pozzebon (2020, p. 234), uma tecnologia social pode ser definida como o resultado de um processo em que "práticas sociais mobilizam métodos e ferramentas desenvolvidas com o objetivo de promover transformações sociais que ajudam a resolver problemas e atender necessidades relacionadas à exclusão e à pobreza".

Medeiros *et al.* (2017) consideram que para ser considerada como social, uma tecnologia deve ter potencial para gerar mudanças efetivas em diversos campos como educação, saúde, meio ambiente, lazer, etc., trazendo qualidade de vida a partir de sua implantação,

quando aplicada em um determinado contexto social. Dentre as principais características de uma tecnologia social, estão a simplicidade, baixo custo, fácil aplicabilidade e geração de impacto social. Além disso, devem ser replicáveis em outros contextos. Sua dimensão espacial de atuação deve ser apenas local, devendo apresentar uma relação próxima e direta com as comunidades, concedendo empoderamento por meio de transformação da cultura, do cotidiano, dos aspectos econômicos, sociais e/ou ambientais.

No Brasil, foi criada uma Rede de Tecnologia Social (RTS) para transformar essas tecnologias em políticas públicas e programas sociais, facilitando sua difusão (Malvezzi, 2007). A formação da RTS teve início em 2003, e dela participaram atores preocupados com a crescente exclusão social, precarização e informalização do trabalho etc., e compartilhavam a percepção de que era necessária uma tecnologia alternativa à convencional que correspondesse aos seus propósitos de produção coletiva, gerando respostas adequadas aos problemas sociais de determinado contexto (Novaes; Dias, 2009).

De acordo com Lemos e Dechandt (2019, p. 514), "a RTS era uma articulação de mais de 900 organizações [...] cujo objetivo era reunir, organizar, articular e integrar-se com o propósito de promover o desenvolvimento sustentável por meio da difusão e reaplicação em escala de tecnologias" Dentre os grupos apontados pelos projetos da RTS, estão as populações do SAB, da região Amazônica e da periferia dos grandes centros urbanos, cada um com suas necessidades específicas em face aos problemas enfrentados (Medeiros *et al.*, 2017).

Em seu trabalho, Furtado *et al.* (2014) apresentam diversas tecnologias utilizadas para a captação, conservação e utilização da água no SAB. Os autores fazem uma breve descrição da tecnologia, sua utilização e seus materiais construtivos. Entre elas podem ser citadas a barragem subterrânea, cisternas de placa, dessalinizador de água, filtros para purificar água e sistemas de irrigação de baixo custo.

Para Camargo e Barbosa (2018), compreender sua evolução e estruturação pode favorecer o estabelecimento de políticas, o fomento à pesquisa, a compreensão de fenômenos naturais e sociais, o desenvolvimento de novas práticas e o próprio crescimento do saber. A avaliação dos conhecimentos acumulados é uma necessidade premente para qualquer setor de pesquisa, pois a partir deste conhecimento produzido pode-se inferir sobre novas áreas de investigação, apontando caminhos a serem percorridos (Parra *et al.*, 2019).

Ventura *et al.*, (2013) caracterizaram as tecnologias sociais no semiárido baiano. Foram identificados os atores sociais envolvidos e as estratégias para enfrentamento às mudanças climáticas. Identificou-se na pesquisa que a maior parte das tecnologias sociais está diretamente vinculada com estratégias de captação e utilização eficiente da água, associada a técnicas de

melhoramento do rendimento dos cultivos. O estudo percebeu uma crescente incorporação dessas tecnologias sociais buscando desenvolvimento e combatendo a desertificação, porém, sem uma integração efetiva em relação às mudanças climáticas.

Para Malvezzi (2007), a convivência com o semiárido começa dentro das escolas, modificando-se o processo educacional, o currículo escolar, a metodologia educativa e o próprio material didático. Dessa forma, é preciso pensar o semiárido em seu contexto global e segundo as características próprias da região. Por outro lado, Araújo (2021) afirma que para se aliar o conhecimento científico às políticas de Estado é necessária uma população conhecedora e atuante nas crises (formação de cidadãos resilientes e assertivos) em conjunto com o Estado, num país onde a democracia deve ser a base da sociedade (Miguel, 2006; Tocqueville, 2019; Dahl, 2012).

## 2.4 Políticas públicas para a difusão de tecnologias sociais de acesso à água no SAB

Conviver com o Semiárido significa viver, produzir e desenvolver-se dentro de uma mentalidade que enfatiza a partilha, a justiça e a equidade, querendo bem à natureza e cuidando de sua conservação, dentro de propostas de desenvolvimento viáveis (Baptista; Campos, 2013a). No Quadro 3.1 podem ser vistas as principais políticas públicas voltadas para convivência com o semiárido além das principais tecnologias. Percebe-se que as tecnologias descritas nas publicações recuperadas tratam de tecnologias hídricas, que visam a diminuir o *déficit* hídrico nas comunidades rurais do semiárido, garantindo água nos períodos de estiagem, tanto para consumo humano, quanto animal, além da irrigação de plantios, corroborando com Brito *et al.* (2019), quando afirmam que as tecnologias de convivência com o semiárido geralmente são voltadas para a captação, armazenamento e uso da água como, por exemplo, cisternas, poços, barragens subterrâneas entre outras, de modo a se reduzir os riscos da produção, garantindo a sobrevivência em áreas sujeitas a estresses ambientais.

**Quadro 2.1**. Principais Tecnologias de convivência com o Semiárido identificadas nos artigos.

| Referências | Políticas Públicas | Tecnologias Sociais identificadas |
|---|---|---|
| Calixto J e Silva (2016) | P1MC e P1+2 | Cisterna de Placa, Barragem Subterrânea, Barreiro Trincheira, Cisterna Enxurrada |
| Silva e Barros (2016) | P1MC e P1+2 | Cisterna Calçadão, Cisterna Enxurrada, Barragem Subterrânea, Barreiro Trincheira, Barraginha, Tanque de Pedra, Bomba Popular. |
| Silva, Medeiros e Silva (2016) | P1MC | Cisterna de Placa, Tanque de Pedra |
| Carvalho, Lima e Silva (2017) | P1MC | Cisterna de Placa |

| | | |
|---|---|---|
| Oliveira (2017) | P1MC, P1+2, Programa Segunda Água, Programa Água Para Todos | Cisterna de Placa, Cisterna Calçadão, Barreiro Trincheira, Barragem Subterrânea |
| Santos (2017) | P1+2 | Cisterna Calçadão, Cisterna Enxurrada, Barreiro Trincheira |
| Souza e Santos (2018) | P1MC | Cisterna de Placa |
| Marinho, Campos e Lima (2019) | P1MC, Água Para Todos | Cisterna de Placa, Tanque de Pedra |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram observadas nos trabalhos as seguintes tecnologias sociais de convivência com o semiárido: Cisternas de diversos tipos, como de Placa, Calçadão e Enxurrada, Barragem Subterrânea, Tanque de Pedra, Barreiro Trincheira, Barraginha, além do uso da Bomba d'água popular. Os autores Silva e Barros (2016) trazem em sua pesquisa diversas considerações conceituais e construtivas a respeito das tecnologias sociais identificadas no estudo. Vale a pena ressaltar que dentre as tecnologias sociais de convivência com o semiárido, as cisternas de placas foram as mais presentes nas comunidades do SAB. Segundo Silva *et al.* (2016), esta tecnologia tem se mostrado bastante eficaz no que tange ao armazenamento da água, principalmente para consumo humano, o que justifica o sucesso que teve sua disseminação, principalmente pela viabilidade de implantação, facilidade de manutenção e apropriação do seu uso.

De acordo com Buriti *et al.* (2020), as tentativas iniciais propostas pelo governo, por meio do IOCS, IFOCS e DNOCS, até meados da década de 1940, não foram suficientes para transformar o modo de convívio com as secas, apesar de terem contribuído para a consolidação de um sistema de infraestrutura de armazenamento de água, até então, inédito na região. As seguintes tentativas de democratização do acesso à água no semiárido, por meio da SUDENE, também não foram tão eficientes tendo em vista o contexto social da época (entre 1950 e 1980). As propostas eram baseadas nas ideias do economista Celso Furtado, que não interessavam aos grupos políticos e econômicos da região. Porém, a partir da década de 1990, a sociedade civil passou a participar das políticas hídricas para o SAB, principalmente após a formulação e implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Lei 9.433/1997, por meio da qual houve muitos avanços na descentralização e na democratização do acesso a água, principalmente por meio das tecnologias sociais de convivência com o semiárido. Portanto, o desafio da atualidade é a universalização do acesso às tecnologias sociais no meio rural, visando à convivência com as secas.

Percebe-se, portanto, que algumas políticas públicas foram implementadas na região do SAB como forma de mitigar os problemas socioeconômicos típicos de espaços com estas

características. Dentre elas, destacam-se o Programa 1 Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), o Programa Uma Terra Duas Águas (P1+2), o Programa Segunda Água e o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água (Água Para Todos). O P1MC, foi idealizado em 2001, e visava a construção de 1 milhão de cisternas para proporcionar água para necessidades básicas (Gomes & Heller, 2016). Este programa visava à transformação social do ecossistema do semiárido, através da valorização, preservação e gerenciamento do acesso à água, por meio da difusão de tecnologias sociais, ampliando, assim, a convivência sustentável (Diniz; Lima, 2017).

Em 2007, foi iniciado P1+2, que englobava, além do consumo humano, a utilização da água para a produção agrícola e criação de animais (Alencar *et al.*, 2018). Além disso, o programa "diversificou a implantação das tecnologias, ampliando o estoque de água das famílias rurais para subsidiar também seus plantios agrícolas (Souza; Souza; Sousa, 2022). No ano de 2011, teve início o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água – Água Para Todos, que correspondia à implantação de cisternas de concreto para captação da água da chuva (Andrade & Nunes, 2014). Como propósito, o programa tem como objetivo "garantir o acesso à água potável a todas as famílias em situação de pobreza, em especial às populações pobres do campo na região semiárida do país, caracterizada por secas históricas" (Melchiori *et al.*, 2022, p. 2).

Farias *et al.* (2020) destacam também a grande importância de políticas de distribuição de água potável, principalmente e localidades do semiárido onde as secas e estiagens são prolongadas. Essas políticas aliadas a outras políticas como, por exemplo, Bolsa Estiagem, Garantia Safra e Bolsa Família, podem garantir seguridade e bem-estar social, principalmente para as populações mais vulneráveis. Segundo Mattos, Ferreira e May (2021), praticamente todas famílias do meio rural do SAB tiveram acesso ao Bolsa Família, diminuindo a insegurança alimentar. Por sua vez, o Garantia Safra era destinado a agricultores que havia perdido as suas culturas por conta das secas. O Bolsa Estiagem foi disponibilizado entre os anos de 2012 e 2014 sendo pago a famílias que não receberam o Garantia Safra.

Heing (2020) e Lermen *et al.* (2021) debatem em seus trabalhos como a agroecologia, associada às tecnologias sociais, pode contribuir para a convivência dos trabalhadores rurais com o semiárido. O uso das técnicas de rotação de culturas, consórcio de culturas a cobertura do solo, já presentes no meio rural, ultrapassam a ideia de renda, trazendo o convívio saudável com as condições climáticas do semiárido, preservando seus recursos disponíveis. Militão *et al.* (2020) analisam o uso de Jardins Filtrantes como tecnologia social para reuso e aproveitamento de água cinza, proveniente de pias e chuveiros, em duas comunidades localizadas no município

de Barbalha, no estado do Ceará. Com o uso dessa tecnologia, os agricultores aumentaram a oferta de água utilizada na irrigação de plantas frutíferas, capineiras e pequenos jardins,

Os resultados dos estudos realizados nas comunidades que foram beneficiadas por esses programas evidenciam uma mudança de paradigma em relação ao acesso a água, com benefícios diversos para as famílias como melhoria da qualidade de vida, saúde e aumento na renda dos produtores rurais, apesar de a quantidade de pessoas beneficiadas por esse tipo de política pública ainda ser pequena. Todavia, a natureza do SAB e as implicações sociais que dão contorno a uma situação histórica de pobreza, de vulnerabilidade e de descaso do poder público em relação aos coletivos sociais – cuja realidade é reconhecida pelo conjunto dos agentes públicos e atores políticos – impõe a necessidade de considerar este ambiente como prioritário em termos de políticas públicas, especialmente quando se mira nas repercussões decorrentes dos problemas climáticos.

As tecnologias sociais difundidas no semiárido por meio de tecnologias sociais, foram uma tentativa de melhorar a vida das pessoas e trazer beneficios relacionados não apenas ao consumo doméstico, mas para fins econômicos e sociais. Porém essas políticas públicas se resumiram apenas à instalação de cisternas, sendo as principais as cisternas de placas e as cisternas do tipo calcadão. O objetivo dessas tecnologias era a captação da água das chuvas e o seu armazenamento para uso nos períodos de estiagem. Tendo em vista as condições severas e a pouca quantidade de chuvas, a água armazenada serve apenas para o consumo doméstico. Dessa forma as tecnologias sociais difundidas perdem o significado, o ponto que não trazem outros benefícios para os usuários, como empoderamento, possibiliadde de aumento de renda e diminuiçao da vulnerabilidade social.

Ademais, ressalta-se a necessidade de utilização de novas tenologias, em especial as que sejam voltadas para o desenvolvimento sustentável e que utilizem fontes renováveis de energia. Essas novas tecnologias, ao serem caracterizadas como Tenologias Sociais, poderão ser posteriormente transformadas em políticas públicas que tragam benefícios reais e permanentes para as populações vulneráveis do meio rural de clima semiárido. A instalação de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água pode ser uma alternativa viável para as comunidades que vivem em situação de vulnerabilidade, por estarem geograficamente distantes das redes de distribuição de energia, e por viverem com dificuldades constantes para ter acesso a água, tanto para as atividades básicas que o ser humano necessita, quanto para as atividades voltadas para a redução da pobreza.

# 3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO (SFB)

Uma das aplicações mais importantes da tecnologia solar fotovoltaica é o bombeamento de água. Desde as últimas décadas, os sistemas de bombeamento de água que utilizam energia solar fotovoltaica vêm se tornando muito populares, mostrando potencial para diversas aplicações (Pandey *et al.*, 2016). Dentre as principais aplicações, podem ser citadas: uso residencial individual, distribuição em pequenas comunidades rurais para prover o consumo animal, utilização em sistemas de irrigação (Pinho; Galdino, 2014), além de utilização da água armazenada em reservatórios para uso posterior (Muralidhar; Rajasekar, 2021).

## 3.1 Vantagens e desvantagens dos SFB

Verma *et al.* (2021) afirmam que, os SFB têm como principal vantagem o fato de não exigirem custos com combustíveis, como gasolina e diesel. Dessa forma, vêm ganhando popularidade em regiões com dificuldades de acesso à energia elétrica e água, principalmente localidades rurais e remotas.

Como pontos positivos da tecnologia solar fotovoltaica, Benghanem *et al.* (2013) apontam que, tem baixa necessidade de manutenção, vida útil longa, facilidade de instalação e baixos custos operacionais, que podem compensar os custos de aquisição, caso seja instalado em locais que demonstrem alto potencial solar. Dessa forma, combinando acesso, distribuição e uso, esta tecnologia pode trazer altos retornos em um prazo curto, promovendo desenvolvimento agrícola de comunidades rurais, e a quebra do ciclo da baixa produtividade das culturas, bem como uma fuga sustentável da pobreza (Burney; Naylor, 2012).

Apesar dos impactos positivos, ainda há uma série de entraves comuns que, ainda devem ser solucionadas como a falta conhecimento da população sobre a tecnologia, desenvolvimento do mercado fotovoltaico de bombeamento na região, e falta de assistência técnica aos produtores agrícolas para uma melhor gestão dos sistemas (Valer *et al.*, 2013).

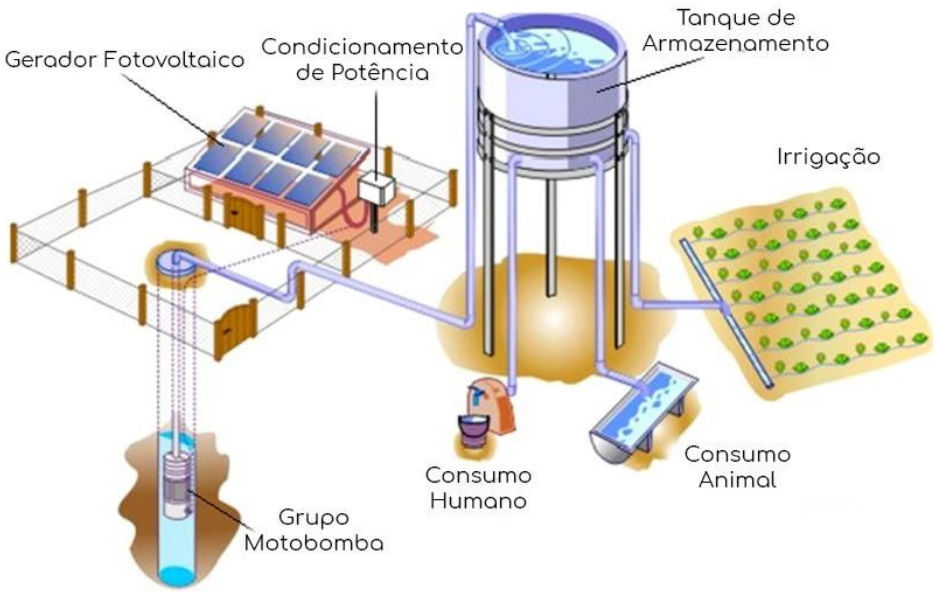
Em muitos locais é comum a utilização de bombas a diesel para retirar água de poços, porém esses sistemas requerem manutenção frequente no local, e muitas vezes o diesel para reabastecimento não está disponível nessas localidades, o que pode trazer altos custos (Benghanem *et al.*, 2013). O aumento do preço da eletricidade, a tendência mundial de substituição das fontes a combustíveis fósseis e a diminuição dos preços da tecnologia fotovoltaica tornaram possível que este tipo de sistemas chegasse ao mercado rural (Carrêlo *et al.*, 2020). Dessa forma, a energia solar fotovoltaica vem ganhando cada vez mais força

tornando-se uma das alternativas mais interessantes para a adaptação das populações às mudanças climáticas, em especial para a população vulnerável das regiões semiáridas (Dantas, 2020).

## 3.2 Configurações e equipamentos dos SFB

De acordo com Mwanza *et al.* (2017), em um SFB usa-se a energia solar como a principal fonte de energia elétrica para alimentar uma bomba motorizada, para retirar água do subsolo ou de algum tipo de reservatório, ou seja, a luz solar é convertida em eletricidade. Com isso, segundo Kumar *et al.* (2020), por sua vez, a eletricidade é convertida em energia mecânica, que finalmente é convertida em energia hidráulica. Para Villalva (2015, p.128), em um sistema ideal "toda a energia produzida pelo painel fotovoltaico é diretamente fornecida à bomba e armazenada na forma de água no reservatório localizado no nível superior". Na Figura 2.1 pode ser visto um modelo de SFB típico para fornecimento de água para consumo humano e animal, ou irrigação para cultivos.

**Figura 3.1.** Configuração básica de um SFB para fornecimento de água.




Fonte: Adaptado de Valer *et al.* (2016).

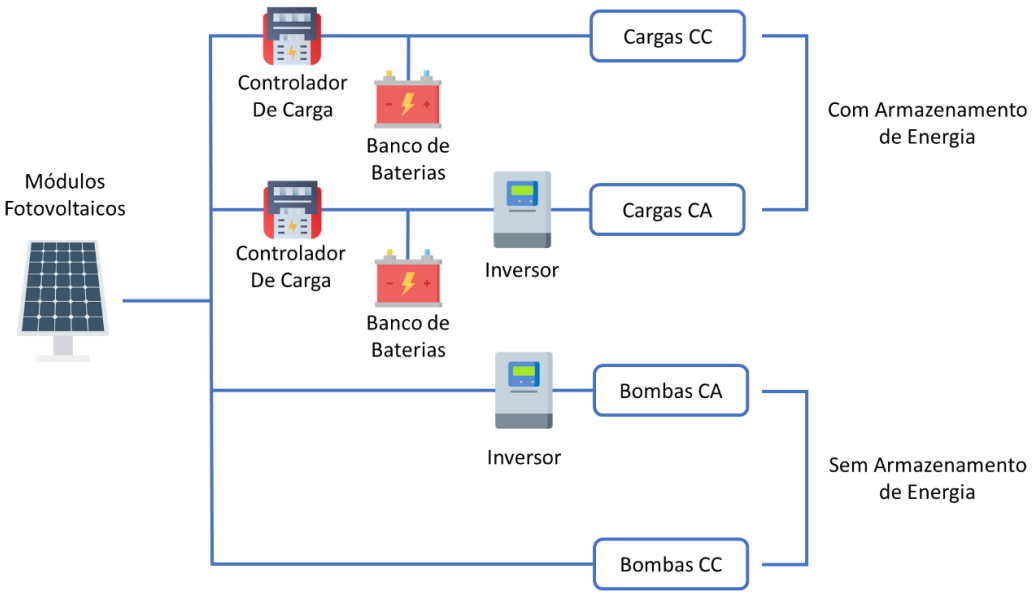
Esse tipo de sistema de bombeamento tem como principal vantagem o baixo custo, o aumento da vida útil do sistema e a redução das necessidades de manutenção, haja visto a dispensa do uso de baterias. Além disso, as bombas estão disponíveis comercialmente nas versões tanto para poços, quanto para reservatórios, como cisternas e caixas d'água, sendo que

existem uma caixa contendo um *drive* de controle que faz a conexão entre o módulo e a bomba (Villalva, 2015).

Um SFB é constituído, basicamente, por um gerador fotovoltaico, um mecanismo de acondicionamento de potência e um conjunto motor-bomba (Chandel; Naik; Chandel, 2015). O gerador fotovoltaico consiste em um ou mais módulos fotovoltaicos, que estão conectados em série ou em paralelo, para produzir níveis de potência mais altos, fornecendo a tensão desejada para a bomba (Li *et al.*, 2017). Os módulos são compostos por um agrupamento de várias células feitas de materiais semicondutores que geram corrente contínua, que por sua vez é convertida em corrente alternada pelo inversor, podendo então ser usada pela bomba ou armazenada em um banco de baterias (Kumar *et al.*, 2020).

Atualmente existem diversas configurações para os SFB, porém as mais utilizadas podem ser vistas na Figura 2.2. Os sistemas mais simples são compostos por um ou mais módulos fotovoltaicos conectados diretamente ao conjunto motor bomba em CC. Normalmente essa configuração é utilizada em sistemas com potências pequenas (de 50 a 400 Wp) e possui um baixo custo de implantação. Já os sistemas mais complexos utilizam dispositivos de condicionamento de potência entre os módulos fotovoltaicos e a motobomba, como o controlador de carga (para cargas CC) e/ou o inversor (para cargas CA) (Pereira; Mendes, 2019).

**Figura 3.2.** Configurações de um sistema fotovoltaico de bombeamento.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Via de regra, o sistema pode ou não utilizar baterias para armazenar energia, pois pode existir um depósito de água atuando no armazenamento da água coletada para uso posterior (Chandel; Naik; Chandel, 2017). Dessa forma, os sistemas podem ser classificados, quanto a

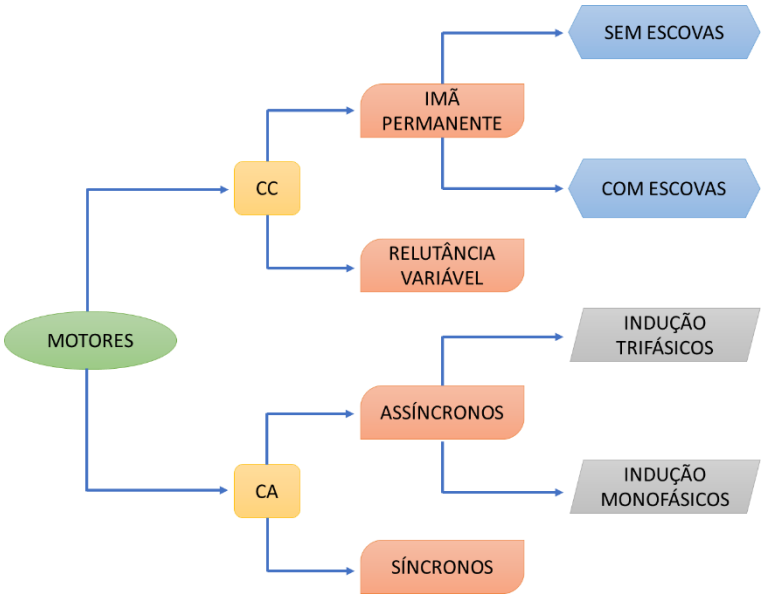
presença do grupo de baterias, como direto e indireto, sendo este último, o que se utiliza desse artificio para armazenar energia (Pereira, 2021). As baterias são utilizadas para armazenar a energia que é gerada durante o dia para uso noturno, ou para alimentar a bomba para transportar a água durante o dia em casos que não se tem geração fotovoltaica suficiente. A capacidade de armazenamento das baterias dependerá da quantidade de horas de operação do sistema sem a geração fotovoltaica (Kumar *et al.*, 2020). As configurações que possuem bancos de baterias possuem como desvantagem o custo de manutenção, haja visto que a vida útil das baterias é bem menor que a dos módulos fotovoltaicos. Isso pode também elevar os custos para a sua implantação. Normalmente são utilizadas em locais isolados da rede elétrica convencional (Villalva, 2015).

A eletricidade necessária para a maioria dos equipamentos de uma instalação elétrica normalmente é em Corrente Alternada (CA), enquanto a maioria das bombas de água disponíveis no mercado requerem uma entrada elétrica em Corrente Contínua (CC). Portanto, há a necessidade de condicionar a energia gerada para que possa alimentar corretamente a bomba d'água (Aliyu *et al.*, 2018). O sistema de acondicionamento de potência consiste em controlador de carga, que é usado para carregar baterias evitando que sejam sobrecarregadas e parando o processo de carregamento quando as baterias estão totalmente carregadas; do inversor, que converte a energia contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em energia alternada, necessária para operação da bomba; e da unidade de armazenamento de energia (Li *et al.*, 2017).

As bombas d'água bombeiam a água para um reservatório, instalado geralmente a uma altura que possibilite o aproveitamento do fluxo por gravidade. Essa diferença de altura entre o nível da água e o tanque, e a vazão, são os parâmetros a serem considerados na seleção da moto-bomba. Podem ser do tipo submersíveis, geralmente instaladas em poços profundos; de superfície, para a extração de água em poços rasos e águas superficiais, como rios, lagos e lagoas; e flutuantes, que ajustam a altura de acordo com o nível do reservatório. A sua especificação é de acordo com a potência nominal e acessórios adicionais, como filtros, válvulas de boia e interruptores (Verma *et al.*, 2021).

Diversos tipos de motores podem ser utilizados em sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água, como pode ser visto na Figura 2.3, podendo ser do tipo CA, utilizados para aplicações de alta potência (geralmente, acima de 7 kW), que necessitam do inversor, e CC, que podem se conectar diretamente aos módulos fotovoltaicos. A seleção do motor depende de alguns requisitos como preço, disponibilidade, confiabilidade e eficiência (Gopal *et al.*, 2013).

**Figura 3.3.** Principais motores elétricos utilizados em SFB.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Os motores CC utilizados em sistemas de bombeamento são do tipo sem escova e de imã permanente e os motores CA são do tipo síncrono ou de indução (Periasamy; Jain; Singh, 2015). Vale a pena ressaltar que o uso de escovas em motores do tipo CC reduz sua durabilidade e confiabilidade aumentando o custo de manutenção. Além disso os motores CC, embora sejam mais caros, são mais eficientes, tendo em vista que as perdas na conversão de energia se reduzem pelo fato de serem alimentados diretamente pelos módulos fotovoltaicos (Muralidhar; Rajasekar, 2021).

## 3.3 Pesquisas relacionadas aos SBF em regiões semiáridas

As primeiras aplicações do bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica tiveram início em 1973, na ilha de Córsega, onde uma fazenda de criação de ovelhas era abastecida por sistema constituído por módulos e uma moto-bomba de corrente contínua. No final da década de 1970, um projeto da entidade "*Mali Acqua Viva*", encabeçado pelo padre Bernard Vesperien, buscou aliviar os efeitos da seca em países africanos através da instalação das primeiras bombas fotovoltaicas. Entre 1979 e 1981, o Programa das Nações Unidas pelo Desenvolvimento (PNUD) em parceria com o Banco Mundial e o *Intermediate Technolgy Development Group* (ITDG) testaram e avaliaram um projeto piloto de sistemas de bombeamento de água para irrigação em pequenas propriedades rurais africanas. O trabalho apontou grande potencial de utilização desta tecnologia no meio rural, recomendando a

melhoria da confiabilidade dos equipamentos e a redução de preços. A partir de então, diversas pesquisas foram desenvolvidas com o intuito de demonstrar o amadurecimento da tecnologia e sua viabilidade no combate à escassez de água em localidades rurais remotas (Fedrizzi; Sauer, 2002).

Diversos são os estudos realizados em nível mundial em torno do bombeamento de água utilizando energia solar fotovoltaica, e as pesquisas publicadas versam sobre diversas nuances. Segundo Roblin (2016), a instalação de bombas solares em regiões áridas faz parte de muitos projetos de desenvolvimento, visando aumentar a produtividade dos agricultores locais, melhorando suas condições de vida, permitindo que estes últimos produzam durante todo o ano, mesmo na estação seca e, assim, aumentem os seus rendimentos e reforcem a sua posição no mercado local.

### *3.3.1. Análise de viabilidade econômico-financeira*

Dentro desta área temática são analisados os fatores que impactam diretamente no custo final para a aquisição e instalação sistemas fotovoltaicos, através da apuração de métricas próprias da engenharia econômica, buscando realizar projeções de modo a visualizar numericamente o potencial de retorno do investimento realizado (Morais *et al.*, 2021). De acordo com Carrêlo *et al.* (2020) estudos de viabilidade tem dois pilares principais: o investimento necessário e os benefícios baseados na produtividade e performance do sistema. Para Valer *et al.* (2016), além dos estudos de viabilidade econômica, concepções e execuções corretas de projetos de SFB, bem como a realização de análises de viabilidade técnica, poderão facilitar a absorção e disseminação da tecnologia por meio de programas de governo, ao demonstrar o sucesso de sua aplicação em determinados contextos.

Muitos estudos realizam comparativos entre tecnologias diferentes para demonstra a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento. Rubio-Aliarga *et al.* (2019) fizeram comparativos entre SFB *off-grid* com soluções convencionais para bombeamento de água baseadas em combustíveis fósseis, e também com sistemas *on-grid*, na região do Mediterrâneo. Xie, Ringler e Mondal (2021) realizaram um comparativo semelhante entre SFB com sistemas movidos a diesel, na região da África Subssaariana. Valer *et al.* (2016) compararam aspectos técnicos e econômicos da utilização de sistemas de bombeamento de água movidos a diesel com SFB convencionais, bem como com sistemas fotovoltaicos contendo sistemas de controle eletrônico de variação de velocidade. Os sistemas foram analisados dentro do contexto da agricultura familiar existentes das zonas rurais do SAB, sendo que os últimos foram os mais

vantajosos. Já Silva *et al.* (2022) analisaram a viabilidade econômica de um SFB instalado comparando opções diferentes de investimento que pode ser feito por famílias que desenvolvem atividades no contexto da agricultura familiar.

Os autores Alves, Santos e Santos (2014) realizaram a projeção dos custos durante a vida útil do projeto, tendo como base as características meteorológicas locais para a geração de energia. Para os autores Carrêlo *et al.* (2020), sistemas apresentam reservatórios sazonais, demonstram maior viabilidade para aplicação em sistemas de irrigação. Saavedra *et al.* (2021) analisaram os custos para a instalação de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água e a quantidade de emissões de $CO_2$, considerando a presença ou não de baterias nos sistemas. Já Yan *et al.* (2023) consideraram em sua pesquisa a distância do fornecimento da água, comparando diversas tecnologias para a entrega da água bombeada e seus custos.

Yang *et al.* (2021) analisaram a viabilidade da instalação dos sistemas em telhados de residências rurais para captar água de poços dimensionados (quantidade de módulos e tamanho e altura do reservatório) através de um algoritmo genético. Outros estudos importantes, como, por exemplo, a análise de redução de gastos com faturas de energia elétrica (Silva Júnior *et al.*, 2020) e análise do fornecimento de água e economia de energia, e seus impactos sociais em regiões semiáridas, por meio de sistemas fotovoltaicos flutuantes (Costa; Silva, 2021), também estão presentes dentro dessa área temática.

### *3.3.2. Avaliação de desempenho operacional*

Diversos trabalhos têm como objetivo comum, a avaliação de desempenho operacional de SFB, analisados sob diferentes configurações e condições climáticas. A avaliação é feita através da análise dos fatores que afetam a produtividade e a eficiência do sistema e a qualidade da operação durante seu ciclo de vida. Segundo Pereira e Mendes (2019), diversos fatores ambientais afetam a produtividade de um SFB. Entre os principais podem ser citados: incidência direta da radiação solar, temperatura ambiente, posicionamento e inclinação dos módulos, tipo de modulo utilizado, presença de sujeira nos módulos. No entanto, segundo Boutelhig, Hanini e Arab (2017), os sistemas também precisam ser projetados com precisão e montados corretamente, podendo ter como base, dados provenientes de simulações experimentais de desempenho operacional.

Nogueira *et al.* (2015) estudaram o desempenho de sistemas utilizando módulos mono e poli cristalinos, com relação ao volume de água bombeado e energia elétrica consumida. Segundo os autores, o sistema fotovoltaico com módulos poli cristalinos apresentou maior

eficiência global e menor custo por volume de água bombeada. Benghanem *et al.* (2014) analisaram a eficiência de um sistema de bombeamento em função da altura manométrica e da radiação solar incidente. Foi possível determinar a altura manométrica ideal nas condições de máxima potência, obtendo-se a melhor eficiência média do sistema. Já os autores Boutelhig, Hanini e Arab (2017) analisaram o desempenho de diferentes configurações de sistemas de bombeamento fotovoltaico, considerando diferentes configurações do sistema, variações nas alturas manométricas, características geoespeciais das áreas desérticas da região de Ghardai, onde os sistemas foram instalados, e tipos de sujidade que se acumulam sobre os painéis. Segundo os autores, os dados das características espaciais da área-alvo são comprovadamente necessários para avaliar a utilidade para essas aplicações específicas, e sua consideração durante a fase de projeto pode evitar os problemas imprevisíveis de operações no local que podem surgir após a instalação.

No trabalho de Kumar *et al.* (2015) foi analisado um sistema de micro irrigação integrado com um sistema de bombeamento fotovoltaico, funcionando a baixa pressão, capaz de adequar a água disponível em uma determinada região com a área da cultura a ser irrigada. A eficiência do sistema foi analisada considerando culturas de sequeiro de pequena escala da cidade de Hyderabad, na Índia, podendo haver a replicação do sistema analisado em ecossistemas de terras secas de qualquer parte do mundo. Todde *et al.* (2019) analisaram o desempenho energético e ambiental de sistemas de irrigação fotovoltaicos híbridos de alta potência instalados em olivais mediterrâneos, especificamente em Marrocos e Portugal, e compararam os resultados encontrados com outras opções energéticas convencionais (geradores a diesel e rede elétrica da concessionária). Segundo os autores, a disponibilidade de água, as condições climáticas e o gerenciamento da irrigação podem modificar os desempenhos energético e ambiental dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento, proporcionando uma economia de energia de aproximadamente 41% no Marrocos, e 67% em Portugal.

Dal Bem *et al.* (2016) analisaram o desempenho de um sistema diretamente acoplado, utilizando inversor ressonante paralelo acionando uma bomba submersa vibratória, para prover água para o consumo de animais em uma propriedade localizada em Alta Floresta, no estado de Mato grosso, caracterizada como área rural sem acesso à energia elétrica. Foi relacionado no trabalho o volume de água bombeado e a quantidade de bovinos atendidos. Gasque *et al.* (2021) simularam o desempenho da instalação de um sistema de bombeamento fotovoltaico composto por duas bombas iguais funcionando em paralelo e um gerador fotovoltaico, funcionando em diferentes alturas manométricas. Para todas as alturas simuladas, o volume anual bombeado pôde ser aumentado e as bombas trabalharam com maior eficiência, em comparação com o

modo de operação normalmente aplicado nessas instalações, com a distribuição da energia gerada em 50% entre as duas bombas (equivalente a alimentar cada bomba com um único gerador fotovoltaico com a metade do tamanho). Alshaar *et al.* (2022) analisaram o desempenho de dois sistemas diferentes de energia solar (sistemas fotovoltaicos térmicos e fotovoltaicos convencionais), na região de Ghor Al-Safi, na Jordânia, buscando a alternativa mais adequada e mais economica para os moradores da região. No caso dos sistemas fotovoltaicos convencionais, estes são mais eficientes quando o benefício final é a geração de energia elétrica para alimentar as bombas em sistemas de irrigação. Já os sistemas fotovoltaicos térmicos são mais eficientes para prover água quente para a população e para outras finalidades especificas, como sistemas de ar condicionado.

O trabalho de Andrade *et al.* (2017) se propõe a avaliar um sistema de irrigação por microaspersão com bombeamento de água por sistema fotovoltaico. Foi analisada a influência da distância dos microaspersores e do sistema de armazenamento de energia na energia produzida pelo sistema e na uniformidade da dispersão da água, por meio do controle estatístico de qualidade. Pereira e Mendes (2019) analisaram o rendimento de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação de um viveiro de mudas tendo em vista a influência da irradiação solar, da vazão de água do sistema e da temperatura ambiente. Zhang *et al.* (2023) propuseram um sistema de irrigação por aspersão que utiliza energia solar fotovoltaica para bombeamento de água acoplado a um sistema de armazenamento de energia através de ar comprimido, e avaliam seus efeitos operacionais com intuito de obter uma pulverização estável e de alta qualidade sob alta pressão de trabalho, sem ser afetado pela flutuação da saída fotovoltaica.

Sanna *et al.* (2021) desenvolveram e analisaram o desempenho de um SFB para tratar água subterrânea salobra, que possa ser operada 24h, quando equipado com sistema de armazenamento de energia hidráulica, ou com sistemas de baterias, produzindo água potável. O estudo de Trommsdorff *et al.* (2021) avalia a viabilidade técnica de sistemas agrovoltaicos (que combinam sistemas fotovoltaicos com a agricultura), por meio da produtividade de determinados alimentos e do rendimento elétrico do sistema. O trabalho também fornece informações sobre como projetar um sistema agrovoltaico tendo como base a distância da cultura e orientação da instalação e seus efeitos sobre a disponibilidade de luz. O trabalho de Avelar *et al.* (2021) visa avaliar o desempenho de duas motobombas fotovoltaicas, uma submersa e outra de superfície, para o bombeamento de água para uso rural. Carozzi, Maia e Nogueira (2014) analisam a eficiência da utilização de motores elétricos de tecnologia Keppe-Motor (que funciona tanto como motor, quanto como gerador de eletricidade, em um ponto de

ressonância) em sistemas de captação e bombeamento de água, utilizando como fonte primária de energia, módulos fotovoltaicos de baixa potência, que quando comparado com outros sistemas com motores elétricos convencionais, demandariam uma maior quantidade de módulos, ou módulos mais potentes.

### *3.3.3. Dimensionamento eficiente de sistemas*

Os sistemas de bombeamento fotovoltaico têm se tornado uma opção cada vez mais competitiva para as populações localizadas em áreas remotas, sobretudo para os pequenos produtores rurais. Dimensionar adequadamente um sistema de acordo com as necessidades de uma determinada atividade é imprescindível para se aumentara a eficiência do uso da água e da energia (Alvarenga; Ferreira; Fortes, 2014). Logo, Segundo Carvalho *et al.* (2018), a otimização do uso de recursos naturais e o aprimoramento no dimensionamento de sistemas de bombeamento fotovoltaico representam focos significativos de estudo na área.

Boutelhig, Arab e Hanini (2016) analisaram a eficácia de um SFB diretamente acoplado. O sistema foi dimensionado tendo como base o volume mensal de água e a irradiação solar mensal de modo a aproximar ao máximo a energia demandada da energia fornecida. Dessa forma, o volume de água bombeada pode ser maximizado por meio de um dimensionamento adequado, especialmente na ausência do sistema de armazenamento hidráulico. O estudo de Guzmán *et al.* (2018) apresenta uma metodologia para o dimensionamento econômico de SFB para instalações de irrigação nas regiões do Atacama e Maule, no Chile. A demanda de eletricidade do sistema foi calculada, e o sistema fotovoltaico de referência foi projetado para um sistema de irrigação ideal para culturas de morango, considerando as modalidades *on-grid* e *off-grid* para cada uma das localidades. Os sistemas *off-grid* apresentaram maior custo e maior tempo de retorno do investimento a ser feito. Apesar dos altos curtos, os sistemas são viáveis tendo em vista os altos custos de eletricidade do país. Os autores ressaltam a anecessidade de programas governamentais para auxiliar os produtores por meio de treinamentos e tansferência de conhecimento.

Shao *et al.* (2018) propuseram um esquema de abastecimento de água urbana que utiliza água recuperada de uma estação de esgoto próxima, bombeada e elevada por meio de um sistema fotovoltaico de 133 kW. Foi descrita no trabalho a estrutura compatível para servir como fonte de água durante a estação seca, para complementar um sistema de água urbana em Xiamen, China. Já os autores Galdino *et al.* (2020) apresentam propostas de arranjos para a produção de energia elétrica por meio de sistemas de bombeamento fotovoltaico como

alternativa de suprimento para o projeto de transposição do rio São Francisco, na região Nordeste do Brasil.

No trabalho de Oliveira *et al.* (2018) foi realizado um cálculo teórico da potência de um SFB de 173 W necessário para elevar 3.500 L de água a uma altura manométrica total de 22 m, no município de Sobral no estado do Ceará. Com esses dados foi simulado aplicação do mesmo para a produção de coentro, escolhida por ser bem adaptada a climas de temperaturas quentes, dando a possibilidade de retorno financeiro e produção o ano todo por meio da agricultura familiar. Os autores Melo *et al.* (2021) analisaram a implantação de uma cooperativa agrícola com diversas opções de investimento para ter acesso à energia elétrica, e assim, bombear água salobra do subsolo possibilitando aos agricultores da região trabalharem a princípio com a agricultura familiar, irrigando árvores frutíferas, leguminosas e hortaliças, e em outras atividades afins, como, por exemplo, a criação peixes em cativeiro. A cooperativa se localiza no município de Sanharó, distante 190 km do município de Recife, estado de Pernambuco. Um SFB capaz de atender a uma demanda de 24 kW foi dimensionado de modo a beneficiar até 100 agricultores na cooperativa com a água salobra bombeada do solo, a ser dessalinizada por osmose reversa para uso na irrigação agrícola com uma áea total de 10 hectares.

Boitrago *et al.* (2016) dimensionam um sistema de bombeamento fotovoltaico bombeamento para ser instalado em pequenas comunidades rurais da localidade Ilha Caiapós, em Minas Gerais. No artigo de Alvarenga, Ferreira e Fortes (2014) é feito o dimensionamento de um SFB a ser instalado em projetos de irrigação para cultivo de alface.

### *3.3.4. Levantamento e análise dos recursos hídricos e solares*

Os trabalhos que versam a respeito da avaliação de recursos solares e hídricos objetivam fazer o levantamento das características geoespaciais de determinadas regiões, buscando o dimensionamento racional e o desempenho ótimo dos SFB (Boutelhig; Hanini; Arab, 2018), com vistas para o uso doméstico, além de aplicações na pecuária e irrigação de culturas. Os trabalhos têm como motivações principais a escassez de recursos hídricos (tanto superficiais, às vezes inexistentes, quando subterrâneos, em sua maioria sobreexplorados) e o aumento da demanda por energia proveniente de combustíveis fósseis (Rubio-Aliaga *et al.*, 2016), bem como necessidades técnicas dos sistemas de captação e condução da água (Boutelhig; Melit; Hanini, 2017).

No trabalho de Boutelhig, Haninine Arab (2018) foi realizado um estudo de investigação sobre as características geoespaciais na região do deserto de Mansoura, na Argélia, destacando

diferentes locais adequados para a implementação do SFB. Os autores Boutelhig, Melit e Hanini (2017) avaliaram o comportamento da fonte de água subterrânea no no vale M'Zab, Arrgélia, selecionando os poços mais apropriados para a instalação de sistema de bombeamento fotovoltaico. Já Almeida e Almeida (2022) procuraram quantificar o potencial de energia solar fotovoltaica na região do Semiárido Brasileiro, com vistas a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água. Silva (2021) avalia o potencial de geração de energia fotovoltaica no semiárido pernambucano, bem como a capacidade de oferta e potência instalada no Sertão do Pajeú, por meio de dados da quantidade de energia solar em uso e em expansão no estado.

Zhang *et al.* (2014) analisaram a evapotranspiração e o nível da água subterrânea em poços na pastagem de Wulanchabu, na Mongólia Interior, China, com vistas a quantificar a demanda hídrica e entender como a instalação dos SFB poderá afetar a recarga do lençol freático. O estudo de Rubio-Aliaga *et al.* (2016) tinha como objetivo principal fazer o levantamento dos recursos hídricos e solares por meio de dados coletados de poços e estações meteorológicas, respectivamente, presentes nas zonas de dois aquíferos, sendo um na Espanha e outro no Marrocos. Os dados foram utilizados para dimensionar sistemas de bombeamento de água capazes de suprir atividades específicas nessas mesmas regiões, como a irrigação de plantios.

A principal técnica para a realização do levantamento dos recursos é o uso de sistemas de informação geográfica (SIG), onde os *softwares* irão mapear a irradiação solar e a temperatura da região, além da profundidade dos aquíferos subterrâneos. Também é utilizada a estatística descritiva para fazer o levantamento do potencial de determinada região para a instalação de SFB (Almeida; Almeida, 2022). Dessa forma, são destacadas as localidades mais propícias para a instalação dos SFB. Entretanto, segundo Zhang *et al.* (2014), é importante salientar que, para a otimização dos sistemas SFB, não somente os estudos relacionados à quantidade de água são importantes, mas também os estudos sobre o estado do solo e a taxa de recarga dos lençóis freáticos.

### *3.3.5. Modelagem computacional*

Trabalhos que visam a proposição e avaliação de modelos computacionais aplicados ao bombeamento fotovoltaico, em suas diversas nuances, estão abarcados nesta área temática. Segundo Haddad *et al.* (2015), a utilização de modelos matemáticos é de suma importância para verificar o desempenho dos sistemas, detectar falhas e, até mesmo, tomar decisões de cunho econômico. López-Luque, Reca e Martinez (2015) propõem um modelo para otimizar o

projeto dos sistemas e irrigação fotovoltaicos, maximizando a sua rentabilidade econômica. O modelo realiza a simulação de SFB em diferentes potencias de pico, de acordo com o balanço hídrico e energético do sistema de irrigação e o rendimento da cultura, permitindo a seleção do design ideal de acordo com a rentabilidade econômica. Os dados utilizados na simulação foram coletados de um pomar de oliveiras localizado no município de Tabernas, na Espanha. Essa região de clima semiárido é a mais seca da bacia do Mediterrâneo.

No trabalho de Haddad *et al.* (2015), são apresentados e comparados três modelos computacionais dinâmicos baseados em Redes Neurais Artificiais para estimar a vazão horária de água, usando a temperatura do ar e a irradiação solar. Os dados necessários para a simulação foram coletados de um SFB instalado na cidade de Madinah, na Arábia Saudita. Já Yahyaoui, Tadeo e Segatto (2017) apresentam um algoritmo baseado em logica Fuzzy que realiza o gerenciamento de água e energia em um SFB de modo a garantir o volume necessário para a irrigação de uma cultura de tomates em Medjez El Beb, norte da Tunísia. O modelo usa como parâmetros para controlar relés de interconexão dos componentes do sistema (módulos, baterias e bombas), a energia gerada, a profundidade de descarga da bateria, o mês de operação e a quantidade de água armazenada.

Benghanem, Daffallah e Almohammedi (2018) desenvolveram um modelo que permite calcular o volume de água usando dados de radiação solar para diferentes alturas manométricas e para diferentes configurações de matriz fotovoltaica. Utilizando dados de irradiação solar de diferentes localidades da Arábia Saudita, demonstrou-se a eficiência do modelo e a precisão para calcular o volume de água bombeado a uma determinada potência elétrica, para diferentes alturas totais.

García-Cascales *et al.* (2021) avaliam e comparam diferentes modelos de tomada de decisão multicritério para gerenciamento da água bombeada por meio de sistemas fotovoltaicos, considerando diferentes faixas de profundidade do aquífero, necessidades de culturas de irrigação e possíveis áreas agrícolas agregadas, e opções de armazenamento de água. Os dados reais foram coletados na região de um aquífero espanhol é incluído como estudo de caso. Segundo os autores, a metodologia proposta pode ser replicada para diferentes fontes renováveis para bombeamento de água, como, por exemplo, a eólica. Já Rubio-Aliaga *et al.* (2021) apresentaram a proposta de tomada de decisão para selecionar a solução de bombeamento de águas subterrâneas mais adequada com base em recursos energéticos e opções de armazenamento de água.

No trabalho dos autores Chabour, Pardo e Riquelme (2022) é apresentado um *software* criado para realizar o projeto de SFB, urbanos ou agrícolas. O programa desenvolvido também

inclui a análise de viabilidade econômica do sistema projetado, por meio da quantificação de possíveis investimentos econômicos, das receitas futuras que podem ser obtidas, bem como do período de retorno do investimento. Por sua vez, Tambo, Thebaldi e Lima (2020) desenvolveram um *software* para dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejamento bombeado com o uso de energia solar fotovoltaica.

### *3.3.6. Pesquisa social aplicada*

Dentro desta área temática estão presentes as publicações que analisam os impactos sociais da instalação de um sistema fotovoltaico de bombeamento. De acordo com Cruz *et al.* (2020, p. 63508), "a utilização da energia solar possui influência em diversos âmbitos, dos quais, um desses é o meio social", principalmente para as pessoas que não têm condição de implementá-la. Para Barros *et al.* (2023), seu uso traz vários benefícios, como a criação de oportunidades de emprego e de investimentos privados, em especial para as populações que vivem em zonas remotas e sem eletricidade. No caso dos SFB, segundo Bursztyn (2020) existe a necessidade de políticas públicas integradas que beneficiem a produção energética descentralizada em pequenas unidades familiares.

Moraes *et al.* (2017) apresentam os principais resultados da implantação de um SFB para irrigação de uso familiar em uma comunidade rural do Semiárido piauiense. O sistema foi instalado por meio de um projeto de extensão universitária em caráter experimental, considerando aspectos técnicos e de gestão do sistema, destacando os pontos positivos e negativos dos diversos aspectos a serem considerados ao se conceber, implantar e manter sistemas dessa natureza. Como pontos positivos, podem ser citados o apoio de instituições locais na concepção e implantação do projeto, o uso do sistema para fins produtivos trazendo melhoria na renda dos envolvidos, e a existência de técnicos locais capacitados, em especial para situações de manutenção do sistema. Como pontos negativos tem-se a forte dependência da comunidade envolvida com o poder público, ausência de peças para reposição no mercado local, e a dificuldade de desenvolver ações coletivas com o uso do sistema dentro da comunidade.

Na pesquisa desenvolvida por Mwanza *et al.* (2017), pretendia-se avaliar o potencial da energia solar para evitar a carga de doenças transmitidas pela água nas áreas rurais da Zâmbia, por meio de melhor acesso a fontes de abastecimento de água limpa e segura, usando-se energia solar em sistemas de bombeamento de água. Foi constatado que o uso da tecnologia pelo governo possibilitaria a criação de emprego para muitas pessoas, além de reduzir o ônus social

relacionado a doenças transmitidas pela água. O valor economizado anualmente poderia ser utilizado em outras atividades, como a eletrificação rural, trazendo maior desenvolvimento para o país. Moraes *et al.* (2020) analisaram diversas experiências de instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento no semiárido brasileiro, por meio de políticas públicas e iniciativas de instituições não-governamentais, mostrando os principais entraves ao sucesso e a continuidade desse tipo de projeto. Os autores também discutiram possíveis formas de superar essas dificuldades aplicando boas práticas para a implantação e gestão dos sistemas.

### *3.3.7. Rastreamento solar e MPPT*

Uma das desvantagens mais significativas da energia solar é que a energia que a terra recebe não é constante devido aos movimentos de rotação e translação (Fernandez-Ahumada *et al.*, 2020). Atualmente já existem técnicas para se extrair a máxima energia prroveniente do sol, seguindo a sua direção a partir da terra, conhecidos como rastreamento solar. Por meio desta técnica, os sistemas são orientados de modo que os raios solares sejam recebidos perpendicularmente pelos módulos fotovoltaicos aumentando, assim, a produção de energia (Kumar *et al.*, 2020). Com o avanço da tecnologia, a eficiência dos sistemas solares está sendo aumentada com o uso de sistemas de rastreamento solar de eixo único e duplo, que podem rastrear a posição do sol de acordo com a estação e a hora do dia (Awasthi *et al.*, 2020). Nesta área de estudo encontram-se os trabalhos recuperados que visam desenvolver e avaliar sistemas de rastreamento solar em diferentes eixos, otimizando o aproveitamento da radiação solar pelos módulos.

Em alguns casos, os trabalhos recuperados visam alcançar o melhor desempenho do sistema independente da condição de operação, melhorando o seu aproveitamento energético, por meio de algoritmos de controle. No estudo de Hang *et al.* (2022) foi proposta uma estratégia de rastreamento solar que ajusta o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos de acordo com a mudança do nível da água e desenvolve um dispositivo de rastreamento solar com suporte de três pontos adequado para sistemas de bombeamento fotovoltaico. Neste estudo foi realizada a combinação da extração de água e do rastreamento solar pelo módulo fotovoltaico, o que fornece uma nova ideia para melhorar a eficiência da geração de energia dos módulos fotovoltaicos. Yaichi *et al.* (2022) analisaram o movimento rotatório de um sistema de rastreamento descontínuo em duas posições em torno de um eixo vertical, em que o ângulo de azimute do módulo varia de acordo com o mês. Além do rastreamento solar, a produção máxima de energia elétrica de um sistema fotovoltaico pode ser alcançada usando algoritmos para o

rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT, do inglês *maximum power point tracking*) (Seme *et al.*, 2020).

Na pesquisa de Yahyaoui, Chaabene, Tadeo (2016) foi analisado o desempenho de algoritmos rastreadores do ponto de máxima potência, usando diferentes dados climáticos de uma instalação autônoma de bombeamento de água fotovoltaica de 10 kW em uma área rural no Mediterrâneo. Os algoritmos foram aplicados em situações específicas comuns em áreas rurais. Os algoritmos testatos foram o Perturba e Observa, Condutância Incremental, Neuro-fuzzy, e Tabela de Consulta, sendo o primeiro o mais eficiente e adequado para esta situação específica. O objetivo do trabalho de Ksentini e Azzag (2019) foi garantir a operação com potência máxima do sistema em condições precárias por meio do controle lógico fuzzy. A modelagem e a simulação desse sistema foram realizadas utilizando dados meteorológicos da cidade de Adrar, na Argélia. O sistema consiste em um gerador fotovoltaico de 450 W, um conversor de corrente contínua CC/CC, um inversor multinível com cinco níveis e um motor assíncrono acoplado a uma bomba centrífuga com vazão e 40L/min e altura manométrica máxima de 33m.

Na pesquisa de Ksentini, Azzag e Bensalem (2019) foi proposto o mesmo estudo, porém o sistema estudado consiste em um gerador fotovoltaico autônomo, um conversor CC/CC operando em MPPT, um inversor trifásico com controle PWM de três níveis e um motor assíncrono acoplado a uma bomba centrífuga.

### *3.3.8. Revisões sistemáticas da literatura*

De acordo com Page *et al.* (2021), as revisões sistemáticas são importantes para a ciência por gerarem diversos tipos de conhecimentos. Além de fornecer uma síntese do estágio atual de conhecimento sobre um determinado campo, novas áreas de pesquisa podem ser identificadas, podendo, assim, a geração de novas teorias ou a correção de estudos anteriores. Foram englobados dentro desta área, artigos que se propõem a fazer o levantamento de todos os trabalhos publicados que oferecem um exame da literatura abrangendo assuntos específicos relacionados aos sistemas fotovoltaicos de bombeamento.

No trabalho de Chandel, Naik e Chandel (2015) e Hadwan e Alkholidi (2018) e são identificados os principais fatores que afetam o desempenho do SFB. Já os autores Wazed *et al.* (2018) destacam em sua revisão diferentes metodologias usadas para investigar e otimizar o desempenho de sistemas movidos a energia solar para o bombeamento de água. Singh *et al.*

(2021) apresentam uma revisão dos sistemas de bombeamento baseados em energia solar incorporados a sistemas de irrigação

Em termos ambientais, Aliyu *et al.* (2018) discutem a contribuição do uso dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento na redução da emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Já Haupenthal *et al.* (2021) enfatizam a racionalização do consumo de água em SFB aplicados a sistemas de irrigação. Por outro lado, Pereira (2021) apresenta uma discussão teórica em que são apresentadas as vantagens e desvantagens do uso de diferentes tipos de sistemas de bombeamento de água a saber: manual, SFB, a diesel, eólico. O autor analisa como pontos principais de comparação, a manutenção, o custo a vida útil e a poluição causada pela fonte.

Wazed *et al.* (2017) investiga tecnologias de irrigação movidas a energia solar fotovoltaica e térmica, que podem ser utilizadas na agricultura em zonas rurais remotas da África Subsaariana. Calca *et al.* (2021) destacam os atuais avanços do aproveitamento térmico e fotovoltaico em zonas rurais do Brasil além das políticas públicas de incentivo a tecnologias descentralizadas de produção de eletricidade.

### *3.3.9. Sustentabilidade ambiental*

Nesta área temática os trabalhos visam analisar a utilização do sistema fotovoltaico tendo com finalidades à preservação e manutenção do meio ambiente. Nesse sentido, Olsson *et al.* (2015) apresentam um modelo para analisar sequestro de carbono e recuperação de pastagens, por meio da utilização de sistemas de bombeamento fotovoltaico, trazendo segurança energética e alimentar, buscando, também, o uso da água para outras finalidades.

O objetivo do estudo de Ghasemi-Mobtaker *et al.* (2020) é simular a aplicação do sistema fotovoltaico como um fornecedor alternativo de energia renovável para alcançar a sustentabilidade energético-ambiental sob dois métodos de irrigação, a saber, irrigação por superfície e irrigação por aspersão no cultivo de cevada. Por sua vez, Farrar *et al.* (2022) aborda o uso de um sistema de energia solar fotovoltaica flutuante de 300 kW instalado em um reservatório de água utilizado em sistemas de irrigação, na Jordânia, com o objetivo de conservar a água, reduzindo as perdas por evaporação e, ao mesmo tempo, fornecendo eletricidade de forma sustentável e com maior rendimento, tendo em vista o resfriamento dos módulos. Neste caso, o trabalho aborda duas questões importantes dentro dos elementos ODS da ONU: energia e água.

### *3.3.10. Técnicas de otimização*

Segundo Eisermann e Brito (2021) o campo da otimização envolve estudos em que há o interesse em procurar a melhor solução para determinado problema. Geralmente a implementação computacional é a ferramenta utilizada para resolver uma classe de problemas que atendem determinadas especificidades. Neste sentido, a pesquisa de Kusakana (2018) propõe um modelo de minimização do custo da eletricidade, por meio da utilização de uma microrrede e um sistema híbrido, composto um SFB e uma central hidrelétrica, que pode ser implementado em atividades agrícolas de pequeno porte em que há dificuldades com o abastecimento de água na região da África do Sul. O problema de otimização é ser resolvido usando programação linear.

Já o trabalho de Picazo, Juárez e García-Marquez (2018) traz como proposta uma nova metodologia que calcula a combinação mais eficiente de hidrantes e subunidades a serem abertos simultaneamente em uma rede de irrigação, minimizando o número de módulos solares fotovoltaicos e o consumo de energia necessário para acionar dispositivos de bombeamento diretamente conectados aos módulos fotovoltaicos. Carvalho *et al.* (2018) apresentam um modelo de para simulação do desempenho, com vitas à otimização técnico-econômica de SFB utilizando de dados de radiação solar, de consumo de água, de produtividade de poços e de capacidade do sistema de bombeamento. Li *et al.* (2020) propõe um modelo para otimizar a configuração de um sistema de geração híbrido (fotovoltaico-eólico) com sistema de armazenamento por baterias. Zavala *et al.* (2020) apresentam uma nova abordagem baseada na operação simultânea de vários setores de irrigação de acordo com a energia recebida. Um modelo analítico inovador foi implementado para otimizar a operação de um sistema de irrigação fotovoltaica. Carricondo-Antón *et al.* (2023) estudam o efeito do aumento do número de bombas em paralelo, mantendo a potência total, bem como a relação entre a capacidade fotovoltaica instalada e a potência do sistema de bombeamento, para atender aos requisitos de bombeamento durante todo o ano.

Percebe-se, portanto, que os estudos sobre SFB em áreas rurais semiáridas, em sua maioria, possuem objetivos puramente técnicos, ao envolver em seu escopo resultados provenientes de análises de avaliações de desempenho operacional, dimensionamento, modelagem e otimização de sistemas. Muitos dos trabalhos são multidisciplinares, em especial, os que envolvem a viabilidade econômica. Porém, poucos são os trabalhos que visam analisar os impactos sociais da instalação dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento em comunidades rurais isoladas, ou que tratem de políticas públicas para a instalação desse tipo de sistema em locais que realmente necessitam dos benefícios dessa tecnologia. Também são poucos os

trabalhos de cunho ambiental, em especial que tratem do cumprimento das ODS da Agenda 2030.

# 4 LEVANTAMENTO DOS RECURSOS SOLARES E HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS PARA A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO NO ESTADO DO PIAUÍ, BRASIL

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é fazer o levantamento dos recursos solares e hídricos subterrâneos para o uso de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento no estado do Piauí, localizado no Nordeste do Brasil, utilizando Sistemas de Informação Geográficas. Foram elaborados mapas temáticos no software QGIS, utilizando a técnica da interpolação IDW, que mostram as áreas mais propicias para o bombeamento com energia solar fotovoltaica. Para isso, foram utilizados dados de irradiação solar e nível da água dos aquíferos subterrâneos, coletados nas plataformas de dados online do INMET e do CPRM, respectivamente. Em termos de irradiação solar, o estado tem uma média anual de 5,541 kWh/m²/dia, com médias mais elevadas durante os meses de agosto a novembro. O estado do Piauí tem um grande número de poços, o que demostra a alta dependência dos recursos hídricos subterrâneos, embora grande parte da população ainda seja afetada pela escassez hídrica. Os resultados encontrados neste estudo indicam que os aquíferos do estado do Piauí têm um nível de água médio de aproximadamente 19,31 m. A profundidade média é de 116,5 m. A vazão média encontrada foi de aproximadamente 5,3 m³/h, e a vazão específica média do estado foi de 0,87 m³/h/m, sendo ambas constantes em torno da média para praticamente todo o estado. Esses valores resultam em um Índice de Bombeamento médio de 287 Wh/m³. Isso mostra que o estado apresenta grande potencial para a utilização da energia solar fotovoltaica para bombeamento de água de forma sustentável. É importante enfatizar a necessidade de políticas públicas que possam ajudar a promover a segurança energética, hídrica e alimentar da população vulnerável das regiões semiáridas.

**Palavras-Chave:** Semiárido; Recursos Hídricos Subterrâneos; Recurso Solar, Bombeamento; Sustentabilidade.

*ASSESSING THE POTENTIAL FOR THE USE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY FOR WATER PUMPING IN THE STATE OF PIAUÍ, BRAZIL*

***Abstract:*** *The aim of this work is to map solar and groundwater resources, with a view to using photovoltaic pumping systems in the state of Piauí, using Geographic Information Systems. Thematic maps were drawn up in the QGIS software, using the IDW interpolation technique, which show the most promising areas for pumping using photovoltaic solar energy. To do this, we used data on solar irradiation and the water level of underground aquifers, collected from the INMET and CPRM online data platforms, respectively. In terms of solar radiation, the state of Piaui has an annual average of 5.541 kWh/m²/day with maximum averages radiation during the months between August to November The state has a large number of wells, which demonstrates the high dependence on groundwater resources, although a large part of the population is still affected by water scarcity. The results found in this study indicate that the aquifers in the state of Piauí have an average water level of approximately 19.31 m.. The average depth is 116.5 m and the average depth is 116.5 m. The average flow rate found was approximately 5.3 m³/h, and the average specific flow rate for the state was 0.87 m³/h/m, both of which are constant around the average for practically the entire state. These values result in an average Pumping Index of 287 Wh/m³. This shows that the state has great potential for using photovoltaic solar energy to pump water sustainably. It is important to emphasize the need for*

*public policies that can help promote energy, water and food security for the vulnerable population of semi-arid regions.*

***Keywords**: Semi-arid; Groundwater Resources; Solar Resource, Pumping; Sustainability.*

*ESTUDIO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SOLARES Y SUBTERRÁNEOS PARA EL USO DE SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO EN EL ESTADO DE PIAUÍ, BRASIL*

***Resumen:** El objetivo de este trabajo es relevar los recursos hídricos solares y subterráneos para el uso de sistemas de bombeo fotovoltaico en el estado de Piauí, ubicado en el nordeste de Brasil, utilizando Sistemas de Información Geográfica. Se elaboraron mapas temáticos en el software QGIS, utilizando la técnica de interpolación IDW, mostrando las áreas más favorables para el bombeo con energía solar fotovoltaica. Para ello, se utilizaron datos de irradiación solar y de nivel de agua de acuíferos subterráneos, recogidos de las plataformas de datos online INMET y CPRM, respectivamente. En términos de irradiación solar, el estado tiene una media anual de 5,541 kWh/m²/día, con medias más elevadas durante los meses de agosto a noviembre. El estado de Piauí tiene un gran número de pozos, lo que demuestra la alta dependencia de los recursos hídricos subterráneos, aunque una gran parte de la población todavía se ve afectada por la escasez de agua. Los resultados encontrados en este estudio indican que los acuíferos del estado de Piauí tienen un nivel medio de agua de aproximadamente 19,31 metros. La profundidad media es de 116,5 metros. El caudal medio encontrado fue de aproximadamente 5,3 m³/h, y el caudal específico medio para el estado fue de 0,87 m³/h/m, siendo ambos constantes en torno a la media para prácticamente todo el estado. Estos valores dan como resultado un Índice de Bombeo medio de 287 Wh/m³. Esto demuestra que el estado tiene un gran potencial para utilizar la energía solar fotovoltaica para bombear agua de forma sostenible. Es importante destacar la necesidad de políticas públicas que puedan ayudar a promover la seguridad energética, hídrica y alimentaria de la población vulnerable de las regiones semiáridas.*

***Palabras clave**: Semiárido; Recursos hídricos subterráneos; Recurso solar; Bombeo; Sostenibilidad.*

## 4.1 Introdução

A energia solar fotovoltaica está experimentando um crescimento significativo em escala internacional, impulsionada pelo incremento nos custos da eletricidade e pelo comprometimento de muitos países em atingir metas de redução de emissão de gases de efeito estufa (Nieto-Morone et al., 2023). Além disso, essa tecnologia se configura como uma opção eficiente para gerar eletricidade a partir da energia do Sol, ajudando a mitigar os efeitos das mudanças climáticas. (Rathore; Panwar, 2022). Atualmente é utilizada em diversas aplicações tais como: fonte de energia para bombeamento de água, alimentação de instalações remotas, sistemas domésticos solares, telecomunicações, satélites e veículos espaciais, em residências urbanas, grandes usinas, entre outras (Morais et al., 2021).

Em escala internacional, há progresso na redução da pobreza e na promoção do desenvolvimento sustentável. Como exemplo, cita-se o projeto SoLAR (do inglês, *Solar Irrigation for Agricultural Resilience*), que promove a instalação sistemas de bombeamento fotovoltaico para a irrigação de subsistência em países como Bangladesh, Índia, Nepal e Paquistão. O projeto atende aos compromissos de transição energética na agricultura desses países, buscando reduzir a emissão de gases de efeito estufa através do uso de energia solar (Mitra *et al.*, 2021). Estudos recentes já demonstram que os sistemas de irrigação movidos a energia solar estão ajudando pequenos agricultores a produzir por meio da exploração sustentável de águas subterrâneas em países como Nepal (Kafle et al., 2022) e Bangladesh (Shamsudduha et al., 2022), localizados no sul da Ásia.

A população que reside na região do semiárido brasileiro, por sua vez, sofre com as condições climáticas adversas, sendo as mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas (Marengo et al., 2020). A seca constitui um dos principais fenômenos históricos enfrentados, acarretando problemas de ordem social, econômica e ambiental (Corrêa et al., 2019). Para Marengo et al. (2020) essa região necessita de propostas que aumentem a resiliência da população ao contexto das mudanças climáticas, em especial através de vias inovadoras e inclusivas de desenvolvimento sustentável, que explorem o vasto potencial das energias renováveis. No caso específico do estado do Piauí, que se localiza dentro da região do semiárido brasileiro, na visão de Alencar (2010), graves problemas sociais atingiam o meio rural piauiense, em sua maioria, ligados à infraestrutura básica para atender as condições mínimas de sobrevivência da população. Segundo Marques et al. (2023), boa parte desses problemas persistem até hoje e decorrem, em sua maioria, da escassez hídrica da região, e do uso não sustentável da água.

Nas últimas décadas, diversos sistemas fotovoltaicos de bombeamento vêm sendo instalados para o fornecimento de água em comunidades rurais do semiárido brasileiro sem acesso à energia elétrica. Algumas iniciativas realizadas com o apoio de entidades de colaboração internacional, instituições de pesquisa, governos e organizações não governamentais possibilitaram a instalação desses sistemas pelo país (Moraes et al., 2017).

Pesquisas recentes procuraram demonstrar o potencial para a utilização de energia solar no semiárido brasileiro. O estudo de Almeida e Almeida (2022) quantificou esse potencial com vistas à instalação de sistemas fotovoltaicos utilizando a estatística descritiva. Já Silva (2021) avaliou o potencial de geração de energia fotovoltaica no semiárido pernambucano, bem como a capacidade de oferta e potência instalada no Sertão do Pajeú, por meio de dados da quantidade de energia solar em uso e em expansão no estado.

Diversos estudos demonstram o potencial para a utilização de sistemas fotovoltaicos, por meio da avaliação do recurso solar, no estado do Piauí, como Lira (2015), Morais et al. (2019), Silva Júnior et al. (2020), Morais et al. (2021), Silva et al. (2021) e Sousa et al. (2023). Esses trabalhos visavam apenas a análise de viabilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos em diferentes municípios. Outros estudos analisaram o potencial hídrico do estado, como Vasconcelos et al. (2014), Lima et al. (2017), Lima (2017), Sousa et al. (2018) e Monteiro e Cabral (2023), porém com vistas na discussão da vulnerabilidade dos aquíferos em relação às mudanças climáticas, ao uso irracional e ao desperdício sem finalidades específicas.

Ressalta-se que nenhum desses estudos foi voltado especificamente para a utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, nem tampouco foi feito o levantamento conjunto dos recursos solares e hídricos do estado do Piauí, utilizando, por exemplo, Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para a determinação das melhores áreas para a instalação dos sistemas. De acordo com Memom et al. (2022), os SIG podem ser aplicados de forma eficiente em escalas regionais específicas para a determinação do potencial de utilização de águas subterrâneas.

No que tange aos trabalhos que versam a respeito da avaliação de recursos solares e hídricos em outras regiões semiáridas localizadas fora do Brasil, voltada para instalação de sistemas de bombeamento fotovoltaico, Zhang *et al.* (2014) quantificaram a demanda hídrica e analisaram o impacto na recarga do lençol freático da instalação em poços localizados na pastagem de Wulanchabu, China. No estudo de Rubio-Aliaga *et al.* (2016) foi feito o levantamento dos recursos hídricos e solares das zonas de dois aquíferos, sendo um localizado na Espanha e outro no Marrocos, utilizando SIG. Ao final do estudo, os autores realizaram um comparativo entre sistemas de bombeamento fotovoltaico e sistemas que utilizavam outras tecnologias, dimensionadas para fornecer água em quantidade suficiente para atividades específicas que eram praticadas nessas mesmas regiões. Já os autores Boutelhig, Melit e Hanini (2017) realizaram a seleção dos poços mais apropriados para se instalar sistemas fotovoltaicos de bombeamento, tendo em vista o comportamento da fonte de água subterrânea do vale M'Zab, Agélia. No estudo de Boutelhig, Haninine Arab (2018) investigou-se as características geoespaciais na região do deserto de Mansoura, na Argélia, destacando os locais mais adequados para a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento.

Dessa forma, tendo em vista a escassez hídrica presente no meio rural piauiense, e a necessidade de soluções inovadoras que possam aumentar a resiliência da população às adversidades naturas das regiões semiáridas, este trabalho visa realizar um estudo de viabilidade para a instalação de sistemas de bombeamento fotovoltaico no estado do Piauí, através do

levantamento dos recursos solares e hídricos subterrâneos utilizando Sistemas de Informação Geográficas.

## 4.2 Recursos hídricos subterrâneos do estado do Piauí

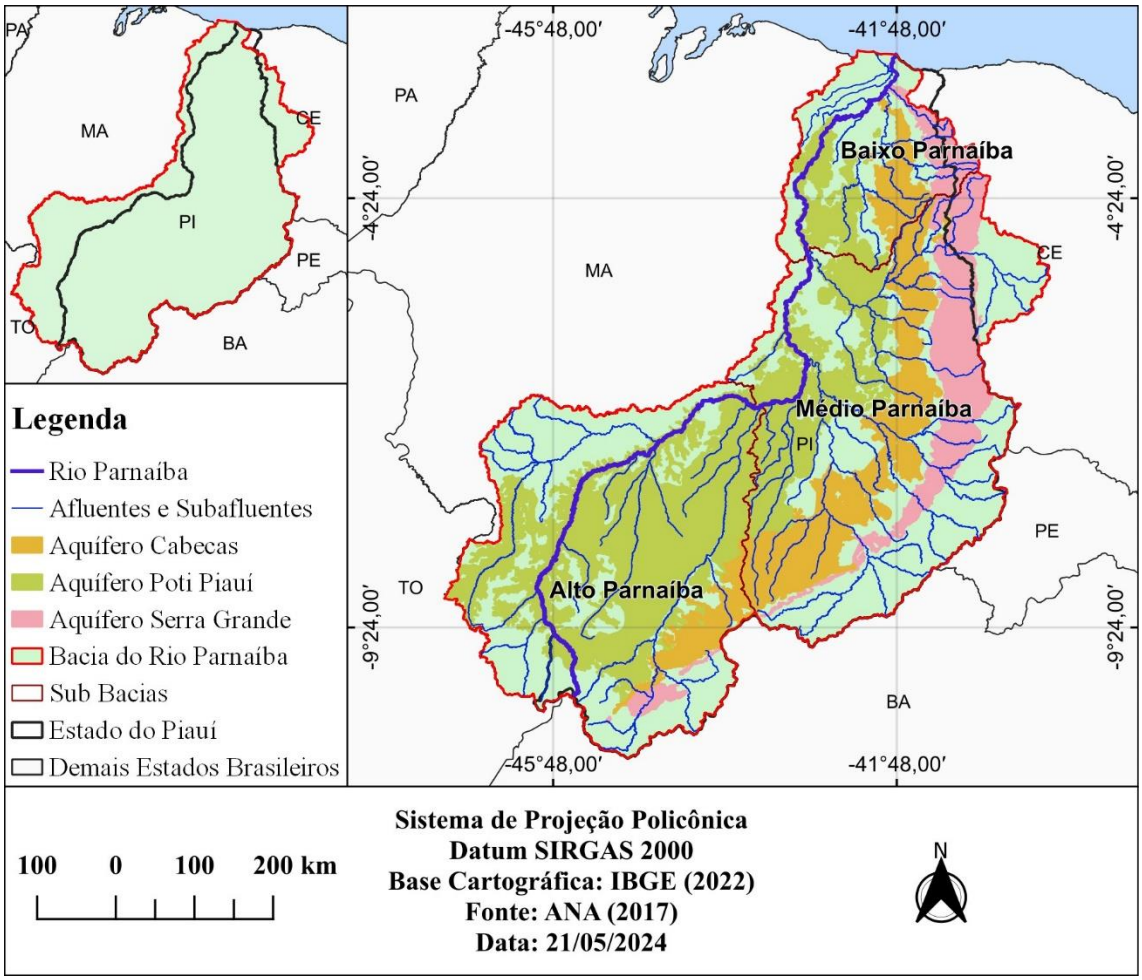
No Piauí, boa parte da ocorrência de água doce se deve ao grande volume de águas subterrâneas, lagoas naturais, açudes e barragens. O estado possui 2.650 km de rios perenes, 68 lagoas perenes, 50 açudes pequenos e 54 açudes de médio e grande porte, além da barragem de Boa Esperança, localizada na cidade de Guadalupe, utilizada para a geração de energia elétrica (Medeiros et al., 2020).

O estado do Piauí (PI) conta com uma vasta disponibilidade de águas subterrâneas (Figura 4.1), por estar localizado sobre a bacia Sedimentar do Rio Parnaíba (Lima *et al.* ,2017). É uma bacia intracratônica composta por rochas sedimentares e magmáticas formadas durante as eras Paleozoica e Mesozoica (Souza *et al.*, 2022). A bacia é composta pelos aquíferos Cabeças, Serra Grande e Potí-Piauí (Motta e Gonçalves, 2016), que apresentam boa porosidade e permeabilidade (Gomes *et al.*, 2022).

Seus aquíferos se constituem como importantes reservatórios naturais com volumes capazes de satisfazer muitas demandas locais, que juntos totalizam, aproximadamente 17 milhões de m³ de água. Por meio da exploração de forma sustentável, será possível promover desenvolvimento econômico e social, sendo um diferencial em relação às demais áreas da região nordeste Lima (2017). Além disso, vale a pena destacar que a água armazenada nos aquíferos piauienses, em sua maioria, possuem qualidade propicias para o consumo humano e outras finalidades, tendo em vista a filtragem natural do solo (Santiago *et al.*, 2013).

O principal rio da bacia é o rio Parnaíba, que está inteiramente localizado no nordeste do Brasil, desde sua nascente até seu delta. Ocupando uma área de aproximadamente 331.441 km², sendo 249.497 km² no Piauí (99% da área do estado), 65.492 km² no Maranhão (19%), 13,690 km² no Ceará e 2.762 km² (10%) (Pessôa; Façanha, 2016) é a maior bacia genuinamente nordestina do país. O Rio Parnaíba possui como principais afluentes os rios Longá, Poti, Canindé, Piauí, Uruçuí-Preto e Gurguéia, pela margem direita, enquanto tem o rio das Balsas, pela margem esquerda, sendo este o único grande afluente da porção maranhense da bacia (CPRM, 2017). A sua nascente está localizada na Chapada das Mangabeiras, entre o sul do Piauí e o sudeste do Maranhão, a 800 m de altitude, desemboca no Oceano Atlântico, após percorrer cerca de 1400 km, estando dividido em Alto, Médio e Baixo Parnaíba (Motta; Gonçalves, 2016).

**Figura 4.1.** Bacia do Rio Parnaíba.




Fonte: Elaborado pelo autor.

As reservas naturais subterrâneas estão em terceira posição em relação às reservas dos demais aquíferos das bacias sedimentares brasileiras, sendo o volume de água doce superado, em nível nacional, apenas palas bacias Sedimentar do Paraná e Sedimentar do Amazonas (Lima, 2017). O Rio Parnaíba é o segundo maior rio da região Nordeste, ficando apenas atrás do Rio São Francisco. Tendo em vista o baixo nível de poluição e o reduzido desenvolvimento agrícola o estado, as águas subterrâneas dos aquíferos do Piauí não estão em situações preocupantes, apresentando o maior potencial hídrico do Nordeste (Lima *et al.*, 2017).

## 4.3 Metodologia

### *4.3.1 Coleta, tratamento e análise dos dados*

Com o intuito de se conhecer e caracterizar a demanda pelos recursos hídricos subterrâneos do estado do Piauí, foi feito um levantamento inicial do total de poços existentes em cada um dos estados brasileiros, até o mês de junho de 2023. Na sequência, foi levantada a quantidade de poços dos municípios piauienses. A coleta foi realizada no site oficial do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), por meio da plataforma do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), conhecida como *siagasweb*, uma base de dados permanentemente atualizada, composta de módulos capazes de realizar consultas, pesquisas e extração e geração de relatórios contendo dados de poços de locais diferentes do Brasil (CPRM, 2022). Para isso, nos campos de busca da plataforma, foram selecionados: como Região, "Nordeste"| e como Estado, "Piauí". Em seguida foi feito o *download* dos dados referentes aos poços de cada um dos municípios piauienses.

O quantitativo de poços de cada um dos municípios piauienses foi relacionado com a quantidade de habitantes e área total de cada um, e gerado um mapa temático contendo a quantidade média de habitantes atendidos pelos poços (hab/poço), e a área média atendida por cada poço (km²/poço). As informações geográficas e populacionais utilizadas foram coletadas no site do Censo Demográfico 2022, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio dos primeiros resultados divulgados pelo órgão, coletados até o dia 25 de dezembro de 2022 (IBGE, 2022).

O levantamento dos recursos hídrico e solar para fins de bombeamento de água no Piauí utilizando energia solar fotovoltaica, foi feito através da caracterização espacial da irradiação solar, bem como da profundidade dos aquíferos subterrâneos e do nível da água dos poços no estado, tendo como base a metodologia desenvolvida por Rubio-Aliaga *et al.* (2016).

Os dados de irradiação solar foram coletados no site oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio da plataforma do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), que reúne dados históricos anuais de todas as estações meteorológicas do Brasil e os disponibiliza para *download* (INMET, 2023). As estações coletam os dados meteorológicos com intervalo de 1 hora entre cada medição, durante as 24 horas do dia, e estes dados são agrupados e disponibilizados em arquivos separados por ano, e contendo os dados de todas as estações do território brasileiro. Para o desenvolvimento da pesquisa foram selecionados os dados relativos aos anos de 2013 a 2022, ou seja, 10 anos completos de medição.

Por sua vez, os dados relativos aos aquíferos subterrâneos foram coletados no sistema de monitoramento de águas subterrâneas, também disponível no site oficial do CPRM, denominado Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS). A sua

plataforma, conhecida como *rimasweb*, tem como função fazer o acompanhamento sistemático dos níveis d'água dos aquíferos, em poços específicos espalhados pelo país, e também a identificação de alterações qualitativas periódicas nos mesmos pontos de monitoramento (CPRM, 2023). Foi feito o *download* dos seguintes dados dos poços RIMAS do estado do Piauí: município, latitude, longitude, profundidade final e nível da água.

Para a realização da coleta dos dados, foi realizada uma triagem na plataforma, considerando duas condições de busca separadas pelo operador booleano "OU" e critério de busca "igual a": 1) nas opções para a guia "Campos", foi escolhido "Gerais", selecionada a sub opção "natureza do ponto" e considerado o valor "poço de monitoramento"; 2) dentre as opções para a guia "Campos", foi escolhido "Situacao ponto", selecionada a sub opção "situação do poco", e, por fim, usado o valor "POÇO RIMAS EQUIPADO C MEDIDOR AUTOMATICO DE NÍVEL".

Após o *donwload*, os dados foram tabulados em uma planilha eletrônica, para assim se proceder com o seu tratamento e análise posterior. No caso dos dados de irradiação solar, foi feita uma triagem inicial para que fossem localizadas apena as estações meteorológicas localizadas dentro do território piauiense. Dessa amostra, foram analisadas apenas as medições realizadas dentro do período das 6:00 a.m. às 6:00 p.m., tendo em vista que as estações coletam dados com o intervalo de uma hora entre as medições, e no período entre 7:00 p.m. e 5:00 a.m. não há irradiação solar, por ser noite. Na sequência, foi feita a conversão das unidades de medida dos dados, de kJ/m² (unidade de medida dos sensores das estações meteorológicas do INMET) para kWh/m² (unidade comumente apresentadas nos mapas de irradiação solar). Em seguida, para cada dia, foram somados os incrementos horários medidos para se obter o total diário. Assim, para cada mês, foi possível calcular a média da irradiação solar diária, bem como a média anual, em kWh/m²/dia.

Esse processo se repetiu para cada ano do período analisado, e para cada uma das estações meteorológicas do estudo, para que ao final, fosse possível calcular os valores máximos, mínimos e as médias mensais e anuais para cada estação meteorológica, e se elaborarem os mapas da irradiação solar para o estado do Piauí, com as médias mensais e anuais.

Vale a pena ressaltar que todas as estações meteorológicas apresentavam períodos com dados ausentes. Também foi comum a presença de dados inconsistentes, como medições apresentadas no horário da noite, ou mesmo na madrugada. Dessa forma, as medições ausentes ou inconsistentes foram excluídas. Foi feita uma consulta ao órgão responsável pelas estações meteorológicas, a respeito dos dados faltantes e inconsistentes, e foi informado que estes fatos geralmente aconteciam devido a problemas técnicos nos sensores das estações. Ademais, tendo

em vista que, nas demais estações meteorológicas o volume de dados ausentes era pequeno, nenhuma técnica de preenchimento de dados faltantes foi aplicada. Assim, os dados se mantiveram preservados, sem nenhuma interferência ou inserção de dados externos.

### *4.3.2 Critérios para dimensionamento de SFB*

A utilização de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água baseia-se em alguns parâmetros, entre eles a irradiação solar, a vazão de água e altura manométrica (Singh et al., 2021). Estes dois últimos parâmetros irão determinar a potência hidráulica capaz de retirar de um poço o volume de água necessário para determinada atividade por meio de uma bomba, e a irradiação solar, por sua vez, será necessária para determinar a potência do sistema fotovoltaico que irá ser capaz de alimentar eletricamente esta bomba. Segundo Villalva (2015) em sistemas fotovoltaicos de bombeamento ideais, toda a eletricidade produzida pelo sistema fotovoltaico é diretamente entregue à bomba.

A potência hidráulica da bomba P_H, dada em W, pode ser calculada por meio da Equação. 1, em que η_P é o rendimento do sistema motor-bomba (%), ρ é a densidade da água, cujo valor é de aproximadamente 1000 kg/m³, g é a aceleração da gravidade (9,81 m/s²), H_T é a altura manométrica total, em m, e Q é a vazão da água bombeada, em m³/h (Li et al., 2020). A altura manométrica é composta pela distância do nível da água do poço até o topo do tanque onde a água ficará armazenada, além das perdas por atrito e rebaixamento do poço (Hilarydoss, 2023).

$$P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot H_T \cdot Q}{3.600 \cdot \eta_P} \quad (1)$$

Já a potência elétrica do sistema fotovoltaico $P_{PV}$, também dada em W, pode ser calculada por meio da Equação 2, em que $\eta_{PV}$ é a eficiência do módulo utilizado (%), $A_{PV}$ é a área do módulo, em m², e $H_G$ é a radiação solar, em W/m² (Benghanem *et al.*, 2018).

$$P_{PV} = \eta_{PV} \cdot A_{PV} \cdot H_G \quad (2)$$

A Equações 1 e 2 podem ser analisadas, também, em termos de energia hidráulica e energia elétrica, ao considerar o volume diário de água bombeada, e a Irradiação Solar diária, respectivamente. Dessa forma, para Muralidhar e Rajasekar (2021), o volume diário de água

bombeada, $V$, em m³,se relaciona diretamente com a Irradiação Solar $I_d$, dada em W/m², e a altura manométrica, como pode ser visto na Equação 3, na qual considera-se ainda as perdas de geração no sistema fotovoltaico F (%).

$$V = \frac{P_{PV} \cdot I_d \cdot \eta_P \cdot F}{\rho \cdot g \cdot H_T} \quad (3)$$

Assim, esses dois parâmetros foram relacionados por meio de um índice, denominado de Índice de Bombeamento ($P_I$), dado em Wh/m³, como pode ser visto na Equação 4.

$$P_I = \frac{I_d}{H_T} \quad (4)$$

Quando espacializado em um mapa, esse índice indicará as melhores localidades para se instalar um sistema fotovoltaico para bombeamento de água. Ou seja, são locais onde se tem os maiores índices de irradiação solar e baixos níveis de água (Rubio-Aliaga *et al.*, 2016).

### *4.3.3 Apresentação dos dados coletados através de mapas temáticos*

Com auxílio do *software* QGIS Firenze, versão 3.28.5 (*free*), foram elaborados mapas temáticos, utilizando as informações coletadas na pesquisa. Os mapas utilizados para caracterização da demanda hídrica do estado foram elaborados através da categorização individual dos municípios utilizando a relação entre os dados demográficos (quantidade de habitantes e área total) e a quantidade de poços. Para a geração dos mapas com as médias mensais da irradiação solar e um mapa com a média anual, foi utilizada a técnica de interpolação IDW, do inglês *Inverse Distance Weighted*. Também foi elaborado um mapa temático contendo a profundidade das águas subterrâneas ao longo do estado do Piauí, bem como do nível da água, nos poços de monitoramento, utilizando esta técnica.

Por fim, para a geração do mapa com a espacialização do Índice de Bombeamento, foi utilizada a calculadora *raster* do *software* QGIS. Nesse caso, cada ponto interpolado para a irradiação solar anual, em sua localização espacial específica, foi relacionado com o respectivo ponto interpolado para o nível da água. Assim, foi encontrado, em cada ponto, o valor para o Índice de Bombeamento Fotovoltaico.

### *4.3.4 Interpolação IDW (Inverse Distance Weighted)*

De acordo com Aparecido *et al.* (2021), esta técnica de interpolação tem como objetivo em estimar uma variável numérica a partir de valores existentes, tendo como base critérios geométricos ou de localização geográfica. Para Oliveira *et al.* (2024), a utilização desta técnica em estudos ambientais envolvendo variáveis hidro-meteorológicas se torna útil por se tratar de um contexto em que há escassez de tecnologias para realizar mapeamentos, quando os dados georreferenciados são ausentes, e por proporcionar uma análise mais precisa e detalhada.

Na literatura científica podem ser encontrados diversos trabalhos que fazem o uso desta técnica para estimar valores de elementos meteorológicos, como, por exemplo, precipitação (Aparecido *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2023; Florentim *et.al.*, 2021), Temperatura (Rodrigues *et al.*, 2024), além de dados espaciais de superfície, como a erosão do solo (Batista *et al.*, 2020), dados hidrogeológicos de aquíferos subterrâneos (Hernandez *et al.*, 2020), e dados de Irradiação Solar (Rubio-Aliarga *et al.*, 2016).

A Interpolação IDW espacializa e calcula valores para dados em locais não medidos, utilizando um conjunto de dados existentes, por meio de um coeficiente de ponderação. Os novos dados criados sofrerão a influência dos dados amostrais em seu entorno, em função do inverso da distância, ou seja, quanto mais distante o ponto, menor o coeficiente de ponderação (Murara, 2019). Segundo Oliveira *et al.* (2023), o valor da variável a ser interpolada, $Z_x$, de valor desconhecido, em um determinado pixel de localização $x$, pode ser calculada por meio da Equação 5, em que $Z_i$ é o valor da variável existente em uma dada localização $i$, $w_i$ é o peso de ponderação, e $n$ é a quantidade de pontos amostrais conhecidos.

$$Z_x = \frac{\sum_i^n w_i Z_i}{\sum_i^n w_i} \tag{5}$$

Já o peso de ponderação $w_i$ pode ser calculado por meio da Equação 6, em que $d_i$ é a distância euclidiana entre o ponto de valor desconhecido $x$ e o ponto de valor conhecido $i$ (Batista *et al.* 2020).

$$w_i = \frac{1}{{d_i}^2} \tag{6}$$

Neste caso, os dados existentes são os dados coletados, tanto nas estações meteorológicas, quando nos poços de monitoramento. Para isso, é utilizada a localização geográfica (latitude e longitude) de todos os pontos de coleta de dados. Em cada mapa interpolado, considerou-se como extensão, os limites geográficos do estado do Piauí, resultando em mapas com pixels de tamanho 200x200 metros organizados em uma matriz de 4519 linhas por 3124 colunas.

## 4.4 Resultados e discussão

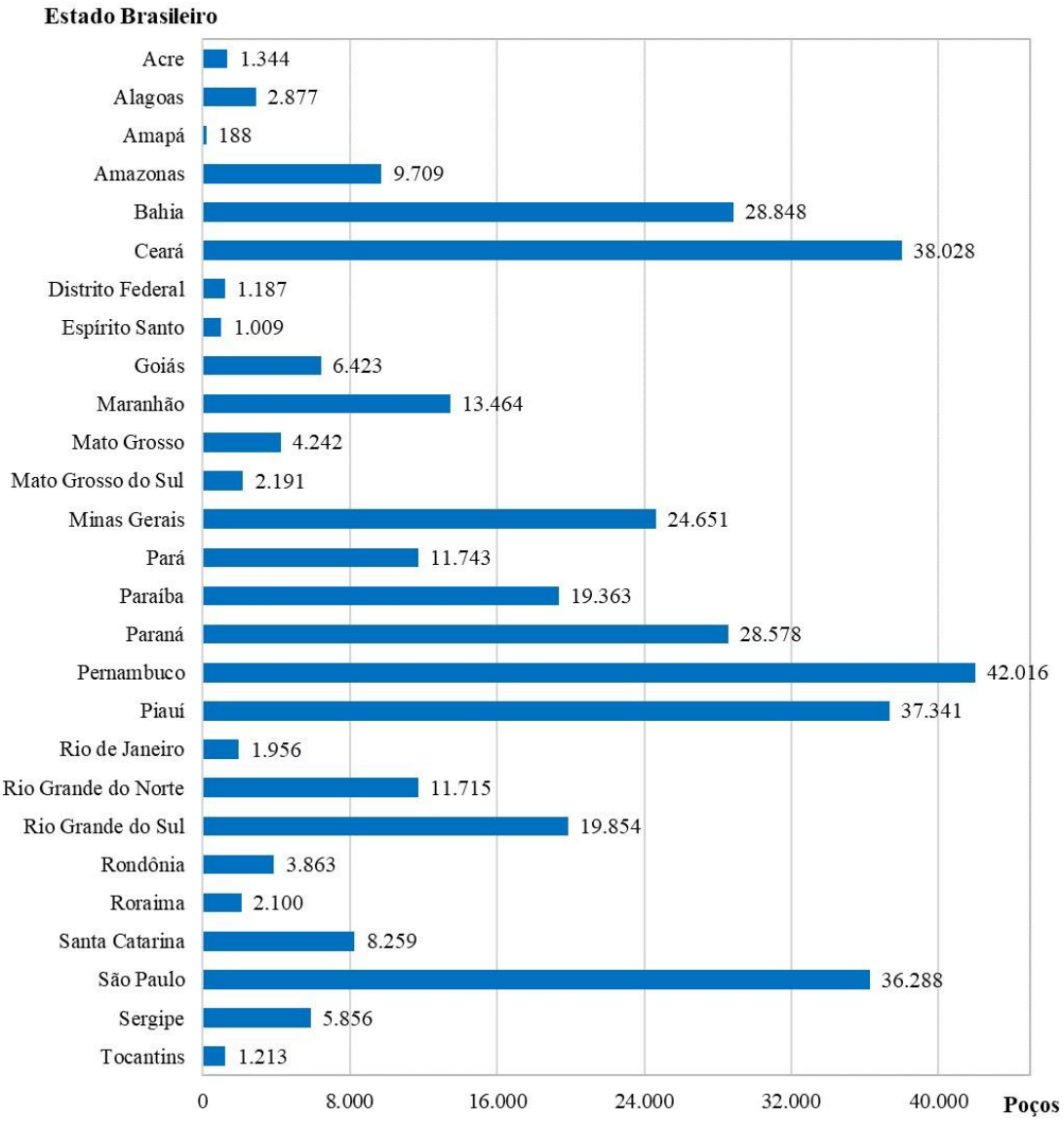
### *4.4.1 Caracterização da demanda hídrica subterrânea do Piauí*

Em dados de junho de 2023, o Brasil contava com 364.303 poços cadastrados, sendo o estado do Piauí o terceiro estado em quantidade, com 37.341 poços, ficando atrás, apenas, do estado de Pernambuco, com 42.016 poços, e do estado do Ceará, com 38.028, como pode ser visto na Figura 4.2. Dessa forma, o estado do Piauí configura os 10,25% do total de poços do Brasil. Ressalta-se que a Região Nordeste abriga mais da metade dos poços brasileiros cadastrados no SIAGAS, com 199.508 poços, o que corresponde a 54,76% do total. A região Sudeste responde por 17,54% (63.904 poços), a Região Sul perfaz 15,56 %, com 56.691 poços, e, por fim, a região Norte, com 30.160 poços, o que corresponde a 8,28% dos poços brasileiros.

No estudo realizado por Vasconcelos *et al*. (2014), até o mês de junho de 2011, haviam sido perfurados cerca de 25.345 poços, no estado do Piauí, que o destacava como o estado brasileiro com maior quantitativo de poços cadastrados no SIAGAS, respondendo por aproximadamente 11,5% do total de poços do Brasil, que na época, era de 240 mil. Fazendo uma relação da quantidade de habitantes do estado pela quantidade de poços, totalizou-se uma densidade de 123 habitantes/poço. O estudo considerou a população informada no censo realizado pelo IBGE em 2010, num total de 3.118.360 habitantes no estado.

De acordo com os primeiros resultados do IBGE relativos ao Censo 2022 (IBGE, 2022), até 25 de dezembro de 2022, o estado do Piauí contava com a população de 3.270.174 habitantes, que corresponde à densidade de, aproximadamente, 87,6 habitantes/poço. Dessa forma, apesar da diminuição da densidade de habitantes atendidos por cada poço, percebe-se que o aumento na quantidade de perfurações de poços (47,33%) foi cerca de 10 vezes maior em relação ao crescimento da população entre 2010 e 2022 (4,87%).

**Figura 4.2.** Quantidade de poços cadastrados no SIAGAS nos estados brasileiros até junho de 2023.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa relação entre a quantidade de poços e a quantidade de habitantes, demonstra a alta dependência da população do estado das águas subterrâneas, em especial da região semiárida. “Embora uma grande quantidade de água de alta qualidade esteja presente no mundo, muitas vezes ela não está disponível em locais onde possa ser facilmente utilizada. Isto levanta a necessidade de bombear água de alta qualidade desde a sua fonte até aos locais onde há procura (Aliyu et al., 2018, p. 61). Como forma de aumentar a resiliência da população aos refeitos as mudanças climáticas, as fontes renováveis de energia, e especial, a solar fotovoltaica para bombeamento de água, podem ser exploradas nas regiões semiáridas, de forma sustentável (Marengo et al., 2020). De acordo com Lauthartte et al. (2016), o aumento do número de

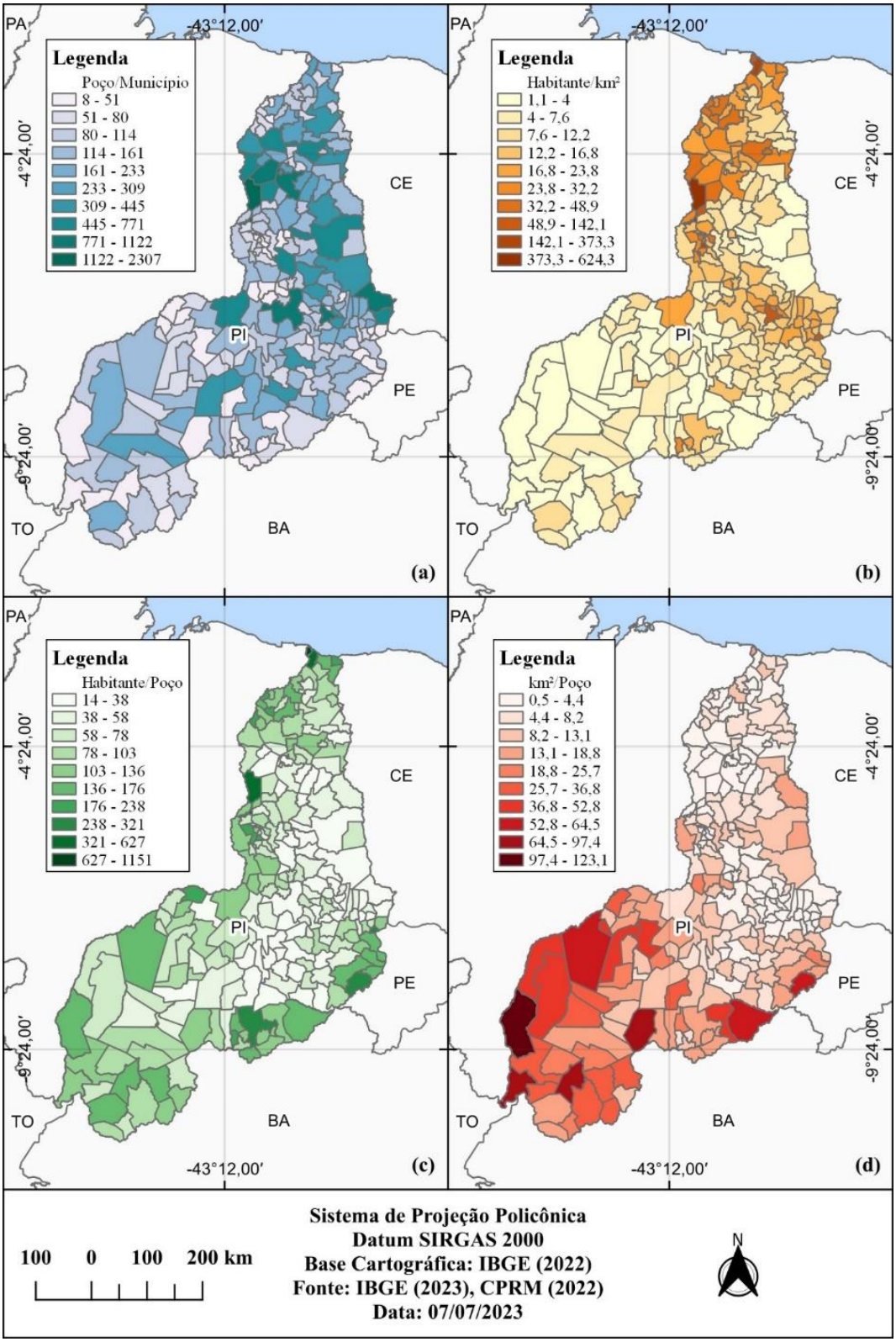
empresas especializadas, a evolução tecnológica das técnicas de perfurações e a diminuição dos custos para tratamento dessa água para abastecimento, também foram determinantes para aumento dos sistemas de captação de água subterrânea nos últimos anos. Assim, para Fagundes e Andrade (2015), quando comparadas, por exemplo, com as águas de rios, as águas subterrâneas têm um custo menor para captação, adução e tratamento, o que explica o crescente uso de poços artesianos, além da garantia de água e períodos de estiagem.

Para Vasconcelos et al. (2014), as perfurações de poços vinham sendo ampliadas à medida que o déficit hídrico aumentava em diversas comunidades do semiárido. Nos períodos de estiagem o poder púbico e instituições não governamentais iniciam a execução de obras para mitigar problemas de insuficiência hídrica. Porém, segundo Marques et al. (2023), a maioria dessas medidas são ineficazes, com grande recorrência de opções efêmeras para tratar problemas seculares de convivência do sertanejo com os efeitos da seca, que em grande parte se configuram como problemas sociais permanentes. Os gestores públicos precisam trabalhar na adoção de medidas eficazes de gestão de águas subterrâneas, principalmente, no que tange à falta de abastecimento público de água e ao mau uso e desperdício de recursos hídricos no Piauí.

Na Figura 4.3, apresenta-se a classificação dos municípios do estado do Piauí, tendo como base os valores de quantitativo de poços cadastrados no SIAGAS até o mês de junho de 2023, bem como a densidade demográfica (hab/km²), a quantidade média de habitantes atendidos pelos poços (hab/poço), e a área média atendida por cada poço (km²/poço), calculadas com base nos resultados preliminares do Censo Demográfico 2022.

Percebe-se que os poços estão concentrados, em sua maioria, na porção Centro-Norte do estado do Piauí, que coincide com as regiões do Baixo e Médio Parnaíba. As regiões limítrofes do estado apresentam as maiores quantidades de habitantes atendidos pelos poços, com grande concentração na região norte do estado, onde se percebe a maior densidade populacional do estado. Porém a região sul, que coincide com a região do Alto Parnaíba, também é privilegiada, com municípios abrigando mais de 200 poços tubulares perfurados.

**Figura 4.3.** Classificação dos municípios piauienses: (a) Poços por Município; (b) Densidade Demográfica; (c) Habitantes por Poço; (d) Área em km² por Poço.




Fonte Elaborado pelo autor.

Os resultados encontrados na pesquisa de Vasconcelos et al. (2014), demonstravam que, o estado do Piauí perfazia uma área média de aproximadamente 10 km²/poço, e os municípios

com maiores densidades de poços por área eram: Sussuapara (1,3 km²/poço), Picos (1,4 km²/poço), Teresina (1,5 km²/poço) e Campo Maior (1,6 km²/poço). Destaca-se que, na época do estudo, o estado contava com uma área de, aproximadamente, 251.576,644 km². Atualmente, a média do estado está em torno de 6,75 km²/poço, haja vista que a área do estado, de acordo com o IBGE agora é de 251.755,484 km². O município de Picos apresenta a maior densidade (0,52 km²/poço), sucedido pelos municípios de Teresina (0,6 km²/poço), Sussuapara (0,62 km²/poço) e Água Branca (1,11 km²/poço). Percebe-se, portanto, que o aumento na quantidade de habitantes de uma determinada área, trouxe a necessidade de mais poços para atende-la, haja vista que um mesmo poço estava atendendo a necessidade de uma área territorial maior. Agora, este mesmo poço atende uma área territorial menor.

As regiões semiáridas se encontram em expansão, tanto em tamanho, quando em quantidade, devido aos efeitos das mudanças climáticas (Yan *et al*., 2023). A população sofre com a escassez de águas superficiais, para consumo próprio, irrigação de culturas e criação de animais (Melo *et al*., 2021), e são fortemente dependentes de programas governamentais para sobreviver (Valer *et al.*, 2016). Segundo Mendes, Pereira e Melo (2023), uma das consequências da expansão demográfica, é a necessidade de uso das águas subterrâneas, justificada pela abundância deste recurso em alguns locais, ou pela escassez das águas superficiais em outros, pelos efeitos das mudanças climáticas. Além disso, o aumento na demanda de produção de alimentos e na geração de energia, faz com que as águas superficiais sofram ainda mais os efeitos negativos da ação antrópica, como o uso indiscriminado, indevido e irracional, além da poluição gerada pelo crescimento das cidades.

De acordo com Monteiro e Cabral (2023), a região do entorno da capital apresenta alta quantidade de poços, sendo que os maiores percentuais estão em municípios limítrofes com outros estados. Porém, na região sudoeste do estado, conhecida como Cerrados, é possível perceber uma presença considerável de poços, haja vista que os municípios são muito maiores o que faz com que essa densidade destoe da realidade. Ressalta-se que essa região possui o maior volume outorgado de água subterrânea concedido entre 2016 e 2017 e nessa região se situa uma das maiores zonas irrigadas do estado, considerada a última fronteira agrícola do Brasil, com grandes plantios de arroz, feijão e soja, sendo esta última a predominante.

Segundo Oliveira e Aquino (2020), além dessas atividades, também se encontram a extração mineral, a agricultura familiar de subsistência e a pecuária extensiva, principalmente na região da Bacia do Rio Gurguéia, porém este cenário vem passando por modificações ao longo dos anos, por conta da expansão da fronteira agrícola dos grãos, principalmente na região conhecida como Matopiba, necessitando cada vez mais de recursos hídricos para a irrigação.

De acordo com Lima e Andrade Júnior (2020, p.22), “o estado do Piauí é muito heterogêneo do ponto da pluviometria. [...] A Frequência de chuvas diminui à medida que se avança para o sudeste do estado, coincidindo com o semiárido brasileiro”. Segundo os autores, nessa região do estado em especial, as secas são mais severas, trazendo impactos negativos, afetando para a produção agrícola e o abastecimento de água da região.

Para Marques *et al.* (2023), no semiárido piauiense, existe um paradoxo entre a abundância de águas subterrâneas e o fato de a maior parte da população viver e situação de escassez de água. Para os autores, isso se deve, em grande parte, à omissão do poder público, vista pela ótica da má gestão dos recursos hídricos. Como consequência, tem-se o uso irracional e o desperdício, acarretados pela priorização da exploração econômica deste recurso, além da utilização de águas extraídas de poços artesianos sem nenhuma preocupação com sua finitude ou contraprestação financeira ou ambiental, inexistindo, assim, qualquer proveito social.

### *4.4.2 Análise dos recursos hídricos subterrâneos*

Após a consulta no sistema *rimasweb*, foram encontrados 20 poços de monitoramento das águas subterrâneas no estado do Piauí, conforme encontra-se descrito na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1**. Dados dos Poços RIMAS localizados no estado do Piauí.

| Item | Poço | Município | Aquífero | Latitude | Longitude |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2200017099 | Alvorada do Gurguéia | Cabeças | -8,476 | -43,897 |
| 2 | 2200046783 | Brasileira | Cabeças | -4,134 | -41,780 |
| 3 | 2200045224 | Buriti dos Lopes | Serra Grande | -3,172 | -41,863 |
| 4 | 2200046784 | Castelo do Piauí | Cabeças | -5,321 | -41,563 |
| 5 | 2200045223 | Cocal dos Alves | Serra Grande | -3,600 | -41,441 |
| 6 | 2200046859 | Conceição do Canindé | Cabeças | -7,876 | -41,597 |
| 7 | 2200017170 | Cristino Castro | Cabeças | -8,702 | -44,086 |
| 8 | 2200045220 | Domingos Mourão | Serra Grande | -4,253 | -41,274 |
| 9 | 2200045221 | Francisco Santos | Serra Grande | -6,996 | -41,134 |
| 10 | 2200046856 | Ipiranga do Piauí | Cabeças | -6,832 | -41,747 |
| 11 | 2200045222 | Itainópolis | Serra Grande | -7,446 | -41,479 |
| 12 | 2200000593 | Jaicós | Serra Grande | -7,356 | -41,139 |
| 13 | 2200046787 | Jatobá do Piauí | Cabeças | -4,771 | -41,817 |
| 14 | 2200046786 | Lagoa do Sítio | Cabeças | -6,555 | -41,571 |
| 15 | 2200046858 | Oeiras | Cabeças | -6,974 | -42,147 |
| 16 | 2200046857 | Pedro Laurentino | Cabeças | -8,066 | -42,288 |
| 17 | 2200051433 | Picos | Serra Grande | -7,073 | -41,409 |
| 1 | 2200045219 | São Miguel do Tapuio | Serra Grande | -5,512 | -41,311 |
| 19 | 2200034952 | Teresina | Poty-Piauí | -5,088 | -42,799 |
| 20 | 2200046785 | Wall Ferraz | Cabeças | -7,233 | -41,912 |

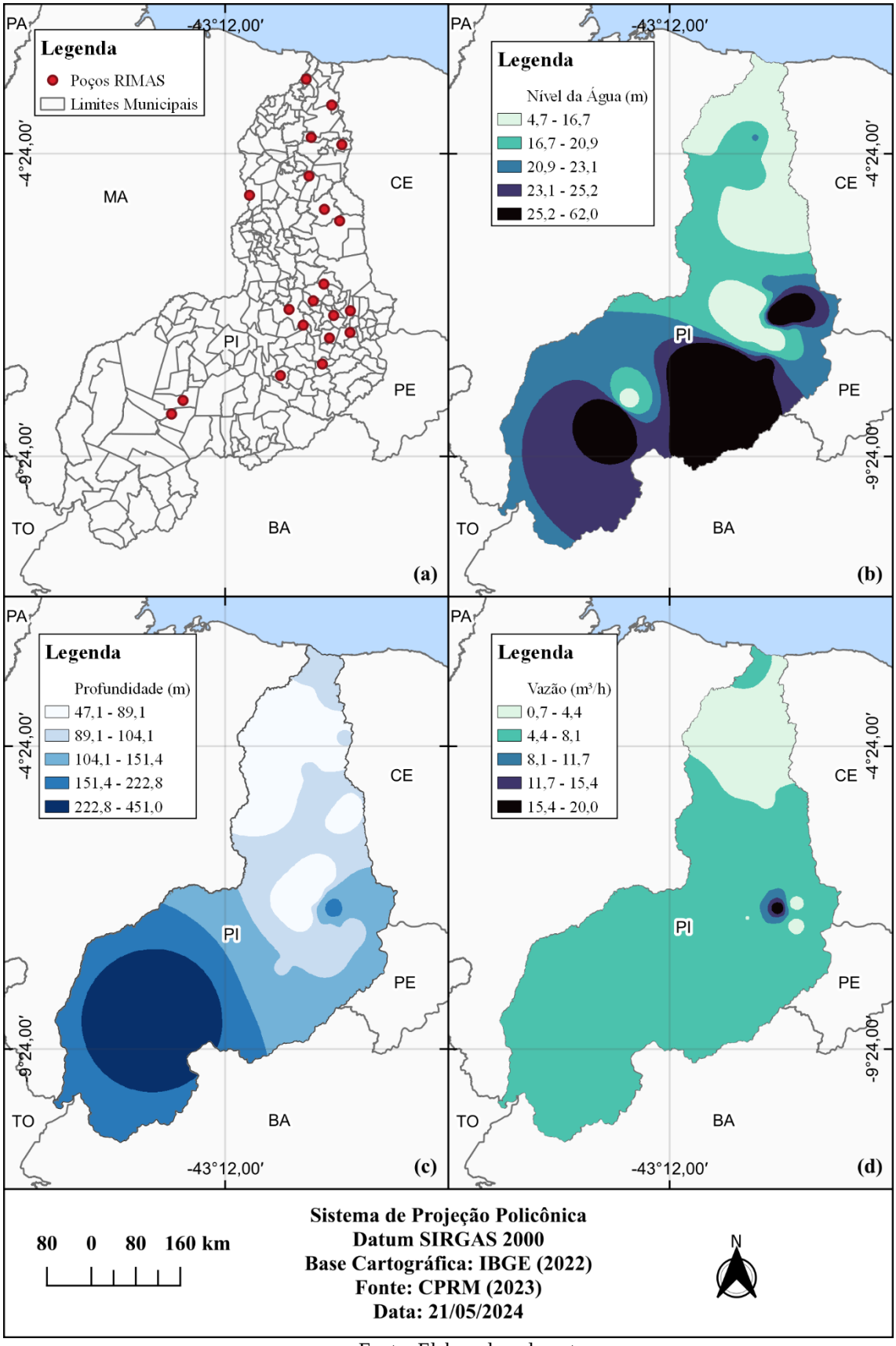
Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Genaro (2021), do total de poços do estado, 11 poços monitoram o aquífero Cabeças, apenas 1 poço monitora o Aquífero Poti-Piauí e 8 poços monitoram o aquífero Serra Grande. Esta quantidade é pequena, haja vista a extensão dos aquíferos do estado. Dessa forma, para Vasconcelos *et al.* (2014), a ampliação da rede de monitoramento dos aquíferos é uma forma de agregar dados quantitativos e qualitativos das águas subterrâneas, fornecendo informações sazonais dos aquíferos, por meio de séries históricas, possibilitando aos gestores públicos ampliar os subsídios para promover a gestão hídrica, direcionando recursos por áreas com deficiência hídrica e, ajudando no desenvolvimento sustentável do estado do Piauí.

Na Figura 4.4 pode ser visto o mapa contendo a espacialização da profundidade dos aquíferos do estado do Piauí, do nível da água e da vazão, calculada tendo como base os dados dos Poços RIMAS. O nível da água apresenta um valor médio de, aproximadamente, 19,31 m, mensurado a partir do topo do poço, com valores que podem variar entre 4,7 e 62 m (totalizando o desvio padrão de 14,0 m). Já a profundidade média é de 116,5 m, com uma variação entre 47,1 e 451 m (perfazendo o desvio padrão de 91,0m). A vazão média encontrada foi de aproximadamente 5,3 m³/h, variando entre 0,7 e 20,0 m³/h (com desvio padrão de 4,2 m³/h), sendo constante em torno da média em praticamente todo o estado.

Para Lima (2017), a porção centro-norte da bacia hidrográfica do Rio Parnaíba (região no entorno da capital do estado), possui as melhores condições para escavação de poços. A profundidade encontrada nessa região é de cerca de 60 m, com níveis de água a cerca de 12 m do topo do poço e vazão média mensal de 2,5 m³/h. Os dados encontrados pelos autores se aproximam dos valores apresentados nesta pesquisa, chegando a atingir 115 m de profundidade. A porção sul do estado, apesar de profundidades maiores, merece destaque pela existência de poços conhecidos como Poços Jorrantes.maiores, merece destaque pela existência de poços conhecidos como Poços Jorrantes.

**Figura 4.4.** Localização dos poços RIMAS (a) do estado do Piauí e espacialização da Profundidade (b), do Nível da Água (c) e da Vazão (d)




Fonte: Elaborado pelo autor.

A respeito dos Poços Jorrantes, de acordo com dados da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba, foram perfurados poços artesianos na década de 1970, de forma inadequada e sem finalidade aparente, que desperdiçam água subterrânea. Deste então, são cerca de 350 poços, jorrando 266 milhões de litros por dia, sem nenhum tipo de mecanismo de regulação de vazão (Motta; Gonçalves, 2016). Assim, para Oliveira e Aquino (2020), a região do Vale do Gurguéia apresenta grande potencial em águas subterrâneas, porém, os Poços Jorrantes drenam a água dos aquíferos Serra Grande e Cabeças de forma indefinida e sem nenhuma destinação econômica ou social de aproveitamento, trazendo reflexos negativos para o meio ambiente. Monteiro e Cabral (2018) afirmam que essa zona possui alta produção de água, com vazão suficiente para fornecer água necessária para uma boa porção do semiárido piauiense, por meio de adutoras, porém não existem projetos que tenham esta finalidade. Ressalta-se, novamente, a necessidade de melhorias na gestão dos recursos hídricos por parte do poder público, e o incentivo a políticas públicas para o uso sustentavel das águas subterrâneas.

Segundo dados da CODEVASF, relativos a 2010, o Aquífero Serra Grande possui espessura média de 500 m e reserva explotável de 12,7 m³/s. O Aquífero Poti-Piauí com maior abrangência da Bacia do Parnaíba, possui uma reserva explotável de 130 m³/s. Já o Aquífero Cabeças, com espessura média de 300 m, com reserva explotável de 7,2 m³/s, possui o melhor potencial hidrogeológico da bacia (MOTTA; GONÇALVES, 2016). Segundo a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Piauí (SEMAR-PI), a disponibilidade dos aquíferos Serra Grande, Cabeças e Poti/ Piauí é de 27,12, 31,24 e 31,13 hm³/ano, respectivamente (PIAUÍ, 2010). Para se ter noção desses valores, Feitosa, Feitosa e Demetrio (2012), que estudaram a área do vale do rio Gurguéia, projetaram a extração de água em bombeamento contínuo de forma sustentável, a uma vazão de 5,6 m³/s do Aquífero Cabeças por 300 anos sem comprometê-lo. Já para os aquíferos Cabeça e Serra Grande, a extração poderia ser feita a uma descarga da ordem de 13,6 m³/s.

Desta forma, percebe-se o potencial para o bombeamento de águas subterrâneas no estado do Piauí, para suprir a população rural do semiárido com vazões suficientes para auxiliar nas diversas práticas que se utilizam desse recurso, como, por exemplo, a pecuária extensiva e a agricultura de sequeiro (tradicionais no semiárido piauiense), as grandes culturas comerciais irrigadas de alta tecnologia (Corrêa *et al*., 2019), e a piscicultura, que segundo Cardoso, El-Deir e Cunha (2015, p. 646) vem "destacando-se como uma atividade com potencial de minimizar a insegurança nutricional e alimentar" nas diversas porções do semiárido.

Segundo Vidal (2016), a piscicultura familiar extensiva é uma atividade comum no semiárido, sendo desenvolvida para o autoconsumo, enquanto o excedente de energia é comercializado, contribuindo para a complementação de renda. Por sua vez, Ribeiro Neto *et al.* (2016) afirmam que essa atividade também utiliza subprodutos agrícolas para alimentar os peixes obtidos da piscicultura familiar por meio de um manejo simplificado.

Neste contexto, uma perspectiva regional mostra que no estado do Piauí, a piscicultura familiar extensiva está presente na região norte do estado, próximo ao litoral, nos municípios de Buriti dos Lopes, Parnaíba, Ilha Grande do Piauí, Luís Correia (Santos Filho; Aguiar, 2016) e em Piracuruca (Sousa *et al.*, 2018) no sul do estado, no município de São João do Piauí (Jerônimo *et al*., 2016), e nos municípios de Campo Maior, Valença do Piauí, São Francisco do Piauí, São Raimundo Nonato, Bocaina, e São Miguel do Fidalgo, na região sudeste do Piauí, nos municípios de Bocaina e Sussuapara, e também em Dom Inocêncio, dentro Semiárido Piauiense (Scorvo Filho *et al.*, 2019).

### *4.4.3 Análise do recurso solar*

A consulta no banco de dados meteorológicos do INMET, apresentou um total de 23 estações meteorológicas automáticas dentro do estado do Piauí, descritas na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2.** Estações Meteorológicas Automáticas localizadas dentro do Estado do Piauí.

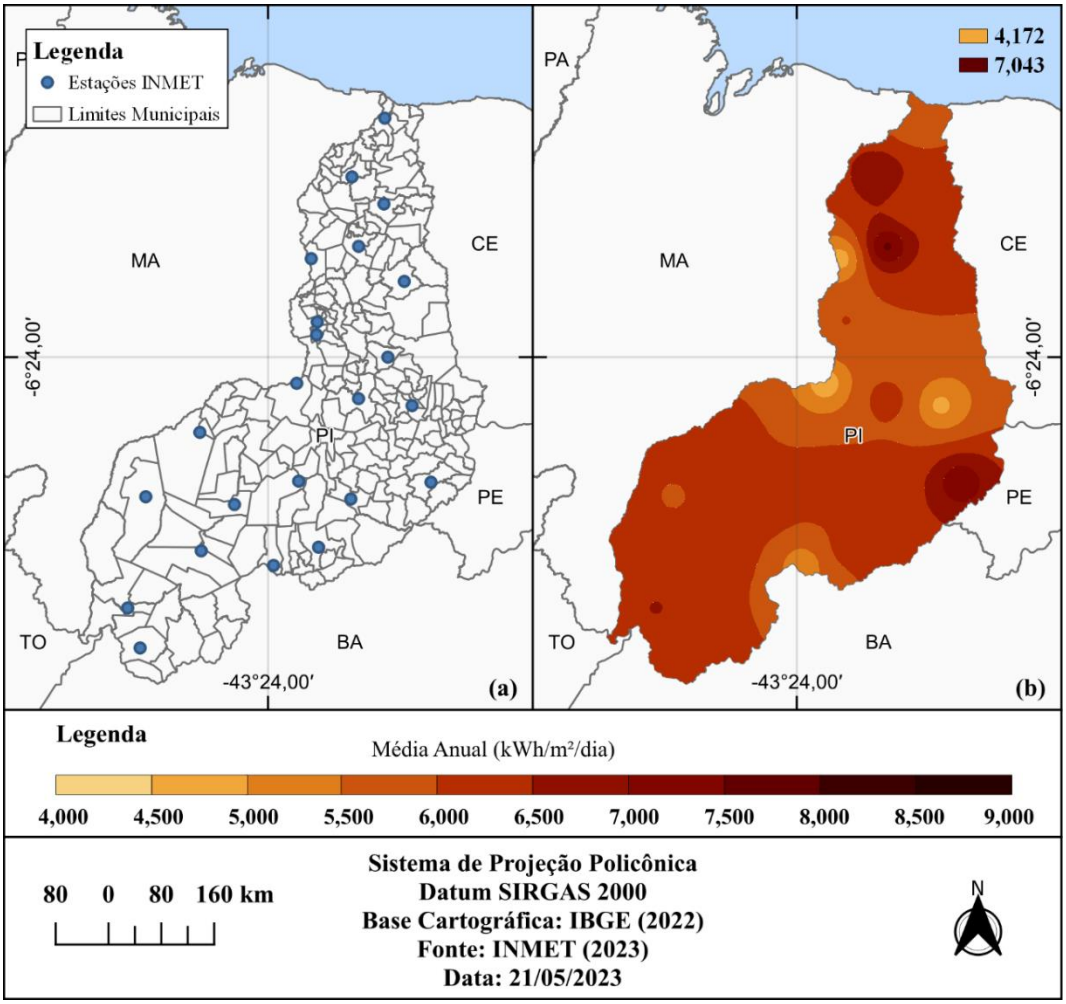
| Item | Estação | Município | Instalação | Altitude | Latitude | Longitude |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A308 | Parnaíba | 06/02/2003 | 79,50 | -3,087 | -41,783 |
| 2 | A311 | Floriano | 18/11/2004 | 123,27 | -6,761 | -43,003 |
| 3 | A312 | Teresina | 24/11/2004 | 74,36 | -5,035 | -42,801 |
| 4 | A326 | Bom Jesus | 17/07/2007 | 415,00 | -9,083 | -44,326 |
| 5 | A330 | Paulistana | 31/08/2007 | 374,22 | -8,132 | -41,143 |
| 6 | A331 | São João do Piauí | 26/08/2007 | 235,00 | -8,364 | -42,253 |
| 7 | A335 | Piripiri | 31/08/2007 | 161,20 | -4,276 | -41,795 |
| 8 | A336 | Alvorada do Gurguéia | 17/11/2007 | 270,00 | -8,442 | -43,866 |
| 9 | A337 | Caracol | 10/11/2007 | 523,00 | -9,286 | -43,324 |
| 10 | A338 | Esperantina | 03/12/2007 | 65,00 | -3,901 | -42,237 |
| 11 | A343 | Picos | 12/12/2008 | 233,00 | -7,071 | -41,404 |
| 12 | A345 | São Raimundo Nonato | 27/02/2008 | 402,00 | -9,033 | -42,701 |
| 13 | A346 | Uruçuí | 06/03/2008 | 393,00 | -7,441 | -44,345 |
| 14 | A354 | Oeiras | 22/07/2008 | 156,00 | -6,974 | -42,147 |
| 15 | A361 | Castelo do Piauí | 22/04/2009 | 286,00 | -5,349 | -41,512 |
| 16 | A362 | São Pedro do Piauí | 20/05/2009 | 287,00 | -5,911 | -42,719 |
| 17 | A363 | Valença do Piauí | 18/04/2009 | 301,00 | -6,399 | -41,740 |
| 1 | A364 | Gilbués | 16/05/2009 | 425,00 | -9,875 | -45,346 |
| 19 | A365 | Canto do Buriti | 12/06/2010 | 308,00 | -8,118 | -42,976 |
| 20 | A374 | Corrente | 28/03/2018 | 452,00 | -10,429 | -45,173 |
| 21 | A375 | Baixa Grande do Ribeiro | 23/03/2018 | 519,00 | -8,334 | -45,095 |
| 22 | A376 | Campo Maior | 23/11/2018 | 125,00 | -4,864 | -42,146 |
| 23 | A377 | Angical do Piauí | 14/11/2019 | 183,00 | -6,089 | -42,727 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se que a quantidade de estações é bem distribuída ao longo do estado. Segundo Medeiros *et al.* (2018), é reconhecida a importância da regionalização da insolação solar para fins agrícolas, de geração não convencional de energia e de estudos climatológicos. Lira *et al.* (2017) afirmam que embora em muitas estações meteorológicas do INMET localizadas no Estado do Piauí sejam comuns a presença de dados inconsistentes e grandes sequencias de dados ausentes, esta base de dados atende aos objetivos a que se propõe.

Na Figura 4.5 pode ser visto o mapa contendo a espacialização da irradiação solar para o estado do Piauí, elaborados utilizando a média anual, do período de 2013 a 2022. Adicionalmente são apresentadas as localizações das estações meteorológicas do INMET que foram consultadas nesta pesquisa. Semelhante aos resultados apresentados nas figuras anteriores, tendo em vista a grande extensão do estado, em termos de latitude, percebe-se uma grande variação desde o valor mínimo ao valor máximo.

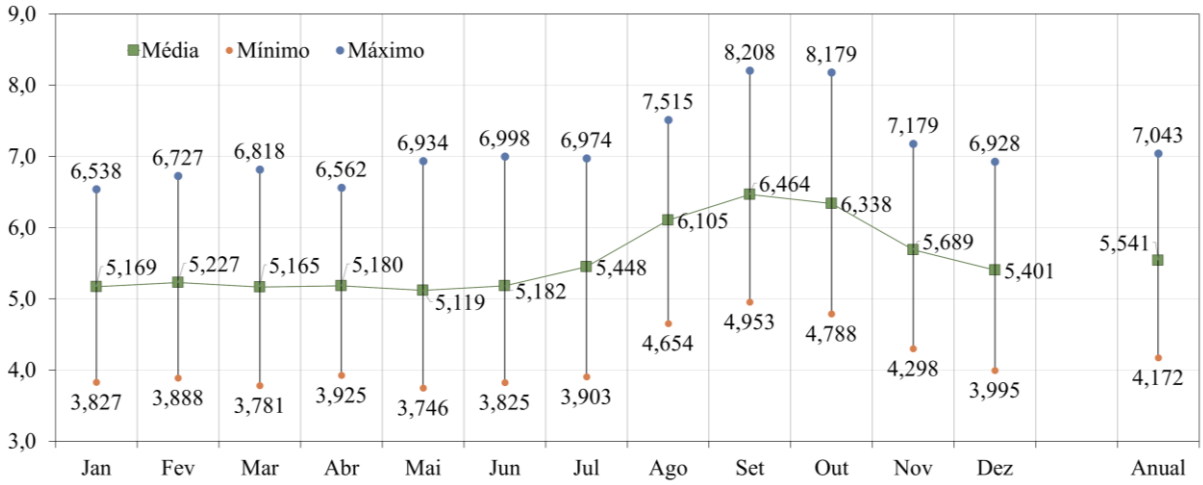
**Figura 4.5.** Localização das estações do INMET (a) e espacialização da Média anual da irradiação solar no estado do Piauí, em kWh/m²/dia (b).




Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 4.6 podem ser vistos os valores de média, mínimo, máximo para todos os meses do ano, compondo o valor da média anual da irradiação solar para o estado do Piauí. Percebe-se que os meses com as médias mais altas são os meses de julho a dezembro, sendo que em, praticamente, todos esses meses, à exceção de dezembro, as médias mensais superam a média anual (5,51 kWh/m²/dia) O estado do Piauí está situado em uma região do continente que por possuir baixas altitudes, "apresenta naturalmente predisposição ao desenvolvimento das altas temperaturas e possui um período do ano conhecido por B-R-O-BRÓ, no qual as temperaturas são mais elevadas nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro" (Oliveira; Oliveira; Carvalho, 2021, p. 6).

**Figura 4.6.** Variação das médias mensais e da média anual para o estado do Piauí, em kWh/m²/dia.

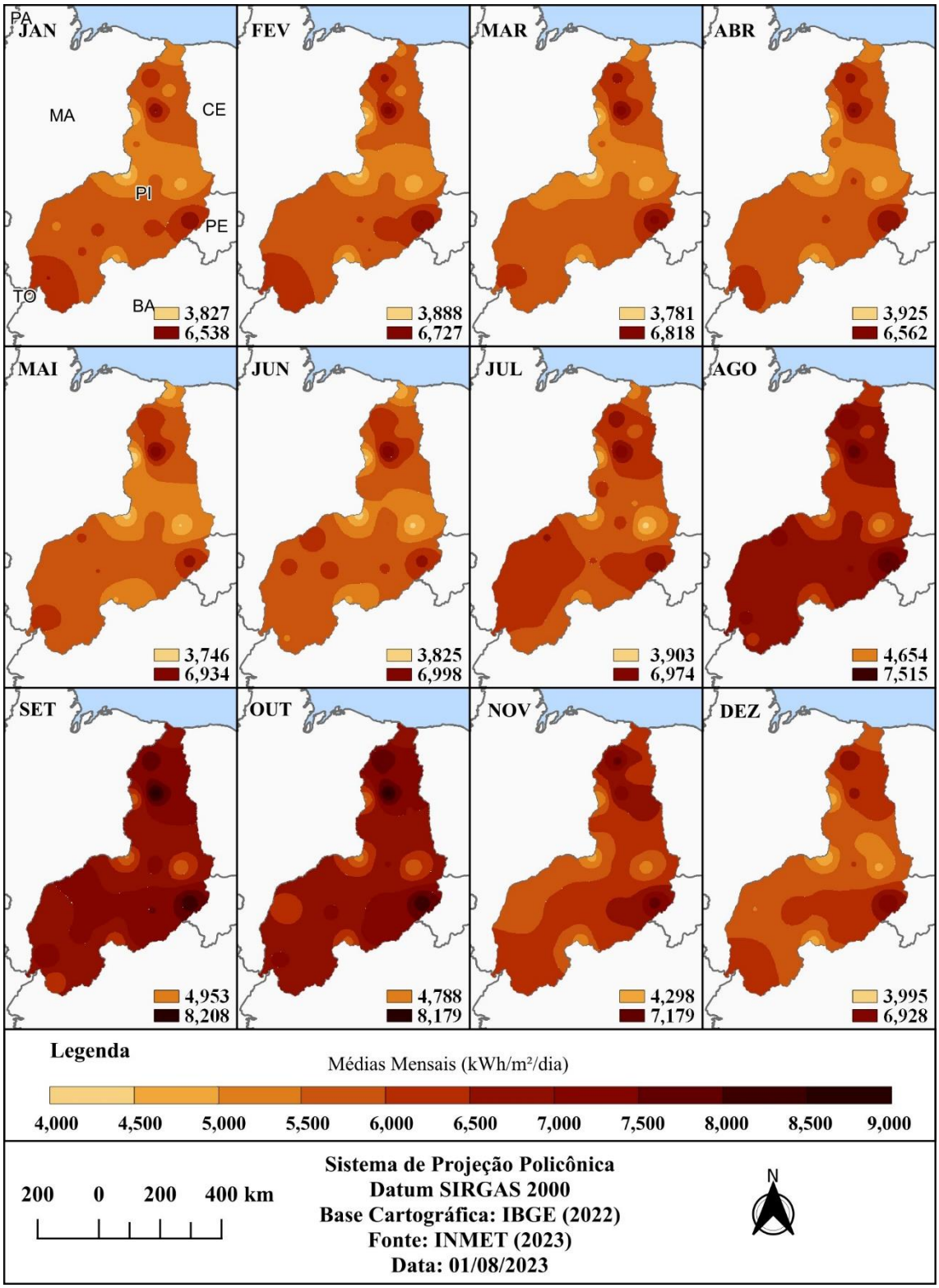



Fonte: Elaborado pelo autor.

Resultados semelhantes foram encontrados por Morais *et al.* (2021), ao analisarem os dados de irradiação solar para a na cidade de Floriano, com o intuito de realizar a análise de desempenho operacional do sistema instalado em uma instituição pública de ensino. Os dados foram coletados de diversos bancos de dados de irradiação solar considerando o período de 1 de junho de 2016 a 31 de maio de 2017. Os autores trouxeram indicativos de condições favoráveis para o aproveitamento da energia solar no Estado do Piauí, com dados que mostram que os meses que vão de julho a dezembro, possuem níveis de irradiação solar que superam a média anual.

Na Figura 4.7 podem ser vistos os mapas contendo a espacialização da irradiação solar global para o estado do Piauí, elaborados nesta pesquisa, utilizando as médias mensais, considerando os dez anos de medição.

**Figura 4.7.** Médias mensais da irradiação solar no estado do Piauí, em kWh/m²/dia.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, pela análise das figuras, que a porção central do estado possui índices abaixo da média. A porção norte do estado, excetuando-se o litoral, e as porções sul e sudeste

apresentam índices mais próximos da média, quando são analisados os meses entre janeiro e julho, e o mês de dezembro. Em apenas alguns pontos, as médias são mais extremas, principalmente nas regiões próximas aos limites estaduais, na maioria dos municípios situados dentro do perímetro do semiárido brasileiro. No intervalo entre os meses de agosto a novembro, as médias chegam aos seus valores máximos, com uma constância em praticamente toda a extensão do estado. Porém em todos os meses, analisando os valores máximos e mínimos, percebe-se em alguns pontos grande variação em torno da média.

Segundo Medeiros *et al.* (2018), essas oscilações em torno da média acontecem no estado por conta das atividades dos fenômenos locais e regionais que variam ano a ano. Entre estes fenômenos pode-se citar a precipitação e a nebulosidade, que, de acordo com os autores, que estão ligadas às influências e à conjugação de vários sistemas de circulação atmosférica, que agem separadamente e de forma difusa nas diferentes regiões do estado, e em diferentes épocas do ano.

Os autores Zell *et al.* (2015) realizaram um mapeamento da irradiação solar na Arabia Saudita e encontraram valores médios de irradiação solar ordem entre 5,7 e 6,7 kWh/m²/dia entre as porções sul e leste do país (região costeira). Nas regiões do interior ocidental, os índices foram maiores, sendo o maior nível registrado de 8,9 kWh/m²/dia. Mesmo com grandes variações na espacialização do território, segundo os autores, essa análise das medições traz o indicativo de que as tecnologias fotovoltaicas teriam um bom desempenho em qualquer localização do país.

No trabalho de Tiepolo *et al.* (2018) foi demonstrado que o estado brasileiro do Paraná possui potencial utilização da energia solar superior a muitos países líderes em potência instalada. As médias anuais para o estado foram de, aproximadamente: 4,7 kWh/m²/dia para a irradiação global horizontal, 4,3 kWh/m²/dia para a irradiação direta normal, 1,9 kWh/m²/dia para a irradiação difusa, e 4,9 kWh/m²/dia para a irradiação inclinada com a latitude. Os autores fizeram um comparativo com diversos países europeus, que vêm apoiando a energia solar por meio de políticas públicas, e, considerando apenas a irradiação inclinada com a latitude, afirmaram, que este valor, encontrado no Paraná, é 43% superior à Alemanha; 2,22% superior à Itália; 55,11% superior ao Reino Unido; e 18,25% superior à França. Dessa forma, com índices anuais que variam entre 4,2 e 7,0 kW/m²/dia, o estado do Piauí se mostra com potencial para que a geração de energia solar no estado seja alvo de políticas públicas e novos incentivos fiscais e tributários, que, aliados aos já existentes, trarão novos investimentos e crescimento econômico, colaborando, assim para o desenvolvimento sustentável (Pertussatto; Blanchet, 2020).

Rubio-Aliaga *et al.* (2016) realizaram um estudo na região de La Mancha, na Espanha, e em Fez-Meknes, no Marrocos, encontrando médias anuais de 4,9 kWh/m$^2$/dia e 5,3 kWh/m$^2$/dia, respectivamente, sendo possível, com esses valores, dimensionar sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água. Destaca-se que no ano de 2016, esses 5 países, Alemanha, Itália, Reino Unido, França e Espanha, figuravam entre os 10 países com maior capacidade instalada, e. juntos representam aproximadamente, 28% da capacidade instalada global em sistemas fotovoltaicos (REN21, 2017). Atualmente, os países do mundo com maior capacidade instalada, em ordem decrescente são: China, Estados Unidos, Japão, Índia e Alemanha. O Brasil, em termos de adições, foi o quarto país que mais adicionou Energia Solar Fotovoltaica em sua matriz energética (REN21 ,2023).

Já no estudo de Posso *et al.* (2014), constatou-se que a Venezuela tem como média anual 5,1 kWh/m$^2$.dia. Esse valor, segundo os autores, pode ser considerado um valor excelente para a geração de eletricidade por meio da energia solar fotovoltaica, utilizando-se da classificação descrita na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3.** Classificação da radiação solar

| **Radiação Solar (kWh/m².dia)** | **Classificação** |
|---|---|
| < 4,7 | Marginal |
| 4,7 a 4,9 | Regular |
| 4,9 a 5,2 | Boa |
| 5,2 a 5,5 | Excelente |
| 5,5 a 6,1 | Premium |
| > 6,1 | Suprema |

Fonte: Posso *et al.* (2014).

Dessa forma, as médias mensais para o estado do Piauí podem ser categorizadas entre excelentes e supremas para a geração de energia solar fotovoltaica, podendo superar diversos países do mundo em geração de energia solar fotovoltaica e potência instalada

Observa-se, ainda que, em termos de geração fotovoltaica, outras varáveis se fazem importantes para analisar o possível comportamento dos sistemas, em termos de eficiência e captação de energia, como a temperatura, umidade, pluviosidade, nebulosidade e velocidade dos ventos. Segundo Zell *et al.* (2015), altas temperaturas extremamente altas, geralmente acima de 30º C, em termos em média anual, podem diminuir o desempenho dos sistemas. Além disso, aponta-se, também, a sujeira acumulada nos módulos que requer limpeza frequente em algumas áreas e estações do ano.

Para Porto e Suski (2021, p. 224), “o vento é um dos principais elementos a serem considerados na geração fotovoltaica, pois movimenta as massas de ar, empurrando a umidade, as nuvens e resfriando o sistema fotovoltaico”. Francisco *et al.* (2019, p. 12) ao analisarem os parâmetros meteorológicos que influenciam na quantidade de energia gerada por um sistema fotovoltaico, afirmam que “no caso da variável velocidade do vento, quanto maior a quantidade de vento, maior será a energia fotovoltaica gerada.”. Além disso, para Pires *et al.* (2021), em termos de eficiência de geração por sistemas fotovoltaicos, as regiões mais favoráveis são as que possuem temperaturas mais amenas e com altos índices de ventos.

Lira *et al.* (2017) realizaram uma categorização do regime dos ventos no estado do Piauí, em padrões horários e mensais de velocidade e direção dos ventos. Os resultados encontrados demonstram um padrão de velocidade do vento em alguns locais do estado, com velocidades que podem chegar aos 6,5 m/s. esta condição se demostra favorável para a geração de energia solar no estado, pois, para Morais *et al.* (2019), a instalação de sistema fotovoltaicos em regiões com boas condições de velocidade dos ventos, com velocidades médias de vento da ordem de 5,0 m/s, faz com que os sistemas fotovoltaicos trabalhem em condições de resfriamento diminuindo, assim, as perdas por temperatura.

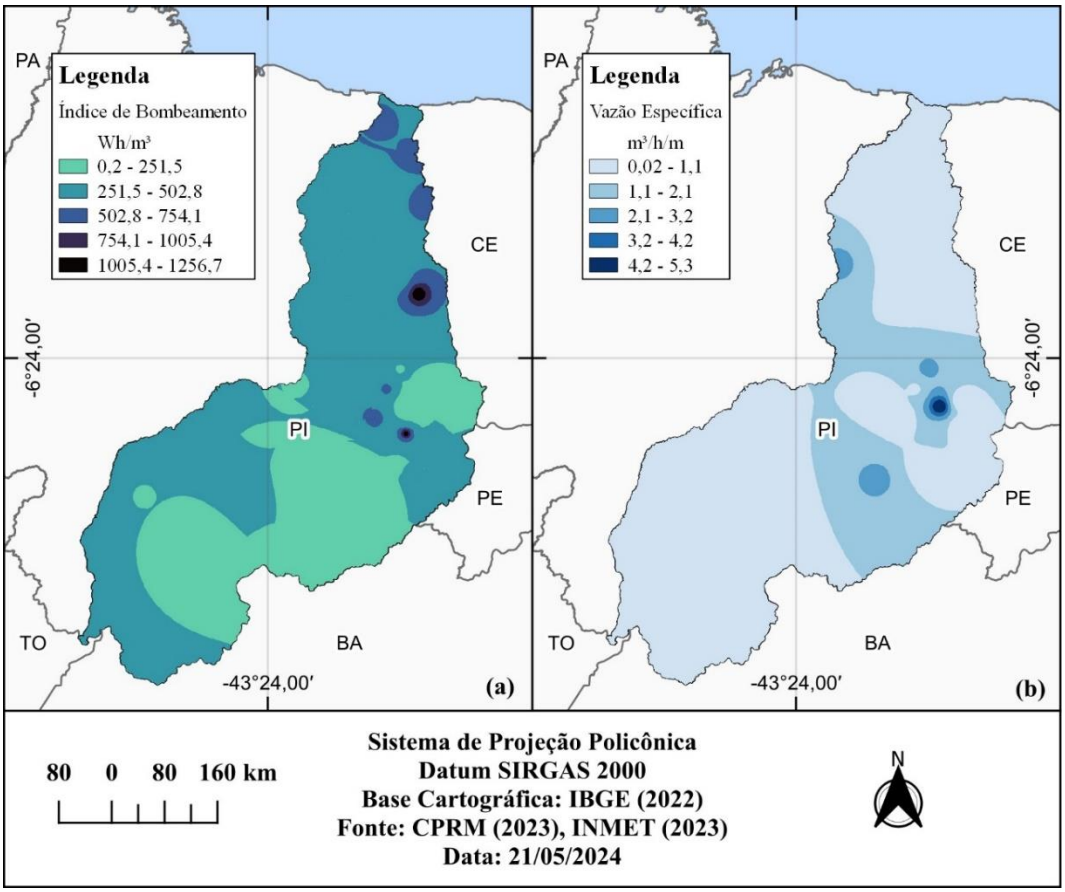
Assim, corroborando com os autores citados nesta discussão em torno dos índices de irradiação solar para o estado do Piauí, tendo em vista que o estado possui uma média anual semelhante, da ordem de 5,7 kWh/m²/dia, variado entre mínimos e máximos mensais da ordem de aproximadamente 4,7 e 6,9 e kWh/m²/dia, com desvios máximos da ordem de cerca de 330 Wh/m²/dia, pode-se inferir que o estado do Piauí possui bons indicativos de condições para a utilização da energia solar fotovoltaica, em especial, para bombeamento de água.

### *4.4.4 Integração dos recursos solar e hídrico subterrâneo*

Na Figura 4.8 pode ser visto a espacialização do Índice de Bombeamento, relacionando a irradiação solar com o nível da água, bem como a espacialização da vazão específica em m³/h/m ao longo do estado. Com um nível de água médio dos poços RIMAS de 19,31 m e a média anual de irradiação solar de 5,541 kWh/m² diários, obtém-se o valor médio para o Índice de Bombeamento de aproximadamente 287 Wh/m³. A vazão específica média dos poços RIMAS e de 0,87 m³/h/m, ou seja, para cada metro de coluna que os poços rebaixarem, será possível extrair cerca de 870 litros de água durante uma hora, com um rebaixamento de 1 metro no nível da água. Dessa forma, sabendo-se o nível dinâmico de um determinado poço, será

possível dimensionar a bomba, determinar a sua profundidade ideal de instalação e conhecer até quanto o nível do poço poderá reduzir, ao suprir um determinado volume de água.

**Figura 4.8.** Espacialização do Índice de Bombeamento (a) e da Vazão Específica (b) no estado do Piauí.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, esse índice, mostra as zonas onde o nível da água está a uma altura menor do topo do poço e onde a irradiação solar é mais intensa. Esse fato faz com que os sistemas a serem instalados sejam mais simples, ou seja, com menos módulos e com bombas de menor potência, capazes de extrair volumes de água suficientes para a atividade a que se propõe. Percebe-se, portanto, que quase toda a extensão territorial do estado do Piauí possui zonas propícias para a instalação de sistemas de bombeamento fotovoltaico (zonas com valores em torno da média), pois essas zonas coincidem com as áreas onde o rebaixamento do poço é menor. Porém, ressalta-se que a instalação de um sistema em um determinado poço, deve ser analisada de forma específica, haja visto que os dados apresentados nesta pesquisa são baseados em valores médios. Além disso, deve-se considerar fatores externos que possam afetar este índice, como a temperatura, umidade, pluviosidade, nebulosidade e velocidade dos ventos, haja visto que estes valores tambem influenciam na eletricidade gerada por um sistema fotovoltaico.

Rubio-Aliaga *et al.* (2016) realizaram um estudo semelhante para dois aquíferos localizados no Marrocos (Saiss) e na Espanha (La Mancha). Os índices de aplicabilidade para cada um dos aquíferos foram de 105,40 Wh/m³/dia e 223,37 Wh/m³/dia, respectivamente. Porém, os aquíferos analisados possuíam uma profundidade final média de 50,76, no caso do aquífero de Saiss e 21,82 m para o aquífero de La Mancha. Sendo, portanto, o aquífero de Saiss (Marrocos) o que necessita de mais tempo para atender aos requisitos de água para as culturas de plantio presentes na sua região. Destaca-se que os autores não consideraram, em sua pesquisa, o nível da água dos poços analisados, mas apenas a sua profundidade final.

Ademais, em se tratando de sistemas de bombeamento de água, vale a pena ressaltar a possibilidade de armazenamento da água para uso posterior. Esse armazenamento pode ser feito em reservatórios elevados, e a distribuição da água pode ser feita por gravidade, em sistemas de irrigação por gotejamento, por exemplo, que segundo Campos e Alcântara (2018), é o tipo de irrigação que mais economiza água. Outra possibilidade é o armazenamento de energia em sistemas de bancos de baterias, pois de acordo com Silva et al. (2023), o armazenamento de energia promove a eficiência energética e suporta a intermitência de uma determinada fonte, pois os horários de funcionamento podem ser otimizados, propiciando-se o consumo estratégico da energia elétrica, o que pode ser confirmado através de estudos de viabilidade técnico-econômica.

Na Tabela 4.4 são apresentadas as principais características de sistemas de bombeamento fotovoltaicos comerciais que podem ser instalados no estado do Piauí, considerando diferentes faixas de altura manométrica, até a altura manométrica de 120 m.

**Tabela 4.4.** Características dos Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamentopara atender o estado do Piauí

| **Faixas de altura Manométrica (m)** | **Requisitos Mínimos** | | **Vazão Máxima (m³/h)** | **Volume Diário Bombeado (L)** |
|---|---|---|---|---|
| | **Bomba Solar** | **Painel Solar** | | |
| $\boldsymbol{H_T \leq 20}$ | 100 a 160 W / 36 Vcc | 1 x 330 W / 37,6 Vcc | 0,5 | 2.500 |
| $\boldsymbol{20 < H_T \leq 40}$ | 210 W / 36 Vcc | 1 x 330 W/ 37,6 Vcc | 0,8 | 4.000 |
| $\boldsymbol{40 < H_T \leq 60}$ | 400 W / 48 Vcc | 1 x 400 W / 48,3Vcc | 1,4 | 7.000 |
| $\boldsymbol{60 < H_T \leq 80}$ | 750 W / 48-72 Vcc | 2 x 400 W / 48,3 Vcc | 1,2 | 6.000 |
| $\boldsymbol{80 < H_T \leq 100}$ | 1100 W / 96 Vcc | 6 x 330 W / 37,6 Vcc | 1,5 | 7.500 |
| $\boldsymbol{100 < H_T \leq 120}$ | 1500 W / 110 Vcc | 8 x 330 W / 37,6 Vcc | 2,0 | 10.000 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses sistemas facilmente podem ser implementados por meio de políticas públicas para o atendimento desta população. Tendo em vista a Média Anual da Irradiação Solar do estado de 5,541 kWh/m²/dia, a irradiação de 5,0 kWh/m²/dia seria suficiente para fazer com que sejam bombeados volumes de água entre 2.500 e 10.000 L de água por dia. A vazão máxima

necessária para suprir esse volume é descrita na tabela tendo como base valores de bombas comerciais, disponíveis no mercado.

Em relação ao problema do acesso a água em comunidades rurais do semiárido, necessita-se de soluções que envolvam, além de aspectos técnicos, o conhecimento de aspectos sociais, econômicos e ambientais, sendo fundamental, a participação da comunidade em todas as etapas do processo de implantação de novas tecnologias, em especial os sistemas fotovoltaicos de bombeamento.

Além disso, outros estudos também são importantes para a tomada de decisão, em especial pelo poder púbico, para a abertura e implantação políticas públicas par a instalação de sistemas de bombeamento fotovoltaico, tendo em vista que as regiões semiáridas carecem de soluções decorrentes da integração do planejamento de recursos hídricos e energéticos. Para isso, enfatiza-se a necessidade de estudos futuros, que busquem a comprovação utilizando dados de campo de volume bombeado e de vazão máxima relacionados à potência do sistema instalado, por meio da análise de sistemas piloto de bombeamento fotovoltaico, haja visto que outros fatores ambientais afetam a geração de energia em sistemas fotovoltaicos, como a nebulosidade, temperatura ambiente e direção e velocidade dos ventos. Por fim, ressalta-se que esta pesquisa teve como limitação a existência de períodos com dados ausentes e inconsistentes em todas as estações meteorológicas, por defeito nos sensores ou nos sistemas se aquisição de dados.

## 4.5 Considerações Finais

Esta pesquisa buscou realizar um estudo de viabilidade para a instalação de sistemas de bombeamento fotovoltaico no estado do Piauí, através do levantamento dos recursos solares e hídricos subterrâneos utilizando Sistemas de Informação Geográficas. Para tanto, foram utilizados os índices de irradiação solar fornecidos pelas estações meteorológicas do INMET, bem como os dados sobre os aquíferos subterrâneos fornecidos pelos poços do RIMAS localizados no estado

Em relação à irradiação solar, o estado perfaz uma média anual de 5,541 kWh/m²/dia, sendo que os meses com as médias mais altas, são os meses de agosto a novembro. Ao longo da extensão do estado percebem-se alguns pontos com grandes variações em torno da média. Isso ocorre, devido a nebulosidade e precipitação ocorrem de forma distintas em toda a extensão do estado, porém os índices podem ser considerados como excelentes em sua maioria, para a geração de energia solar fotovoltaica.

No que tange aos recursos de águas subterrâneas, o estado conta com uma quantidade elevada de poços, mais de 37 mil, concentrando enormes mananciais de águas subterrâneas, com água disponível por longos anos. Tendo em vista os dados dos poços de monitoramento RIMAS, encontrou-se o nível da água médio de 19,31 m, profundidade final média de 116,5 m e vazão de 5,3 m³/h. Ressalta-se a necessidade de gestão por parte do poder público, especificamente, adoção de medidas eficazes de gestão de águas subterrâneas, principalmente, relacionada à falta de abastecimento público de água e ao mau uso e desperdício de recursos hídricos no estado do Piauí. Além disso, reforça-se a necessidade de ampliação da rede de monitoramento dos aquíferos, aumentando, assim, a quantidade de dados quantitativos e qualitativos das águas subterrâneas, possibilitando-se promover a gestão hídrica, colaborando para desenvolvimento sustentável do estado do Piauí.

Por meio da espacialização do Índice de Bombeamento, foi possível perceber que praticamente todo o estado é propício para a instalação do sistema de bombeamento fotovoltaico com extração sustentável da água. Essas zonas apresentam altos índices de irradiação solar do estado do Piauí e níveis pequenos em relação à superfície, e são coincidentes com as zonas onde o rebaixamento dos poços é pequeno. O estado perfaz uma média de 287 Wh/m³. Analisando ainda a vazão específica média, percebe-se que com uma média de 0,87 m³/h/m, será possível extrair cerca de 870 litros de água para cada metro de coluna de água que os poços rebaixarem.

Com os dados médios da pesquisa, desde que se conheça a necessidade hídrica de uma determinada atividade, é possível dimensionar um sistema de bombeamento fotovoltaico que retire água de forma sustentável dos aquíferos do estado, fornecendo água em quantidade suficiente para diversas finalidades, como a irrigação de plantios, o abastecimento doméstico e criação de animais. Constata-se, portanto, o vasto potencial para instalação de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água, em todo o território piauiense.

É importante enfatizar a necessidade de adoção de ações e políticas públicas destinadas à instalação de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água, para fornecer água o ano todo, não somente para o consumo doméstico, mas para atividades econômicas como a criação de animais de forma intensiva, plantios que são feitos apenas na época das chuvas, além do aumento da abrangência de políticas de aquisição dos alimentos, pois poderão contribuir para promover a segurança energética, hídrica e alimentar, trazendo qualidade de vida, culminando no desenvolvimento sócio econômico da população vulnerável das regiões semiáridas.

Acredita-se que a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento poderá trazer melhoria para a qualidade de vida, contribuindo com o desenvolvimento socioeconômico,

colaborando, dessa forma, para a segurança energética, hídrica e alimentar das comunidades rurais do semiárido. Além disso, contribuirá, também, para novos estudos relacionados aos sistemas fotovoltaicos aplicados ao bombeamento de água, podendo ser replicada em quaisquer outras regiões semiáridas ou não. Os dados desta pesquisa poderão também ser utilizados por instituições e órgãos públicos, na criação de políticas públicas para o acesso a água e energia, visando ainda a segurança alimentar da população vulnerável aos impactos das mudanças climáticas.

Assim, esta pesquisa poderá contribuir para o desenvolvimento sustentável por meio da Agenda 2030 e seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A instalação de sistemas de bombeamento fotovoltaico em regiões semiáridas poderá para garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água, em especial nos períodos de estiagem (ODS 6 – Água potável e saneamento), por meio de uma fonte de energia elétrica sustentável e moderna (ODS 7 – Energia limpa e acessível), ajudando a combater as alterações climáticas e seus impactos (ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima).

## 4.6 Referências

ALMEIDA, H. A.; ALMEIDA, E. C. V. Potencial da energia solar fotovoltaica no Semiárido nordestino. **Concilium**, v. 22, n. 2, p. 197-210, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.53660/CLM-111-130.

ALENCAR, M.T. Caracterização da macrorregião do semiárido piauiense. *In*: SILVA, C. M.S., LIMA, E.S., CANTALICE, M.L., ALENCAR, M.T., SILVA, W.A.L. (Ed.), **Semiárido Piauiense: Educação e Contexto**. Campina Grande: INSA, 2010. pp. 15–34.

ALIYU, M.; HASSAN, G.; SAID, S. A.; SIDDIQUI, M. U.; ALAWAMI, A. T.; ELAMIN, I. M. A review of solar-powered water pumping systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 87, p. 61–76, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.010.

ANA. Agência Nacional de Águas. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. **Base hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Parnaíba.** 2017. Disponível: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/6f9c7237-1ffd-46db-a095-98cc80c36482.

APARECIDO, L. E. O.; MORAES, J. R. S. C.; LIMA, R. F.; TORSONI, G. B. Técnicas de Interpolação Espacial Para Mapear Precipitações em Regiões Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 1, p. 141-155, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-77863710015.

BATISTA, R. A. W.; NERY, L. M.; MATUS, G. N.; SIMONETTI, V. C.; CUNHA, D. C. Estimativa do fator de erosividade do solo da região do Vale do Ribeira Paulista, Brasil. **Formação**, v. 28, n. 53, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.33081/formacao.v28i53.8015.

BENGHANEM, M.; DAFFALLAH, K. O.; ALMOHAMMEDI, A. Estimation of daily flow rate of photovoltaic water pumping systems using solar radiation data. **Results in Physics**, v. 8, p. 949–954, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.01.022.

BOUTELHIG, A.; HANINI, S.; ARAB, A. H. Geospatial characteristics investigation of suitable areas for photovoltaic water pumping erections, in the southern region of Ghardaia, Algeria. **Energy**, v. 165, p. 235-245, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.036.

BOUTELHIG, A.; MELIT, A.; HANINI, S. Groundwater sources assessment for sustainable supply through photovoltaic water pumping system, in M'zab valley, Ghardaia. **Energy Procedia**, v. 141, p. 76-80, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.015.

CAMPOS, M. S.; ALCÂNTARA, L. S. Sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação na agricultura familiar. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 205-214, 2018.

CARDOSO, A. S.; EL-DEIR, S. G.; CUNHA, M. C. C. Bases da sustentabilidade para atividade de piscicultura no semiárido de Pernambuco. **Interações**, v. 17, p. 645–653, 2016. DOI: https://doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4(08).

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; LIRA, D. R.; MUTZENBERG, D. S.; CAVALCANTI, L. C. S. The semi-arid domain of the Northeast of Brazil. *In*: SALGADO, A., SANTOS, L., PAISANI, J. (Ed.). **The Physical Geography of Brazil: Environment Vegetation and Landscape**, Springer, Cham, 2019, pp. 119–150. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_7 .

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas.** Atualizado em 12/08/2022. 2022. Disponível: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**. Atualizado em: 11/23/2023. 2023. Disponível: http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/index.php.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Relatório situacional dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Parnaíba**, Outubro 2017. 16p. Disponível: https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Parnaiba/20171116_10-20171116%20-%20103332.pdf.

FAGUNDES, J. P. R.; ANDRADE, A. L. A. Poços artesianos: Uma reflexão na perspectiva da sustentabilidade. **Revista Multidisciplinar Do Nordeste Mineiro**, v. 1, n. 1, p. 1–7. 2023.

FEITOSA, F. A. C.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. O Vale do Gurguéia-uma zona estratégica de produção de água subterrânea. **Revista Águas Subterrâneas**, Suplemento. p. 1–4. 2012.

FLORENTIM, E. T. S.; CORREA, H. C. R.; MONTEIRO, F. N.; FALCÃO, K. S.; PANACHUKI, E. Espacialização da erosividade mensal e anual da chuva na bacia

hidrográfica do Córrego Fundo, Aquidauana-MS. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e3110111173-e3110111173, 2021. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11173.

FRANCISCO, A. C. C.; VIEIRA, H. E. M.; ROMANO, R. R.; ROVEDA, S. R. M. M. INFLUÊNCIA de parâmetros meteorológicos na geração de energia em painéis fotovoltaicos: um caso de estudo do Smart Campus Facens, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana** v.11, p.e20190027–e20190042, 2019.

GENARO, D. T. **Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – RIMAS**: Relatório de Atividades. Departamento de Hidrologia. Rio de Janeiro: CPRM, 2021. p. 45. Disponível: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22582/5/relatorio_RIMAS_%202021.pdf.

GOMES, É. R.; COSTA, M. L.; MARQUES, G. T. A gênese hidrotermal da opala no estado do Piauí. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 3, n. 3, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.29327/261865.3.3-6.

HERNANDEZ, P. G. L.; ATHAYDE, G. B.; ATHAYDE, C. V. M.; LICHT, O. A. B. Efeito da interpolação de dados hidrogeológicos em aquíferos sedimentares: estudo de caso no estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2021. DOI: https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.29911.

HILARYDOSS, S. Suitability, sizing, economics, environmental impacts and limitations of solar photovoltaic water pumping system for groundwater irrigation—a brief review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 71491–71510, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-021-12402-1.

IBGE. Instituo Brasileiro de Geografia e Estatística. **Prévia da população calculada com base nos resultados do Censo Demográfico 2022 até 25 de dezembro, 2022.** 2022. Disponível: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. **Dados históricos**. 2023. Disponível: https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos.

JERÔNIMO, M. K.; GOMES, M. B.; SOUSA, C. E., BRITO, T. O. S.; ALVARENGA, E. M. Perspectivas de viabilidade econômica e ambiental: integração entre a piscicultura e fruticultura irrigada em São João do Piauí, PI. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 5, p. 103–109, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i5.3816.

KAFLE, K.; UPRETY, L.; SHRESTHA, G.; PANDEY, V.; MUKHERJI, A. Are climate finance subsidies equitably distributed among farmers? Assessing socio-demographics of solar irrigation in Nepal. **Energy Research & Social Science**, v. 91, p. 102756-102767, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102756.

LAUTHARTTE, L. C.; HOLANDA, Í. B. B.; LUZ, C. C.; MUSSY, M. H.; PANSINI, S.; MANZATTO, Â. G.; YAMASHITA, M.; BASTOS, W. R. Avaliação da qualidade da água subterrânea para consumo humano: estudo de caso no Distrito de Jaci-Paraná, Porto Velho–

RO**. Revista Águas Subterrâneas**, v. 30, n. 2, p. 246–260, 2016. DOI: https://doi.org/10.14295/ras.v30i2.28547.

LI, D.; ZHU, D.; WANG, R.; GE, M.; WU, S.; CAI, Y. Sizing Optimization and Experimental Verification of a Hybrid Generation Water Pumping System in a Greenhouse. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2020, Article ID 3194196, 11 p., 2020. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/3194196.

LIMA, I. M. M. F. Hidrografia do Estado do Piauí, disponibilidades e usos. *In*: AQUINO, C. M. S. A.; Santos, F. A. **Recursos Hídricos do Estado do Piauí:** fundamentos de gestão e estudos de casos em bacias hidrográficas do centro-norte piauiense. Teresina: EDUFPI, 2017, p.43–68.

LIMA, M. G.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Climas do estado do Piauí e suas relações com a conservação do solo. *In*: LIMA, M. G.; MORAES, A. M.; NUNES, L. A. P. L.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Climas do Piauí:** interações com o ambiente. Teresina: Edufpi, 2020. p. 16–36.

LIMA, M. G.; SALVIANO, A. A. C.; SANTANA, F. F.; FEITOSA, S. M. R. Secas de 2010 a 2016 no Piauí: impactos e respostas do Estado em articulação com os programas nacionais. **Parcerias estratégicas** v. 22, n. 44, p. 155–180, 2017.

LIRA, M. A. T. **Sistemas híbridos para o fornecimento de energia elétrica na comunidade roça de baixo, paulistana (PI).** 2015. 144p. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

LIRA, M. A. T.; MOITA, J. M.; LOIOLA, J. V. L.; SILVA, E. M.; ALVES, J. M. B. Caracterização do regime de ventos no Piauí para o aproveitamento de energia eólica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, p. 77–88, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0102-778632120150712.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M. A.; NOBRE, C. A.; RIBEIRO NETO, G. G.; MAGALHAES, A. R.; TORRES, R. R.; SAMPAIO, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L. M.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ, K. R. L.; ÁLVALA, R. C. S. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. **Natural Hazards**, v. 103, n. 1, p. 2589–2611, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3.

MARQUES, V. S.; ALMEIDA, E. E.; PESSOA, R. S. Política hídrica no cerrado piauiense e o uso de águas subterrâneas como alternativa ao desenvolvimento econômico do estado do Piauí. **Arquivo Jurídico – Revista Jurídica Eletrônica da UFPI**, v. 10, n. 1, p. 143–159, jan/jun 2023.

MEDEIROS, R. M., CAVALCANTI, E. P.; DUARTE, J. F. M. Classificação climática de köppen para o estado do Piauí–Brasil. **Revista Equador**,v. 9, n. 3, p. 82–99, 2020. DOI: https://doi.org/10.26694/equador.v9i3.9845.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M. V. Interpolação da insolação média para o estado do Piauí–Brasil. **Revista de Geografia**, v. 35, n. 5, p. 170–189, 2018. DOI: https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.237869.

MELO, D. C. P.; OLIVEIRA, M. J. M.; CORDEIRO, L. F. A.; SOUSA, W. S. Estudo do bombeamento de água salobra para irrigação agrícola: solução para uma cooperativa do semiárido nordestino com energia solar fotovoltaica. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 4, p. 449–456, 2021. DOI: http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0035.

MEMON, A. H.; SOOMRO, A. G.; PANHWAR, S.; KEERIO, H. A.; KHOKHAR, N. H.; BAJKANI, J. K.; SIDDIQUI, S.; GADEHI, M. A. Study of GIS-based groundwater potential zones for agricultural sustainability in the arid region. **Water Practice & Technology**, v. 18, n. 3, p. 536–546, 2023. DOI: https://doi.org/10.2166/wpt.2023.020.

MENDES, G. C. M.; PEREIRA, L. R.; MELO, S. R. P. Análise descritiva das águas superficiais e subterrâneas e a utilização das geociências nesse contexto: uma revisão. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 13, n. 1, p. 1–16, 2023. DOI: https://doi.org/10.34019/2236-837X.2023.v13.39673.

MITRA, A.; ALAM, M. F.; YASHODHA, Y. **Solar irrigation in Bangladesh: a situation analysis report.** Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). 2021. 39p. DOI; http://dx.doi.org/10.5337/2021.216.

MONTEIRO, P. B.; CABRAL, J. J. S. S. Gestão das águas subterrâneas no estado do Piauí (Brasil) no contexto das mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 58, n. 1, p. 45–58, 2023. DOI: https://doi.org/10.5327/Z2176-94781485.

MONTEIRO, P. B.; CABRAL, J. J. S. S. Análise SWOT da Gestão das Águas Subterrâneas no Piauí. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 15, n. 5, p. 1–22, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.21168/rega.v15e5.

MORAES, A. M.; VALER, L. R.; MORANTE, F.; FEDRIZZI, M. C.; ZILLES, R.; MELENDEZ, T. A. F. Projeto Sol e Água no Sertão: processo de implantação e avaliação de um sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação de uso familiar no semiárido brasileiro. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**. v. 21, p. 12.11–12.20, 2017.

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. O. L.; MORAES, A. M.; BARBOSA, F. R. Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v. 36, n. 4, p. 723–734, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786360049.

MORAIS, F.; MORAES, A.; BARBOSA, F. Technical-economic analysis of the first mini-generation photovoltaic system of Piauí, Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, n. 10, p. 1706–1714, 2019. DOI: https://doi.org/10.1109/TLA.2019.8986449.

MOTTA, E. J. O.; GONÇALVES, N. E. W. **Plano Nascente Parnaíba: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do rio Parnaíba.** Brasília: CODEVASF/ IABS, Brazil, 2016. 174 p. Disponível: https://www.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha/publicacoes/planos/plano-nascente-parnaba.pdf.

MURALIDHAR, K.; RAJASEKAR, N. A review of various components of solar water-pumping system: Configuration, characteristics, and performance. **International Transactions on Electrical Energy Systems**, v. 31, n. 9, p. e13002–e13035, 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/2050-7038.13002

MURARA, P. G. Técnicas de interpolação para a pesquisa em climatologia regional e agroclimatologia. **Revista Brasileira de Climatologia**, a. 15, v. 25, n. especial, p. 106–126, 2019. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v0i0.66602.

NIETO-MORONE, M. B., ALONSO-GARCÍA, M. C., ROSILLO, F. G., SANTOS, J. D., MUÑOZ-GARCÍA, M. A., State and prospects of photovoltaic module waste generation in China, USA, and selected countries in Europe and South America. **Sustainable Energy & Fuels,** v. 7, n. 9, p. 2163–2177, 2023. DOI: https://doi.org/10.1039/D2SE01685K.

OLIVEIRA, L. N.; AQUINO, C. M. S. Dinâmica Temporal do uso e cobertura da terra na fronteira agrícola do MATOPIBA: Análise na sub-bacia hidrográfica do rio Gurguéia-Piauí. **Revista Equador**, v. 9, n. 1, p. 317–333, 2020. DOI: https://doi.org/10.26694/equador.v9i1.9461

OLIVEIRA, N. C. R.; OLIVEIRA, F. C. S.; CARVALHO, D. B. Educação ambiental e mudanças climáticas: análise do Programa Escolas Sustentáveis. **Ciência & Educação (Bauru),** v. 27, p. e21068–e21084, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1516-731320210068.

OLIVEIRA, P. V. A.; ELMIRO, M. A. T.; MACEDO, D. R.; NERO, M. A. Estudo comparativo dos interpoladores espaciais IDW e SPLINE para dados pluviométricos no Norte de Minas Gerais. **Cadernos do Leste**, v. 24, n. 24, 2024. DOI: https://doi.org/10.29327/248949.24.24-8.

OLIVEIRA, R. R.; CABACINHA, C. D.; ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; NUNES, R. M.; OLIVEIRA, X. M.; KOHLER, S. V.; PINTO, L. O. R. Índice de local para Khaya Spp. usando o diâmetro dominante. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 12, p. 27351-27374, 2023. DOI: https://doi.org/10.55905/oelv21n12-209.

PERTUSSATTO, E. W.; BLANCHET, L. A. Taxation as an incentive for the expansion of photovoltaic solar energy. **Amazon Knowledge Journal**, v. 5, n. 11, p. 75–94, 2020. DOI: https://doi.org/10.31517/rsa.v5i11.5.

PESSÔA, F. S.; FAÇANHA, A. C. Bacia Hidrográfica como unidade geossistêmica e territorial: em questão a Bacia do Parnaíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, n. especial. p. 735–744, 2016. DOI: https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10522

PIRES, D. L.; RODRIGUES, T. L.; PEREIRA, I. M.; NOVAIS, M. C.; DOS SANTOS, T. C.; GOMES, A. C. Influência de parâmetros meteorológicos na geração de energia em painéis fotovoltaicos. *In*: Editora Científica Digital (org.). **Open Science Research III**. v. 3, Guarujá: Editora Científica Digital, 2022, p. 2861–2873. DOI: http://dx.doi.org/10.37885/220308404.

PORTO, E.; SUSKI, C. Influência dos elementos meteorológicos na eficiência da geração de energia elétrica em células fotovoltaicas. **Estrabão**, v.2, p.223–229, 2021. DOI: https://doi.org/10.53455/re.v2i.53.

POSSO, F.; GONZÁLEZ, J.; GUERRA, F.; GÓMEZ, H. Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica. **Revista Geográfica Venezolana**, v. 55, n. 1, p. 27–43, 2014.

RATHORE, N.; PANWAR, N. L. Outline of solar energy in India: advancements, policies, barriers, socio-economic aspects and impacts of COVID on solar industries. **International Journal of Ambient Energy**, v. 43, n. 1, p. 7630–7642, 2022. DOI: https://doi.org/10.1080/01430750.2022.2075925.

REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. **Renewables 2017**: Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat. 2017. Disponível: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2017_Full-Report_English.pdf.

REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. **Renewables 2023** Global Status Report collection: Renewables in Energy Supply. Paris: REN21 Secretariat. 2023. Disponível: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR-2023_Energy-Supply-Module.pdf.

RIBEIRO NETO, T. F.; SILVA, A. H. G.; GUIMARÃES, I. M.; GOMES, M. V. T. Extensive fish farming in Lower São Francisco River Basin in Sergipe State, Brazil. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 4, n. 1, p. 62-69, 2016. DOI: https://doi.org/10.2312/Actafish.2016.4.1.62-69.

RODRIGUES, M. G.; GONÇALVES, P. H.; ZIEBELL, C. S.; ENGEL, E. R. M.; FREDERICO, C. Padronização e análise de ilha de calor urbano: coleta de dados com sistema móvel em Goiânia-GO. **Impact Projects**, v. 3, n. 2, p. 181-200, 2024. DOI: https://doi.org/10.59279/impact.v3i2.2903.

RUBIO-ALIAGA, Á.; SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; BENHAMOU, M.; MOLINA -GARCÍA, A. GIS based solar resource analysis for irrigation purposes: Rural areas comparison underground water scarcity conditions. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v.156, p. 128–139, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.06.045.

SANTIAGO, C. M. C.; SALES, M. C. L.; PAULA J. E. A. Caracterização físico-ambiental da bacia do rio São Nicolau- semiárido piauiense. **Revista Equador**, v. 1, n. 1, p. 118-139, 2013. DOI: https://doi.org/10.26694/equador.v2i1.1035.

SANTOS FILHO, L. G. A.; AQUIAR, S. V. A contribuição do projeto “Mais Piscicultura” para a capacitação de pequenos e futuros piscicultores no norte do Piauí. **Revista Extensão**, v. 10, n. 1, p. 123–130. 2016.

SCORVO FILHO, J. D.; FRASCÁ-SCORVO, C. M. D.; PESSOA, M. C. P. Y.; LOSEKANN, M. E.; MOREIRA, R. A.; LUCHINI, G. A.; BORGHESI, R. Sistema de produção de tilápia em tanque-rede nas regiões Norte e Nordeste brasileiras. *In:* SILVA, F. F. (org.). **Aquicultura e Pesca:** Adversidades e Resultados 2. Atena, Ponta Grossa. 2019. p. 176–195. DOI: http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.16119151018.

SHAMSUDDUHA, M.; TAYLOR, R. G.; HAQ, M. I.; NOWREEN, S.; ZAHID, A.; AHMED, K. M. U. The Bengal water machine: quantified freshwater capture in Bangladesh. Science, v. 377, n. 6612, p. 1315-1319, 2022. https://doi.org/10.1126/science.abm4730.

SILVA, I. A.; PINHEIRO, V. C. N.; FRANCATO, A. L. Otimização de funcionamento de bomba hidráulica e benefícios associados ao armazenamento de energia. **Labor e Engenho**, v. 17, p. e023018-e023018, 2023. DOI: https://doi.org/10.20396/labore.v17i00.8674358.

SILVA JÚNIOR, P. C.; COSTA, J.; MORAES, A. M. Estudo e avaliação da implantação de sistemas fotovoltaicos no meio rural em associações e cooperativas piauienses. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 11, n. 2, p. 115–123, 2020. DOI: https://doi.org/10.59627/rbens.2020v11i2.316.

SILVA, N. T. P. Geração fotovoltaica no semiárido pernambucano uma explanação do potencial energético do sertão do Pajeú. **Revista Multidisciplinar do Sertão**, v. 3, n. 3, p. 293-301, 2021. DOI: https://doi.org/10.37115/rms.v3i3.355.

SILVA, O. A. V. O. L.; MOITA NETO, J. M.; LIRA, M. A. T.; MORAIS, F. H. M. Expansion of photovoltaic systems in multicampi higher education institutions: evaluation and guidelines. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v. 56, n. 4, p. 697–709, 2021. DOI: https://doi.org/10.5327/Z217694781009.

SINGH, D. B.; MAHAJAN, A.; DEVLI, D.; BHARTI, K.; KANDARI, S.; MITTAL, G. A mini review on solar energy based pumping system for irrigation. **Materials Today:** Proceedings, v. 43, p. 417–425, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.716.

SOUSA, D. L.; SILVA, O. A. V. O. L.; MORAIS, F. H. M.; LIRA, M. A. T., MORAES, A. M.; ALVES, D. R. S. Economic feasibility of distributed generation for Brazilian households: influence of the new legal framework. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v. 58, n. 1, p. 134–144. 2023. DOI: https://doi.org/10.5327/Z2176-94781574.

SOUSA, M. J.; C.; SILVA, S. M.; SANTOS, F. A. Recursos hídricos do município de Piracuruca (PI). **Revista Somma**, v. 4, n. 1, p. 37–45, 2018. DOI: https://doi.org/10.51361/somma.v4i1.111.

SOUZA, P. A.; SCOMAZZON, A. K.; NOGUEIRA, A. C. R.; GOES, A. M.; SODRÉ, A. A. N.; FÉLIX, C. M.; BOARDMAN, D. R.; OLIVEIRA, E. J.; FAMBRINI, G. L.; MARQUES, J. C.; ANDRADE, L. S.; LONGHIM, M. E.; MEDEIROS, R. S. P.; NASCIMENTO, S. Expedição Biocronorte à bacia do Parnaíba: decifrando a vida antiga e o registro histórico do planeta Terra. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, v. 3, n. 3, p.177–196, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.29327/261865.3.3-12.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JUNIOR, J.; PEREIRA, S. V.; GONÇALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; ALVES, A. R. Atlas de energia solar do estado do paraná-resultados. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 9, n. 1, p. 1–10, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.59627/rbens.2018v9i1.229.

VALER, L. R., MELENDEZ, T. A., FEDRIZZI, M. C., ZILLES, R., & DE MORAES, A. M. Variable-speed drives in photovoltaic pumping systems for irrigation in Brazil. **Sustainable**

**Energy Technologies and Assessments**, v. 15, p. 20–26, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seta.2016.03.003.

VASCONCELOS, M. B.; SOUSA, N. G.; GENARO, D. T.; LUZ, C. A.; TUPINAMBA, M. K. F. Histórico das perfurações de poços tubulares no estado do Piauí. **Revista de Geologia**, v. 27, n. 2, p. 111–126, 2014. DOI: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14758.

VIDAL, M. F. Panorama of fish farming in the Northeast. **Caderno Setorial ETENE**, v. 1, n. 13, p. 13-19. 2016.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica**: conceitos e aplicações. 2 ed. São Paulo: Érica. 2015. 224 p.

YAN, Y.; WANG, Y.; YAN, J.; LIU, Z.; LIAO, Q.; WANG, B. Tech-economic modeling and analysis of agricultural photovoltaic-water systems for irrigation in arid areas. **Journal of Environmental Management**, v. 338, p. 117858–117871, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117858.

ZELL, E.; GASIM, S.; WILCOX, S.; KATAMOURA, S.; STOFFEL, T.; SHIBLI, H.; ENGEL-COX, J.; AL SUBIE, M. Assessment of solar radiation resources in Saudi Arabia. **Solar Energy**, v.119, p.422–438, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.06.031.

ZHANG, J.; LIU, J.; CAMPANA, P. E.; ZHANG, R.; YAN, J.; GAO, X. Model of evapotranspiration and groundwater level based on photovoltaic water pumping system. **Applied energy**, v. 136, p. 1132-1137, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.045.

# 5 INICIATIVAS RECENTES VOLTADAS PARA A INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO NO MEIO RURAL DO PIAUÍ, BRASIL

**Resumo:** Diversos sistemas fotovoltaicos de bombeamento foram instalados no Brasil por meio de política públicas. Os principais programas que diretamente realizaram essas instalações foram o Programa de Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), o Programa Luz Para Todos (PLPT) e o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA). Esses programas apresentaram uma série de problemas e dificuldades, não cumprindo os seus objetivos, e muitos sistemas instalados caíram em desuso. Dessa forma, não houve sucesso nem continuidade dessas políticas na implantação desta tecnologia. Sendo assim, questiona-se: houve a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento no meio rural piauiense a partir de então? Dessa forma, esta pesquisa busca identificar comunidades rurais piauienses que foram beneficiadas com a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, por intermédio de instituições públicas e não-governamentais. Partindo-se das principais instituições públicas de ensino superior do estado do Piauí, utilizando a técnica da bola de neve, foi possível identificar 40 comunidades beneficiadas com a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, através de órgãos públicos, em especial por meio de projetos de extensão de instituições públicas de ensino superior, e também através instituições não-governamentais filantrópicas. Também foi feito uma análise da realidade socioeconômica das comunidades beneficiadas, e apresentadas as principais características e problemas de ordem técnica dos sistemas instalados. A maioria dessas comunidades vivem em situação de vulnerabilidade social, sendo a agricultura familiar de subsistência a principal fonte de renda que não chega a um salário mínimo, e é complementada por auxílios públicos. O acesso à energia, quando existe, é deficitário, e o acesso a água era feito utilizando técnicas rudimentares em rios, riachos, cacimbas escavadas, poços cacimbões. Quando existiam poços tubulares, estes não possuíam bombas para a retirara da água. As principais dificuldades relacionadas ao uso e gestão dos sistemas decorrem da falta de conhecimento por parte dos usuários, da falta de mão de obra especializadas e da falta de assistência pelas instituições promotoras.

**Palavras-chave:** Semiárido, Energia Solar Fotovoltaica, Políticas Públicas.

*RECENT INITIATIVES TO INSTALL PHOTOVOLTAIC PUMPING SYSTEMS IN THE RURAL AREAS OF PIAUÍ, BRAZIL*

***Abstract:*** *Several photovoltaic pumping systems have been installed in Brazil through public policies. The main programs that directly carried out these installations were the State and Municipal Energy Development Program (PRODEEM), the Light for All Program (PLPT) and the Program to Encourage Alternative Energy Sources (PROINFA). These programs presented a series of problems and difficulties, failing to meet their objectives, and a lot of the systems installed fell into disuse. As a result, there was no success or continuity in the implementation of this technology. The question therefore arises: have photovoltaic pumping systems been installed in rural Piauí since then? This research seeks to identify rural communities in Piauí that have benefited from the installation of photovoltaic pumping systems, through public and non-governmental institutions. Starting with the main public higher education institutions in the state of Piauí, using the snowball technique, it was possible to identify 40 communities that have benefited from the installation of photovoltaic pumping systems, through public bodies, especially through extension projects by public higher education institutions, and also through*

*philanthropic non-governmental institutions. An analysis was also made of the socio-economic reality of the beneficiary communities, and the main characteristics and technical problems of the installed systems were presented. Most o these communities live in a situation of social vulnerability, with subsistence family farming being the main source of income, which does not reach the minimum wage, and is supplemented by public aid. Access to energy, when it exists, is deficient, and access to water was made using rudimentary techniques in rivers, streams, dug-out cisterns and cacimbões wells. When there were tube wells, they didn't have pumps to remove the water. The main difficulties related to the use and management of the systems stem from the lack of knowledge on the part of the users, the lack of skilled labor and the lack of assistance from the promoting institutions.*

***Keywords:*** *Semi-arid region, Photovoltaic solar energy, Public policies.*

## *INICIATIVAS RECIENTES DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO EN LA ZONA RURAL DE PIAUÍ, BRASIL*

***Resumen:*** *En Brasil se han instalado varios sistemas de bombeo fotovoltaico a través de políticas públicas. Los principales programas que realizaron directamente estas instalaciones fueron el Programa Estadual y Municipal de Desarrollo Energético (PRODEEM), el Programa Luz para Todos (PLPT) y el Programa de Fomento a las Energías Alternativas (PROINFA). Estos programas presentaron una serie de problemas y dificultades, no cumpliendo con sus objetivos, y muchos de los sistemas instalados cayeron en desuso. Como resultado, no hubo éxito ni continuidad en la implementación de esta tecnología. Surge entonces la pregunta: ¿se han instalado sistemas de bombeo fotovoltaico en la zona rural de Piauí desde entonces? Esta investigación busca identificar las comunidades rurales de Piauí que se han beneficiado de la instalación de sistemas de bombeo fotovoltaico, a través de instituciones públicas y no gubernamentales. A partir de las principales instituciones públicas de enseñanza superior del estado de Piauí, utilizando la técnica de bola de nieve, fue posible identificar 40 comunidades que se han beneficiado con la instalación de sistemas de bombeo fotovoltaico, a través de órganos públicos, especialmente mediante proyectos de extensión de las instituciones públicas de enseñanza superior, y también a través de instituciones filantrópicas no gubernamentales. También se hizo un análisis de la realidad socioeconómica de las comunidades beneficiarias y se presentaron las principales características y problemas técnicos de los sistemas instalados. La mayoría de estas comunidades viven en una situación de vulnerabilidad social, siendo la agricultura familiar de subsistencia la principal fuente de ingresos, que no alcanza el salario mínimo, y se complementa con ayudas públicas. El acceso a la energía, cuando existe, es deficiente, y el acceso al agua se realiza mediante técnicas rudimentarias en ríos, arroyos, cisternas excavadas y pozos de cacimbões. Cuando había pozos entubados, no tenían bombas para extraer el agua. Las principales dificultades relacionadas con el uso y la gestión de los sistemas se derivan de la falta de conocimientos por parte de los usuarios, la falta de mano de obra especializada y la falta de asistencia por parte de las instituciones promotoras.*

***Palabras clave:*** *Región semiárida, Energía solar fotovoltaica, Políticas públicas.*

## 5.1 Introdução

O primeiro sistema fotovoltaico para bombeamento (SFB) de água foi instalado no Brasil no ano de 1981, na cidade de Caicó, Rio Grande no Norte (Varella; Cavaliero; Silva, 2009). Ainda no começo dos anos 80, sistemas experimentais acoplados a pequenos sistemas de irrigação foram instalados nos estados da Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Bahia para verificar a viabilidade desse tipo de aplicação (Fraidenraich; Bione; Vilela, 2006). Porém, até a década de 90, poucos sistemas fotovoltaicos para bombear água haviam instalados. Estima-se não mais que 150 unidades (Fedrizzi; Sauer, 2002).

Para atender populações rurais dispersas e sem acesso à energia elétrica, o governo brasileiro implementou, por meio do Ministério de Minas e Energia, o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), cujo objetivo principal era a eletrificação rural por meio de tecnologias de energia renovável (Barbosa *et al.*, 2000). Embora o PRODEEM tivesse a previsão de utilizar outras fontes renováveis, o programa foi baseado principalmente na instalação de sistemas fotovoltaicos (Trigoso *et al.*, 2010). O programa foi criado em dezembro de 1994, e entre junho de 1996 a dezembro de 2001, instalou aproximadamente nove mil sistemas fotovoltaicos, sendo dividido em seis fases (Varella; Cavaliero; Silva, 2009). Apenas a última fase do PRODEEM foi destinada a instalação dos sistemas para bombeamento de água, devido à estiagem prolongada do ano de 1998, caracterizando como fase emergencial (Borges Neto; Carvalho, 2006).

Dessa forma, as três aplicações principais dos sistemas fotovoltaicos instalados pelo PRODEEM foram a geração de energia elétrica para edificações públicas, a iluminação pública e o bombeamento de água (Galdino; Lima, 2002). Os SFB instalados pelo PRODEEM visavam o fornecimento de água para consumo humano e animal, bem como para a irrigação de pequeno porte (Moraes *et al.*, 2020). Em geral, os sistemas instalados pelo programa seguiam um padrão de 500 Wp por instalação, o que totalizou aproximadamente 5 MWp instalados, a um custo de cerca de 70 milhões de dólares, e desse valor 67% foram destinados a eletrificação de centros de saúde e escolas, 30% para bombeamento e 3% para iluminação pública (Borges Neto; Carvalho, 2006).

No ano de 2003, o Tribunal de Contas da União (TCU), realizou uma auditoria no PRODEEM, identificando vários problemas no programa, emitindo uma série de recomendações e determinações para a sua revitalização, entre elas, a recuperação dos sistemas e a capacitação dos usuários. Porém, devido à falta de pessoal qualificado nas comunidades atendidas o programa não obteve pleno sucesso (Souza; Derzi; Correia, 2004).

No ano de 2005, o PRODEEM foi incorporado ao Programa Luz Para Todos (PLPT), criado pelo Decreto Federal nº 4873/2003, e a partir de então, os sistemas fotovoltaicos instalados, passaram a ser responsabilidade das concessionárias de energia elétrica de cada estado (Shimomaebara; Peyerl, 2022). O programa tinha como objetivo fundamental proporcionar o acesso à energia elétrica para a população do meio rural brasileiro que ainda não possuía acesso a esse bem (Trigoso *et al.*, 2010). No entanto, até os anos de 2010, o PLPT havia desenvolvido poucos projetos envolvendo a energia solar fotovoltaica, de modo que não era possível considerá-lo como um programa de fomento a esta tecnologia (Varella; Cavaliero; Silva, 2011). No entanto, por meio da Resolução nº 83, de 2004 o PLPT passou a instalar sistemas de energia solar fotovoltaica categorizados em duas classes: SIGFI (Sistemas Individuais de Geração com Fontes Intermitentes), quando eram destinados a uma única residência; ou MIGDI (Microssistema Isolado de Geraçãoe Distribuição Intermitente), quando o destino era atender várias residências. Dentro desse âmbito foram instalados diversos sistemas solare em especial na região amazônica (Gomes; García-Sánchez, 2024).

Com vistas à diversificação da matriz energética brasileira, incentivando a produção de energia por meio de produtores independentes, foi criado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), por meio da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002 (Clark; Frias; Corrêa, 2022). A motivação para a criação deste programa foi a crise energética brasileira ocorrida no ano de 2001, quando houveram apagões, racionamento de energia e a necessidade de implantação emergencial de termelétricas (Pereira; Silva Neto, 2021). Porém, o programa não contribuiu para o desenvolvimento da energia solar, pois, na prática, envolveu apenas a energia eólica, as pequenas centrais hidrelétricas e a biomassa, cuja tecnologia de geração já estava mais avançada e capacitada a atingir o consumo em larga escala (Varella; Cavaliero; Silva, 2011).

Logo, as políticas que, de fato visavam a instalação direta de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água não alcançaram seus objetivos, e os sistemas instalados caíram no desuso, ficaram obsoletos, ou mesmo foram removidos dos seus locais de instalação. De acordo com Moraes *et al.* (2020), “após o PRODEEM, não se tem notícia da implantação de grande quantidade de sistemas fotovoltaicos de bombeamento no Semiárido brasileiro. Os posteriores empreendimentos basicamente estão ligados em sua maioria a instituições não governamentais”. No entanto, o estudo de Oliveira, Rocha e Martins (2015) mostra que também houveram iniciaitivas do Exército Brasileiro para a instalação de SFB no Nordesde do Brasil, onde a instituição fez a perfuração de cerca de 200 poços, instalando uma bomba hidráulica

alimentada por um sistema fotovoltaico capas de encher um reservatório de água de 10.000 L, nos estadodos do Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba e Bahia.

No entanto, políticas relacionadas a financiamentos e linhas de crédito para fontes renováveis de energia, de forma indireta também puderam contribuir para a instalação de SFB. O Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE), criado pelo artigo 159 da Constituição Federal de 1988 e regulamentado pela Lei nº 7.827/1989, disponibiliza uma linha de crédito denominada FNE Sol, iniciada em maio de 2016, que pode financiar até 100% do sistema fotovoltaico a ser instalado na área de atuação da SUDENE (Bezerra, 2022). No ano de 2019 houveram 505 financiamentos voltados para a instalação fotovoltaica, dos quais 495 foram voltados para produtores rurais. Políticas de financiamento recentes como o Programa de Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica na Produção Agropecuária (INOVAGRO), impulsionaram investimentos em projetos de energia renovável em propriedade rurais no Piauí através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (Cruz, 2023) possibilitando a aquisição de sistemas fotovoltaicos.

Sendo assim, é possível se questionar, pondo como pergunta norteadora desta pesquisa, se outros sistemas fotovoltaicos de bombeamento foram instalados no meio rural piauiense a partir de então, por intermédio de políticas de cunho governamental e de projetos de instituições não-governamentais. Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo identificar sistemas fotovoltaicos de bombeamento instalados em comunidades rurais do Piauí (PI) através de iniciativas de instituições públicas e não-governamentais.

## 5.2 Metodologia

Para se alcançar o objetivo proposto, optou-se em trabalhar com pesquisa aplicada de natureza exploratória, com abordagem quali-quantitativa, realizada por meio de pesquisa de campo realizada no período de setembro de 2023 a janeiro de 2025. Para a identificação de comunidades beneficiadas com a instalação de SFB, foi utilizada a técnica conhecida como Bola de Neve, que, de acordo com Vinuto (2014), é adequada por ser útil para a realização de estudos de grupos de difícil acesso ou onde não se sabe a sua quantidade exata.

Como ponto inicial para a bola de neve, foi feita uma consulta nas principais instituições públicas de ensino superior do estado do Piauí, a saber: Instituto Federal do Piauí (IFPI), Universidade Estadual do Piauí (UESPI) e Universidade Federal do Piauí (UFPI), com o intuito de identificar projetos próprios ou parcerias com outros órgãos públicos que realizaram a instalação de SFB em comunidades rurais no estado do Piauí. Dessa forma, foram identificadas

as primeiras comunidades beneficiadas e, a partir de então, essas instituições indicaram outras instituições promotoras. E assim, foram sendo identificadas as comunidades beneficiadas, e essa busca foi realizada até que não fosse mais possível identificar nenhuma outra instituição promotora ou comunidades. Buscou-se, então, realizar o contato com todas as comunidades e com as instituições promotoras, para se obter informações relacionadas às condições atuais dos sistemas, bem como a localização das comunidades, para que fossem feitas visitas, e, através da observação *in loco*, foram identificadas as principais características desses sistemas.

Vale a pena ressaltar que foram visitadas apenas as comunidades em que se conseguiu informações concretas a respeito da real existência de sistemas, pois em algumas comunidades que foram informadas pelas instituições, os sistemas não existiam mais por conta de problemas diversos como furto dos equipamentos, sistemas que haviam sido recolhidos por mal funcionamento, ou mesmo, sistemas que não se sabia de nenhuma informação sobre o seu destino, pelo fato de as instituições promotoras não atuarem mais, ou terem passado por mudanças de gestão.

Por fim, com o interesse de compreender a realidade socioeconômica das comunidades em que foram instalados os sistemas, foram feitas entrevistas semiestruturadas (Apêndice A) junto aos líderes comunitários e/ou usuários dos sistemas com intuito de se levantar informações anteriores à instalação dos sistemas, como por exemplo: as principais atividades econômicas desenvolvidas, os tipos de alimentos produzidos, além das condições de acesso à água e à energia elétrica.

Ressalta-se que o levantamento de dados foi autorizado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), sobr o Parecer de número 6.238.395, de acordo com a Resolução 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde (CNS). A fim de garantir o compromisso ético com os entrevistados, os participantes da pesquisa assinaram Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice B), e com o intuito de manter a sua privacidade, estes encontram-se referidos no texto da seguinte forma: “E.número, idade, ano”.

## 5.3 Resultados e discussão

### *5.3.1 Identificação das comunidades beneficiadas*

Após o contato com as comunidades, identificou-se que alguns dos sistemas haviam sido recolhidos por órgãos públicos municipais, especialmente pela falta de uso por parte das comunidades; outros não existiam mais e não se sabia o destino dado aos equipamentos,

possivelmente por terem sido furtados ou totalmente depredados; e alguns deles ainda estavam instalados nas comunidades, mas encontravam-se inoperantes, pela falta de alguns dos componentes que estavam danificados, ou por não estar cumprindo a finalidade a que se destinavam. Na Tabela 5.1 são apresentadas as principais informações reativas aos SFB que foram identificados nesta pesquisa.

**Tabela 5.1.** Situação dos SFB identificados durante a pesquisa.

| Município | Localidade | Potência | Instituições Promotoras | Situação |
|---|---|---|---|---|
| Altos | Poço dos Negros | 280 W | UFPI | Ativo |
| Boa Hora | Flores | 285 W | UFPI | Parado |
| Brasileira | Vereda | 280 W | UFPI | Ativo |
| Campo Maior | Bola | 175 W | UFPI | Ativo |
| Currais | Laranjeiras | 285 W | UFPI | Parado |
| Floriano | Morro do Tiro | 1,5 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| Floriano | Meladão | 1,5 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| Floriano | Princesinha | 2,5 kW | Caritas Brasileira | Parado |
| Floriano | Gabriel Kalume | 600 W | Caritas Brasileira | Ativo |
| Floriano | Tabocas | 1,5 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| Floriano | São Joaquim | 10 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| Floriano | Bom Sucesso | 5 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| Ilha grande | Labino | 400 W | Caritas Brasileira | Ativo |
| José de Freitas | Pedra de Amolar II | 565 W | IFPI/Iniciativa Privada | Ativo |
| José de Freitas | Cadoiz | 175 W | UFPI | Ativo |
| José de Freitas | Sobradinho | 280 W | UFPI | Ativo |
| José de Freitas | Barbosa | 285 W | UFPI | Ativo |
| José de Freitas | Marcos | 1,3 kW | UFPI | Ativo |
| Nazaré do Piauí | Piçarra | 3 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| Nazária | Passagem de Santo Antônio | 1,5 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| Oeiras | Morro Redondo | 2,7 kW | IFPI | Ativo |
| Oeiras | Boca da Vereda | 2,7 kW | Prefeitura de Oeiras | Ativo |
| Oeiras | Pombinhos I | 1,3 W | Prefeitura de Oeiras | Ativo |
| Oeiras | Pombinhos II | 1,3 W | Prefeitura de Oeiras | Ativo |
| Oeiras | Lageiro | 175 W | Prefeitura de Oeiras | Ativo |
| Oeiras | Malhada das Pedras | 1,2 kW | UFPI | Ativo |
| Oeiras | Alto Bonito | 175 kW | UFPI | Ativo |
| Oeiras | Ponta da Serra | 175 kW | UFPI | Parado |
| Oeiras | Caldeirões | 175 W | UFPI | Parado |
| Oeiras | Baixas | 1,3 kW | UFPI | Ativo |
| Paulistana | São Martins | 285 W | UFPI | Desativado |
| Porto | Cassianos | 280 W | UFPI | Desativado |
| Santa Rosa do Piauí | Pé da Serra | 175 W | UFPI | Ativo |
| Santo Inácio do Piauí | Barra | 175 W | UFPI | Desativado |
| São Francisco do Piauí | Malhada Grande | 8 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| São João da Varjota | Fazenda Esperança | 2,7 kW | UFPI | Parado |
| Teresina | 17 de Abril II | 4 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| Teresina | 8 de Março | 2,2 kW | Caritas Brasileira | Parado |
| Teresina | 17 de Abril I | 1,5 kW | Caritas Brasileira | Ativo |
| Teresina | Toco Vermelho | 5 kW | SEAGRO-PI | Ativo |

Fonte: Elaborado pelo autor.

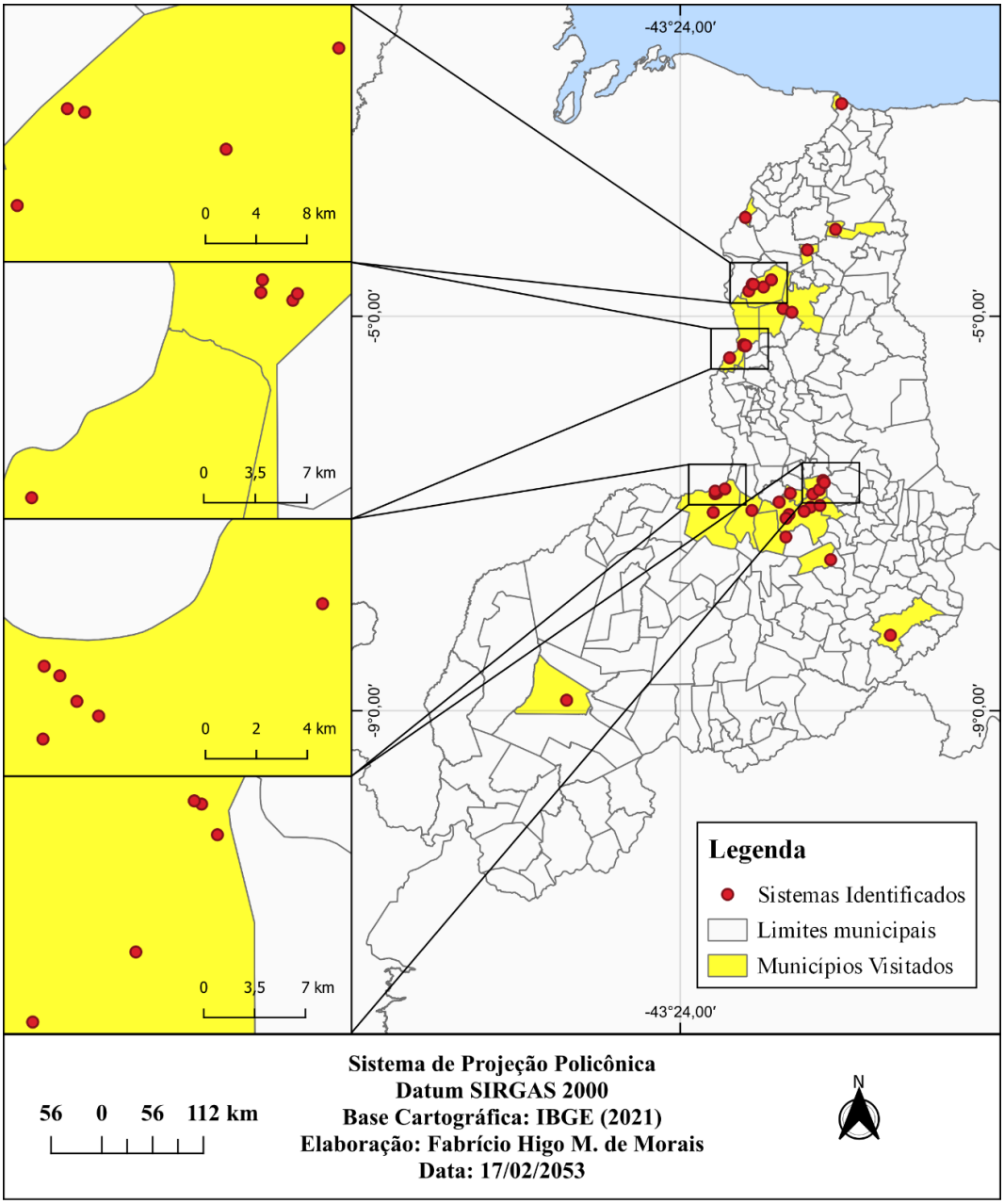
No que tange às instituições promotoras, destacam-se os sistemas instalados pela UFPI, por meio do projeto de extensão universitária denominado Canindé Solar, que ao todo instalou 20 sistemas. O projeto teve como objetivo instalar sistemas de energia solar fotovoltaica em poços sem acesso à energia elétrica de forma convencional, para bombear água para uso na agricultura familiar, tendo como preferência comunidades rurais localizadas no semiárido (UFPI, 2019). Iniciado no ano de 2019, o projeto instalou 11 sistemas distribuídos nos municípios de Oeiras, Campo Maior, José de Freitas, Santa Rosa do Piauí e Santo Inácio do Piauí, com recursos oriundos de uma emenda parlamentar. No mesmo ano o projeto recebeu uma premiação em dinheiro da Organização das Nações Unidas (ONU) que foi destinada à instalação de mais 10 unidades em outros municípios (FADEX, 2021). Para a sua execuçãoe para a identificação das comunidades se enquadravam no perfil necessário para serem beneficiadas o projeto contou com o apoio do Instituto Federal do Piauí (IFPI), da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Piauí (EMATER), do Centro Educacional São Francisco de Assis (CEFAS), localizado no município de Oeiras, e do Instituto Piauí Solar. Desse total, foram visitados 19 sistemas instalados em comunidades rurais do Piauí.

Nesse mesmo contexto, foram identificados na pesquisa dois sistemas instalados por iniciativas próprias do IFPI. Um deles foi instalado por meio de um projeto do *campus* Oeiras, que foi selecionado no Edital n° 015/2017, de Energias Renováveis, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI), no ano de 2019 (IFPI, 2019), e o outro foi implantado através de uma parceria realizada entre o *campus* José de Freitas e empresários locais que, por motivos pessoais, desejavam investir parte dos seus recursos de forma filantópica. Em termos de instituições não-governamentais, destaca-se o caso da Caritas Brasileira, organismo da Igreja Católica que, dentro de sua missão, busca fornecer ferramentas para transformar a vida de pessoas empobrecidas e que estão em situação de vulnerabilidade social (CARITAS, 2025). Ao todo foram identificados na pesquisa 14 sistemas instalados pela instituição nos municípios de Teresina, Floriano, Ilha Grande, Nazaré do Piauí, Nazária e São Francisco do Piauí.

Durante a pesquisa foi identificado apenas um sistema instalado por meio de iniciativa governamental de órgãos estatuais, que é o caso da Secretaria de Estado do Agronegócio e Empreendedorismo Rural do Piauí (SEAGRO), o que demonstra a necessidade de políticas públicas para o atendimento de comunidades rurais, em especial as que vivem em situação de vulnerabilidade. De acordo com Rocha *et al.* (2021), a maioria das políticas públicas não conseguem articular ações que promovam a resiliência das comunidades do meio rural. Para Nobre e Carvalho (2020) isso acontece porque as ações empreendidas são pontuais, isoladas e setorizadas, não se vinculando a outras ações e projetos, em especial ao de outras instituições.

Já na Figura 5.1 pode ser visto um mapa com a espacialização desses sistemas, com destaque para os municipios que apresentavam sistemas muito próximos uns dos outros, com fins de facilitar a visualização dos locais de instalação.

**Figura 5.1.** Localizaçaodos SBB identificados na pesquisa.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se que, dentre os municípios, Oeiras foi aquele onde mais foram instalados sistemas, tendo sido identificado a instalação de dez sistemas. Vale a pena ressaltar que, de acordo com a Secretaria de Agricultura do Município, entre 2020 e 2024, foram instalados aproximadamente 20 sistemas fotovoltaicos em assentamentos e comunidades rurais, algumas

delas distantes da rede elétrica. Porém, desse total, que a prefeitura instalou, somente conseguiu-se localizar 4 desses sistemas e fazer contato com os moradores.

Ressalta-se que as comunidades visitadas se situam em municípios considerados rurais pela nova categorização do IBGE apresentada no documento intitulado “Proposta metodológica para classificação dos espaços do rural, do urbano e da natureza no Brasil”, que categoriza os municípios nas seguintes tipologias: Espaços Urbanos, Rurais Remotos, Rurais Adjacentes e Espaços de Transição (IBGE, 2023). Ademais, mesmo as comunidades de municípios considerados urbanos pelo IBGE, localizam-se fora da zona urbana, ou seja, ainda em zonas consideradas rurais de seus municípios. Vale a pena ressaltar, ainda, que 100% das comunidades visitadas, situam-se dentro da delimitação do Semiárido Brasileiro (SUDENE, 2024).

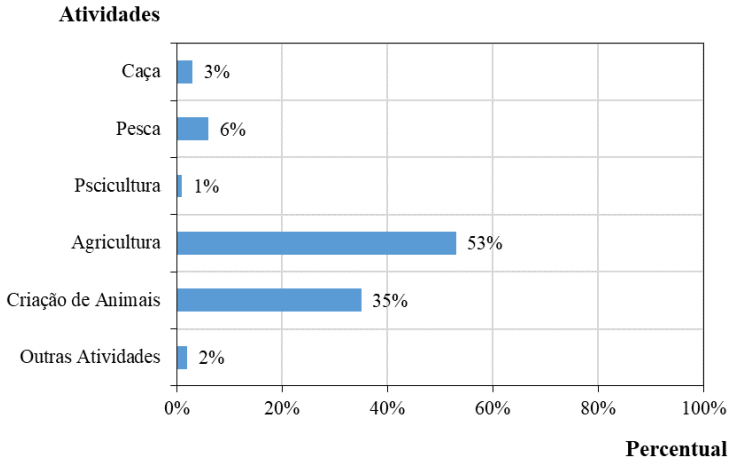
Vale a pena ressaltar, também, que durante a fase de identificação dos sistemas percebeu-se que as instituições promotoras atuavam de forma isolada, e em algumas vezes desconheciam as iniciativas umas das outras. Dessa forma, acredita-se que possam existir outros SFB instalados no meio rural piauiense, além dos que foram identificados nesta pesquisa. Nesse sentido, de acordo com Rabelo *et al.* (2023), faz-se necessário que haja parcerias entre as instituições governamentais e não-governamentais na implementação de propostas de transformação social e no desenvolvimento de políticas públicas para a diminuição da vulnerabilidade das comunidades do meio rural do semiárido.

### *5.3.2 Realidade socioeconômica das comunidades*

a. Atividades produtivas das comunidades beneficiadas

Na Figura 5.2 podem ser vistas as principais atividades produtivas que eram desenvolvidas nas comunidades beneficiadas para a sobrevivência da população antes da instalação dos sistemas. Percebe-se que as principais atividades eram a agricultura e a criação de animais. De acordo com Silva (2022), o estado do Piauí possui características sociais que estão ligadas ao meio rural. Segundo o autor, a população rural sobrevive da prática de atividades voltadas para a subsistência, como é o caso da agricultura familiar, bem como de atividades voltadas para o mercado, como a pecuária e o extrativismo.

**Figura 5.2.** Principais atividades econômicas desenvolvidas nas comunidades visitadas.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foram identificadas, mas de forma muito tímida e isolada, a caça e a pesca. De acordo com Costa Filho e Morais (2021), a caça e a pesca eram atividades que contribuíam para a complementação da alimentação de muitas famílias dentro do território piauiense. Essas atividades foram bastante desenvolvidas nas proximidades da região dos grandes rios (Poti e Parnaíba), nas zonas de lagoas ao longo do estado, bem como nas regioes litorâneas, principalmente entre os séculos XVI e XX. Mas como os resultados encontrados nesta pesquisa demonstram, e alguns locias, em especial os isolados geograficamente, e nas regiões litorâneas, essas atividades ainda se fazem presentes.

No caso da agricultura, os principais alimentos produzidos nas comunidades visitadas são as hortaliças, como a alface, coentro e cebolinha; leguminosas como a macaxeira, o milho e o feijão, e frutas como o caju, a banana e a melancia. Esses alimentos geralmente são produzidos no período das chuvas, que em geral vai de dezembro a maio, podendo se estender até junho, época da colheita de algumas espécies, ou iniciar o plantio ainda entre outubro e novembro, quando começam as primeiras chuvas, dependendo da região do estado. O seguinte relatado reforça essa situação:

> *A criação é o ano todo, já o plantio, como você sabe, que a gente não tem a irrigação, nem nada neh... o plantio é por período, por motivo de água mesmo... no período do inverno. O inverno nosso, aqui mesmo, é considerado de dezembro a maio. Antigamente os inverno começava era em novembro* (E.14, 45 anos, 2024).

Estas informações estão de acordo com o estudo de Lima (2017), que aponta que o estado do Piauí tem os menores índices pluviométricos nos meses sem chuva, no período de junho a novembro. Os meses de chuva, que vão de dezembro a maio, contribuem para as

maiores taxas de deflúvio da Bacia do Rio Parnaíba, sobre a qual o estado do Piauí está assentado, promovendo manutenção das águas subterrâneas do estado. A esse respeito, Silva *et al.* (2013) afirmam que na região sul do estado, o período chuvoso inicia em outubro e se prolonga até março, e os meses mais chuvosos vão de dezembro a fevereiro. Na porção central do estado, as chuvas têm início na segunda quinzena de novembro e vão até abril, com os meses mais chuvosos sendo janeiro, fevereiro e março. Já na região norte do estado, as chuvas começam em dezembro, e os meses mais chuvosos são de fevereiro a abril.

Também, existem comunidades que se dedicam a outras atividades tradicionais como forma de obter renda, como a confecção de produtos de artesanato (Figura 5.3a), a fabricação de produtos caseiros como azeite de coco babaçu ou tucum (Figura 5.3b), a fabricação de farinha de mandioca, feita de forma artesanal, em locais conhecidos como casas de forno (Figura 5.3c), ou mesmo em casa (Figura 5.3d).

**Figura 5.3.** Outras formas de renda desenvolvidas nas comunidades visitadas.



(a) Confecção de produtos de artesanato no Assentamento Poço dos Negros, Altos, PI.



(b) Fabricação caseira de azeite de Tucum, no Assentamento Poço dos Negros, Altos, PI.



(c) Casa de forno para produção de farinha, na localidade Pedra de Amolar II, José de Freitas, PI.



(d) Produção caseira de farinha na comunidade São Martins, Paulistana, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Ressalta-se a existência de comunidades que realizam o beneficiamento da farinha, por meio de processos agroindustriais, como é o caso dos Assentamentos Malhada Grande, em São Francisco do Piauí (Figura 5.4a) e Bom Sucesso, em Floriano (Figura 5.4b), que receberam as casas de forno agroindustriais alimentadas por sistemas fotovoltaicos conectados à rede, por meio da Caritas Brasileira.

**Figura 5.4.** Beneficiamento agroindustrial de farinha.



(a) Casa de forno agroindustrial no Assentamento Malhada Grande, São Francisco do Piauí, PI.



(b) Casa de forno agroindustrial no Assentamento Bom sucesso, Floriano, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Com grandes dificuldades por conta da escassez hídrica, algumas comunidades se dedicam à piscicultura intensiva em tanques escavados (Figura 5.5a), como é o caso das comunidades Sobradinho, em José de Freitas e Ponta da Serra, no município de Oeiras; e, de forma incipiente, a apicultura para a produção de mel (Figura 5.5b), no Assentamento Malhada Grande, em São Francisco do Piauí.

**Figura 5.5.** Pscicultuta intensiva e produção de mel.



(a) Piscicultura intensiva em tanques escavados, na localidade Ponta da Serra, Oeiras, PI.



(b) Produção de mel de abelha no Assentamento Malhada Grande, São Francisco do Piauí, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

No caso da criação de animais, predomina nas comunidades beneficiadas a criação de galinhas para a produção de ovos e para o abate, além de caprinos, ovinos e suínos para o abate (Figura 5.6). Porém, em alguns locais também há a criação de bovinos, mas em pequena escala, e de forma isolada, geralmente para a produção de leite.

**Figura 5.6.** Criação de suínos para abate na localidade Ponta da Serra, Oeiras, PI.



Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Essa produção geralmente acontece o ano todo, porém, com grandes dificuldades para fornecer a água para os animais beberem nos períodos mais secos. Nesses casos os animais eram criados soltos para procurarem comida e água por conta própria, como também colocou outro informante ao afirmar: "*A gente nem podia criar, daquele jeito ali, preso, porque não tinha como a gente manter com água*" (E.15., 60 anos, 2024).

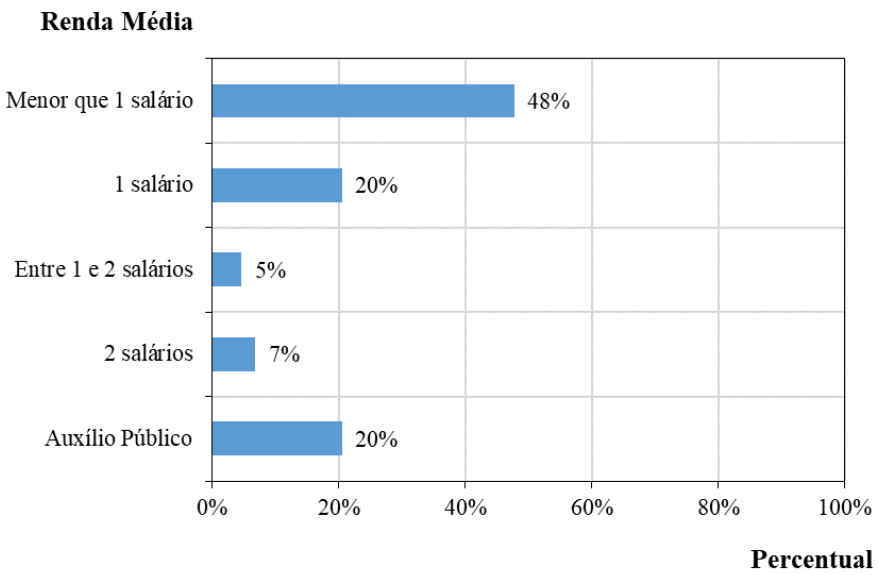
Dessa forma, constata-se a grande necessidade hídrica presente no meio rural piauiense, que por estar localizado dentro da região do semiárido brasileiro, tem grande dependência do período chuvoso para o desenvolvimento das atividades produtivas. Como consequência, as dificuldades na produção de alimentos impactam diretamente na qualidade de vida da população, tornando-a ainda mais vulnerável e dependente do clima. Para Santos *et al.* (2023) a vulnerabilidade presente nas comunidades rurais do semiárido, vista em termos sociais,

ambientais e institucionais, vai além das fragilidades físicas e naturais. As condições de vida precária são agravadas pela má governança do setor público, pelos altos índices de pobreza e desigualdade, pelo baixo dinamismo econômico e também pela falta de meios que auxiliem no desenvolvimento sustentável das comunidades.

Nessas comunidades, as atividades produtivas, em geral, são desenvolvidas por todos os membros da família, em que tanto os ônus quanto os bônus da produção são compartilhados por todos os membros. Segundo Sousa *et al.* (2022), nas unidades de agricultura familiar piauienses existe uma capacidade maior de absorção da força de trabalho do que nas unidades agrícolas patronais, que se justifica pela utilização em menor quantidade de tecnologias modernas, como a mecanização, que visam reduzir a mão de obra para aumenta os lucros.

Ressalta-se que na maioria das comunidades visitadas, as famílias possuem renda de até um salário mínimo, sendo esta renda proveniente da venda da produção, como pode ser visto na Figura 5.7. Boa parte dos trabalhadores beneficiados pelos projetos são pessoas idosas já aposentadas como trabalhador rural, mas que, para complementar a renda da família, continuam trabalhando como lavradores. Nos períodos que não há produção ou quando esta cai, geralmente quando as chuvas acabam, as pessoas sofrem por não ter a renda advinda da produção, vivendo em situação de pobreza extrema e vulnerabilidade social.

**Figura 5.7.** Renda média das famílias beneficiadas.




Fonte: Elaborado pelo autor.

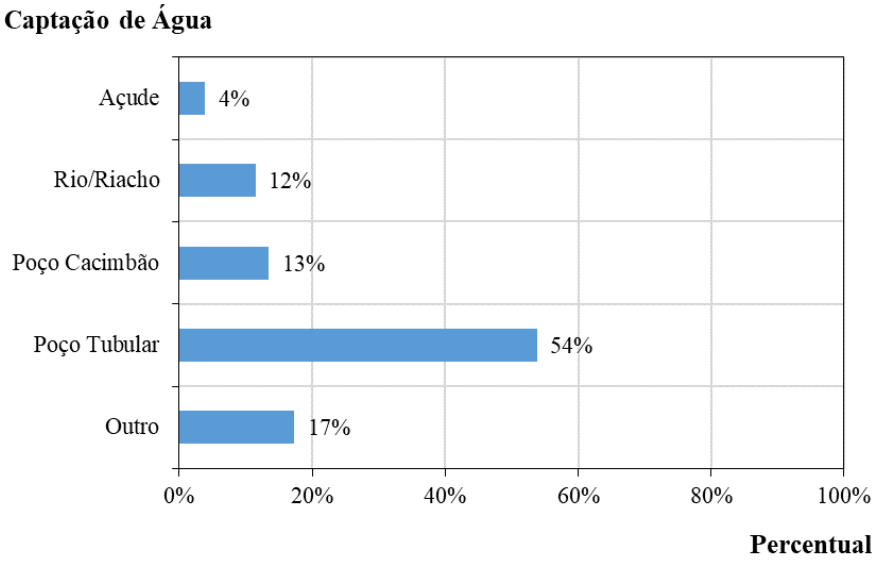
Existem algumas pessoas que sobrevivem por meio de auxílio público governamental, como, por exemplo, o Bolsa Família. Segundo Bursztyn (2020), a transferência de renda por

meio de programas sociais, como o Bolsa Família, levanta críticas por gerar um ciclo vicioso de dependência, por não estar associado às atividades produtivas, e nem dar condições de investir nessas atividades de modo a superar a pobreza extrema, fazendo com que, ao longo do tempo, os beneficiários pudessem se tornar independentes e emancipados do próprio programa. Para Alencar *et al.* (2022), o principal foco do poder público para contribuir para o desenvolvimento sustentável dessas regiões deveria ser a existência de planos de desenvolvimento que considerem as novas relações sociais com a dimensão ambiental de forma proativa.

b. Abastecimento de água

No que tange ao acesso à água, na Figura 5.8 podem ser vistas quais eram as formas de captação de água para abastecimento das comunidades, antes da instalação dos sistemas. No caso das comunidades que já possuíam poços tubulares, esses poços eram escavados pelo poder público para abastecimento doméstico, como por exemplo, no caso de assentamentos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). No entanto, os locais de produção agrícola geralmente eram, em geral, distantes das casas dos moradores, e desprovidos de acesso a água e energia elétrica.

**Figura 5.8.** Formas de captação da água antes da instalação dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Em algumas comunidades, como Barbosa, no município de Altos, os moradores recorriam a olhos d'água naturais (Figura 5.9a) para ter a água necessária para as atividades domésticas, para plantar e para dar aos animais; ou recorriam a água de "barreiros", pequenas barragens escavadas onde estocavam água da chuva para utilizar na irrigação de pequenos plantios, como é o caso das comunidades São Martins, em Paulistana. Também recorriam a água de cacimbas, que geralmente eram sujas e partilhadas com os animais (Figura 5.9b), com é o caso da localidade Pedra de Amolar II; ou puxavam a água de rios e riachos para banhar, irrigar plantações e dar para os animais, de forma manual, carregando baldes de água na cabeça, como é o caso das comunidades Alto Bonito e Pombinhos em Oeiras; e através de motores a combustão (Figura 5.9c), como é o caso da comunidade Ponta da Serra, em Oeiras, porém não consumiam estas águas, em especial no período de chuvas, devido à grande quantidade de barro na água (Figura 5.9d).

**Figura 5.9.** Formas naturais de abastecimento de água.



(a) Olho d'água natural na comunidade Barbosa, José de Freitas, PI.



(b) Cacimba partilhada com os animais na localidade Pedra de Amolar II, José de Freitas, PI.



(c) Motor a combustão para puxar água de riacho, na localidade Ponta da Serra, Oeiras, PI.



(d) Rio com água barrenta, na localidade Alto Bonito, Oeiras, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Geralmente essas formas eram prejudicadas pelo período das secas, pois alguns desses rios, riachos, barreiros e olhos d'água costumavam secar. Em alguns locais, as pessoas eram obrigadas a comprar a água mineral na cidade, ou aguardar o poder público fornecer água por meio de carros-pipas. Dessa forma, também, foram identificadas comunidades que se utilizavam de poços do tipo Cacimbão, escavados pelos próprios moradores para uso comunitário ou particular, como uma tentativa de solucionar esse tipo de dificuldade.

Nesses casos a retirada da água era feita por meio de técnicas manuais e rudimentares, como bombas d'água manual, também conhecida como bomba de corda ou boba rosário (Figura 5.10a); ou ainda, utilizando-se baldes com cordas, ou canos de PVC com uma pedra amarrada na ponta, conhecida popularmente como sonda (Figura 5.10b), também, por meio de gangorras, feitas com toras de madeira giratórias que puxavam baldes de água usando corda (Figura 5.10c), ou também, por meio de rodas d'água, instaladas em rios e riachos (Figura 5.10d).

**Figura 5.10.** Formas tradicionais para captação da água de poços.



(a) Bomba de corda artesanal instalada em poço cacimbão na Localidade Vereda, Brasileira, PI.



(b) Sonda com cano de PVC para puxar água de poço tubular, na Localidade Pedra de Amolar II, José de Freitas, PI.



(a) Gangorra manual instalada em poço cacimbão, na Localidade Laranjeiras, Currais, PI.



(b) Roda d'água para retirar água de riacho, na localidade Ponta da Serra, Oeiras, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Em algumas comunidades, os moradores recorriam a poços de comunidades vizinhas, retirando água para as atividades básicas do dia-a-dia, tendo muitas vezes que pagar pelo transporte dessa água, carregando baldes de água ou utilizando carrinhos de mão e carroças puxadas por animais, para transportar volumes maiores. Observa-se que, estes fatos são similares aos descritos por Moraes *et al.* (2011), que à época de sua pesquisa diagnosticaram situações de dificuldades em se obter água potável, relatando situações em que os moradores de comunidades rurais do estado do Piauí recorriam a técnicas rudimentares para a captação e transporte da água. Mais de dez anos se passaram, e as técnicas, ainda, continuam sendo utilizadas, e em alguns locais, sem perspectiva de mudança.

Em relação às condições sanitárias, percebeu-se que as comunidades visitadas não contam com saneamento básico adequado. Pela dificuldade financeira em que vivem, muitos moradores vivem em casas sem banheiro ou fossa séptica. As necessidades básicas são feitas em locais improvisados, e os banheiros são externos e construídos com lona ou palha, e usados apenas para tomar banho (Figura 5.11).

**Figura 5.11.** Banheiros improvisados para tomar banho.



Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Essas situações problemáticas persistem até os dias de hoje em todo o estado, pois segundo Carvalho e Lopes (2023, p. 73), nas zonas rurais "as dificuldades com falta de água de qualidade para consumo, descarte inapropriado de lixos e esgotos a céu aberto são comuns a inúmeras famílias, e as leis que asseguram os direitos a saneamento são relativamente novas". Nesse contexto, existem muitos casos de pessoas que já tiveram problemas de saúde relacionados à água, que consomem ou mesmo pela falta dela, sendo os mais comuns a diarreia, dores de barriga e problemas renais, como pode ser visto no seguinte relato:

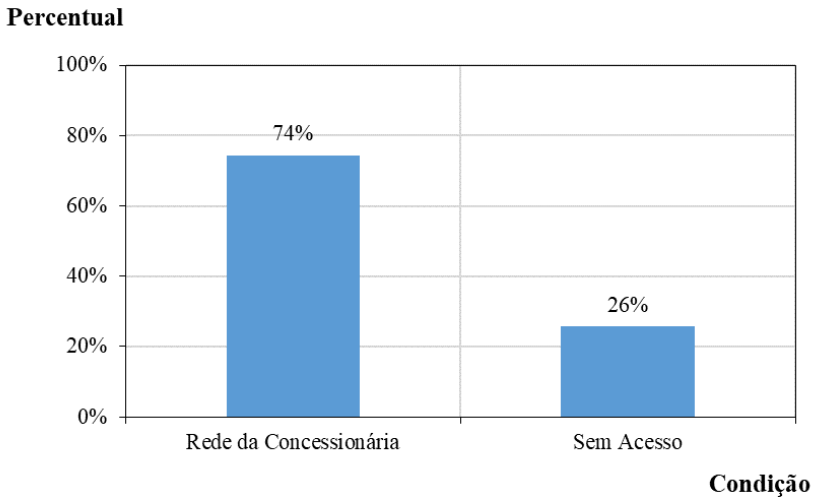
> *Eu achei até que fosse cólera... deu uma dor de barriga na criança, que eu tive com ela internada na UPA quatro dias, até quando fizeram todos os exames e era uma bactéria da água... eu não lembro o nome da bactéria, mas era bactéria da agua. Aí ele [o médico] passou filtro e disse que eu tinha que tratar a água.* (E. 24, 55 anos, 2024).

Para Norberto (2022), o Saneamento Básico é negligenciado no Brasil, tanto no meio urbano, quanto no meio rural, sendo este o mais precário. Tendo em vista as relações de trabalho e moradia no campo, políticas públicas para o saneamento rural são necessárias e urgentes. Dessa forma, para Araújo, Gomes e Carvalho (2024), a política pública é a ferramenta adequada para que necessidades de setores específicos, como o saneamento básico, sejam atendidas de forma plena.

c. Acesso à energia elétrica

Como pode ser visto na Figura 5.12, em relação ao acesso à energia elétrica, a maioria das comunidades já é suprida com energia elétrica da concessionária local, porém, esse acesso é recente, e em muitos locais é deficitário, sendo constante a falta de energia elétrica. Ressalta-se que, apesar de existir o acesso à energia nestas comunidades, os locais onde é feita a produção agrícola (nas roças e currais) geralmente são distantes das casas e, em muitos casos, as ontes de água disponíveis não possuem acesso à energia elétrica.

**Figura 5.12.** Condições de acesso à energia elétrica nas comunidades beneficiadas.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas comunidades onde a rede da concessionária alimenta os poços, em especial os comunitários, é comum a avaria das bombas pela má qualidade da energia elétrica fornecida. Também, é comum a demora no restabelecimento da energia, podendo permanecer sem eletricidade durante vários dias, o que impacta diretamente no abastecimento de água, como pode ser percebido no seguinte relato:

> *Aqui nós tem esse problema de falta e o povo que trabalha nessa coisa, não liga pra importância... Por exemplo, a ainda não chegou ainda... faltou ontem... aí já é obrigado a correr pra lá... porque todo mundo quer lavar, outros quer banhar... Até agora a energia ainda não chegou não... aí, agora de tarde já vem alguém... já pode chegar alguém pra pegar água, pra beber ou pra banhar* (E. 14, 45 anos, 2024).

Nesse contexto, segundo Müller *et al.* (2021), devem existir ações estatais para a transição energética, orientadas para o mercado e para a economia de energia, que envolvam a dimensão da justiça social. Essas ações podem trazer como benefícios a criação de empregos, transferência de tecnologia e conhecimento, bem como oportunidades educacionais, correspondendo melhor às necessidades e vulnerabilidades das pessoas e propiciando mudanças visíveis em suas vidas.

### *5.3.3 Características técnicas dos sistemas instalados*

De acordo com Pereira (2021), de acordo com a potência, existem basicamente três categorias de sistemas fotovoltaicos de bombeamento: sistemas de baixa potência (de 50 a 400 W), que geralmente alimentam bombas de deslocamento positivo com diafragma com

acoplamento através de driver conversor (CC-CC), sistemas de média potência (de 400 a 1500 W) alimentando bombas helicoidais de acoplamento direto ou alimentando bombas multiestágios através de inversor de frequência variável, e sistemas de alta potência (acima de 1500 W) que alimenta bombas centrífugas multiestágios ou de deslocamento positivo.

Em se tratando de aspectos técnicos, quando à forma de conexão, foram identificados sistemas do tipo Conectado à Rede, ou *on-grid*, e sistemas do tipo Isolado, ou *off-grid*, sendo a predominância os sistemas isolados. Dentro desta última categoria, foram identificados sistemas diretamente acoplados à carga, e sistemas que utilizavam *drivers* ou inversores de conexão entre a carga e os módulos.

Os sistemas identificados têm como carga principal bombas submersas instaladas em poços do tipo tubular ou cacimbão, que bombeavam a água diretamente para o uso, como sistemas de irrigação, ou para sistemas de armazenamento de agua para uso posterior, como caixas d'água que eram colocadas em bases de concreto (Figura 5.13a), em bases feitas de alvenaria (Figura 5.13b), em bases feitas de madeira (Figura 5.13c), colocadas diretamente no chão (Figura 5.13d), em manilhas de cimento (Figura 5.13e), ou tanques de concreto construídos no chão (Figura 5.13f).

**Figura 5.13.** Armazenamento de água de alguns dos SFB identificados na pesquisa.



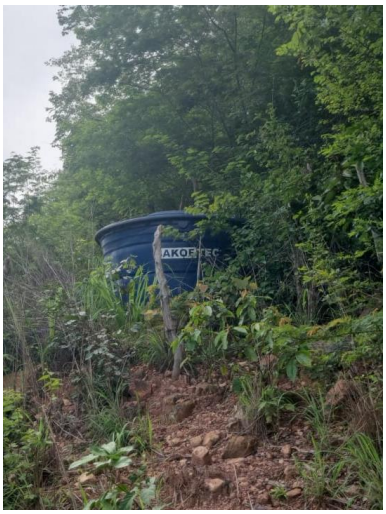
(a) Base de concreto na Localidade Barbosa, José de Freitas, PI.



(b) Base de alvenaria na Localidade Pedra de Amolar, José de Freitas, PI.




(c) Base de madeira, na Localidade Sobradinho, José de Freitas, PI.



(d) Diretamente no chão, na comunidade Lajeiro, Oeiras, PI;



(e) Manilha de cimento, no Assentamento Passagem de Santo Antônio, Nazária, PI.



(f) Tanque de concreto, na localidade São Joaquim, Floriano, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Segundo Calca *et al.* (2021), a água é um recurso vital tanto para o consumo humano quanto para a economia rural. Em áreas isoladas, o acesso à água impulsiona a produção agropecuária, permitindo a irrigação de lavouras e a manutenção da pecuária, atividades essenciais para a subsistência e desenvolvimento dessas comunidades. Nesse contexto, de acordo com Wazed *et al.* (2018), a energia solar fotovoltaica para bombeamento de água vem sendo utilizada por muitas pessoas no meio rural, em especial nos países onde há a redução no custo da tecnologia, de modo quem nesses lugares os sistemas de irrigação já se tornaram sinônimo de irrigação com energia solar, principalmente para os pequenos produtores.

Quanto à potência dos sistemas, verificou-se que os sistemas de menor porte geralmente eram compostos por um ou dois módulos fotovoltaicos (com potências individuais variando entre 175 W e 400 W), eram instalados em armações geralmente confeccionados pelos moradores com madeira local (Figura 5.14a). Nessas mesmas armações também eram instalados os *drivers* de conexão (Figura 5.14b) ou os inversores *off-grid* do sistema (Figura 5.14c), sendo colocados abaixo dos módulos fotovoltaicos, com o intuito de proteger da chuva.

**Figura 5.14.** Detalhes das características físicas dos SFB de pequeno porte identificados na pesquisa.



(a) Sustentação de madeira local, Comunidade Flores, Boa Hora, PI.




(b) *Driver* de conexão, Localidade Bola, Campo Maior, PI.



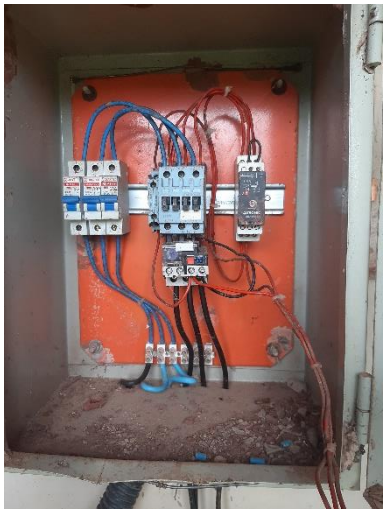

(c) Inversor *off-grid*, Localidade Pombinhos II, Oeiras, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Nesses casos, o sistema visava principalmente fornecer água para diversas finalidades domésticas e produtivas nas comunidades isoladas geograficamente e sem acesso à rede da concessionária. Segundo Haupenthal *et al.* (2021), para os próximos anos estima-se uma diminuição de custos que pode variar entre 30 e 60% para a aquisição de sistemas fotovoltaicos, somado a isso, a baixa necessidade de manutenção, a operação autônoma, facilidade de limpeza e adaptação às necessidades de água fazem com que esta tecnologia seja ideal para suprir a energia no meio rural geograficamente isolado ou afastado da rede elétrica.

Já os sistemas de maior porte eram compostos por vários módulos interconectados perfazendo potências que chegavam aos 10 kW, e contavam com sistema de acionamento e proteção da bomba (Figura 5.15a), e os inversores do tipo *on-grid* (Figura 5.15b) instalados em abrigos construídos em alvenaria (Figura 5.15c). Nesses sistemas, os módulos eram instalados sobre as casas (Figura 5.15d) ou no chão, em bases de metal (Figura 5.15e).

**Figura 5.15.** Detalhes das características físicas dos SFB de maior porte identificados na pesquisa.



(a) Quadro de bomba, no Assentamento 17 de Abril, Teresina, PI.



(b) Inversor *on-grid*, no Assentamento Passagem de Santo Antônio, Nazária, PI.



(c) Abrigo em alvenaria, no Bairro Piçarra, Nazaré do Piauí, PI.



(d) Instalação de módulos em teto, no Assentamento Malhada Grande, São Francisco do Piauí, PI.



(e) Instalação de módulos no chão, na Localidade São Joaquim, Floriano, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Esses sistemas eram geralmente instalados nos casos em que a comunidade já era suprida pela rede da concessionária, para diminuir a fatura de energia, de modo que os usuários pudessem utilizar os valores economizados em outras atividades. Para Valer *et al.* (2016), muitos sistemas fotovoltaicos instalados no meio rural têm como objetivo principal suprir a demanda de energia elétrica de áreas rurais não atendidas adequadamente pelas redes das concessionárias e distantes de grandes centros urbanos.

### *5.3.4 Problemas técnicos e dificuldades no uso e gestão dos sistemas instalados*

No decorrer da pesquisa, em alguns sistemas também foram identificados problemas de ordem técnica (queima da bomba, queima do inversor, danos físicos no *driver* de conexão, cabos rompidos, vazamentos, excesso de vegetação). A queima das bombas se deu,

principalmente, por conta de raízes que cresceram dentro dos poços. Em um dos casos foi possível a retirada da bomba (Figura 5.16a), mas em outro caso, a bomba ficou presa e os moradores cortaram a fiação, isolando o poço (Figura 5.16b). No caso do inversor, a queima se deu por conta da chuva que adentrou a caixa onde ele foi instalado, danificando o aparelho. Até o momento da visita, um novo inversor ainda não havia sido comprado e a caixa de instalação estava vazia (Figura 5.16c).

**Figura 5.16.** Problemas técnicos identificados em alguns dos sistemas.



(a) Bomba submersa com raízes, na localidade Barbosa, José de Freitas.



(b) Poço isolado com bomba presa, na comunidade Cassianos, Porto.



(c) Caixa de instalação vazia, no Assentamnento 8 de Março, Teresina.



(d) Botão do *Driver* de conexão danificado, na localidade Veredas, Brasileira.



(e) Poço tubular com vazamento na comunidade Toco Vermelho, Teresina.



(f) Excesso de vegetação no loca, na localidade Barra, Santo Inácio do Piauí.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Já no caso do *driver*, como se tratava de poço comunitário, o mesmo se danificou com o mau uso. O botão liga-desliga e a tampa dos contatos haviam sido danificadas (Figura 5.16d). Identificou-se que o poço tubular de um dos sistemas de abastecimento doméstico apresentava

vazamento em suas conexões (Figura 5.16e), comprometendo vazão da água que chega aos moradores, diminuindo a vazão e causando desperdício de água. O excesso de água e de vegetação rasteira no local da instalação (Figura 5.16f), em especial no período das chuvas, dificulta a operação pelos moradores e compromete a estrutura física tanto do sistema quanto do poço.

Nesses casos o sistema ficou inoperante apenas até a contratação de um técnico pelas próprias comunidades, porém, em alguns casos não foi possível fazer o reparo por falta de mão de obra ou de equipamentos no mercado local, e o sistema ainda estava inoperante até a data da visita, como foi o caso das comunidades Cassianos, no município de Porto, Flores, em Boa Hora, na horta do bairro Princesina, em Floriano, São Martins, em Paulistana, Caldeirões, Oeiras. Outros sistemas estavam parados por conta do período de chuvas, e quem os moradores desligava o sistema, pois já tinha água suficiente durante esse período, como foi o caso das comunidades Ponta da Serrra, em Oeiras, e da Fazenda Esperança, no município de São João da Varjota.

Outras dificuldades foram evidenciadas nas conversas com os moradores das comunidades beneficiadas, com relação ao uso dos sistemas. Nos locais onde há o abastecimento de energia elétrica, os SFB geralmente são utilizados como forma complementar, em especial nos momentos de falta de energia.

> *As pessoas só pegam água lá quando falta a energia, né... porque quem mora bem perto fica mais fácil. Mas quem mora longe faz de tudo pra economizar água pra não ir até lá. Porque tem que trazer na cabeça, de qualquer forma. [...] É porque assim ó as pessoas pegam água lá quando faltar energia[...]. Porque se não tivesse não tinha onde pegar, né? [...]E se falta energia, a água ta lá pra todos* (E. 4, 50 anos, 2024).

Além disso, segundo os moradores, as bombas são subdimensionadas, ou a quantidade de placas instaladas é pequena para fornecer água em um volume adequado para todos, dessa forma, nos momentos de contingência são comuns, as longas filas e demora para coletar a água.

> *Falta de placa porque se tivesse mais placa aí puxava a água pros outros, né? Porque a água aí é muito boa, muito, muita água tem esse poço aí, mas não tem como puxar pros outros. O sistema tem que ser maior, porque também energia nós não pode pagar. [...] Precisa de mais placas.* [...] *O poço tem vazão, mas eu acredito que a capacidade de vazão do sistema não dá. Porquê... porque é uma placa. Quando a demanda tá grande ela não dá conta* (E. 1, 68 anos, 2024).

Nos locais onde a água é armazenada para o uso posterior, ou o sistema de armazenamento tem um volume insuficiente para a demanda, ou há a demora em enche-lo por completo. Também existem casos em que o sistema de armazenamento não é utilizado

adequadamente por falta de conhecimento do morador responsável, ou pela falta de condições para operar o sistema.

> *No momento eles não estão botando as duas caixas pra encher, pra poder soltar tudo junto. Porque uma das caixas é pra abastecer esse lado aqui e a outra joga pra lá. Porque tentaram botar pra ir junto, mas não tava dando certo, aí fizeram essa divisão. Porque so era uma caixa, que era aquela lá perto do poço. Aí depois, como num tava dando, aí botaram mais essa outra ali, aí o povo so enche essa, e a outra lá num enche. Porque a pessoa que tá indo botar não tem paciência de encher uma, pra esperar e encher a outra. Aí só enche uma e solta. Aí num tá indo. Mas se tivesse botando pra encher as duas, aí ia pra todo mundo. O problema é só esse aí... Por conta de ter que ir ligar... desligar... vai lá e vem... É umas três hora pra encher cada caixa. Aí ninguem bota pra encher as duas, porque ninguem quer ficar indo lá, porque é ruim também pra ir pra lá... é subindo, subindo, só subindo... sobe e desce... sobe e desce ladeira... aí o povo num quer... E não está enchendo não é por conta da energia. As pessoas não querem ir ligar. Se ligar enche. Porque quando o rapaz botou a outra caixa, foi testado lá. Encheu uma primeira e deixou a outra encher. Aí foi água pra todo mundo* (E. 25, 71 anos, 2024).

Além disso existem casos em que o sistema de armazenamento havia sido, de alguma forma, danificado e por isso foi removido do local, dificultando o uso comunitário da água, nos momentos de contingência, ou quando não há a geração, como pode ser visto na Figura 5.17.

**Figura 5.17.** Instalações com sistema de armazenamento de água danificado.



Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Em outros locais, o sistema não fornece água durante boa parte do dia pois existem grandes árvores no entorno no local de instalação do sistema, causando sombreamento em boa parte do dia (Figura 5.18). Dessa forma, o tempo de uso do sistema é limitado, dificultando a armazenagem da água a tempo suficiente para o uso, alterando os horários ideais para a irrigação de cultivos.

Dessa forma, apesar dos avanços e benefícios trazidos para a população vulnerável, segundo Moraes *et al*. (2020), ainda existem falhas nos arranjos institucionais que possibilitem às comunidades terem mais autonomia após a saída das instituições promotoras. Dentre essas falhas podem ser citadas a ausência de uma política de manutenção dos sistemas instalados, falta de mão de obra especializada e a não realização do processo adequado de transferência tecnológica, que, quando aliados à forte dependência da população pelo poder público e entidades assistenciais, faz com que as iniciativas que envolvem novas tecnologias não logrem o êxito esperado.

**Figura 5.18.** Sistemas com grande quantidade de árvores nas proximidades causando sombreamento nos módulos.



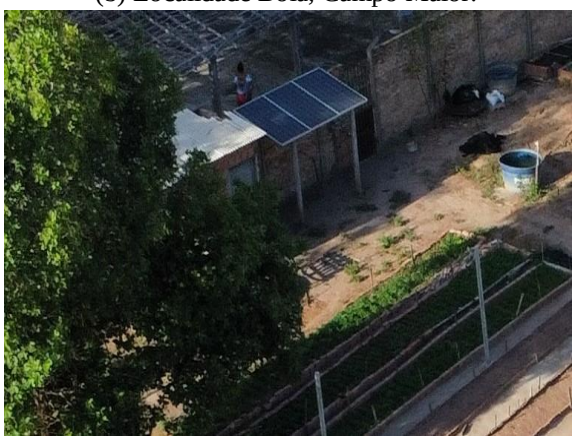
(a) Comunidade Labino, Ilha Grande.



(b) Localidade Bola, Campo Maior.



(c) Comunidade Lajeiro, Oeiras..



(d) Horta do Meladão, Floriano.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Ressalta-se que na maioria dos casos, as instituições promotoras não tinham conhecimento dessas situações. Além disso, a inexistência de pessoas capacitadas nas proximidades das comunidades para dar manutenção nesses sistemas e suporte aos moradores, fez com que muitos ficassem parados, ou não funcionassem adequadamente após os próprios moradores tentarem fazer o concerto.

## 5.4 Considerações Finais

Esta pesquisa teve como objetivo identificar sistemas fotovoltaicos de bombeamento instalados em comunidades rurais piauienses através de iniciativas de instituições públicas e não-governamentais, contribuindo para diagnosticar o cenário atual relacionado às políticas públicas direcionadas para a instalação destes sistemas como uma alternativa para o acesso à água no meio rural.

Como características socioeconômicas, as comunidades do meio rural piauiense que foram visitadas sofrem com a falta de condições adequadas para uma vida digna e seus moradores vivem em situação de vulnerabilidade social. A agricultura de subsistência e a criação de animais para abate são o principal meio de vida, e o excedente apenas complementa a baixa renda das famílias, que em sua maioria, não chega a um salário mínimo. Muitas famílias sobrevivem de auxílio público, sendo este auxílio fundamental para a sobrevivência, em especial nas épocas do ano em que não há produção, por conta da falta de chuvas. A falta de saneamento básico adequado, a escassez hídrica e o fornecimento deficitário de energia elétrica são características ainda presente, e que aumentam ainda mais a situação de vulnerabilidade.

Foram identificadas iniciativas para a instalação de sistemas, em grande parte provenientes de instituições públicas de ensino superior do estado, como é o caso da UFPI, e do poder público municipal, caso do município de Oeiras, além de iniciativas de instituições não-governamentais, caso da Cáritas Brasileira, porém, com baixa quantidade de iniciativas do governo estadual. Ressalta-se que as instituições promotoras desconhecem as iniciativas umas das outras, e muitas vezes atuam de forma isolada e não planejada, de modo que ainda existem muitas dificuldades a serem sanadas. Tendo em vista a extensão do estado, com grande parte composta por municípios rurais e localizada dentro da região de clima semiárido, as iniciativas identificadas na pesquisa são ainda incipientes, em termos de população atingida.

Dentre as principais dificuldades encontradas estão a falta de conhecimento operacional pelos moradores, que em sua maioria, apenas sabem ligar e desligar os sistemas, podendo o mau uso causar danos aos sistemas; a falta de mão de obra especializada e equipamentos de reposição nas proximidades das comunidades, o que interrompe a operação dos sistemas por grandes períodos; além da falta de assistência por parte das instituições promotoras ou de parcerias com outras instituições após a instalação dos sistemas, o que dificulta o uso do sistema em todo o seu potencial, ficando restritos apenas a situações de contingenciamento.

## 5.5 Referências

ALENCAR, P. G.; ESPÍNDOLA, G. M.; FAÇANHA, A. C.; ALENCAR, M. N. A. Semiárido piauiense: expansão da cajucultura e transformações no território. **Revista Geográfica de América Central**, v. 68, n. 1, 409-439, 2022. DOI: https://doi.org/10.15359/rgac.68-1.15.

ARAÚJO, W. F.; GOMES, J. M. A.; CARVALHO, J. N. F. Saneamento rural: efeitos de uma intervenção participativa no semiárido piauiense. **COLÓQUIO-Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 21, n. 1, p. 253-279, 2024.

BARBOSA, E. M. S.; TIBA, C.; SALVIANO, C. J. C.; CARVALHO, A. M.; LYRA, M. F. Photovoltaic water pumping systems installer training: a partnership experience between the university and São Francisco hydroelectric power plant. **Renewable Energy**, v. 21, n. 2, p. 187-205, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00007-0.

BEZERRA, F. D. Infraestrutura: Micro e Minigeração Distribuída e suas Perspectivas com a Lei 14.300/2022. **Caderno Setorial ETENE**, v. 7, n. 234, 2022.

BORGES NETO, M. R.; CARVALHO, P. C. M. Energia solar fotovoltaica no semi-árido: estudo de caso sobre a atuação do PRODEEM em Petrolina-PE. *In:* **Anais do 6º Encontro de Energia no Meio Rural** [online], São Paulo, 2006, pp. 674/686.

BURSZTYN, M. Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas. **Estudos Avançados**, v. 34, n. 98, p. 167-186, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.3498.011.

CALCA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; ANACLETO, K. B.; FRANCO, J. R.; DAL PAI, A.; CANEPPELE, F. L. Uma perspectiva sobre o aproveitamento térmico e a conversão direta da energia solar em áreas rurais no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e9810615610-e9810615610, 2021. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15610.

CARITAS. Caritas Brasileira. **Missão**. 2025. Disponível: https://caritas.org.br/missao. Acesso: 29 jan. 2025.

CARVALHO, F. A. G.; LOPES, W. G. R. Evolução histórica das políticas públicas brasileiras e dos índices de saneamento básico. **Colóquio-Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 20, n. 3, p. 72-91, 2023. DOI: https://doi.org/10.26767/coloquio.v20i3,%20jul./set..2642.

CLARK, G.; FRIAS, L. S.; CORRÊA, L. A. Energia solar e planejamento estatal no Brasil: uma análise à luz do direito econômico. **Revista Jurídica Luso-Brasileira**, v. 8, n 3, p. 619-647, 2022.

COSTA FILHO, A.; MORAIS, J. S. Indícios da atividade de caça e pesca no Piauí. **Revista Humana Res**, v. 3, n. 4, p. 110-125, 2021. DOI: https://doi.org/10.29327/2151838.1.4-7.

CRUZ, J. L. Energia solar e o desenvolvimento de políticas para agricultura familiar no semiárido piauiense. *In:* **Anais do Seminário Regional de Políticas e Sustentabilidade (SERPS)**, v. 1, p. 66-74, 2023. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.10794010.

FADEX. Fundação Cultural e de Fomento à Pesquisa, Ensino, Extensão e Inovação. **Canindé Solar leva água para comunidades piauienses através de energia fotovoltaica**. 2021. Disponível: https://fadex.org.br/noticia/exibir/220. Acesso: 29 jan. 2025.

FEDRIZZI, M. C.; SAUER, I. L. **Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos**. *In*: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., Campinas. Anais [online], 2002.

FRAIDENRAICH, N.; BIONE, J.; VILELA, O. C. Implantação de culturas irrigadas com Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamentona região semi-árida do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, p. 183-190, 2006.

GALDINO, M. A.; LIMA, J. H. G. **PRODEEM - O Programa Nacional de Eletrificação Rural Baseado em Energia Solar Fotovoltaica**. *In:* Anais do IX Congresso Brasileiro de Energia, IXCBE, Rio de Janeiro, Volume IV, 2002, p. 1806-1814.

GOMES, J.V.; GARCÍA-SÁNCHEZ, J. A. Complementos indispensáveis para a implementação apropriada da energia solar fotovoltaica como tecnologia no programa Luz para Todos. **Revista Tecnolgia e Sociedade**, v. 20, n. 59, p. 309-329, 2024. DOI: http://dx.doi.org/10.3895/rts.v20n59.16004.

HAUPENTHAL, S. W.; VILAS BOAS, M. A., SIQUEIRA, J. A. C.; TOKURA, L. K. Evolution of photovoltaic energy systems applied to water pumping for irrigation Evolução do sistema de energia fotovoltaica aplicada ao bombeamento de água para irrigação. **Latin American Journal of Energy Research**, v. 8, n. 1, p. 22-35, 2021. DOI: https://doi.org/10.21712/lajer.2021.v8.n1.p22-35.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Proposta metodológica para classificação dos espaços do rural, do urbano e da natureza no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 174p. Disponível: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102019.

IFPI. Instituto Federal do Piauí. **Projeto do Campus Oeiras leva água via sistema de energia solar à Comunidade Morro Claro**. 2019. Disponível: https://www.ifpi.edu.br/oeiras/noticias/projeto-do-campus-oeiras-leva-agua-via-sistema-de-energia-solar-a-comunidade-morro-claro. Acesso: 29 jan. 2025.

LIMA, I. M. M. F. Hidrografia do Estado do Piauí, disponibilidades e usos da água. *In*: Aquino, C. M. S. A.; Santos, F. A. **Recursos Hídricos do Estado do Piauí: fundamentos de gestão e estudos de casos em bacias hidrográficas do centro-norte piauiense**. Teresina: EDUFPI, 2017, p.43–68.

MORAES, A. M.; MORANTE, F.; VALER, L. R.; FEDRIZZI, M. C. Análise da gestão e operação de sistemas de bombeamento fotovoltaico no semiárido brasileiro. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 24, p. 256-267, 2020.

MORAES, A. M.; TRIGOSO, F. M.; FEDRIZZI, M. C. La problemática de obtención de agua potable en la región semiárida brasileña utilizando sistemas fotovoltaicos para bombeo

de agua. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 15, p. 04.97-04-104, 2011.

MÜLLER, F.; NEUMANN, M.; ELSNER, C.; CLAAR, S. Assessing African energy transitions: renewable energy policies, energy justice, and SDG 7. **Politics and Governance**, v. 9, n. 1, p. 119-130, 2021. DOI: https://doi.org/10.17645/pag.v9i1.3615.

NOBRE, C. E.; CARVALHO, K. C. M. Regionalização do Piauí como estratégia de desenvolvimento territorial: considerações a partir da distribuição de recursos orçamentários. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Seção Três Lagoas, p. 183-217, 2020.

NORBERTO, T. C. B. Desafios do saneamento básico rural no cenário da reforma agrária. **Extraprensa**, v. 15, n. especial, p. 313-328, 2022. DOI: https://doi.org/10.11606/extraprensa2022.195444.

OLIVEIRA, A. M.; ROCHA, A. S. F.; MARTINS, J. C. V. **Viabilidade socioambiental de poços artesianos movidos à energia solar em comunidade rural do Rio Grande do Norte**. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 6, Porto Alegre, Anais [online], 2015. Disponível: https://www.ibeas.org.br/congresso/congresso6.htm.

PEREIRA, D. S.; SILVA NETO, R. Diversificação de fontes geradoras da matriz elétrica brasileira: uma revisão sistemática. **Meio Ambiente**, v. 3, n. 1, p. 2-21, 2021.

PEREIRA, R. F. A. Bombeamento de água utilizando sistemas fotovoltaicos. **Engineering Sciences**, v.9, n.1, p.85-91, 2021. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0009.

RABELO, F. C. S.; MORAES, A. M.; LIRA, M. A. T.; SILVA, E. M. Estudo socioambiental do projeto de abastecimento de água com sistema fotovoltaico conectado à rede na comunidade Sítio Volta, Jaguaruana, semiárido cearense. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 14, n. 1, p. 63-71, 2023. DOI: https://doi.org/10.59627/rbens.2023v14i1.422.

ROCHA, S. F.; BRAGA, C. L.; LIMA, C. C; BISPO, T. W. Desenvolvimento rural no Brasil: políticas públicas diante da vulnerabilidade e da resiliência da agricultura familiar. **Revista Terceira Margem Amazônia**, v. 7, n. 17, p. 55-72, 2021. DOI: https://doi.org/10.36882/2525-4812.2021v7i17.p55-72.

SANTOS, Y. C.; PESSOA, Z. S.; CARVALHO, E. F.; DIAS, E. M. S.; TEIXEIRA, R. L. P. Enfrentamento aos riscos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro: a adaptação climática como uma nova agenda governamental. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 22, n. 1, p. 46-66, 2023. DOI: https://doi.org/10.12660/rgplp.v22n1.2023.85670.

SHIMOMAEBARA, L. A.; PEYERL, D. Energia solar no Brasil: histórico e planejamento energético. **Revista de Políticas Públicas**, v. 25, n. 2, p. 854-869, 2021. DOI: https://doi.org/10.18764/2178-2865.v25n2p854-869.

SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D.; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade pluviométrica entre regimes diferenciados de precipitação no estado do Piauí. **Revista**

**Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 05, p. 1463-1475, 2013. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v6i5.233118.

SILVA, W. A. L. Reforma agrária e paisagem em assentamentos piauienses. **Espaço em Revista**, v. 24, n. 1, p. 556-582, 2022. DOI: https://doi.org/10.70261/er.v24i1.70095.

SOUSA, E. C.; CAMPOS, K. C.; LEMOS, J. J. S.; LESSA, L. C. R. Instabilidade pluviométrica na produção agrícola de sequeiro no estado do Piauí. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 20, n. 2, p. 1-20, 2022. DOI: https://doi.org/10.25070/rea.v20i2.15083.

SOUZA, R. C. R.; DERZI, S. R.; CORREIA, J. C. Barreiras e facilitadores para a produção e difusão de tecnologias de energias renováveis na Região Amazônica. **Revista Brasileira de Energia**, v. 10, n. 1, p. 99-115, 2004.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução nº 176/2024 do Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste**. Aprova Relatório Conclusivo elaborado pela Equipe Técnica do Comitê Provisório do Conselho Deliberativo da SUDENE (CONDEL/SUDENE), instituído pela Resolução CONDEL/SUDENE nº 155, de 29 de abril de 2022, sobre as irresignações apresentadas por Entes federativos subnacionais contra a exclusão de municípios do Semiárido brasileiro e dá outras providências. Brasília-DF: Diário Oficial da União, ed. 5, seção 1, p. 946, 2024.

TRIGOSO, F. M.; QUAGLIA, R. B.; MORAES, A. M.; OLIVEIRA, S. H. F. Panorama da Geração Distribuída no Brasil Utilizando a Tecnologia Solar Fotovoltaica. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 1, n. 2, p. 127-138, 2010. DOI: https://doi.org/10.59627/rbens.2010v1i2.48.

UFPI. Universidade Federal do Piauí. **Projeto da UFPI instala sistema de bombeamento de água no semiárido piauiense usando energia solar**. 2019. Disponível: https://ufpi.br/ultimas-noticias-ufpi/32493-projeto-da-ufpi-instala-sistema-de-bombeamento-de-agua-no-semiarido-piauiense-usando-energia-solar. Acesso: 29 jan. 2025.

VALER, L. R.; MELENDEZ, T. A.; FEDRIZZI, M. C.; ZILLES, R. MORAES, A. M. Variable-speed drives in photovoltaic pumping systems for irrigation in Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 15, p. 20-26, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seta.2016.03.003.

VARELLA, F. K. O. M.; CAVALIERO, C. K. N.; SILVA, E. P. A survey of the current photovoltaic equipment industry in Brazil. **Renewable Energy**, v. 34, n. 7, p. 1801-1805, 2009. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.12.003.

VINUTO, J. A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto. **Temáticas**, v. 22, n. 44, p. 203-220, 2014. DOI: https://doi.org/10.20396/tematicas.v22i44.10977.

WAZED, S. M.; HUGHES, B. R.; O'CONNOR, D.; CALAUTIT, J. K. A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1206-1225, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.039.

# 6 A UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO PELA AGRICULTURA FAMILIAR NO MEIO RURAL DO PIAUÍ, BRASIL

**Resumo:** A população das regiões rurais de clima semiárido sofre com as condições climáticas adversas. O acesso à água constitui um dos principais problemas. Diversas políticas públicas para acesso à água vêm sendo desenvolvidas, porém, seu alcance ainda é limitado. Estratégias adaptativas se fazem necessárias para se conviver com os efeitos das mudanças climáticas nessas regiões. O estado do Piauí possui características geológicas e terrenos, que permitem o acúmulo de grandes quantidades de água em seu subsolo. Assim, vem crescendo o interesse por instalar sistemas fotovoltaicos direcionados para bombeamento de água em regiões rurais que vivem em escassez hídrica. Esta pesquisa tem como objetivo principal identificar as principais aplicações dos Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento do (SFB) meio rural piauiense e os benefícios trazidos pela sua instalação para a agricultura familiar. Por meio de pesquisa de campo, foram realizadas entrevistas em comunidades rurais piauienses beneficiadas com a instalação de SFB. Foi feito o levantamento dos principais benefícios da instalação desses sistemas para as famílias residentes nessas comunidades, analisando o incremento na produtividade e seus efeitos na renda familiar. Dentre as principais aplicações identificadas estão o abastecimento comunitário, o uso em sistemas de irrigação, fornecimento de água para a criação de animais e para a piscicultura. O principal benefício trazido para as famílias beneficiadas é a possibilidade de aumentar os ganhos por meio da comercialização do que era produzido, proporcionando melhoria na qualidade de vida.

**Palavras-Chave:** Energia Solar, Pesquisa Social Aplicada, Nexo Água-Energia-Alimentos.

*THE USE OF PHOTOVOLTAIC PUMPING SYSTEMS BY FAMILY FARMING IN THE RURAL AREAS OF PIAUI, BRAZIL*

***Abstract:*** *The population of rural regions with semi-arid climates suffers from adverse weather conditions. Access to water is one of the main problems. Various public policies for access to water have been developed, but their scope is still limited. Adaptive strategies are needed to live with the effects of climate change in these regions. The state of Piauí has geological features and terrain that allow large quantities of water to accumulate underground. As a result, there has been growing interest in installing photovoltaic systems for pumping water in rural regions experiencing water scarcity. The main objective of this research is to identify the main applications of photovoltaic pumping systems in rural Piauí and the benefits that their installation brings to family farming. Through field research, interviews were conducted in rural communities in Piauí that have benefited from the installation of photovoltaic pumping systems. The main benefits of installing these systems for the families living in these communities were surveyed, analyzing the increase in productivity and its effects on family income. Among the main applications identified are community supply, use in irrigation systems, water supply for animal husbandry and fish farming. The main benefit for the beneficiary families was the possibility of increasing their earnings by selling what they produced, improving their quality of life.*

***Keywords:*** *Solar Energy, Applied Social Research, Water-Energy-Food Nexus.*

*EL USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEO POR LA AGRICULTURA FAMILIAR EN LA ZONA RURAL DE PIAUÍ, BRASIL*

***Resumen:*** *La población de las regiones rurales de clima semiárido sufre condiciones climáticas adversas. El acceso al agua es uno de los principales problemas. Se han desarrollado diversas políticas públicas de acceso al agua, pero su alcance es aún limitado. Se necesitan estrategias de adaptación para convivir con los efectos del cambio climático en estas regiones. El estado de Piauí presenta características geológicas y orográficas que permiten la acumulación de grandes cantidades de agua en el subsuelo. Como resultado, ha habido un creciente interés en la instalación de sistemas fotovoltaicos destinados al bombeo de agua en las regiones rurales que experimentan escasez de agua. El objetivo principal de esta investigación es identificar las principales aplicaciones de los sistemas de bombeo fotovoltaico en el medio rural de Piauí y los beneficios que su instalación aporta a la agricultura familiar. A través de una investigación de campo, se realizaron entrevistas en comunidades rurales de Piauí que se han beneficiado de la instalación de sistemas de bombeo fotovoltaico. Se encuestaron los principales beneficios de la instalación de estos sistemas para las familias que viven en estas comunidades, analizando el aumento de la productividad y sus efectos en la renta familiar. Entre las principales aplicaciones identificadas se encuentran el abastecimiento comunitario, el uso en sistemas de riego, el suministro de agua para la cría de animales y la piscicultura. El principal beneficio para las familias beneficiarias fue la posibilidad de aumentar sus ingresos mediante la comercialización de lo que producían, mejorando así su calidad de vida.*

***Palabras clave****: Energía solar, investigación social aplicada, nexo agua-energía-alimentación.*

## 6.1 Introdução

Nos últimos anos, o semiárido brasileiro vem sofrendo os efeitos danosos das mudanças climáticas, em especial, o aumento das zonas de terras secas, a expansão de áreas suscetíveis à desertificação (Silva *et al.*, 2023) e a intensificação de problema socioeconômicos, tendo como consequência direta o aumento da vulnerabilidade social da população (Sousa *et al.*, 2022). Essa região se caracteriza pela ocorrência frequente de secas, causadas pela irregularidade interanual das chuvas e pelas altas taxas de evapotranspiração, sendo poucos os meses chuvosos durante o ano (Corrêa *et al.*, 2019). As secas, que "fazem parte da variabilidade climática natural nessa região, ocorreram no passado, estão ocorrendo no presente e, de acordo com as projeções de mudanças climáticas, provavelmente continuarão e se intensificarão no futuro" (Marengo; Torres; Alves, 2017, p. 1189).

A escassez hídrica marcante nessa região ocasiona estragos e perdas na agricultura familiar, pois as lavouras, em geral utilizadas para subsistência, não estão adaptadas à temperatura, ao solo e às chuvas descentralizadas (Lima *et al.*, 2017). Além de se conviver com a dificuldade de garantir o suprimento de alimentos por conta da indisponibilidade de água, a

não universalização do acesso à energia elétrica também contribui negativamente para o aumento dos problemas, impactando diretamente na vida das famílias (Carvalho; Gomes, 2022). Dessa forma, necessita-se de soluções integradas, atuais e sustentáveis que possam auxiliar a população na convivência com o semiárido. Segundo Farrar *et al.* (2022), ações dentro desse campo, conhecido como "nexo água-energia-alimentos", são altamente apropriadas pois propiciam segurança alimentar, hídrica e energética, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Diversas políticas púbicas para acesso à água foram desenvolvidas no Semiárido Brasileiro trazendo melhorias significativas, resultando em benefícios como aumento da qualidade de vida, saúde e renda dos agricultores familiares. Entre elas podem ser citados o Programa 1 Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) (Gomes; Heller, 2016), o Programa Uma Terra Duas Águas (P1+2) (Alencar; Justo; Alves, 2018), o Programa Segunda Água e o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água (Água Para Todos) (Andrade; Nunes, 2014). Essas políticas públicas, em sua época, resumiram-se a instalação de cisternas para a captação da água das chuvas, para uso posterior em diversas finalidades, desde o consumo doméstico às atividades econômicas características da região. De acordo com Morais Guimarães e Lopes (2023), o alcance dessas políticas públicas foi bastante limitado, evidenciando a necessidade premente de priorizar estratégias adaptativas diante das mudanças climáticas nessa região vulnerável.

Muitos estudos foram desenvolvidos no sentido de quantificar os efeitos das mudanças climáticas, no entanto, os resultados de práticas de adaptação ainda não foram totalmente abordados (Assad *et al.*, 2022). Dessa forma, medidas de adaptação eficazes precisam ser implementadas, em especial com vistas à redução da pobreza (Marengo *et al.*, 2020). Dentro desse contexto, vem crescendo o interesse por instalar sistemas fotovoltaicos direcionados para bombeamento de água em regiões semiáridas, sem acesso à rede elétrica e/ou que vivem em escassez hídrica (Wazed *et al.*, 2018).

O estado do Piauí (PI) localiza-se na região Nordeste do Brasil, e tem como capital a cidade de Teresina. Ao Norte o estado tem como limite o Oceano Atlântico, ao Sul, os estados da Bahia e Tocantins, ao Leste os estados do Ceará e Pernambuco, e a Oeste o estado do Maranhão (CEPRO, 2019). De acordo com dados do último censo, o estado possui área territorial de 251.755 $km^2$, onde residem 3.269.200 pessoas (IBGE, 2023a). Do total de municípios do estado, cerca de 87,5% podem ser considerados como espaços rurais, sendo que 1.439.655 pessoas (aproximadamente 44% da população total) residem nesses espaços (IBGE, 2023b).

Vale a pena ressaltar que, de acordo com a nova delimitação do Semiárido Brasileiro apresentada na Resolução nº 176/2024 do Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), dos 224 municípios piauienses, 216 encontram-se dentro da nova delimitação do Semiárido Brasileiro (SUDENE, 2024).

A população que reside nas regiões rurais piauienses sofre historicamente com as condições climáticas adversas. O acesso à água constitui um dos principais problemas enfrentados por ser essencial para o consumo próprio e desenvolvimento de atividades como a agricultura e a pecuária. Em muitos casos, a produção é o suficiente apenas para as necessidades básicas (Santiago; Sales; Paula, 2013).

Segundo Sousa *et al.* (2022), predomina no estado do Piauí a agricultura de sequeiro, que apresenta grandes dificuldades de se tornar uma atividade sustentável, além de não se utilizarem de práticas que incentivem o aumento na produção. Para Silva (2022) o ambiente rural do estado do Piauí apresenta fragilidades, que dificultam o uso adequado e sustentável dos recursos naturais, e a estrutura fundiária do estado, marcada pela concentração do poder e dos meios de produção, traz dificuldades para a população que vão além das dificuldades naturais.

Por outro lado, o estado do Piauí possui características geológicas diferentes das demais regiões do semiárido brasileiro. Seus terrenos de rochas sedimentares caracterizam-se pelo baixo escoamento superficial e alto poder de infiltração, que permitem o acúmulo de grandes quantidades de água em seu subsolo, estando protegidas da evaporação (Santiago; Sales; Paula, 2013). Além disso, o estado do Piauí conta com uma incidência de irradiação solar propícia para a produção de energia elétrica por meio de sistemas de energia solar fotovoltaica (Morais *et al.*, 2021). Dessa forma, apresenta potencial para a instalação de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento (SFB) para a retirada de água subterrânea em localidades rurais, em especial, para o suprimento das necessidades da população que sobrevive da agricultura familiar.

Nesse sentido, esta pesquisa busca responder ao seguinte questionamento científico: quais as principais aplicações dos SFB e os benefícios trazidos para a agricultura familiar no meio rural piauiense? Logo, esta pesquisa tem como objetivo analisar os principais benefícios trazidos pela instalação de SFB meio rural piauiense para a agricultura familiar. O presente trabalho contribui para incrementar os estudos de caráter social relacionados aos SFB, na medida em que investiga a possibilidade de instalação destes sistemas como uma alternativa sustentável para o acesso à água em comunidades rurais de regiões semiáridas, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico da agricultura familiar.

## 6.2 Panorama da agricultura familiar no Brasil

A definição legal de Agricultura Familiar está prevista na Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais (BRASIL, 2006), e no seu art. 3º estabelece:

> Art. 3º. Para os efeitos desta Lei, considera-se agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos:
> I - não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais;
> II - utilize predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento;
> III - tenha percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento, na forma definida pelo Poder Executivo; (Redação dada pela Lei nº 12.512, de 2011);
> IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.

Esta lei foi regulamentada pelo Decreto nº 9.064, de 31 de maio de 2017, trazendo uma nova denominação: Unidade Familiar de Produção Agrária, que consiste do "conjunto de indivíduos composto por família que explore uma combinação de fatores de produção, com a finalidade de atender à própria subsistência e à demanda da sociedade por alimentos e por outros bens e serviços, e que resida no estabelecimento ou em local próximo a ele" (BRASIL, 2017).

A agricultura familiar é caracterizada como uma atividade em que a mão-de-obra, a propriedade dos meios de produção e os investimentos realizados são feitos por indivíduos da própria família, e a renda familiar é originada das atividades econômicas do seu estabelecimento. Essa nova categoria social se tornou visível pelo seu potencial na erradicação da fome, na preservação dos recursos naturais e na promoção do desenvolvimento sustentável (Daugeard, 2017).

Muitos dos alimentos consumidos pelos brasileiros são provenientes da Agricultura Familiar, e são produzidos por pequenos produtores rurais, povos e comunidades tradicionais, assentados da reforma agrária, silvicultores, aquicultores, extrativistas e pescadores (Pinto *et al.*, 2023). Diversos são os canais para comércio dos produtos provenientes da agricultura familiar, como, por exemplo, restaurantes, supermercados, padarias, açougues, vendas institucionais para o governo e as feiras livres, sendo que estas últimas se tornaram um dos principais canais para distribuição e comercialização de alimentos da agricultura familiar, por se tratar de um canal de comercialização com contado direto ao consumidor e sem intermediários (Carvalho; Grossi, 2019).

Dentre os principais potenciais da agricultura familiar está a diferenciação da produção e a qualidade dos produtos, que podem ser competitivos, com personalidade própria e valor agregado decorrente da identidade regional e histórica do local onde são produzidos. Isso aumenta a proximidade com os consumidores que, hoje em dia, estão mais sensibilizados pela qualidade e segurança alimentar (Dallabrida; Tabasco; Pulpón, 2018). Há de se citar também a agricultura familiar de base agroecológica que resgata a produção de alimentos saudáveis, sem o uso de agrotóxicos, e que respeitam a dinâmica dos ciclos da natureza (Pinto *et al.*, 2023). Também é perceptível um estreitamento das relações comerciais do meio rural com os centros urbanos, devido à necessidade de consumo de bens e serviços que os agricultores não são capazes de produzir, gerando sinergia entre o campo e a cidade (Alves; Gutjahr; Pontes, 2020).

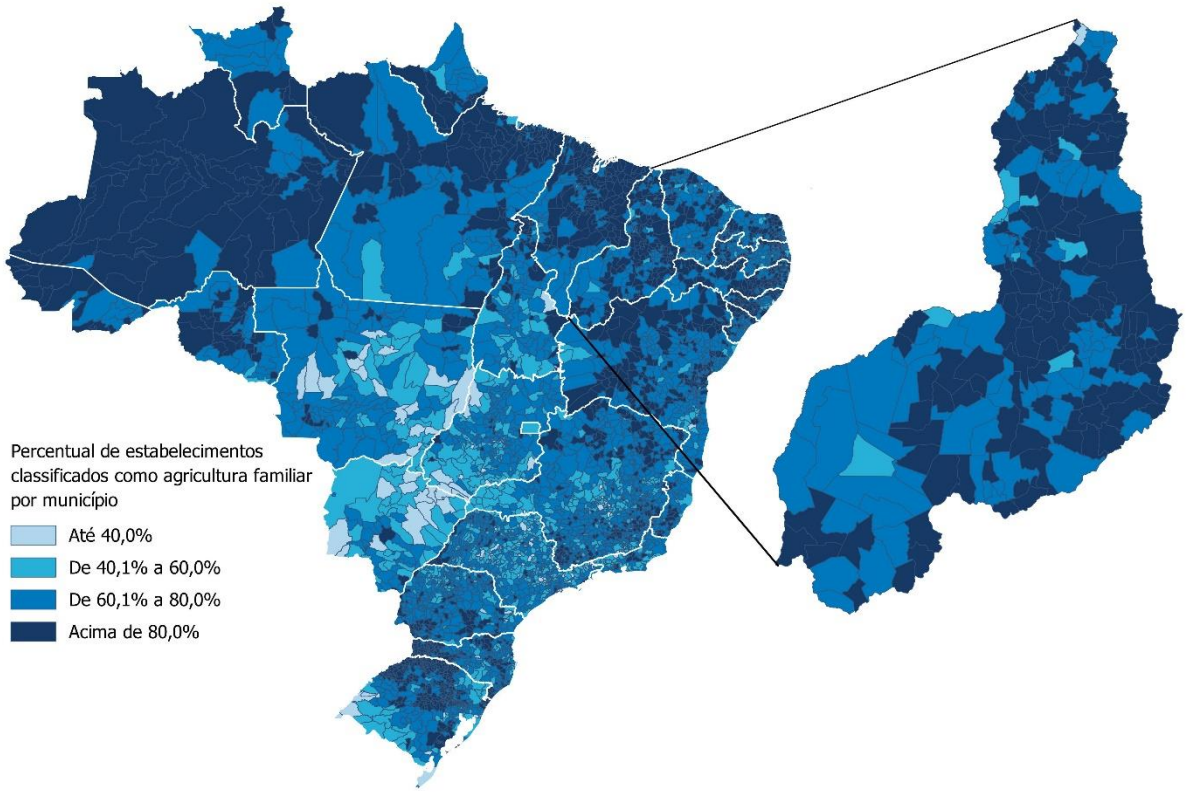
O último censo agropecuário, realizado em 2017, cadastrou 7.534.385 endereços brasileiros, dos quais, 5.073.324 foram identificados como estabelecimentos agropecuários, o que corresponde a 67% do total. Desse quantitativo, 3.897.408 estabelecimentos agropecuários foram classificados como estabelecimentos de agricultura familiar (cerca de 77%), ocupando uma área de aproximadamente 81 milhões de hectares, ou seja, 23% da área total dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. Nos estabelecimentos classificados como de agricultura familiar o total de pessoas ocupadas foi de cerca de 10 milhões de pessoas. Os dados do censo apontam que aproximadamente 80% dos estabelecimentos agropecuários do Piauí, ou seja, 197.246 estabelecimentos, são classificados como estabelecimentos de agricultura familiar (IBGE, 2019). Na Figura 6.1 pode ser vista a distribuição dos estabelecimentos de agricultura familiar no Brasil, com destaque especial para o estado do Piauí, onde os estabelecimentos agropecuários de agricultura familiar se concentram mais nas regiões central, norte e sudeste do estado.

Vale a pena ressaltar que os agricultores familiares além de produzirem para seu próprio sustento, também procuram participar do mercado de oferta de alimentos. Através de alternativas tecnológicas inovadoras que estimulem a profissionalização e a capacidade empreendedora, poderá ser alcançado o desenvolvimento rural, traduzido pela modernização do setor. Esta implica o uso de insumos, processos, máquinas e equipamentos apropriados ao segmento e às condições dos agricultores familiares, aumentando os ganhos aliando a produtividade e com a sustentabilidade (Bittencourt, 2020).

Deve-se, portanto, reconhecer a sua importância, pois além da quantidade de alimentos produzidos, as práticas e manejos adotados proporcionam menor impacto ambiental nos espaços em que se encontram, tanto em uma visão global, como local (Borges *et al.*, 2020). Além disso, é responsável por gerar emprego, renda e divisas no mercado internacional,

colaborando significativamente para o Produto Interno Bruto brasileiro por meio dos demais elos pertencentes ao agronegócio (Breitenbach, 2018).

**Figura 6.1.** Distribuição dos estabelecimentos de agricultura familiar no Brasil, com destaque para o Piauí.




Fonte: adaptado de IBGE (2019).

No que tange ao apoio governamental à agricultura familiar, o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), criado em 1995, consolidou-se como a principal política pública de apoio creditício alavancando a agricultura familiar brasileira. Porém existem críticas ao programa como a exclusão de determinados públicos potencialmente beneficiáveis, a concentração regional na distribuição dos recursos na região Sul do país, a mudança no perfil das culturas e lavouras financiáveis. Mesmo assim, ainda se trata do maior programa de financiamento da agricultura familiar do hemisfério sul (Pretto; Horn, 2020), que ainda está em evolução e aperfeiçoamento, devendo continuamente ser reformulado e repensado (Schneider; Cazella; Mattei, 2021).

Como medida para o combate à fome e à pobreza no Brasil e para o fortalecimento da agricultura familiar, foi criado em 2003 o Programa de Aquisição de Alimentos da Agricultura Familiar (PAA) (Silva *et al.*, 2021). O programa visava estabelecer um mercado garantido para os agricultores familiares, de modo que o que era produzido, era comprado diretamente pelo

governo, sem a necessidade de licitação pública. Os produtos eram repassados a preços pré-definidos com base nos mercados regionais, e direcionados para escolas, creches, asilos, entre outras instituições públicas (Borsatto *et al.*, 2020). Atualmente, o PAA "opera em seis modalidades: compra com doação simultânea, compra direta, apoio à formação de estoques, incentivo à produção e ao consumo de leite, compra institucional e aquisição de sementes" (Sambuichi, *et al.*, 2020, p. 1081).

Outra alternativa para a compra dos produtos oriundos da agricultura familiar foi o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). Criado por meio da Lei nº 11.947/2009, o programa prevê a compra de gêneros alimentícios da agricultura familiar, oriundos de assentamentos da reforma agrária, comunidades tradicionais indígenas e quilombolas, utilizando o mínimo de 30% dos recursos repassados para as escolas pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Escolar (FNDE), tendo como preço final, valores compatíveis com o mercado regional e dispensando a necessidade de processo licitatório (BRASIL, 2009). De acordo com Silva *et al.* (2021, p. 8), "o PNAE caracteriza-se como a política pública mais antiga do país na área de segurança alimentar e nutricional, sendo considerado um dos mais efetivos e de maior longevidade na área de alimentação escolar do mundo".

Nesse contexto, ressalta-se em relação aos programas de financiamento, que apenas 12.118 estabelecimentos de agricultura familiar, tiveram acesso a linhas de créditos no Piauí (6,1% do total), dentre eles o PRONAF com 8.897 unidades (73,4%), outros programas, como o Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (PRONAMP), com 139 unidades (1,1%), o Programa Fomento, com 69 unidades (0,6%), o Crédito Instalação do Programa Nacional de Reforma Agrária (PNRA) com 65 unidades (0,5%), o Programa de Apoio a Projetos de Infraestrutura e Serviços nos Territórios Rurais (PROINF), com 48 unidades (0,4%), o Programa Terra Forte e Terra Sol, abrangendo 6 unidades, além de outros programa s de abrangência Federal, Estadual e Municipal, envolvendo 3.083 unidades (5,4%) (Moraes; Sousa; Araújo, 2020).

Os autores Silva *et al.* (2020) acreditam que o fortalecimento da agricultura familiar depende também dos movimentos sociais e das organizações que buscam políticas públicas que visem o desenvolvimento rural sustentável, e que sejam permanentes e integradas às capacidades organizativas e produtivas. Neste sentido, Cruz (2023) defende o desenvolvimento de políticas públicas para o desenvolvimento econômico e social de forma sustentável baseadas, por exemplo, na utilização de energia solar fotovoltaica. Dessa forma, para Pinto *et al.* (2023) apesar de alguns avanços conquistados, é de extrema urgência a necessidade de políticas públicas para acesso a crédito e tecnologias pelos pequenos agricultores.

Por meio do aumento da quantidade de políticas de fortalecimento à agricultura familiar, aquisição de alimentos bem como da expansão da abrangência das mesmas poderá ser gerada mais renda e uma maior inserção dos produtos no mercado, pois será possível incluir um número maior de produtores beneficiados. Ademais, por meio da disseminação de políticas públicas que propiciem o uso de novas tecnologias, em especial as baseadas em fontes renováveis de energia, como a solar fotovoltaica, será possível aumentar a produção, melhorar a qualidade e a regularidade dos produtos oferecidos, contribuindo para a diminuição da vulnerabilidade e a expansão do mercado relacionado à agricultura familiar.

## 6.3 Metodologia

Para se alcançar o objetivo proposto, optou-se em trabalhar com pesquisa aplicada de natureza exploratória, com abordagem quali-quantitativa, realizada por meio de pesquisa de campo, em que foram feitas visitas em comunidades rurais piauienses que se beneficiaram com a instalação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento, por meio do poder público ou instituições não-governamentais.

Inicialmente foram aplicadas as técnicas de *rapport* e a observação participante propostas por Bernard (2017), a fim de realizar uma sondagem prévia e os primeiros contatos com as comunidades, obtendo-se assim vínculos de confiança, favorecendo a obtenção das informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa. Através da observação *in loco*, foram identificadas as principais aplicações dos SFB nas comunidades beneficiadas no Piauí. Para se identificar os benefícios trazidos pela instalação dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento às comunidades, foram aplicadas entrevistas semiestruturadas (Apêndice A) junto às lideranças das comunidades foram realizadas entrevistas. A pesquisa de campo ocorreu no período de setembro de 2023 a janeiro de 2025.

Sendo assim, ao todo foram realizadas 40 entrevistas em 40 comunidades rurais piauienses que foram beneficiadas com a instalação de SFB. Vale a pena ressaltar que as entrevistas foram agendadas previamente, em dias e horários estabelecidos pelos participantes, e gravadas com a sua autorização, conforme orientam Albuquerque, Lucena e Alencar (2010). Os participantes da pesquisa foram os líderes comunitários, homens ou mulheres com idade superior a 18 anos, que se dispuseram a participar da pesquisa.

O presente estudo foi realizado em conformidade com os preceitos éticos estabelecidos pela Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde (CNS). A coleta de dados foi iniciada somente após a aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da

Universidade Federal do Piauí (UFPI), conforme parecer nº 6.238.395. Todos os participantes da pesquisa assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice B), assegurando sua participação voluntária e informada. A fim de preservar a confidencialidade dos dados, os entrevistados foram identificados pela letra E.

## 6.4 Resultados e discussão

### *6.4.1 Principais aplicações dos sistemas*

Na tabela 6.1 é apresentada a relação das comunidades que foram visitadas durante a realização da pesquisa, com informações relativas aos sistemas instalados.

**Tabela 6.1.** SFB instalados no meio rural piauiense visitados durante a pesquisa.

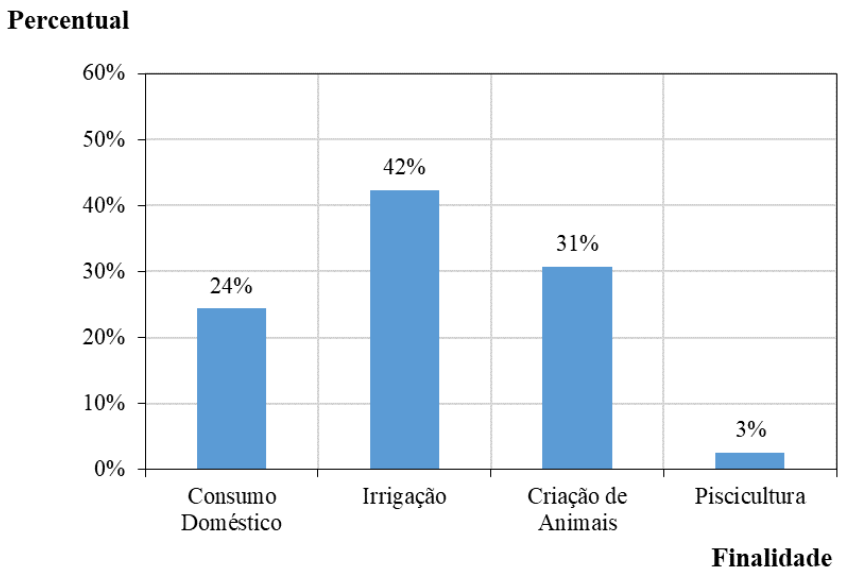
| Localidade | Município | Potência | Instalação | Famílias Beneficiadas |
|---|---|---|---|---|
| Poço dos Negros | Altos | 280 W | jun/21 | 35 |
| Flores | Boa Hora | 285 W | dez/20 | 3 |
| Vereda | Brasileira | 280 W | ago/22 | 2 |
| Bola | Campo Maior | 175 W | dez/19 | 3 |
| Laranjeiras | Currais | 285 W | jun/21 | 2 |
| Morro do Tiro | Floriano | 1,5 kW | mar/19 | 25 |
| Meladão | Floriano | 1,5 kW | abr/19 | 15 |
| Princesinha | Floriano | 2,5 kW | set/23 | 13 |
| Gabriel Kalume | Floriano | 600 W | mar/19 | 11 |
| Tabocas | Floriano | 1,5 kW | mai/19 | 19 |
| São Joaquim | Floriano | 10 kW | set/22 | 10 |
| Bom Sucesso | Floriano | 5 kW | jan/19 | 22 |
| Labino | Ilha grande | 400 W | fev/23 | 3 |
| Cadoiz | José de Freitas | 565 W | out/20 | 1 |
| Sobradinho | José de Freitas | 175 W | ago/19 | 3 |
| Barbosa | José de Freitas | 280 W | jun/21 | 4 |
| Marcos | José de Freitas | 285 W | out/20 | 6 |
| Pedra de Amolar II | José de Freitas | 1,3 kW | fev/19 | 1 |
| Piçarra | Nazaré do Piauí | 3 kW | jul/22 | 5 |
| Passagem de Santo Antônio | Nazária | 1,5 kW | fev/19 | 8 |
| Malhada das Pedras | Oeiras | 2,7 kW | jan/21 | 22 |
| Morro Redondo | Oeiras | 2,7 kW | fev/19 | 9 |
| Alto Bonito | Oeiras | 175 W | dez/19 | 1 |
| Ponta da Serra | Oeiras | 175 W | set/20 | 3 |
| Caldeirões | Oeiras | 175 W | set/20 | 3 |
| Boca da Vereda | Oeiras | 1,2 kW | ago/22 | 1 |
| Pombinhos I | Oeiras | 1,3 kW | mai/23 | 7 |
| Pombinhos II | Oeiras | 1,3 kW | mai/23 | 10 |
| Baixas | Oeiras | 175 W | nov/24 | 1 |
| Lageiro | Oeiras | 1,3 kW | mai/23 | 4 |
| São Martins | Paulistana | 285 W | nov/20 | 4 |
| Cassianos | Porto | 280 W | set/21 | 12 |
| Pé da Serra | Santa Rosa do Piauí | 175 W | set/19 | 5 |
| Barra | Santo Inácio do Piauí | 175 W | ago/19 | 1 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Malhada Grande | São Francisco do Piauí | 8 kW | set/23 | 31 |
| Fazenda Esperança | São João da Varjota | 2,7 kW | mar/22 | 21 |
| 17 de Abril II | Teresina | 4 kW | set/22 | 6 |
| Toco Vermelo | Teresina | 2,2 kW | jun/21 | 35 |
| 8 de Março | Teresina | 1,5 kW | abr/19 | 46 |
| 17 de Abril I | Teresina | 5 kW | ago/22 | 14 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que ao todo, aproximadamente 430 familias foram beneficiadas diretamente com a instalação dos sistemas, e utilizavam a água para diversas finalidades desde o uso doméstico às produções rurais para consumo animal e irrigação. De forma semelhante, os autores Moraes *et al.* (2020) analisaram a gestão de sistemas fotovoltaicos de bombeamento instalados em 17 municípios de 5 estados pertenentes ao semiárido brasileiro, e perceberam que as famílias viviam em locais de difícil acesso ou isoladas e as finalidades principais identificadas na pesquisa foram o consumo doméstico e fins produtivos. Os participantes da pesquisa foram questionados sobre a principal finalidade da água que era bombeada pelo sistema fotovoltaico. Na Figura 6.2 podem ser vistas as respostas, em termos percentuais. A principal aplicação era a agricultura, provendo água para pequenos plantios em hortas comunitárias, canteiros particulares e grandes campos agrícolas. Ressalta-se que, em alguns casos, a água que o sistema bombeava também era utilizada de forma simultânea na irrigação, no consumo doméstico das famílias beneficiadas e para fornecer água para os animais

**Figura 6.2.** Principais utilizações da água bombeada pelo sistema.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, as quatro aplicações principais dos SFB instalados nas comunidades rurais do estado do Piauí: agricultura irrigada, criação de animais, piscicultura intensiva e abastecimento doméstico, serão detalhadas a seguir.

a. Agricultura Irrigada

Na Figura 6.3, podem ser vistos alguns exemplos de plantios irrigados com energia solar, que foram visitados. Nesta pesquisa foram identificados sistemas que forneciam água para a irrigação de culturas em roças de melancia, feijão e milho ou em canteiros de hortaliças nos quintais das casas, em que eram plantados alface, couve, cebolinha e coentro. Em sua maioria esses sistemas abasteciam locais não atendidos pela rede elétrica, ou com deficiência nesse fornecimento.

**Figura 6.3.** SBF aplicados em sistemas de irrigação



(a) Roça de melancia na comunidade Baixas, Oeiras, PI.



(b) Canteiro no quintal, na comunidade Labino, Ilha Grande, PI.



(c) Horta Comunitária, na localidade Morro do Tiro, Floriano, PI.



(d) Campo agrícola no Assentamento 17 de Abril, Teresina, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Também, foram identificados sistemas destinados a prover grandes volumes de água em hortas comunitárias, em que eram plantados além das hortaliças citadas, o tomate, o pimentão, a abóbora, a berinjela e a macaxeira, e sistemas de irrigação em campos agrícolas comunitários, que além das culturas já citadas, investiam na plantação de frutas, como a banana, o maracujá e a laranja. Nesses casos, os sistemas eram instalados para diminuir a fatura de energia elétrica,

relacionadas às bombas que eram instaladas nos poços, e que era rateada pelas famílias se que utilizavam esses sistemas.

Com relação ao tipo de irrigação utilizada, os sistemas eram conectados a sistemas de irrigação por gotejamento ou por aspersão. Porém, também existiam casos em que as pessoas não possuíam sistemas de irrigação e aguavam as plantações de forma manual, utilizando baldes ou regadores, ou com mangueiras conectadas diretamente na bomba (Figura 6.4).

**Figura 6.4.** Formas de irrigação utilizando a água bombeada pelos SBF.



(a) Irrigação por gotejamento na comunidade Baixas, Oeiras, PI.



(b) Irrigação por aspersão no Assentamento Bom Sucesso, Nazária, PI.



(c) Irrigação manual com balde na comunidade Barbosa, José de Freitas, PI.



(d) Irrigação manual com mangueira na comunidade Sobradinho, José de Freitas, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

De acordo com Xie, Ringler e Mondal (2021), a energia solar fotovoltaica pode servir como uma alternativa para fornecer água subterrânea em regiões semiáridas, em especial para a agricultura irrigada, tendo em vista a volatilidade que tende para o aumento dos custos dos combustíveis fósseis.

Sendo assim, no meio rural piauiense, onde predomina a agricultura familiar, o uso de sistemas fotovoltaicos de bombeamento e sistemas de irrigação tem potencial para fornecer água em quantidade suficiente, a depender do tamanho do sistema instalado e do porte dos

cultivos, facilitando a mão de obra das famílias e aumentando as produções, em especial nos períodos de estiagem.

b. Criação de Animais

Alguns sistemas fotovoltaicos foram direcionados para prover água para a criação de animais em pequena escala. Esses animais geralmente eram criados de forma intensiva e destinados ao abate para comercialização ou consumo próprio. As principais criações identificadas na pesquisa foram as criações de galinha caipira, caprinos, ovinos e suínos, como pode ser visto na Figura 6.5.

**Figura 6.5.** Criação intensiva de animais com água fornecida através do SBF.



(a) Criação de caprinos na comunidade Bola, Campo Maior, PI.



(b) Criação de Ovinos, na localidade Malhada das Pedras, Oeiras, PI.



(c) Criação de suínos na localidade Ponta da Serra, Oeiras, PI.



(d) Criação de galinha caipira na Fazenda Esperança, São João da Varjota, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Basicamente, existem dois tipos de sistemas de produção de animais: a criação extensiva, onde os animais são criados soltos no pasto, podendo ficar presos ao final da tarde para passar a noite confinados; e a criação intensiva, onde os animais ficam permanentemente

confinados em instalações próprias, com fornecimento constante de água e alimentação (SENAR, 2019).

De forma muito tímida, foram identificadas criações extensivas de gado, em especial pela dificuldade em fornecer alimento para os animais. Nesses casos, além da água para os animais beberem, parte da água bombeada pelo sistema fotovoltaico era direcionada para plantios de capim e milho, que eram usados na produção de ração para alimentar esses animais, quando criados presos em currais.

Ressalta-se que apesar da oferta de água propiciada pela instalação do sistema fotovoltaico, também foram identificadas criações de animais soltos. Nesses casos a produção de água era destinada ao abastecimento doméstico, mas tendo em vista a escassez de água na região, era compartilhada com os animais, que viviam soltos para se alimentarem por conta própria, em especial no período das chuvas (Figura 6.6).

**Figura 6.6.** Criação extensiva de animais com água fornecida através do SBF



(a) Criação de caprinos na localidade pedra de Amolar II, José de Freitas, PI.



(b) Bebedouro externo para os animais na localidade Pedra de Amolar II, José de Freitas, PI.



(a) Criação de caprinos na localidade Pombinhos II, Oeiras, PI.



(b) Criação de Ovinos, na localidade Barbosa, José de Freitas, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Para Pereira (2021), a água subterrânea retirada de poços pode ser utilizada para suprir as residências de pequenas comunidades e irrigações de cultivos, além de servir para o consumo animal. Sendo assim, o uso de SFB para a retirada de água de poços no meio rural piauiense constitui-se como uma alternativa viável e promissora no que tange ao fornecimento de água para criação de animais, podendo propiciar o aumento das produções, gerando renda para as famílias, melhorando a sua qualidade de vida.

c. Piscicultura intensiva

Também foram identificados nesta pesquisa sistemas fotovoltaicos de bombeamento destinados renovação da água em tanques de peixes, no sistema de piscicultura intensiva. Esses tanques eram escavados pela própria familia, na tentativa de aumentar a sua renda por meio da criação de peixes como tilápia e tambaqui. Na Figura 6.7 podem ser vistos os criatórios visitados durante a realização da pesquisa.

**Figura 6.7.** Piscicultura intensiva com água fornecida através do SFB instalado.



(a) Comunidade Sobradinho, José de Freitas, PI. (b) Localidade Ponta da Serra, Oeiras, PI.
Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Em seu estudo, Silva *et al.* (2022) demonstraram o uso promissor da energia solar fotovoltaica na produção de alevinos utilizados na piscicultura intensiva. Segundo os autores, a falta de mão de obra qualificada e o custo inicial para a aquisição da tecnologia são barreiras que podem ser superadas com a adoção de políticas para o barateamento e aumento da competitividade da tecnologia.

d. Abastecimento Doméstico

Alguns sistemas foram instalados em comunidades para promover o abastecimento doméstico em assentamentos e pequenas comunidades rurais isoladas geograficamente e sem

acesso à energia elétrica. Esses sistemas eram instalados em poços tubulares equipados com caixas d'água capazes de abastecer todas as famílias com água para as atividades básicas do dia a dia, e em alguns casos, a água ainda era utilizada para irrigar pequenos canteiros nos quintais e fornecer água para pequenas criações de animais, como galinhas e porcos. Também foi identificado um sistema instalado em um poço tubular para prover água para uma lavanderia comunitária de um assentamento (Figura 6.8).

**Figura 6.8.** Abastecimento comunitário utilizando sistema fotovoltaico de bombeamento.



(a) Central de Abastecimento na Localidade Toco Vermelho, Teresina, PI.



(b) Lavanderia comunitária, no Assentamento 8 de Março, Teresina, PI.



(c) Abastecimento na comunidade Barbosa, José de Freitas, PI.



(d) Abastecimento em associação de moradores do Assentamento Bom Sucesso, Floriano, PI.

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

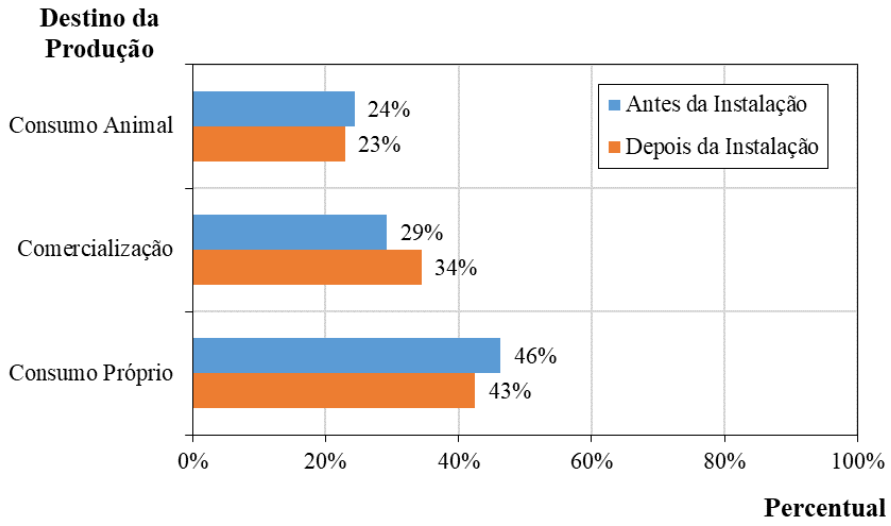
Os autores Silva Junior *et al.* (2020, p. 115) ressaltam a importância de instituições que busquem "fortalecer o desenvolvimento comunitário por meio do financiamento de projetos com base nas necessidades, práticas e culturas locais, priorizando os empreendimentos auto gestionários e ambientalmente sustentáveis".

### *6.4.2 Efeitos da instalação dos sistemas nas comunidades*

Os participantes da pesquisa foram questionados sobre a destinação da produção antes e depois da instalação dos sistemas. Como pode ser visto na Figura 6.9, o que era produzido pelas famílias residentes nas comunidades, antes da instalação dos sistemas, tinha como destino

principal o consumo próprio. Antes da instalação dos SFB a maior parcela do que era produzido era para consumo próprio. Uma parcela do que era produzido era destinado para o consumo animal, e o excedente era comercializado para complementar a renda das famílias, caracterizando a agricultura familiar de subsistência. Ressalta-se que em algumas localidades existiam casos em que as pessoas deixavam de comercializar alguns produtos para poder alimentar a criação de animais. Após a instalação dos sistemas, o percentual destinado à comercialização aumentou, mas o consumo próprio ainda é o principal destino do que é produzido.

**Figura 6.9.** Destinação da produção antes e depois da instalação dos sistemas.



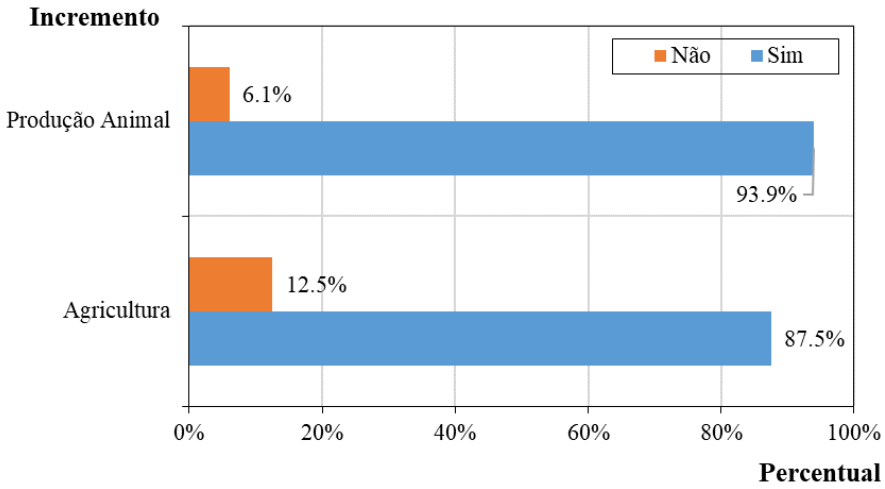

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Ribeiro, Albuquerque e Barros (2021, p. 7), “ a agricultura familiar é um tipo de serviço que se inicia desde muito cedo na vida dos trabalhadores (em geral, a partir de 10 anos de idade), sendo suas práticas passadas entre as gerações, o que os levam a possuírem muito tempo e experiência na profissão”. De acordo com Tagliapietra, Carniatto e Bertolini (2021), essa forma de sobreviver, em que a experiência é passada de geração em geração, deve ser reconhecida e utilizada nos processos de elaboração de políticas para a promoção do desenvolvimento rural sustentável, aliando o conhecimento técnico-científico com os conhecimentos tradicionais dessas comunidades.

Porém, após a instalação dos sistemas, tanto nos cultivos quanto nas criações de animais, a maioria, em quase sua totalidade, dos entrevistados informou que houve um incremento na produção, como pode ser visto com detalhes, na Figura 6.10. Isso possibilitou que as famílias saíssem da situação de autoconsumo, passando a comercializar uma parcela mais significativa

parte de sua produção, tendo em vista que os animais passaram a se alimentar melhor, tiveram a oferta de água para beber aumentada, e assim passaram a se reproduzir mais. A produção agrícola aumentou em praticamente todas as famílias, à medida que as pessoas aumentaram os tamanhos dos seus plantios, e, além disso, passaram a cultivar novos tipos de alimentos, o que antes não era possível pela indisponibilidade de água. Nesse contexto, Bezerra (2018) afirma que devem existir ações que envolvam a cadeia produtiva dessa região, aproveitando as potencialidades locais para a produção de insumos, gerando empregos e oportunidades de novos negócios.

**Figura 6.10.** Percentual de famílias que tiveram incrementos na sua produção.




Fonte: Elaborado pelo autor.

A comercialização de alguns desses produtos é feita no próprio local (Figura 6.11a), como é o caso dos produtos provenientes das hortas particulares e comunitárias que passaram a existir com o aumento da oferta de água; em feiras livres em que os produtores montam a sua banca para vender seus produtos; por meio da venda direta ao consumidor, através do sistema de encomendas, como animais que são vendidos vivos ou abatidos; ou pelo oferecimento dos produtos de porta em porta. Segundo os entrevistados os produtos são transportados, geralmente, de moto, bicicleta, carroça ou carrinho de mão (Figura 6.11b).

De acordo com Pinto *et al.* (2023, p. 19574), “o trabalho exercido dentro dos empreendimentos familiares é a garantia de um abastecimento interno alinhado às demandas alimentares da população, criando um ambiente propício para a redução da fome e do desenvolvimento e bem-estar no campo”.

**Figura 6.11.** Comercialização da produção na comunidade Labino, Ilha Grande.

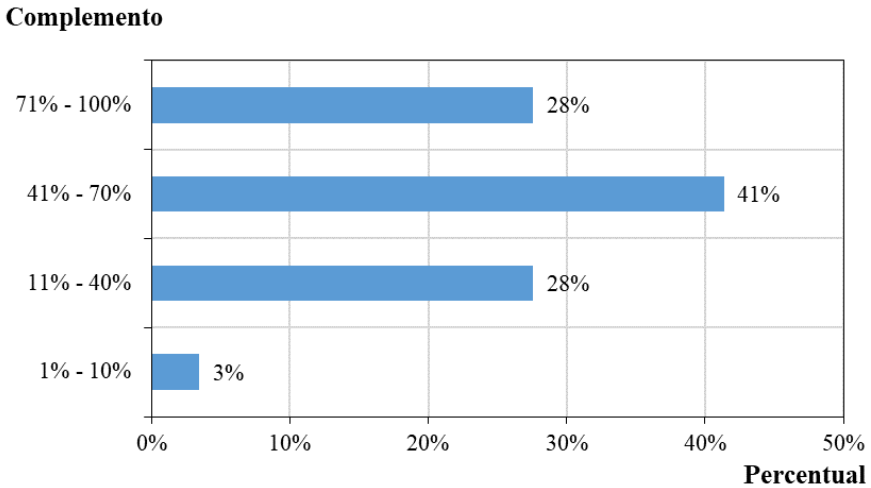


(a) Comercialização no local (b) Venda de porta em porta

Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

A oportunidade de comercialização da produção trazida pela instalação dos sistemas possibilitou o aumento dos ganhos das famílias, trazendo qualidade de vida e reduzindo a vulnerabilidade (Figura 6.12). Pela análise da figura percebe-se que todas as famílias relataram que tiveram seus ganhos aumentados, sendo que em algumas famílias, chegou a 100% da renda familiar, nos casos em que as famílias participam de programas como o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) do governo federal, ou nos casos em que as pessoas passaram a ter como única fonte de renda o que vendia, porém, a maior parte, de fato, complementa até 70% da renda das famílias beneficiadas.

**Figura 6.12.** Complementação da renda das famílias com a comercialização da produção nas comunidades.



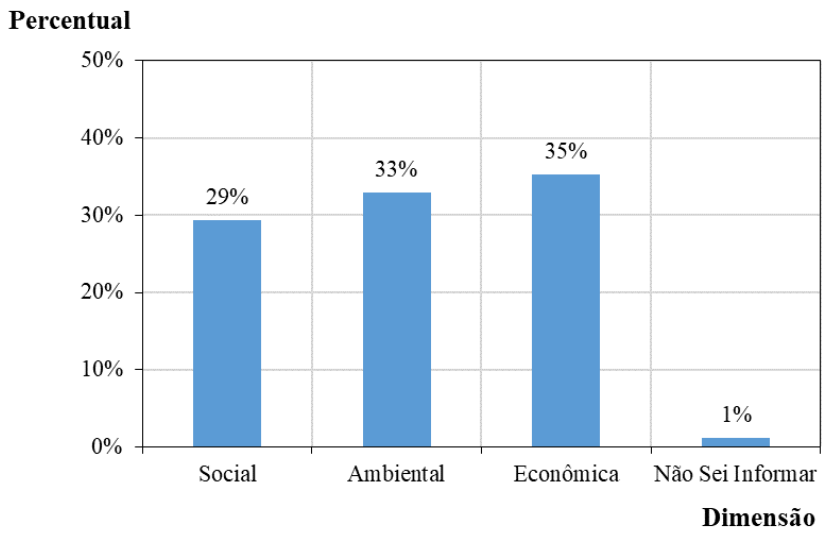

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para Tomaz e florentino (2021, p. 6), “problemas como fome, sede, migração e mortalidade, particularmente a infantil, continuam ocorrendo no Semiárido, sobretudo, onde políticas públicas de convivência não são fortalecidas e/ou implementadas”. Segundo os

autores, as tecnologias sociais promovem a inclusão social e o protagonismo das populações vulneráveis, trazendo como efeitos positivos a geração de renda, melhoria da saúde, oportunidades de emprego, aumento na produção de alimentos, nutrição adequada, habitação digna, aumento das relações sociais, além de benefícios para o meio ambiente.

Segundo Prochnow (2022), as definições do atual modelo de desenvolvimento sustentável englobam três dimensões: econômica, social e ambiental. A dimensão econômica supõe o aumento da eficiência da produção e do consumo através da economia dos recursos naturais. Já a dimensão social visa propiciar condições mínimas para uma vida digna para todos por meio da erradicação da pobreza. Consumir e produzir de forma que os ecossistemas possam manter sua capacidade de resiliência, é que objetiva a dimensão ambiental. Para Boff (2012), essas dimensões compõe o chamado tripé da sustentabilidade, que segundo Oliveira e Bertolini (2022), têm a intenção de satisfazer as necessidades das gerações atuais sem comprometer as gerações futuras, por meio do uso razoável dos recursos naturais. Na Figura 6.13 são mostradas as opiniões dos entrevistados em relação às dimensões do desenvolvimento sustentável que podem ser atingidas por meio da instalação dos sistemas de bombeamento fotovoltaico.

**Figura 6.13.** Dimensão mais importante dos sistemas de bombeamento fotovoltaico.




Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se que existe um equilíbrio entre as três dimensões, mas para os entrevistados, a dimensão econômica tem mais importância que as demais, segundo a opinião dos entrevistados. De acordo com Silva *et al.* (2021), para que ocorra o desenvolvimento sustentável, de fato deve existir um equilíbrio entre as três dimensões, porém, devido ao peso nas decisões humanas, a dimensão econômica termina se sobressaindo, nas avaliações dos

ecossistemas, porém, esta deve ser vista como condição necessária, mas não previa em relação as outras.

## 6.5 Considerações finais

Esta pesquisa buscou fazer a identificação das principais aplicações dos SFB na agricultura familiar do meio rural piauiense de clima semiárido e analisar os benefícios trazidos pela sua instalação. Foram feitas visitas para a observação e realização de entrevistas com as lideranças e usuários desses sistemas. Foram identificadas as principais aplicações dos sistemas dentro dessa realidade e os efeitos que o seu uso propiciou na diminuição da vulnerabilidade e melhoria da qualidade de vida. Ao todo foram identificados 40 SFB, sendo que foi autorizada a visita pelos líderes comunitários em 39 destes.

As principais aplicações dos SFB nas comunidades rurais piauienses estão ligadas às atividades produtivas em pequena escala com sistemas de pequeno porte (geralmente com uma placa ligada diretamente na bomba, funcionando de forma isolada). As comunidades beneficiadas utilizam a água bombeada para irrigar pequenos plantios em hortas comunitárias e particulares, para fornecer água para a criação de animais, sendo as principais aves, suínos, caprinos e ovinos. Também foi identificado o fornecimento de água para a manutenção da criação intensiva de peixes em tanques escavados, ainda de forma incipiente. Por outro lado, a utilização de SFB de grande porte se destinava ao abastecimento comunitário de assentamentos rurais e para a irrigação de campos agrícolas, onde se necessitava de volumes maiores de água. Geralmente são sistemas conectados à rede de energia e sua aplicação principal é a diminuição das faturas de energia.

No que tange aos benefícios trazidos pela instalação dos SFB, percebeu-se que o aumento da produção tanto na agricultura, quanto na criação de animais. Dessa forma, uma quantidade maior de pessoas passou a comercializar os alimentos produzidos, além de conseguir manter o autoconsumo e a produção animal. Com relação aos produtos comercializados, a venda proporcionou aumentos na renda de todas as famílias beneficiadas, sendo que algumas sobreviviam integralmente do que produziam e outras tinham a renda complementada por essas vendas. Dessa forma, os sistemas identiicados proporcionaram melhoria na qualidade de vida dessas pessoas, chegando a atingir diretamente cerca de 430 famílias.

Logo, os SFB, em especial os de pequena escala, são soluções energéticas que de fato se adaptam ao estilo de vida dos moradores das regiões rurais semiáridas, em especial, os que

sobrevivem da agricultura familiar, sendo ideais para localidades mais distantes dos centros urbanos, onde o acesso à energia elétrica é inexistente ou deficitário. Esses sistemas são de fácil instalação, operação simples e o custo para a instalação desses sistemas é baixo, em relação, aos sistemas de bombeamento de grande porte, que também têm a sua importância dentro desse contexto, porém, pode trazer consigo a dificuldade de aquisição, por serem mais caros, mais robustos e necessitarem de empresas especializadas para a sua manutenção.

Ressalta-se que, ainda existem muitas comunidades rurais, que vivem de forma isolada, sem acesso à energia elétrica, e em situação de vulnerabilidade social e econômica. Porém, tendo em vista a melhoria na qualidade de vida que propiciaram para a população beneficiada, constatada através do aumento na produção agrícola e pela consequente possibilidade real de aumento de ganhos financeiros, essas iniciativas devem servir como exemplos a serem replicadas em outras regiões que vivem em situação semelhante, em especial por meio de políticas púbicas, para, assim, aumentar a quantidade de pessoas atingidas, visando diminuição da vulnerabilidade da população rural do semiárido.

## 6.6 Referências

ALBUQUERQUE, U. P.; LUCENA, R. F. P.; ALENCAR, N. L. Métodos e técnicas para coleta de dados etnobiológicos. *In*: ALBUQUERQUE, U. P.; LUCENA, R. F. P.; CUNHA, L. V. F. C. (org). **Métodos e técnicas na pesquisa etnobiológica etnoecológica**. Recife, PE: NUPPEA, p. 41-64, 2010.

ALENCAR, M. O.; JUSTO, W. R.; ALVES, D. F. Os efeitos do Programa Uma Terra e Duas Águas (P1+2) sobre a qualidade de vida do pequeno produtor rural do semiárido nordestino. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 49, n. 1, p. 165-180, 2018. DOI: https://doi.org/10.61673/ren.2018.557.

ALVES, R. J. M.; GUTJAHR, A. L. N.; PONTES, A. N. A agricultura familiar e sua importância para os povos amazônicos: o caso do município de Marapanim, Pará. **Revista Pegada,** vol. 21, n.3. p. 109-127, 2020. DOI: https://doi.org/10.33026/peg.v21i3.7792.

ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Espinhaço**, v. 3, n. 2, p. 28-39, 2014. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.3964806.

ASSAD, E. D.; CALMON, M.; LOPES-ASSAD, M. L.; FELTRAN-BARBIERI, R.; POMPEU, J.; DOMINGUES, L. M.; NOBRE, C. A. Adaptation and resilience of agricultural systems to local climate change and extreme events: an integrative review. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, p. e72899- e72908, 2022.

BERNARD, H. R. **Research methods in anthropology: qualitative and quantitative approaches**. Rowman & Littlefield Publishers, 6 ed., 2017, 728 p.

BEZERRA, F. D. Nordeste: Futuro promissor para energia solar. **Caderno Setorial ETENE**, a. 3, n. 31, 2018.

BITTENCOURT, D. M. C. Estratégias para a Agricultura Familiar: visão de futuro rumo à inovação. **Texto para Discussão**, n. 49, p. 20-34, 2020.

BOFF, L. **Sustentabilidade**: o que é, o que não é. Rio de Janeiro: Vozes, 2012.

BORGES, I. M. S.; ALMEIDA, R. L. J.; FERNANDES, A. C. G.; SILVA, S. É.; SILVA, M. L. A.; BARROS, U. I. G.; LIMA, C. A. O.; REINALDO, L. R. L. R.; GOMES, R. M.; FREIRE, J. G. T. B. Agricultura familiar: análise de sustentabilidade através de indicadores sociais econômicos e ambientais. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e54942832-e54942832, 2020. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2832.

BORSATTO, R. S.; DURVAL, H C.; GRIGOLETTO, F.; SANTOS, L. L.; ANDRADE, V. R. S.; FERNANDES, L. C. A. Desafios do programa de aquisição de alimentos (PAA) em fomentar autonomia de agricultores familiares. **Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 1104-1122, 17 set. 2020. DOI: https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2897.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Brasília-DF: Diário Oficial da União de 25/07/2006, p. 1, col. 2, 2006.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.947 de 16/06/2009.** Dispõe sobre o atendimento da alimentação escolar e do Programa Dinheiro Direto na Escola aos alunos da educação básica; altera as Leis nºs 10.880, de 9 de junho de 2004, 11.273, de 6 de fevereiro de 2006, 11.507, de 20 de julho de 2007; revoga dispositivos da Medida Provisória nº 2.178-36, de 24 de agosto de 2001, e a Lei nº 8.913, de 12 de julho de 1994; e dá outras providências. Brasília-DF: Diário Oficial da União de 17/06/2009, p. 2, col. 2, 2009.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 9.064, de 31 de maio de 2017.** Dispõe sobre a Unidade Familiar de Produção Agrária, institui o Cadastro Nacional da Agricultura Familiar e regulamenta a Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e empreendimentos familiares rurais. Brasília-DF: Diário Oficial da União de 31/05/2017, ed. Extra, p. 11, col. 1, 2017.

BREITENBACH, R. Participação econômica das atividades de subsistência na agricultura familiar. **Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 23, n.1, p. 53-68, 2018.

CARVALHO, D. A. F.; GOMES, J. M. A. Análise das políticas públicas para a agricultura familiar no semiárido nordestino brasileiro. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 13, n. 4, p. 2271-2295, 2022. DOI: https://doi.org/10.7769/gesec.v13i4.1472.

CARVALHO, F. F.; GROSSI, S. F. A importância das feiras livres e seus impactos na agricultura familiar. **Interface Tecnológica**, v. 16 n. 2, p. 226-234, 2019. DOI: https://doi.org/10.31510/infa.v16i2.665.

CEPRO. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais. **Piauí em Números**. 11 ed. Teresina: CEPRO. 2019.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; LIRA, D. R.; MUTZENBERG, D. S.; CAVALCANTI, L. C. S. The semi-arid domain of the Northeast of Brazil. **The Physical Geography of Brazil: Environment, Vegetation and Landscape**, p. 119-150, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_7.

CRUZ, J. L. Energia solar e o desenvolvimento de políticas para agricultura familiar no semiárido piauiense. **Anais do Seminário Regional de Políticas e Sustentabilidade (SERPS)**, v. 1, p. 66-74, 2023. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.10794010.

DALLABRIDA, V. R.; TABASCO, J. J. P.; PULPÓN, Á. R. R. Agricultura familiar, organização de produtores e desenvolvimento territorial: oportunidades e ameaças em experiências agroalimentares no Estado de Santa Catarina (Brasil). **Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 23, n. 2, p. 135-153, 2018.

DAUGEARD, M. Mudanças e adaptações na agricultura familiar, estudo de caso em comunidades rurais de Juína, Mato Grosso. **Revista franco-brasilera de geografia**. n. 33, p. 1-13, 2017. DOI: https://doi.org/10.4000/confins.12516.

FARRAR, L. W.; BAHAJ, A. S.; JAMES, P.; ANWAR, A.; AMDAR, N. Floating solar PV to reduce water evaporation in water stressed regions and powering water pumping: Case study Jordan. **Energy Conversion and Management**, v. 260, p. 115598, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115598.

GOMES, U. A. F.; HELLER, L. Acesso à água proporcionado pelo Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais: combate à seca ou ruptura da vulnerabilidade? **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 623-633, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-41522016128417.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017:** resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE. 2019. 109 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022 – População e Domicílios:** Primeiros Resultados. 2023a. 75p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Proposta metodológica para classificação dos espaços do rural, do urbano e da natureza no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023b. 174p.

LIMA, M. G.; SALVIANO, A. A. C.; SANTANA, F. F.; FEITOSA, S. M. R. Secas de 2010 a 2016 no Piauí: impactos e respostas do Estado em articulação com os programas nacionais. **Parcerias estratégicas** v. 22, n. 44, p. 155–180, 2017.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P. M.; NOBRE, C. A.; RIBEIRO NETO, G. G.; MAGALHAES, A. R.; TORRES, R. R.; SAMPAIO, G.; ALEXANDRE, F.; ALVES, L. M.; CUARTAS, L. A.; DEUSDARÁ, K. R. L.; ÁLVALA, R. C. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4º C. **Natural Hazards**, v. 103, p. 2589-2611, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, p. 1189-1200, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8.

MORAES, M. D. C.; SOUSA, A. M. B.; ARAÚJO, C.F. S. Agricultura familiar no Piauí: uma leitura do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, n. Suplemento Especial, p. 71-91, 2020. DOI: https://doi.org/10.61673/ren.2020.1266.

MORAIS, F. H. M.; GUIMARÃES, J. C.; LOPES, W. G. R. Produção científica (2011-2021) sobre políticas públicas voltadas ao semiárido por meio de tecnologias sociais. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade**, v. 12, n. 2, p. 86-110, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.17648/aos.v12i2.2701.

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. O. L.; MORAES, A. M.; BARBOSA, F. R. Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v. 36, n. 4, p. 723–734, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786360049.

OLIVEIRA, W. C.; BERTOLINI, G. R. F. A systematic review about the contribution of cooperatives to the sustainability of family-based agriculture. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e43411226098, 2022. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v11i2.26098.

PEREIRA, R. F. A. Bombeamento de água utilizando sistemas fotovoltaicos. **Engineering Sciences**, v. 9, n. 1, p. 85-91, 2021. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0009.

PINTO, O. R. O.; PINTO, C. M.; AMORIM, A. V., AGUIAR, M. I.; COSTA, C. T. A., LUZ, L. N.; OLIVEIRA, E. G.; NOVAES, A. M. C. Agricultura familiar e agroecologia no contexto dos países lusófonos. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 11, p. 19570-19587, 2023. DOI: https://doi.org/10.7769/gesec.v14i11.2693.

PRETTO, J. M.; HORN, C. H. V. Uma avaliação do PRONAF no período 1995-2018. **Colóquio,** v. 17, n. 1, p. 35-39, 2020. DOI: https://doi.org/10.26767/1577.

PROCHNOW, D. A. Análise do PRONAF e seu apoio à sustentabilidade da agricultura familiar no Rio Grande do Sul. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 7, n. 5, p. 202-221, 2022.

RIBEIRO, K. V.; ALBUQUERQUE, E. L. S.; BARROS, R. F. M. Panorama socioespacial dos produtores familiares rurais no Médio-Parnaíba piauiense. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, p. e90101522727-e90101522727, 2021. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22727.

SAMBUICHI, R. H. R.; ALMEIDA, A. F. C. S., PERIN, G.; SPÍNOLA, P. A. C.; PELLA, A. F. C. O Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) como estratégia de enfrentamento aos desafios da COVID-19. **Revista de Administração Pública**, v. 54, p. 1079-1096, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/0034-761220200258.

SANTIAGO, C. M. C.; SALES, M. C. L.; PAULA J. E. A. Caracterização físico-ambiental da bacia do rio São Nicolau- semiárido piauiense. **Revista Equador**, v. 1, n. 1, p. 118-139, 2013. DOI: https://doi.org/10.26694/equador.v2i1.1035.

SCHNEIDER, S.; CAZELLA, A. A.; MATTEI, L. F. Histórico, caracterização e dinâmica recente do Pronaf–Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. **Revista Grifos**, v. 30, n. 51, p. 12-41, 2021. DOI: https://doi.org/10.22295/grifos.v30i51.5656.

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Ovinocultura**: criação e manejo de ovinos de corte. Brasília: SENAR, 2019. 92p. Disponível: https://ead.senar.org.br/senar-play/cartilhas/ovinocultura-criacao-e-manejo-de-ovinos-de-corte.

SILVA, L. A. P.; SILVA, C. R.; SOUZA, C. M. P.; BOLFE, É. L.; SOUZA, J. P. S.; LEITE, M. E. Mapeamento da aridez e suas conexões com classes do clima e desertificação climática em cenários futuros-Semiárido Brasileiro. **Sociedade & Natureza**, v. 35, p. e67666- e67679, 2023. DOI: https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666.

SILVA, L. F.; MALTEZ, M. A. P. F.; OLIVEIRA, C. E. A.; GUSMÃO, Y. J. P.; SOUZA, M. A.; NASCIMENTO, J. A. C.; OLIVEIRA, C. P.; BUENO, O. C. Sustainability, family farming and public policies in Brazil: a literature review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e42310414220, 2021. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14220.

SILVA, R. M. A.; AQUINO, J. R.; COSTA, F. B.; NUNES, E. M. Características produtivas e socioambientais da agricultura familiar no Semiárido brasileiro: evidências a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Desenvolvimento e Meio ambiente**. v. 55, p. 314-338, 2020. DOI: https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73745.

SILVA, W. A. L. Reforma agrária e paisagem em assentamentos piauienses. **Espaço em Revista**, v. 24, n. 1, p. 556-582, 2022. DOI: https://doi.org/10.70261/er.v24i1.70095.

SILVA JÚNIOR, P. C.; COSTA, J.; MORAES, A. M. Estudo e avaliação da implantação de sistemas fotovoltaicos no meio rural em associações e cooperativas piauienses. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 11, n. 2, p. 115–123, 2020. DOI: https://doi.org/10.59627/rbens.2020v11i2.316.

SOUSA, E. C.; CAMPOS, K. C.; LEMOS, J. J. S.; LESSA, L. C. R. Instabilidade pluviométrica na produção agrícola de sequeiro no estado do Piauí. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 20, n. 2, p. 1-20, 2022. DOI: https://doi.org/10.25070/rea.v20i2.15083.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Resolução nº 176/2024 do Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste**. Aprova Relatório Conclusivo elaborado pela Equipe Técnica do Comitê Provisório do Conselho Deliberativo da SUDENE (CONDEL/SUDENE), instituído pela Resolução CONDEL/SUDENE nº 155, de 29 de abril de 2022, sobre as irresignações apresentadas por Entes federativos subnacionais contra a exclusão de municípios do Semiárido brasileiro e dá outras providências. Brasília-DF: Diário Oficial da União, ed. 5, seção 1, p. 946, 2024.

TAGLIAPIETRA, O. M.; CARNIATTO, I.; BERTOLINI, G. A importância do conhecimento local dos agricultores familiares e demais populações rurais para o

desenvolvimento rural sustentável. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, v. 18, n. 2, p. 178-199, 2021. DOI: https://doi.org/10.25112/rgd.v18i2.2470.

TOMAZ, B. M; FLORENTINO, H. S. Tecnologias sociais de acesso à água enquanto estratégias de convivência com o semiárido: experiências e protagonismo da comunidade do Sítio Carcaré, São José da Lagoa Tapada-PB. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 5, n. 1, p. 2, 2021.

WAZED, S. M.; HUGHES, B. R.; O'CONNOR, D.; CALAUTIT, J. K. A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1206-1225, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.039.

XIE, H.; RINGLER, C.; MONDAL, M. A. H. Solar or diesel: A comparison of costs for groundwaterfed irrigation in sub-Saharan Africa under two energy solutions. **Earth's Future**, v. 9, p. e2020EF001611- e2020EF001633, 2021. DOI: https://doi.org/10.1029/2020EF001611.

# 7 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO INSTALADOS NO MEIO RURAL DO PIAUÍ, BRASIL, COMO TECNOLOGIA SOCIAL DE CONVIVÊNCIA COM O SEMIÁRIDO

**Resumo:** As mudanças climáticas vêm trazendo consequências severas relacionadas à qualidade de vida do meio rural, aumentando ainda mais a vulnerabilidade social e econômica. Diversos sistemas fotovoltaicos de bombeamento foram instalados no meio rural para fornecer água para diversas finalidades, demonstrando potencial para diminuir a vulnerabilidade. Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o uso dos Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento (SFB) como tecnologia social no meio rural piauiense. Utilizando-se da técnica da Bola de Neve foram identificadas as comunidades rurais piauienses beneficiadas e as instituições que promoveram tais instalações. Através do Sistema de Indicadores para Diagnóstico, Monitoramento e Avaliação de Tecnologias Sociais (SIDMATECS), foram aplicados formulários junto aos líderes comunitários e representantes das instituições promotoras. Dessa forma ao analisar o cumprimento de seus objetivos principais, promover segurança hídrica, energética e alimentar no meio rural, foi possível caracterizar os sistemas fotovoltaicos de bombeamento como Tecnologia Social. Como pontos principais de fragilidade da tecnologia, percebeu-se a necessidade de maior acompanhamento por parte das instituições promotoras após a instalação dos sistemas, bem como de investimentos em formação das pessoas das comunidades para o uso adequado dos sistemas e capacitando mão de obra para trabalharem com esta tecnologia.

**Palavras-chave:** Energia Solar Fotovoltaica, SIDMATECS, Pesquisa Social. Mudanças climáticas.

*EVALUATION OF PHOTOVOLTAIC PUMPING SYSTEMS INSTALLED IN THE RURAL AREAS OF PIAUÍ, BRAZIL, AS A SOCIAL TECHNOLOGY FOR LIVING IN THE SEMI-ARID REGION*

**Abstract:** *Climate change has had severe consequences for the quality of life in rural areas, further increasing social and economic vulnerability. Several photovoltaic pumping systems have been installed in rural areas to supply water for various purposes, demonstrating the potential to reduce vulnerability. This research aims to evaluate the use of photovoltaic pumping systems as a social technology in rural Piauí. Using the Snowball technique, the rural communities in Piauí benefited and the institutions that promoted such installations were identified. Using the System of Indicators for the Diagnosis, Monitoring and Evaluation of Social Technologies, forms were applied to community leaders and representatives of the promoting institutions. In this way, by analyzing the fulfillment of its main objectives, promoting water, energy and food security in rural areas, it was possible to characterize photovoltaic pumping systems as a Social Technology. The main weaknesses of the technology were the need for greater monitoring by the promoting institutions after the systems have been installed, as well as investment in training people in the communities in the proper use of the systems and training the workforce to work with this technology.*

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy, SIDMATECS, Applied Social Research. Climate change.

EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO FOTOVOLTAICO INSTALADOS EN LA ZONA RURAL DE PIAUÍ, BRASIL, COMO TECNOLOGÍA SOCIAL PARA VIVIR EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA

**Resumen:** El cambio climático ha tenido graves consecuencias para la calidad de vida en las zonas rurales, aumentando aún más la vulnerabilidad social y económica. Varios sistemas de bombeo fotovoltaico han sido instalados en áreas rurales para abastecer agua para diversos fines, demostrando el potencial para reducir la vulnerabilidad. Esta investigación tiene como objetivo evaluar el uso de sistemas de bombeo fotovoltaico como tecnología social en la zona rural de Piauí. Utilizando la técnica de Bola de Nieve, se identificaron las comunidades rurales de Piauí beneficiadas y las instituciones que promovieron dichas instalaciones. Utilizando el Sistema de Indicadores para el Diagnóstico, Seguimiento y Evaluación de Tecnologías Sociales, se aplicaron formularios a los líderes comunitarios y a los representantes de las instituciones promotoras. De esta manera, al analizar si los sistemas de bombeo fotovoltaico cumplían con sus objetivos principales de promover la seguridad hídrica, energética y alimentaria en las zonas rurales, fue posible caracterizarlos como una Tecnología Social. Las principales debilidades de la tecnología fueron la necesidad de un mayor seguimiento por parte de las instituciones promotoras después de la instalación de los sistemas, así como la inversión en la capacitación de las personas de las comunidades en el uso adecuado de los sistemas y la formación de mano de obra para trabajar con esta tecnología.

**Palabras clave:** Energía Solar Fotovoltaica, SIDMATECS, Investigación Social. Cambio climático

## 7.1 Introdução

As mudanças climáticas fazem parte dos eventos naturais da Terra, promovendo períodos de aquecimento e resfriamento, que, ao longo do tempo, vêm moldando a biosfera, propiciando a evolução e a adaptação da vida no planeta (Gamarra-Rojas; Fabre, 2017). Desde a pré-história o homem interagiu com a natureza retirando dela apenas o necessário para sobreviver. Porém, as ações antrópicas evoluíram e tornaram-se excessivas, contribuindo para o agravamento do aquecimento do planeta, prejudicando ainda mais o meio ambiente (Moreira *et al.*, 2022). De acordo com dados do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), até antes de 1950, as alterações na temperatura média do planeta eram consequência de fatores ambientais e antrópicos em igual proporção. A partir de então, a ação antrópica passou a ter mais influência no aumento da temperatura média da terra (IPCC, 2021).

No entanto, "as mudanças climáticas vão muito além do aumento de temperatura. Alterações na precipitação, circulação atmosférica, eventos climáticos extremos, aumento do nível do mar" também têm impactos significativos (Artaxo, 2020, p. 56). Como impactos, tem-se, por exemplo, o aumento do fenômeno da desertificação e das secas (Tavares; Arruda; Silva, 2019). Embora possam ocorrer em qualquer lugar, as secas ocorrem com maior intensidade e

frequência nas regiões que margeiam os desertos, em terras subúmidas secas e semiáridas, como, por exemplo, o Sahel, no continente africano, o Mediterrâneo Europeu e o Semiárido Brasileiro (Araújo, 2021).

Os impactos das mudanças climáticas atingem também os sistemas humanos, comprometendo, em especial, a qualidade de vida dos pequenos produtores rurais e das comunidades pobres isoladas que sofrem com a seca (Queiroz *et al.*, 2022), deixando expostas as pessoas e as comunidades mais pobres e mais vulneráveis (Assad *et al.*, 2022). Neste sentido, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de analisar as causas, os impactos e os riscos das alterações climáticas, bem como medidas adaptativas para a população afetada (Silva; Colombo, 2019).

De acordo com Santos *et al.* (2023), quanto menos vulneráveis forem os territórios, mais adaptados estarão às mudanças climáticas. Dessa forma, as medidas de adaptação se configuram como proposições de atenuação, antecipação e resposta às variabilidades socioambientais climáticas, possibilitando a diminuição da vulnerabilidade. Nesse contexto, segundo Nunes *et al.* (2021, p. 9), as Tecnologias Sociais caracterizam-se por "iniciativas científico-tecnológicas comprometidas com as demandas dos indivíduos e comunidades que vivem em estado de maior vulnerabilidade econômica, política, jurídica e social". Segundo Queiroz *et al.* (2022), as tecnologias sociais têm desempenhado papel importante proporcionando segurança hídrica e alimentar, porém, ainda não comprovaram a sua efetividade na redução da vulnerabilidade dentro do contexto das mudanças climáticas, atendendo às demandas locais.

Pesquisas recentes trataram a respeito das tecnologias sociais em regiões vulneráveis. Batista *et al.* (2021) fizeram um levantamento de tecnologias sociais voltadas para o saneamento em comunidades ribeirinhas da região amazônica. As tecnologias envolvem sistemas para a captação de água de chuva e sistemas de tratamento e filtragem de água de baixo custo. Apesar da disponibilidade hídrica da região, apenas uma pequena fração desta água está apta ao consumo humano. Assim, essa parcela da população também vive em situação de vulnerabilidade social. Por sua vez, Castro *et al.* (2019) analisaram, em sua pesquisa, a contribuição de uma bomba hidráulica conhecida como da bomba de corda em comunidades carentes do semiárido onde a energia elétrica e as chuvas são escassas.

Morais, Guimarães e Lopes (2023) identificaram que a grande maioria das políticas públicas para acesso hídrico aplicadas no semiárido, utilizavam apenas cisternas dos mais diversos tipos como tecnologia social, sendo direcionadas apenas ao armazenamento da água das chuvas. Neste sentido, Tomaz e Florentino (2021) evidenciaram que as cisternas alcançaram a maior parte da população estudada, porém apontam a necessidade do desenvolvimento de

outras tecnologias sociais e estratégias de convivência com o semiárido, incorporando também a captação de águas superficiais e subterrâneas.

Percebe-se, portanto a necessidade de novas medidas de adaptação climática, visando a gestão de recursos naturais que contemplem as necessidades humanas dentro do nexo água-energia-alimentos. Para Weber e Silva (2020, p. 4), "o objetivo é a promoção do acesso à água, energia e segurança alimentar para todos; crescimento equitativo e sustentável; e ambiente resiliente e produtivo" de modo integrado, pois ações isoladas para reduzir um determinado problema, podem intensificar outros. Neste sentido, nas últimas décadas foram implantados diversos Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento (SFB) no Brasil para abastecer comunidades rurais (Moraes *et al.*, 2017), por ser uma alternativa viável para retirar a água de poços, represas, reservatórios, rios e lagos, podendo ser utilizada para diversas finalidades (Pereira, 2021). Além da sua utilização para o consumo humano, o provimento de água em localidades rurais é importante para a produção agropecuária (Calca *et al.*, 2021). Dessa forma, esta tecnologia demonstra potencial para mudar a vida das pessoas que vivem em comunidades rurais, não apenas pelo fornecimento de água, mas também propiciando desenvolvimento socioeconômico (Verma *et al.*, 2021).

Segundo Moraes *et al.* (2020, p. 264), no processo de introdução de uma nova tecnologia muitos aspectos devem ser considerados como, por exemplo, "continuidade no fornecimento; qualidade da água; condições sanitárias adequadas; gestão e operação dos sistemas; aspectos socioeconômicos e culturais; aspectos técnicos; infraestrutura hidráulica e recursos hídricos disponíveis". Diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, é essencial aprofundar os estudos sobre tecnologias sociais que promovam adaptação e resiliência em comunidades vulneráveis. A introdução de novas tecnologias, como os Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento (SFB), deve considerar sua eficácia na mitigação dos impactos climáticos e sua integração sustentável com as condições socioeconômicas locais. Investigações mais detalhadas podem fortalecer a viabilidade desses sistemas, garantindo seu papel como solução adaptativa para a escassez hídrica em regiões semiáridas.

Logo, nesta pesquisa tem-se como objetivo avaliar o uso dos Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento como tecnologia social no meio rural piauiense. Assim, acredita-se que os SFB podem ser utilizados como medida adaptativa, dentro do contexto das mudanças climáticas, especialmente em áreas rurais semiáridas.

## 7.2 Avaliação, Diagnóstico e Monitoramento de Tecnologias Sociais

De acordo com Araújo e Cândido (2017), todo projeto de intervenção social, por meio de Tecnologias Sociais, visa à solução de problemas, necessidades ou demandas sociais, tendo início, meio e fim. Neste sentido, para Burgardt, Belli Filho e Martins (2018), existem diversos métodos de avaliação de projetos de cunho social e ambiental para analisar os impactos e as transformações ocorridas nas comunidades alvo.

A pesquisa de Ventura, García e Andrade (2012) teve como objetivo avaliar o potencial de tecnologias sociais desenvolvidas para a mitigação das mudanças climáticas e a promoção de desenvolvimento humano no semiárido. Os autores analisaram se as tecnologias sociais identificadas no decorrer do estudo sob três aspectos principais: se cumpriam os requisitos necessárias para se caracterizar como uma tecnologia social: a baixa inversão econômica, o uso de recursos locais, a interação com a comunidade e a possibilidade de replicação; se as tecnologias estavam contribuindo na luta contra as mudanças climáticas; e se estava melhorando a as condições de vida das comunidades em que foram instaladas. Dessa forma, foi construída uma ferramenta analítica que permite identificar tecnologias sociais, analisar seu potencial de contribuição frente às mudanças climáticas, além dos benefícios sociais econômicos e ambientais gerados por estas tecnologias.

Já os autores Oliveira e Silva (2012) desenvolveram um *framework* para analisar a presença de inovação social em tecnologias sociais atuantes em relacionamentos intercooperativos. Dessa forma foram identificadas as tecnologias sociais desenvolvidas nesses relacionamentos, a motivação para o desenvolvimento do empreendedorismo coletivo para promover melhoria na qualidade de vida. Porém, até o a publicação da pesquisa, não foi possível a identificação da presença de inovação social.

Os autores Lobo *et al.* (2013) apresentaram uma proposta para avaliação econômica de tecnologias sociais aplicadas à promoção de saúde envolvendo a etapas de planejamento, implantação e gestão. Foi analisado a eficiência e a relação custo-benefício de uma tecnologia social para abastecimento de água potável. Foram levantados como componentes das despesas o pagamento direto pela água, o deslocamento até o local de obtenção da água e a volta para casa e o valor monetário imputado ao trabalho envolvido na tarefa de obtenção da água comparados com o custo de implantação da tecnologia social, e como benefícios decorrentes da implantação da tecnologia, a estimativa monetária dos seus benefícios para as famílias.

Franzoni e Silva (2016) analisaram os benefícios para os atores sociais de uma cadeia agroalimentar composta por sete organizações de agricultores familiares que fornecem alimentação dentro do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), dentro das perspectivas da inovação social e da tecnologia social. Foram analisados os impactos das

políticas púbicas envolvidas no processo de formação das cadeias, identificando as inovações sociais e quando ocorreu o processo de transformação social, dentro da ótica do produtor, do consumidor, da sociedade e do poder público.

Souza e Pozebbon (2020) construíram um modelo conceitual que permite a identificação de mecanismos-chave que caracterizam as transformações sociais promovidas por uma tecnologia social. Foram identificadas as práticas do ciclo de trabalho, os grupos sociais envolvidos, as ferramentas e os métodos que caracterizam a tecnologia social, como sendo os mecanismos-chave que caracterizam, por meio de uma análise indutiva, as transformações sociais e o método de ação de uma tecnologia social.

Dentro do contexto do desenvolvimento rural sustentável, Araújo e Cândido (2017) apresentaram a proposta de um ensaio teórico parar observar o papel das inovações sociais enquanto vetores de mudança social, bem como das tecnologias sociais, vistas como alternativas às técnicas convencionais no meio rural conhecido como Sistema de Indicadores para Diagnóstico, Monitoramento e Avaliação de Tecnologias Sociais (SIDMATECS). Para o desenvolvimento do modelo os autores analisaram experiências empíricas de tecnologias sociais, identificando as etapas que compõem o seu processo de construção e difusão e os principais resultados e impactos comuns a todas. Conforme pode ser visto na Figura 7.1, o modelo é constituído por duas fases, cada qual composta por oito etapas interdependentes.

**Figura 7.1.** Fases e Etapas do SIDMATECS.




Fonte: Araújo e Cândido (2017).

Através desse sistema, uma série de indicadores propostos para cada uma das etapas são quantificados e organizados através de uma representação gráfica final, possibilitando realizar a avaliação, o diagnóstico e o monitoramento de cada uma dessas etapas, quando acompanhados por uma análise qualitativa dos dados que os embasam. Dessa forma, por esse método é possível

analisar se uma determinada experiência pode ser caracterizada como uma tecnologia social, bem como demonstrar os seus pontos de vulnerabilidade e robustez.

## 7.3 Metodologia

Para o atendimento do objetivo proposto, optou-se em trabalhar com pesquisa aplicada de natureza exploratória, com abordagem quali-quantitativa, realizada por meio de pesquisa de campo. Inicialmente foram identificadas as comunidades rurais piauienses beneficiadas com a instalação de SFB, bem como as instituições promotoras destas instalações. Foi utilizada a técnica conhecida como Bola de Neve, em que, segundo Bockorni e Gomes (2021), um primeiro indivíduo indica outros indivíduos com o perfil desejado para a pesquisa, e estes por sua vez indicam mais pessoas, até que haja saturação na amostra, ou seja, quando os objetivos da pesquisa são alcançados, ou quando não se obtêm mais informações relevantes ao estudo.

Após a identificação e localização das comunidades, foi aplicada a técnica de *rapport* afim de se obter a confiança dos moradores dessas comunidades favorecendo a obtenção das informações necessárias para o estudo (Bernard, 2017). Após essa etapa, foi aplicado um formulário (Apêndice C) com os principais atores sociais envolvidos na instalação dos SFB, neste caso, os representantes das instituições promotoras e líderes comunitários que se dispuseram a participar da pesquisa, desde que fossem maiores de 18 anos de idade. Vale a pena ressaltar que a aplicação do formulário foi agendada previamente, em dias e horários estabelecidos pelos participantes da pesquisa.

Foram visitadas as 39 comunidades, nas quais os sistemas instalados estavam ativos, em que 54 atores sociais responderam ao formulário, sendo 39 líderes communitários e 15 representantes das instituições promotoras, que de alguma forma estiveram envolvidos no processo de instalação dos sistemas, e que se dispuseram a participar da pesquisa. A seguir será apresentada a análise da aplicação do SIDMATECS aos SFB instalados em cada uma de suas fases e etapas. No Quadro 7.1 é apresentada a relação das comunidades visitadas durante a pesquisa, as instituições promotoras, e a data que realizaram a instalação dos sistemas.

A presente pesquisa, em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do CNS, foi aprovada pelo CEP da UFPI (parecer nº 6.238.395). Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), e sua privacidade foi assegurada pela identificação com a letra 'E'. A coleta de dados ocorreu de setembro de 2023 a janeiro de 2025.

A partir da utilização da metodologia SIDMATECS, proposta por Araújo e Cândido (2017), foi possível analisar em que medida os sistemas de energia solar fotovoltaica para

bombeamento de água poderiam ser considerados como tecnologia social para a convivência com o semiárido. Segundo esta metodologia, dentro de um conjunto de indicadores socioeconômico-ambientais propostos pelos autores, podem ser escolhidos de três a quatro indicadores por fase, de acordo com a tecnologia a ser analisada, que posteriormente serão convertidos em índices que indicarão a convergência ou não da tecnologia estudada, podendo, assim, ser validada como Tecnologia Social.

**Quadro 7.1.** Comunidades visitadas durante a pesquisa.

| **Localidade** | **Município** | **Instalação** | **Instituições Promotoras** |
|---|---|---|---|
| Labino | Ilha grande | fev/23 | Caritas Brasileira |
| 17 de Abril II | Teresina | set/22 | Caritas Brasileira |
| 8 de Março | Teresina | abr/19 | Caritas Brasileira |
| Morro do Tiro | Floriano | mar/19 | Caritas Brasileira |
| Meladão | Floriano | abr/19 | Caritas Brasileira |
| Princesinha | Floriano | set/23 | Caritas Brasileira |
| Gabriel Kalume | Floriano | mar/19 | Caritas Brasileira |
| Tabocas | Floriano | mai/19 | Caritas Brasileira |
| 17 de Abril I | Teresina | ago/22 | Caritas Brasileira |
| São Joaquim | Floriano | set/22 | Caritas Brasileira |
| Malhada Grande | São Francisco do Piauí | set/23 | Caritas Brasileira |
| Piçarra | Nazaré do Piauí | jul/22 | Caritas Brasileira |
| Bom Sucesso | Floriano | jan/19 | Caritas Brasileira |
| Passagem de Santo Antônio | Nazária | fev/19 | Caritas Brasileira |
| Morro Redondo | Oeiras | fev/19 | IFPI |
| Pedra de Amolar II | José de Freitas | fev/19 | IFPI/Iniciativa Privada |
| Boca da Vereda | Oeiras | ago/22 | Prefeitura de Oeiras |
| Pombinhos I | Oeiras | mai/23 | Prefeitura de Oeiras |
| Pombinhos II | Oeiras | mai/23 | Prefeitura de Oeiras |
| Lageiro | Oeiras | mai/23 | Prefeitura de Oeiras |
| Toco Vermelho | Teresina | jun/21 | SEAGRO-PI |
| Poço dos Negros | Altos | jun/21 | UFPI |
| Bola | Campo Maior | dez/19 | UFPI |
| Flores | Boa Hora | dez/20 | UFPI |
| Vereda | Brasileira | ago/22 | UFPI |
| Cassianos | Porto | set/21 | UFPI |
| Cadoiz | José de Freitas | out/20 | UFPI |
| Sobradinho | José de Freitas | ago/19 | UFPI |
| Barbosa | José de Freitas | jun/21 | UFPI |
| Laranjeiras | Currais | jun/21 | UFPI |
| São Martins | Paulistana | nov/20 | UFPI |
| Malhada das Pedras | Oeiras | jan/21 | UFPI |
| Alto Bonito | Oeiras | dez/19 | UFPI |
| Fazenda Esperança | São João da Varjota | mar/22 | UFPI |
| Ponta da Serra | Oeiras | set/20 | UFPI |
| Marcos | José de Freitas | out/20 | UFPI |
| Pé da Serra | Santa Rosa do Piauí | set/19 | UFPI |
| Caldeirões | Oeiras | set/20 | UFPI |
| Barra | Santo Inácio do Piauí | ago/19 | UFPI |
| Baixas | Oeiras | nov/24 | UFPI |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 7.2, encontram-se descritos os indicadores sociais escolhidos nesta pesquisa. Como visto anteriormente, a Fase de Construção e Difusão é composta pelas etapas de Planejamento, Desenvolvimento, Aplicação e Reaplicação. Já a Fase de Resultados e Impactos é composta pelas etapas de Eficácia, Inclusão Social, Qualidade de Vida e Empoderamento.

**Quadro 7.2**. Indicadores selecionados para a avaliação dos SFB.

| Fase | Etapa | Indicador |
|---|---|---|
| Construção e Difusão | Planejamento | Realização de diagnósticos participativos |
| | | Nível de aceitação do projeto |
| | | Grau de Inovação |
| | | Vinculação a uma demanda social concreta |
| | | Esgotamento dos recursos naturais envolvidos |
| | Desenvolvimento | Participação dos usuários na administração do projeto |
| | | Mobilização da População |
| | | Compartilhamento do conhecimento |
| | | Conscientização sobre questões ambientais |
| | | Formação de recursos humanos |
| | Aplicação | Participação dos usuários em todas as etapas do processo |
| | | Dependência tecnológica |
| | | Distribuição equitativa dos benefícios |
| | | Geração de empregos/ocupações |
| | | Ativação econômica local |
| | | Apoio institucional |
| | | Competitividade |
| | Reaplicação | Aplicação do conhecimento em novas experiências |
| | | Adaptabilidade a contextos distintos |
| | | Domínio público do conhecimento |
| | | Capacidade de disseminação pelos usuários |
| Resultados e Impactos | Eficácia | Autonomia produtiva |
| | | Segurança Hídrica |
| | | Segurança Energética |
| | | Segurança Alimentar |
| | | Transferência Tecnológica |
| | Inclusão Social | Pobreza |
| | | Desigualdade Social |
| | | Alfabetização |
| | Qualidade de Vida | Oportunidades de trabalhp |
| | | Novas informações e habilidades |
| | | Apoio Social |
| | Empoderamento | Capacidade de Realização |
| | | Dependência das elites locais |
| | | Trabalho em rede |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que na etapa Eficácia, os indicadores devem ser selecionados e inseridos de acordo com as especificidades e propósitos específicos de cada tecnologia a ser analisada (Araújo; Cândido, 2017). Dessa forma, em se tratando de SFB, foram escolhidos como indicadores Autonomia Produtiva, Segurança Hídrica, Segurança Energética, Segurança Alimentar e Transferência Tecnológica.

A cada um dos indicadores está associada uma pergunta do formulário, que deverá ser respondida por meio de uma escala de respostas, conhecida como Escala Likert, na qual, segundo Burgardt, Belli Filho e Martins (2018), os informantes da pesquisa expressam sua opinião de acordo com o grau de aceitação em relação às afirmativas expostas, com caráter qualitativo. Dessa forma, para cada pergunta obteve-se um resultado quantitativo, realizado por meia conversão apresentada No Quuadro 7.3. Esse resultado quantitativo será expresso por meio de índices que, segundo os autores, refletem o nível de sucesso da experiência avaliada em relação ao seu processo de construção e difusão e aos resultados e impactos gerados, segundo os fundamentos teóricos da tecnologia social.

**Quadro 7.3.** Escala Likert para a conversão das respostas do formulário.

| Escala Qualitativa | Escala Quantitativa | Expressões Características |
|---|---|---|
| Não ou Discordo Totalmente | 1 | Não, certamente não, com certeza não, absolutamente não, de forma alguma, de jeito nenhum, em hipótese alguma, nunca, jamais etc. |
| Discordo Parcialmente | 2 | Acho que não, aparentemente não, provavelmente não, supostamente não, talvez não etc. |
| Nem concordo nem discordo | 3 | Mais ou menos, talvez, às vezes sim às vezes não, não sei dizer, não prestei atenção, sei não etc. |
| Concordo Parcialmente | 4 | Acho que sim, aparentemente sim, provavelmente sim, supostamente sim, talvez sim etc. |
| Sim ou Concordo Totalmente | 5 | Sim, certamente, com certeza, absolutamente sim, de toda forma, de todo jeito, sempre, claro, obviamente etc. |

Fonte: Adaptado de Araújo e Cândido (2017).

Após o cálculo dos índices, estes foram representados graficamente, de modo que um conjunto de índices associados a uma determinada etapa, trará um valor entre 0 e 1, que indicará a convergência da tecnologia analisada com tais fundamentos, como pode ser visto nno Quadro 7.5.

**Quadro 7.4.**Grau de convergência dos índices.

| Índice | Coloração | Nível de convergência |
|---|---|---|
| 0,801 - 1,000 | | Total convergência |
| 0,601 – 0,800 | | Alta convergência |
| 0,401 – 0,600 | | Convergência intermediária |
| 0,201 – 0,400 | | Baixa convergência |
| 0,000 – 0,200 | | Nenhuma convergência |

Fonte: Araújo e Cândido (2017).

Vale a pena ressaltar que antes do cálculo dos índices, as respostas obtidas devem ser submetidas à verificação de homogeneidade entre as respostas, através da análise de média e desvio padrão, de modo que o valor encontrado para desvio padrão até 2 indica baixa dispersão, entre 2 e 3 indica moderada dispersão e acima de 3 indica alta dispersão dos dados em relação à média. Isso trará consistência aos resultados encontrados.

Esses índices, por sua vez serão organizados em um gráfico de radar, contendo oito vértices. Dessa forma será possível analisar a tecnologia em estudo de forma holística, bem como analisar separadamente cada uma das fases de acordo com a evolução de suas etapas, permitindo também analisar desequilíbrios e fragilidades presentes em cada uma delas.

Segundo Araújo e Cândido (2017, p. 20)

> Vale ressaltar a importância de uma avaliação isolada para a fase de construção e difusão pelo fato de que a caracterização de uma tecnologia social se dá pelo seu modo particular de construção e ampliação em escala, sendo o resultado da avaliação dessa fase capaz de evidenciar se uma determinada experiência pode de fato ser considerada uma tecnologia social independentemente dos resultados e impactos por ela produzidos.

Assim, será considerada uma tecnologia social as experiências que tiverem índice superior a 0,600, para a fase de Construção e Difusão.

## 7.4 Resultados e discussão

### *7.4.1 Fase de Construção e Difusão*

a. Planejamento

Na Tabela 7.1 pode ser visto o resultado encontrado para a etapa de Planejamento.

**Tabela 7.1.** Resultados da etapa de Planejamento.

| Indicador | Questão | Mín. | Max. | Méd. | DP | Índice | $I_{PLAN}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Realização de diagnósticos participativos | 1 | 1 | 5 | 4,333 | 1,318 | 0,833 | 0,873 |
| Nível de aceitação do projeto | 2 | 3 | 5 | 4,852 | 0,408 | 0,963 | |
| Grau de Inovação | 3 | 1 | 5 | 4,630 | 0,760 | 0,907 | |
| Vinculação a uma demanda social concreta | 4 | 2 | 5 | 4,722 | 0,685 | 0,931 | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Esgotamento dos recursos naturais envolvidos | 5 | 1 | 5 | 4,333 | 1,452 | 0,731 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os indicadores escolhidos para esta etapa têm como proposito avaliar a participação da comunidade na elaboração de uma solução sustentável e adequada para os problemas relacionados à falta de água para as atividades básicas e para outras atividades com potencial econômico.

Ao considerar a "Realização de diagnósticos participativos", as atividades de consulta prévia para a escola das comunidades que seriam beneficiadas demonstraram total convergência, o que levou à obtenção de um índice de 0,833. De acordo com Souza e Pozebbon (2020), as tecnologias sociais contêm características que demandam um envolvimento prévio, sendo necessário escutar os atores sociais envolvidos para identificar, a partir de seus relatos, os elementos fundamentais para o sucesso da iniciativa em questão. Nesta etapa as instituições promotoras buscavam informações diretamente nas comunidades sobre demandas e necessidades que justificassem a instalação dos SFB. Porém em alguns casos, a comunidade ou os usuários não foram consultados diretamente, havendo apenas a indicação da comunidade por alguma outra instituição que já conhecia as necessidades da comunidade, conforme consta no relato a seguir:

> *O que é que acontece: com a pandemia a gente teve muita dificuldade de chegar nas comunidades, porque estava tudo fechado. Eu não ia lá, né... sair daqui da cidade e levar vírus para lá... ninguém sabia quem estava contaminado e quem não estava, não tinha vacina, enfim... aí foi... foi... foi indo... e a gente precisava executar o projeto, para concluir. Então acabou que alguns sistemas não ficaram bem adequados. Outra... a gente sempre ia antes, visitava, observava. [...] Para descobrir as comunidades foi a minha articulação com os parceiros [...]. Eles diziam: "ó, tem em tal lugar, e tudo mais". Então foi assim: articulando os parceiros, eu dizia como eram as características, e dizia: "ó, encontrem comunidades assim...", aí a gente ia lá, visitava e depois instalava. Aconteceu casos que não deu tempo visitar antes. A pessoa disse pra gente [...], mas se eu tivesse ido antes, eu não teria escolhido aquela comunidade, mas como me garantiram que tinha as características, foi instalado* (E.22, 41 anos, 2024).

Tendo em vista que todo o projeto depende da fase de planejamento, após a identificação das demandas e necessidades, as possíveis soluções devem ser desenvolvidas em interação com as comunidades de modo a serem construídas em um processo que envolva todos os interessados (Burgardt; Belli Filho; Martins, 2018). Ao considerar o indicador "Nível de aceitação do projeto", com índice obtido de 0,963, percebeu-se que a maioria das famílias

beneficiadas aceitaram a instalação de um SFB em sua comunidade como uma possível solução das suas demandas e necessidades, como pode ser percebido no seguinte relato:

> *Só benefício. Todo mundo gostou. Graças a Deus foi bem vindo essa placa. Ave Maria, meu Deus do céu. Senão tinha passado sede... antes da placa, a gente passava ruim na comunidade, mas chegou essa placa, parece que o poço disse: 'não, eu vou deixar vocês morrer de sede', mas num morreu não, porque a placa ajudou nós. Tantos os animais como as pessoas, as mãe traziam os meninos pra banhar ele na placa aí, só se visse o jeito.* (E.1, 68 anos, 2024).

Segundo Nunes *et al.* (2021), um dos objetivos principais das Tecnologias Sociais é inovar socialmente, de modo a buscar soluções simples para problemas complexos enfrentados pela humanidade em nossos dias. Assim, o indicador "Grau de inovação", com índice de 0,907 demonstrou que o SFB substituiu os métodos tradicionais de captação de água, trazendo avanços tecnológicos perceptíveis para as comunidades, como foi informado nos seguintes relatos:

> *Antes da placa, a gente puxava água na sonda, feita com um cano, cada um tirando na sonda de um por um, esperando a vez.* (E3, 34 anos, 2024).

> *Nesse caso aí, usava era manual. Tinha dia que eu carregava no ombro, pra botar na manilha acolá pros bixos. Antigamente aqui tudo era manual mesmo. Tudo a gente que carregava.* (E.14, 45 anos, 2024).

Para Lobo *et al.* (2013), a tecnologias sociais são importantes por viabilizarem novas possibilidades tecnológicas para a melhoria da qualidade de vida das populações mais vulneráveis, porque se adaptam aos produtores e consumidores de baixa renda, e, principalmente por ajudarem na satisfação das necessidades básicas humanas. Dessa forma, os SFB foram considerados pelos usuários como uma solução concreta e adequada para a resolução de seus problemas, o que fez com que se obtivesse o índice de 0,931 para o indicador Vinculação a uma demanda social concreta. Nesse caso, os SFB demonstraram total convergência com os fundamentos da Tecnologia Social. Os seguintes relatos corroboram com esse valor.

> *Aqui era ruim demais. A gente pagava uma pessoa pra ir pegar água la no poço da associação. Era ruim demais. Era na carroça pra trazer a água. Eu ainda fui umas duas vez mas num aguentei não, porque eu tenho um carrinho de empurrar, mas num dava certo não, porque era pesado demais pra subir as ladeiras. Às vez era preciso alguém ir me ajudar.* (E.25, 71 anos, 2024)

Porém o índice de 0,731 obtido para o indicador "Esgotamento dos recursos naturais envolvidos", revela que nem todos os atores sociais acreditam que o SFB tem potencial para fornecer água em quantidade suficiente sem o esgotamento do recurso disponível. Não por causa do sistema em si, mas por conta dos poços em que foram instalados, que em sua maioria são do tipo cacimbão, e que secam naturalmente nos períodos de estiagem. Para Cruz *et al.* (2020), a seca impacta desigualmente a sociedade, atingindo mais severamente grupos com menos recursos, poder e renda, prejudicando a subsistência de agricultores familiares, sua condição de vida, patrimônio e acentuando desigualdades econômicas. Porém, mesmo com essa dificuldade presente, descrita no seguinte relato, o indicador apresenta alta convergência com as Tecnologias Sociais.

> *Não dá conta não. É que é assim. No dia que não chove a água fica bem fininha, e no dia que chove a água sai grossa. [...] Aí sai so aquele pouquim véi. Aí no dia que chove, como a terra amolece, aí água sai grossa. Mas se passar três sem chover, a água fica pingando nas casa. Aí se chover, no outro dia tem água demais.* (E.1, 68 anos, 2024).

Portanto, com base nas avaliações dos atores sociais para cada um dos indicadores, o índice final obtido para a etapa de Planejamento foi de 0,873, demonstrando, assim, total convergência com os fundamentos da Tecnologia Social.

b. Desenvolvimento

O resultado encontrado para a etapa de Desenvolvimento pode ser visto na Tabela 7.2. Os indicadores escolhidos para esta etapa visam avaliar o processo de construção da solução que foi proposta na fase de planejamento, em que fosse considerada a participação dos usuários, a disseminação do conhecimento relacionado à tecnologia proposta como solução, em especial no que tange às questões ambientais, e a formação de recursos humanos para atuarem nas próximas etapas do projeto, em especial na sua gestão.

**Tabela 7.2.** Resultados da etapa de Desenvolvimento.

| Indicador | Questão | Mín. | Max. | Méd. | DP | Índice | $I_{DES}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Participação dos usuários na administração do projeto | 6 | 1 | 5 | 4,611 | 0,960 | 0,903 | 0,833 |
| Mobilização da População | 7 | 1 | 5 | 4,352 | 1,403 | 0,838 | |
| Compartilhamento do conhecimento | 8 | 1 | 5 | 4,185 | 1,480 | 0,796 | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Conscientização sobre questões ambientais | 10 | 1 | 5 | 4,278 | 1,309 | 0,819 | |
| Formação de recursos humanos | 11 | 1 | 5 | 4,241 | 1,317 | 0,792 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise do indicador "Participação dos usuários na administração do projeto" demostrou total convergência com os fundamentos das tecnologias sociais, ao perfazer o índice de 0,903. Esse indicador reflete o interesse dos usuários em participar como protagonistas do processo de desenvolvimento da comunidade a que pertencem, envolvendo os demais membros e a família. Pelo valor obtido para esse indicador, percebe-se que nem todos os usuários tiveram interesse em participar diretamente da administração do projeto, como pode ser visto no seguinte relato:

> *Quando veio a ideia do projeto, a primeira vez, a primeira coisa eu fiz foi convidar o meu irmão. Aí ele me ajudou na base, todo animado para que ele pudesse continuar com esse cercadinho dele no verão e no inverno verdinho. Só que quando ele viu o andamento da coisa, ele mesmo recuou, porque ele pensou: "Eu vou fazer um trabalho no período de sol, o poço não vai dar conta, vai secar e eu vou perder o meu trabalho, perder a semente, aí ele se recuou, e só eu que estou usando.* (E.16, 65 anos, 2024).

Dessa forma, apesar de alguns usuários se absterem de participar ativamente do projeto, a maioria das pessoas das comunidades, de alguma forma, se mobilizaram para participar de reuniões que objetivavam envolver a comunidade no processo de implantação da tecnologia, possibilitando a obtenção do índice de 0,838 para o indicador "Mobilização da População", indicando total convergência com as tecnologias sociais. Nesse quesito

> O reconhecimento da importância da participação das pessoas nos programas de desenvolvimento não se baseia apenas em posições ideológicas - a aceitação de que as pessoas têm o direito de participar de seu próprio desenvolvimento - mas também, e principalmente, em considerações pragmáticas e operacionais (Herrera, 2010, p. 39).

No que tange ao indicador "Compartilhamento do conhecimento", o índice de 0,796 demonstrou alta convergência, pois a maioria dos usuários demonstrou interesse em conhecer efetivamente a tecnologia a ser instalada, participando de reuniões formativas. O sucesso desse tipo de empreendimento, os autores Burgardt, Belli Filho e Martins (2018) afirmam é necessário que o conhecimento acadêmico, de alguma forma, chegue até os usuários na forma de ações efetivas que, de fato, promova mudanças e transformações gerando benefícios reais para a comunidade.

Segundo Silva *et al.* (2021), por se tratar de pequenos agricultores, a maioria com baixa instrução educacional, os modos sustentáveis de produção não são praticados, prevalecendo os modos arcaicos de trabalhar com a terra. Sendo assim, essas reuniões formativas objetivavam também, segundo os executores dos projetos, a conscientização da comunidade para as questões ambientais, de modo que a tecnologia a ser instalada fosse obrigatoriamente sustentável, como é o caso da energia solar, ou se utilizasse de práticas sustentáveis, aliadas à tecnologia fotovoltaica. Segundo Henig, Santos e Mendes (2019), quando associadas com a agroecologia, as tecnologias sociais auxiliam na produção de alimentos saudáveis, sem a utilização de insumos químicos. Práticas como essa ajudam a diminuir os custos de produção, agregam valor aos produtos e aumentam a sua qualidade, em relação ao mercado de produtos agrícolas convencionais e industrializados. Dessa forma, o indicador "Conscientização sobre questões ambientais" obteve o índice de 0,819 demonstrando total convergência com a Tecnologia Social.

No caso do indicador "Formação de recursos humanos", o índice de 0,792 demonstrou alta convergência com os fundamentos da Tecnologia Social. O objetivo deste indicador é analisar a possibilidade de formação de material humano capaz de promover a gestão adequada do sistema. De acordo com Moraes *et al.* (2017, p. 12.15) "a introdução de uma nova tecnologia, especialmente em comunidades tradicionais, requer uma abordagem interdisciplinar". Além disso, segundo os autores, "a capacitação dos usuários e técnicos locais, a criação de uma associação de usuários e a implantação de um sistema de gestão são apontadas como etapas essenciais nesse processo". Assim, a etapa de Desenvolvimento demonstrou total convergência com os fundamentos das Tecnologias Sociais, obtendo o índice de 0,833.

c. Aplicação

São apresentados na Tabela 7.3 os resultados obtidos para a etapa de Aplicação.

**Tabela 7.3**. Resultados da etapa de Aplicação.

| Indicador | Questão | Mín. | Max. | Méd. | DP | Índice | $I_{APL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Participação dos usuários em todas as etapas do processo | 12 | 1 | 5 | 4,222 | 1,239 | 0,806 | 0,793 |
| Dependência tecnológica | 13 | 2 | 5 | 4,630 | 0,734 | 0,907 | |
| Distribuição equitativa dos benefícios | 14 | 1 | 5 | 4,074 | 1,426 | 0,769 | |
| Geração de empregos/ ocupações | 15 | 1 | 5 | 3,889 | 1,513 | 0,722 | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ativação econômica local | 16 | 1 | 5 | 4,167 | 1,299 | 0,792 | |
| Apoio institucional | 17 | 1 | 5 | 3,685 | 1,669 | 0,671 | |
| Competitividade | 18 | 2 | 5 | 4,537 | 0,745 | 0,884 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta etapa visa analisar a utilização da tecnologia em si, analisando a própria tecnologia e seus alcance no cumprimento de seus objetivos e a interação entre os diversos atores sociais para o desenvolvimento desta etapa.

Ao considerar o indicador "Participação dos usuários em todas as etapas do processo", obteve-se o índice de 0,806 demonstrando total convergência com as tecnologias sociais. De acordo com Batista *et al.* (2021), para o sucesso das tecnologias sociais como ferramentas de transformação social é imprescindível a participação da comunidade em que são utilizadas. Em algumas comunidades, as empresas obtiveram a ajuda dos moradores na confecção, por exemplo, das bases de sustentação dos módulos fotovoltaicos, geralmente feita com insumos locais, como madeiras retiradas da vegetação local, trabalhadas e fincadas no solo pelos próprios usuários.

Já o indicador "Dependência tecnológica", quando quantificado no valor de 0,907, mostra total convergência com as tecnologias sociais, ao ponto em que as comunidades e usuários dos SFB passaram a depender menos das tecnologias convencionais para a captação da água do subsolo, em especial as técnicas manuais para extração da água dos poços, como pode ser percebido no seguinte relato.

> *Aí depois, a prefeita veio e cavou um poço lá em cima [...]. Aí quando falta energia, e quando ás vez falta água lá, o povo pega água daqui, lava roupa, faz tudo, daqui a nossa salvação foi essa placa aí, durante o inverno, o verão e quando falta energia [...]. O que nos salva é essa energia bem aí, essa placa bem aí nos ajuda pra caramba, nos ajuda muito*. (E.10, 51 anos, 2024).

O indicador "Distribuição equitativa dos recursos" obteve um índice de 0,769, demostrando alta convergência com as Tecnologias Sociais. O intuito desse indicador é analisar se todos os usuários partilham igualmente da água fornecida pelos SFB e se todos estão de fato usufruindo dos benefícios da sua instalação. Os autores Henig, Santos e Mendes (2019) afirmam que as tecnologias têm a proposta de buscar transformações sociais, econômicas e ambientais. Isso pode ser conseguido através da distribuição justa, equitativa e inclusiva dos

benefícios que essas tecnologias oferecem, e do envolvimento das famílias com responsabilidade socioambiental.

Segundo Nachtigall *et al.* (2019), as Tecnologias Sociais são alternativas viáveis para promover desenvolvimento socioeconômico ao proporcionar a geração de trabalho, por meio da oferta de bens e serviços. Dessa forma, para o indicador "Geração de emprego/ocupações", o índice obtido foi de 0,722, demonstrando uma alta convergência. Diagnosticou-se nesta pesquisa que as famílias dos usuários apresentavam uma quantidade em média 4 pessoas. Em sua maioria, 2 dos membros já eram idosos aposentados. Os membros restantes eram os filhos remanescentes (geralmente os mais jovens) que estavam a serviço da família para o cuidado dos idosos. Nesta situação, muitas das pessoas já haviam desistido do serviço pesado da agricultura e da criação de animais. Porém, em algumas das famílias, a água fornecida pelo SFB representou uma mudança de vida, trazendo um novo meio de vida para a família, como pode ser visto no seguinte relato:

> *Mudou sim! Só em ter esse complemento de renda, melhorou! Porque aqui em casa ninguem trabalha. E só em trabalhar agora em casa, já é alguma coisa, com a implantação da horta.* (E14, 45 anos, 2024).

Para Lemos e Dechandt (2019), as tecnologias sociais são as mais adequadas para resolver os interesses das populações excluídas sem visar a exploração do capital pelo livre mercado, pois permitem aos próprios usuários a participação decisiva na mudança de vida, em especial no que tange aos aspectos econômicos. Neste contexto, o indicador "Ativação econômica local" demonstrou alta convergência com as tecnologias sociais ao perfazer o índice de 0,792. Após o aumento das produções, em consequência do aumento no fornecimento de água para irrigação e produção animal, a maioria dos usuários passou a vender o excedente da produção. Muitos desses produtos são vendidos em feiras livres, pelo sistema de encomendas, ou são comercializados no próprio local.

O indicador "Apoio institucional", que visava identificar se as comunidades contaram com o apoio e a presença de instituições de pesquisa e extensão durante a utilização do SFB, obteve o índice de 0,671, demonstrando alta convergência com as tecnologias sócias. Os autores Moraes *et al.* (2016) reforçam em sua pesquisa a importância da participação institucional, ao dar apoio e suporte aos produtores, levando o conhecimento acadêmico para o meio rural, no intuito de melhorar a produção. O seguinte relato corrobora com essa afirmação:

> *Aí o agrônomo foi explicando, com eles mesmos montando os próprios canteiros, aí foi falando sobre adubação, ensinou a fazer, para não usar química, o próprio adubo*

> *natural usando as folhas, ensinou a fazer a compostagem, e tudo mais... tudo natural, ali, nada químico... tudo natural...* (E.18, 54 anos, 2024).

Por sua vez, o indicador "Competitividade" ao ser quantificado, perfez o índice de 0,884, demonstrando total convergência com as tecnologias sociais. Esse indicador, buscava identificar a possibilidade de substituição das técnicas tradicionais para captação de agua por SFB. Os usuários relataram uma série de dificuldades que foram evidenciadas no momento da retirada da água, antes da implantação do SFB, como o excesso de peso e a distância do poço ao local de utilização da água, que, por sua vez, provocam problemas de saúde, como dores nas costas, como pode ser visto no seguinte relato:

> *É porque se puxava a água, dava dor nas costas, neh... agora num vai puxar mais essa água. Aí, com certeza essa dor num vai mais acontecer.... e se acontecer num e mais por casa desse negócio de ta puxando essa água.* (E.15, 60 anos, 2024)

Dessa forma, a etapa de Aplicação, como um todo, demonstrou alta convergência com os fundamentos das Tecnologias Sociais, pois o índice obtido foi de 0,793.

d. Reaplicação

O resultado encontrado para a etapa de Reaplicação pode ser visto na Tabela 7.4. Os indicadores desta etapa visam analisar se a tecnologia que foi instalada pode ser reaplicada em outros locais, considerando a utilização em novas experiências, a adaptabilidade da tecnologia em novos contextos, bem como analisar a disseminação do conhecimento gerado durante o seu processo de implantação, e se esse conhecimento de fato foi disponibilizado de forma acessível para os usuários e demais moradores das comunidades em que os SFB foram instalados.

**Tabela 7.4.** Resultados da etapa de Reaplicação.

| Indicador | Questão | Mín. | Max. | Méd. | DP | Índice | $I_{REAP}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aplicação do conhecimento em novas experiências | 19 | 1 | 5 | 4,000 | 1,346 | 0,750 | 0,813 |
| Adaptabilidade a contextos distintos | 20 | 1 | 5 | 4,685 | 0,748 | 0,921 | |
| Domínio público do conhecimento | 21 | 1 | 5 | 4,278 | 1,172 | 0,819 | |
| Capacidade de disseminação pelos usuários | 22 | 1 | 5 | 4,037 | 1,273 | 0,759 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação ao indicador “Aplicação do conhecimento em novas experiências”, o índice obtido foi de 0,750, demonstrando alta convergência com as tecnologias sociais. Percebeu-se durante as visitas nas comunidades, que alguns usuários que foram beneficiados não aplicaram os conhecimentos que receberam em novas experiências, pois utilizaram a água bombeada do sistema para consumo próprio, e se acomodaram com esta situação. Porém, os usuários que entenderam que o SFB poderia ser utilizado para além das demandas iniciais da comunidade, se dispuseram a buscar formas de utilização em experiências diferentes dos habituais que praticavam nas comunidades, como por exemplo, a criação de hortas comunitárias, criatório de peixes, campos agrícolas com novos plantios que antes não era possível de se realizar pela falta de água.

A seguir, pode ser visto um plantio de feijão sempre-verde, em fase experimental, para produzir o ano todo, utilizando a água proveniente do SFB, na comunidade Barbosa, município de José de Freitas (Figura 7.2). Ressalta-se que em uma parte do plantio já havia sido feita a colheita, e a outra parte já estava proxima dessa fase. Normalmente o plantio era feito apenas no período do inverno (fevereiro a abril), e a imagem mostra o plantio no mês de setembro, que segundo Morais *et al.* (2021), juntamente com o mês de outubro, compõem o período do ano em que as temperaturas estão entre as mais elevadas do estado do Piauí.

**Figura 7.2.** Plantio de feijão em fase experimental, produzindo no mês de setembro, utilizando a água retirada do subsolo com o SFB instalado na comunidade Barbosa, José de Freitas, PI.





Fonte: Foto de Fabricio Morais (2024).

Já o indicador “Adaptabilidade a contextos distintos” obteve o índice de 0,921, demonstrando total convergência. Em algumas comunidades, o conhecimento obtido foi tão enriquecedor, que os usuários de fato inovaram em suas experiências, como por exemplo, no caso da instalação de um criatório de peixes, com água fornecida pelo SFB, visto na Figura 7.3. Segundo Ribeiro Neto *et al.* (2016), para o sucesso da realização piscicultura familiar nas regiões semiáridas, se faz necessário o emprego e a difusão de tecnologias que se adequem a este tipo de atividade, evitando esvaziamento dos reservatórios nos períodos de estiagem, de modo a manter a produção o ano todo. Neste contexto, os SFB são, de fato, uma solução viável para esta atividade.

**Figura 7.3.** Criatório de peixes com água fornecida por um SFB instalado na comunidade Sobradinho, José de Freitas, PI.



Fonte: Foto de Fabricio Morais (2024).

A quantificação do indicado “Domínio público do conhecimento” apresentou o índice de 0,819, demonstrando total convergência com as tecnologias sociais. Para Moraes *et al.* (2017), a disseminação do conhecimento nas comunidades pode ser feita de diversas formas, podendo incluir a participação das escolas da comunidade e dos usuários em ações de extensão universitária e institucionais, sendo que o processo de capacitação e por meio de demonstrações da tecnologia, através de seminários e visitas técnicas. Esse tipo de ação envolve todas as pessoas da comunidade e cria o sentimento de pertença às ações dos projetos, facilitando a disseminação, transposição e a absorção do conhecimento.

O indicador “Capacidade de disseminação pelos usuários”, quando quantificado, perfez um índice de 0,759, demonstrando alta convergência com as tecnologias sociais. O objetivo desse indicador era analisar se os usuários eram capazes de explicar e repassar para outras pessoas o conhecimento que adquiriram durante as etapas do projeto. De acordo com a maioria dos usuários, apesar de os conhecimentos serem básicos, como ligar e desligar o sistema e como mantê-lo limpo e em funcionamento, eles poderiam facilmente explicar para outras pessoas, caso fosse necessário. Dessa forma, a contribuição de cada um dos indicadores permitiu que a etapa de Reaplicação obtivesse o índice de 0,813, demonstrando, portanto, total convergência com os fundamentos das tecnologias sociais.

### *7.4.2 Fase de Resultados e Impactos*

a. Eficácia

Os indicadores desta etapa visam identificar se a tecnologia instalada consegue cumprir objetivos específicos relacionados à própria tecnologia em si, sendo eficaz para resolver os problemas gerais a que se destinam. Na Tabela 7.5 são apresentados os resultados encontrados para a etapa de Eficácia.

**Tabela 7.5**. Resultados da etapa de Eficácia.

| Indicador | Questão | Mín. | Max. | Méd. | DP | Índice | $I_{REAP}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Autonomia produtiva | 23 | 1 | 5 | 4,556 | 1,003 | 0,889 | 0,855 |
| Segurança Hídrica | 24 | 1 | 5 | 4,593 | 0,942 | 0,898 | |
| Segurança Energética | 25 | 1 | 5 | 4,037 | 1,414 | 0,759 | |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Segurança Alimentar | 26 | 1 | 5 | 4,389 | 1,017 | 0,847 | |
| Transferência Tecnológica | 27 | 1 | 5 | 4,519 | 1,059 | 0,880 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A instalação de SFB nas comunidades visava fornecer água para que as famílias pudessem conviver com as situações naturais de escassez hídrica, geralmente instalados em locais sem acesso à rede de energia elétrica, ou com redes deficitárias, para promover segurança alimentar para a população, como pode ser percebido no seguinte relato em que são apresentados os critérios (relacionados aos objetivos da instalação) para que fosse instalado um sistema em uma determinada comunidade:

> *O critério era não ter energia elétrica no poço, o que não significava dizer que não poderia ter energia na comunidade, tinha que ser comunitário, atender pelo menos duas famílias, e não ter energia elétrica no local. A ideia era essa... e outra... parceria com instituição local. Está dentro dos critérios? Atende pelo menos duas famílias com um sistema pequeno? Atende. Está sem energia elétrica? Ok... ou eles têm alguma dificuldade em pagar alguma coisa? Ok. Vai ser para uso produtivo, ok. Eram basicamente esses os critérios.* (E.22, 41 anos, 2024).

O indicador "Autonomia produtiva" apresentou um índice de 0,889, demostrando total convergência com os critérios das tecnologias sociais. Após a instalação dos sistemas, os usuários passaram a plantar e a criar animais o ano todo, independente do período de chuvas, e também passaram a decidir o que plantar, como pode ser percebido no seguinte relato:

> *Aqui não tem energia né. E so tem aquele olho d'água ali né. Nós vivia mesmo só das criação, um porco que a gente criava, galinha, criação... boi não porque como demais. E se não plantar o que é que a gente vai comer? Aí nós plantava num cercado acolá pra fazer a roça. Os bicho ficava por aí solto, bebendo do olho d'água. Mais ruim era no período do verão, porque não tem coisa verde, aí precisava de dar alguma coisinha comprada né até chegar o inverno.* (E.37, 58 anos, 2024).

Já o indicador "Segurança Hídrica" objetivava refletir como os moradores se sentem com relação ao fornecimento de água após a instalação do sistema, dentro do contexto da escassez hídrica, se tonando independentes das formas tradicionais de captação da água. O índice obtido foi de 0,898, também demonstrando total convergência com as tecnologias sociais. O principal problema das regiões semiáridas não é a falta de água, mas o acesso a ela, e as tecnologia sociais podem garantir este acesso de forma democrática fornecendo água em quantidade suficiente para diferentes finalidades (Tomaz; Florentino, 2021). O suprimento de água, é o principal motivo da instalação dos SFB no semiárido, sendo os demais, secundários

ou decorrentes deste. Com a instalação desta tecnologia é possivel ter acesso a água em abundância em épocas de estiagem.

Ao analisar o indicador "Segurança Energética", percebe-se que ele recebeu o menor índice dentro desta etapa, perfazendo o valor de 0,759. O objetivo deste indicador era avaliar como os usuários se sentem em relação à utilização da energia elétrica gerada pelos sistemas fotovoltaicos para bombear água, e sua independência em relação ao fornecimento de energia elétrica anterior à sua instalação, ou à ausência deste bem.

Acredita-se que o fato de o sistema ter sido instalado nas comunidades para esta finalidade específica contribuiu para este valor. Muitos usuários que receberam o sistema não tinham nenhum tipo de acesso à energia elétrica, e acreditavam que este problema seria resolvido com a instalação. Neste caso, algumas atividades que demandavam água durante a noite ficaram comprometidas, como pode-se perceber no seguinte relato:

> *Esse sistema deixa a desejar, porque é so durante o dia, num é. A noite num funciona né. Aqui nós só temos água uma vez por dia, porque é a hora que a pessoa liga lá. Aí quando enche, a gente vai e apara, e aí só vai ter no outro dia. A noite seria bom também. A gente num pode ter um chuveiro, porque não tem água.* (E.25, 71 anos, 2024).

Neste caso, o problema do uso noturno poderia ser suprido com o uso de armazenamento de energia elétrica, por meio de baterias, o que traria um alto custo para os usuários. Para Melo *et al.* (2021) a instalação de SFB com sistemas de baterias, apesar do alto custo inicial, ainda é economicamente mais viável que instalar redes de distribuição com transformadores, e até mesmo em relação a sistemas eólicos com a mesma potência, sem contar a mão de obra e acessórios necessários para sua instalação.

Uma forma ainda mais simples de resolver este problema é a instalação de sistemas de armazenamento de água, de custo menor e mais fácil instalação, e adaptação. Segundo Pereira (2021), nos períodos em que ocorre a maior isolação, a água bombeada pode ser armazenada em reservatórios, que devem ser dimensionados, em termos de autonomia, de acordo com a atividade em que serão empregados.

No que tange ao indicador "Segurança Alimentar", que tinha como intenção verificar se as famílias estavam aumentando a oferta de alimentos consumidos em relação à sua situação anterior à instalação do sistema, obteve-se o índice de 0,847, demonstrando alta convergência com os fundamentos das tecnologias sociais. Muitos usuários relataram as dificuldades em produzir no período seco, e que após a instalação dos sistemas, foi possível produzir o ano todo,

inclusive com novas culturas e criações que não eram possíveis pela dificuldade hídrica, como pode ser percebido nos seguintes relatos:

> *Os bichos aumentou neh, porque agora tem água pros eles beberem. A gente não tinha água, e tinha que ir pegar agua lá pra jogar nos canteiro, aí a gente achava ruim, pra jogar num pé desse aí.* (E.37, 58 anos, 2024).

> *A gente nem podia criar, daquele jeito ali, preso, porque não tinha como a gente manter com água. Essa aguinha aí tambem adiantou muito aquela mandioquinha que nós aguemos. Do ano trasado pro ano passado só ali naquele bolãozinho ali nos tiremos numa faixa aí, dumas... mais de seis caixas de mandioca... e você num dizia... porque a dona mesmo num acreditava que desse daquele tanto... e ainda hoje tem da farinha aqui.* (E.15, 60 anos, 2024)

De acordo com Tavares, Silva e Silva (2024), apesar das dificuldades naturais impostas, o semiárido é uma região com potencial para produção de uma grande diversidade de produtos agropecuários. Uma estratégia produtiva para o período das secas é a introdução de tecnologias sociais para captação e armazenamento da água utilizando fontes renováveis. Tendo em vista os riscos a que estão sujeitas as atividades rurais familiares do semiárido, o uso da energia solar fotovoltaica pode garantir a sobrevivência da produção nos períodos de baixa precipitação, possibilitado o ganho de renda extra para as famílias.

Outro ponto analisado dentro desta etapa é o processo de transferência tecnológica, através do que foi feito, e como foi feito, para que os usuários se apropriassem desta tecnologia adequadamente, sabendo utilizá-la e adaptá-la a seu favor e de forma independente das instituições promotoras. Dessa forma, o indicador “Transferência Tecnológica” obteve índice de 0,880, demonstrando total convergência com os fundamentos das tecnologias sociais. Na Figura 7.4 pode ser vista uma cisterna utilizada para armazenar água para ser utilizada em um sistema de irrigação, que foi instalada pelo próprio usuário, após a instalação do SFB, na localidade Cadoiz, município de José de Freitas, com o intuito de irrigar um plantio de melancia utilizando sistema de gotejamento, com vistas a aumentar a produção.

**Figura 7.4.** Cisterna instalada pelo próprio usuário para armazenar a água retirada pelo sistema.



Fonte: Fotos de Fabricio Morais (2024).

Sendo assim, cada um desses indicadores permitiu que a etapa de Eficácia obtivesse o índice final de 0,855, demonstrando, portanto, total convergência com os fundamentos das tecnologias sociais. Segundo Henig, Santos e Mendes (2019), as tecnologias sociais atuam como um catalizador no processo de emancipação das famílias, pois o alimento produzido, além de servir para o consumo da própria familia pode ser vendido em feiras. Através dos instrumentos, métodos e técnicas desenvolvidos, os agricultores podem ter uma produção diversificada e extrair da terra seus alimentos sem prejudicar o meio ambiente.

b. Inclusão Social

De acordo com Araújo e Cândido (2017) a inclusão social é o objetivo primeiro de qualquer tecnologia social. Os indicadores desta etapa visam identificar se a tecnologia instalada proporcionou para as famílias e/ou comunidades beneficiadas, oportunidades de acesso a diversos bens, como recursos materiais, educacionais e culturais, podendo usufruir dignamente desses bens. Na Tabela 7.6 são apresentados os resultados encontrados para a etapa de Eficácia.

**Tabela 7.6.** Resultados da etapa de Inclusão Social.

| Indicador | Questão | Mín. | Max. | Méd. | DP | Índice | $I_{REAP}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pobreza | 28 | 1 | 5 | 4,352 | 1,135 | 0,838 | |
| Desigualdade Social | 29 | 1 | 5 | 4,333 | 1,213 | 0,833 | 0,807 |
| Alfabetização | 30 | 1 | 5 | 4,000 | 1,229 | 0,750 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O indicador “Pobreza”, que visou identificar se as famílias beneficiadas tiveram seus ganhos aumentados, podendo ter acesso a novos bens ou fazer novos investimentos, obteve o índice de 0,838, demonstrando, assim, total convergência com as tecnologias sociais. Muitos usuários conseguiram adquirir novos bens como telefones celulares, motocicletas, bicicletas, podendo estes bens serem considerados como investimentos, pois também eram utilizados para realizar, por exemplo, a venda e o transporte das mercadorias. Nesse sentido, outros utilizaram os seus ganhos para aumentar o tamanho da produção, por exemplo, construindo mais canteiros, comprando ração de qualidade para os animais, ou mesmo, melhorando a infraestrutura de seu sistema produtivo. De acordo com Silva *et al.* (2021), a renda agrícola é determinada pela relação que o proprietário tem com a terra, em especial com relação às decisões ligadas à administração do estabelecimento rural, que devem ser tomadas pelo próprio proprietário., podendo trazer impactos positivos na produtividade.

Neste sentido, o indicador “Desigualdade Social” buscou saber se a instalação do sistema fotovoltaico proporcionou uma nova fonte de renda ou se aumentou a renda dos usuários. Com índice obtido de 0,833, o indicador demonstrou total convergência com o que preconizam os fundamentos das tecnologias sociais, pois por meio da comercialização dos produtos excedentes, o aumento da renda possibilitou a mudança na vida de muitas pessoas, como pode ser percebido no seguinte relato:

> *Mudou sim! Só em ter esse complemento de renda, melhorou! Porque aqui em casa ninguem trabalha. E só em trabalhar aqui em casa, já é alguma coisa, com a implantação da horta*. (E.14, 45 anos, 2024).

Vale a pena ressaltar que, segundo Abreu *et al.* (2023), O Índice ou Coeficiente de Gini é uma medida da desigualdade social muito utilizada para medir o nível de desigualdade na distribuição de renda de um país ou região. Este índice varai entre 0 e 1, sendo que quando mais próximo de zero, mais distribuída é a renda em determinado local analisado. De acordo com dados apresentados na Síntese de Indicadores Sociais publicada pelo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que analisa as condições de vida da população brasileira, no ano de 2023 o Brasil apresentou índice de gini com valor 0,518, sendo que a região Nordeste apresenta o valor de 0,509, e o estado do Piauí perfez o índice de 0,552 (IBGE, 2024).

Por sua vez, o indicador “Alfabetização” buscou identificar se, após a instalação do Sistema Fotovoltaico de Bombeamento, os usuários e membros de suas famílias tiverem

melhores condições de acesso à educação. O indicador obteve o índice de 0,750, sendo o menor dentre os indicadores desta etapa, porém, ainda demonstra alta convergência com as tecnologias sociais. Para Archanjo Junior e Gehlen (2020) as tecnologias sociais contribuem para construção de conceitos e práticas e na formação de sujeitos críticos e transformadores do contexto social em que estão inseridos. Segundo Cavalcante, Costa e Rocha (2022) a educação tem caráter emancipatório, e quando aplicada para a preservação ambiental e o empoderamento social, em especial dos pequenos agricultores, melhoram a relação entre o homem, a terra e o meio ambiente. Dessa forma, a etapa de Inclusão Social obteve o índice final de 0,807, demonstrando, portanto, total convergência com os fundamentos das tecnologias sociais.

c. Qualidade de Vida

Esta etapa visa identificar se após a instalação dos SFB, os usuários tiveram acesso a novas oportunidades de trabalho, a aquisição de novos conhecimentos e habilidades, e como se mantiveram as relações sociais dentro da comunidade em que vivem. Na Tabela 7.7 são apresentados os resultados encontrados para a etapa Qualidade de Vida.

**Tabela 7.7.** Resultados da etapa Qualidade de Vida.

| Indicador | Questão | Mín. | Max. | Méd. | DP | Índice | $I_{REAP}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oportunidade de Trabalho | 31 | 1 | 5 | 4,093 | 1,321 | 0,773 | 0,776 |
| Novas Informações e Habilidades | 9 | 1 | 5 | 4,167 | 1,514 | 0,792 | |
| Apoio Social | 32 | 1 | 5 | 4,056 | 1,338 | 0,764 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O indicador “Oportunidade de Trabalho”, que visava identificar se os usuários e membros da familia puderam ter acesso a novas oportunidades de trabalho, dentro do seu ramo de atuação, após a instalação do sistema fotovoltaico, obteve o índice de 0,773, demonstrando alta convergência com as tecnologias sociais. Os usuários em sua maioria trabalham diretamente na agricultura familiar e passaram a contar com mais membros da familia, aumentando assim a força de trabalho, tendo em vista as melhorias na produção possibilitadas pela disponibilidade de água para a criação e para o plantio. De acordo com Maciazeki-Gomes, *et al.* (2021), na agricultura familiar, as atividades laborais são realizadas dentro do circuito familiar, onde cada membro precisa trabalhar para prover a renda necessária para a família.

Vale a pena ressaltar que, de acordo com os dados do IBGE, no Brasil, a quantidade de pessoas com mais de 14 anos e que estão abaixo da linha de pobreza, ocupadas no setor agropecuário ano de 2023 foi de 2.698 pessoas (IBGE, 2024). Por outro lado, o estado do Piauí, de acordo com dados do Novo Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Novo Caged) apresentados pela Secretaria de Planejamento (SEPLAN), o mercado de trabalho formal conta com o total de 14.723 pessoas trabalhando no grupamento que envolve a agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura, até o mês de novembro de 2024 (PIAUÍ, 2025)

Por sua vez, o indicador "Novas Informações e Habilidades", que tem como objetivo analisar se os usuários tiveram a oportunidade de adquirir novos conhecimentos relacionados aos sistemas fotovoltaicos, obteve índice de 0,792, demonstrando alta convergência com os fundamentos das tecnologias sociais. No entanto, os usuários receberam capacitações simples, relacionadas apenas à operação e gestão básica do sistema, sendo que a maioria informou que gostariam de receber também formações e capacitações com o intuito de conhecer mais profundamente sobre a tecnologia, para serem capazes de realizar montagens de sistemas, além de detectar e resolver problemas relacionados à falhas e manutenção dos sistemas. Os autores Tomaz e Florentino (2021) ressaltam a necessidade de investir em processos de formação nas comunidades beneficiadas de modo que contemplem as necessidades das famílias, fortalecendo a autonomia produtiva e convivência com a região semiárida.

Por fim, o indicador "Apoio Social", visou identificar se os usuários sentem que podem contar com o apoio dos outros membros da comunidade na resolução de problemas pessoais. Esse indicador recebeu o índice de 0,764, demonstrando alta convergência com as tecnologias sociais, pois foi relatado durante as conversas que sempre que algum morador da comunidade tem algum tipo de problema, os demais se juntam para ajudar a resolver, em especial se tratando dos problemas que a tecnologia solar fotovoltaica para bombeamento tenta solucionar (água, energia e alimentos).

De acordo com Ruidiaz-Gómez e Cacante-Caballero (2021), o conceito de qualidade de vida engloba várias dimensões, não somente as relacionadas à saúde física ou psicológica, mas também as condições de vida, o nível de dependência e as relações sociais do indivíduo, quando analisadas dentro dos contextos econômico, político, social e cultural. Dessa forma, esta etapa perfez o índice de 0,776, demonstrando, assim, alta convergência com as tecnologias sociais.

d. Empoderamento

Esta etapa visa identificar se o processo de intervenção por meio da instalação dos SFB contribuiu para que os usuários pudessem alcançar a autonomia e emancipação em relação aos processos tradicionais utilizados e seus relacionamentos institucionais, de modo que a partir de então, ter a capacidade de conduzir seu próprio processo de desenvolvimento (Araújo e Cândido, 2017). Na Tabela 7.8 são apresentados os resultados encontrados para a etapa Empoderamento.

**Tabela 7.8**. Resultados da etapa de Empoderamento.

| Indicador | Questão | Mín. | Max. | Méd. | DP | Índice | $I_{REAP}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Capacidade de Realização | 33 | 1 | 5 | 4,593 | 0,880 | 0,898 | 0,856 |
| Dependência das elites locais | 34 | 1 | 5 | 4,333 | 1,116 | 0,833 | |
| Trabalho em rede | 35 | 1 | 5 | 4,352 | 1,067 | 0,838 | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio do indicador "Capacidade de Realização", buscou-se saber se os usuários dos SFB se tornaram mais confiantes na sua capacidade de agir para mudar a própria situação. Este indicador perfez o índice de 0,898 demonstrando total convergência com as tecnologias sociais. Diante dos problemas e necessidades que as comunidades e usuários enfrentavam, percebeu-se que após a saída das instituições interventoras, a maioria dos usuários conseguiu utilizar o sistema fotovoltaico de bombeamento em benefício próprio, mudando o seu modo de viver. Dessa forma, as famílias se adaptaram à nova realidade, com mais oferta de alimento, água e aumento na renda, sentindo-se mais confiantes em resolver seus problemas e necessidades. Segundo Queiroz *et al.* (2022, p. 267), "a estratégia conhecida como TS tem desempenhado um notório e importante papel nos campos a segurança hídrica, alimentar, geração de renda dentre outros, proporcionando ao pequeno agricultor uma melhora real na convivência com o semiárido brasileiro e com as secas".

Já o indicador "Dependência das elites locais" buscou identificar se a instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento contribuiu para a redução do nível de dependência dos usuários em relação a atores sociais, em especial os de classe elevada, como políticos, instituições locais, grandes fazendeiros, empresários e poder público para suprir suas demandas relacionadas de água, energia e alimentos, dentro do contexto de escassez, marcante no meio rural de clima semiárido. Com o índice de 0,833, este indicador demonstrou total convergência com os fundamentos das tecnologias sociais. De acordo com Tomaz e Florentino (2021), as tecnologias sociais diferem das obras, intervenções e investimentos estatais que visavam, por exemplo, o combate às secas, pois estas eram, em sua maioria, ineficientes ou insuficientes, e

privilegiavam os grandes empresários e proprietários de terra, gerando a dependência do povo por meio de relações clientelistas e submissas às elites.

O indicador “Trabalho em rede” visava inferir se a instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento contribuiu para a ampliação da rede de relacionamento dos usuários, em especial com as instituições envolvidas direta e indiretamente, outros usuários e outras pessoas que desejasse conhecer um pouco mais sobre a tecnologia instalada, aumentando a disseminação da informação relacionada à tecnologia e seus benefícios. Com um índice de 0,838 obtido para este indicador, os sistemas de bombeamento fotovoltaico demonstraram total convergência com os fundamentos das tecnologias sociais.

Para Otterloo (2009, p. 9) “fazer parte de uma rede significa conectar-se com outras pessoas, compartilhar conhecimentos e vivências, contribuir, ensinar, aprender, falar, ouvir, concordar, divergir, construir de forma colaborativa, cooperar e concretizar parcerias”. Assim, segundo Nunes *et al.* (2021), os fundamentos das tecnologias sociais também se preocupam com o engajamento dos usuários diante dos cenários de exclusão social, dentro dos âmbitos econômico-social, político, educacional e jurídico. Sendo assim, esta etapa perfez o índice de 0,856, demonstrando, assim, total convergência com as tecnologias sociais.

### *7.4.3 Avaliação geral*

Na Tabela 7.9 pode ser visto o resumo de todas as fases e etapas de aplicação do SIDMATECS aos SFB identificados nesta pesquisa. Das oito etapas que compõem o SIDMATECS, em seis delas (Planejamento, Desenvolvimento, Reaplicação, Eficácia, Inclusão Social e Empoderamento) os SFB demonstraram total convergência com os fundamentos das tecnologias sociais, e as outras duas (Aplicação e Qualidade de Vida) demonstraram alta convergência.

**Tabela 7.9.** Avaliação do uso dos SFB como Tecnologia Social.

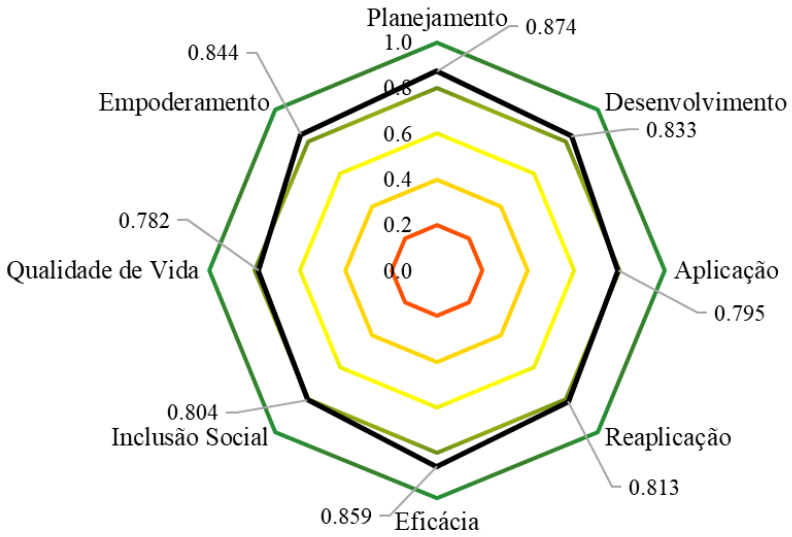
| Fase | Etapa | Índice da Etapa | Índice da Fase | Índice dos SFB |
|---|---|---|---|---|
| **Construção e Difusão** | Planejamento | 0,873 | 0,828 | 0,826 |
| | Desenvolvimento | 0,833 | | |
| | Aplicação | 0,793 | | |
| | Reaplicação | 0,813 | | |
| **Resultados e Impactos** | Eficácia | 0,855 | 0,824 | |
| | Inclusão Social | 0,807 | | |
| | Qualidade de Vida | 0,776 | | |
| | Empoderamento | 0,856 | | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise individual de cada fase demonstrou total convergência, com índices de 0,828 para a fase de Construção e Difusão e 0,824 para a fase de Resultados e Impactos, fazendo com que o índice final atingisse o valor de 0,826, demonstrando que, de forma geral, a tecnologia analisada tem total convergência. Ressalta-se que em todos os indicadores selecionados, conforme apresentado nas Tabelas 7.1 a 7.8, o desvio padrão manteve-se abaixo de 2, demonstrando consistência nos resultados obtidos pela baixa variância nas respostas dos participantes da pesquisa, conforme indicam Araújo e Cândido (2017).

Na Figura 7.5 por ser visto o gráfico de radar contendo os valores de todas as etapas de forma conjunta, o que permite uma visão holística da tecnologia analisada, para determinar os pontos mais fortes e mais fracos.

**Figura 7.5.** Gráfico de Radar do uso dos SFB como Tecnologia Social.




Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando apenas a fase de Construção e Difusão, percebe-se que os SFB, de fato se caracterizam como uma Tecnologia Social. Porém na etapa de aplicação, a tecnologia teve o índice mais baixo da fase. O principal indicador que contribuiu para este valor foi Apoio Institucional. Neste indicador muitas das respostas foram negativas pois algumas instituições instalavam os sistemas e abandonavam os usuários à própria sorte. Em sua maioria, não havia a presença constante das instituições relacionadas a pesquisa e extensão. Em alguns poucos casos há a presença constante de professores das instituições de ensino locais, realizando visitas com alunos, mas sem nenhuma relação com as instituições promotoras. Ressalta-se que caso o

sistema apresentasse algum defeito, não havia suporte por parte das instituições promotoras para o conserto, substituição ou reposição de peças do sistema, ficando as custas a cargo dos usuários.

Por sua vez a análise da fase de Resultados e Impactos obteve um índice semelhante, demonstrando que a tecnologia foi bem aplicada e obteve resultados que condizem com os resultados que as tecnologias sociais devem propiciar para as pessoas beneficiadas. Nesta fase o principal desafio foi a relação entre a instalação dos SBF com as oportunidades de acesso à educação. O sistema em alguns casos possibilitou que as famílias economizassem de alguma forma, em especial, por exemplo, no pagamento de talões de energia rateados, podendo fazer investimentos na educação de seus filhos, principalmente comprando material escola de melhor qualidade. Porém, tendo em vista que muitos locais não tinham o mínimo necessário para a sobrevivência, a educação ficava em segundo plano, e os sistemas contribuíam para o fornecimento de renda apenas para o básico.

Em termos de etapas, Aplicação e Qualidade de Vida foram as que obtiveram os menores índices. Apesar de que essas etapas se apresentarem com alta convergência, são as etapas onde as maiores fragilidades foram detectadas. O fato de, em algumas comunidades, o sistema proporcionar a água necessária para a sobrevivência por meio de pequenos sistemas de abastecimento doméstico, fez com que os indicadores relacionados a obtenção de emprego ou ocupação e ativação do mercado local não fossem contemplados, diminuindo o índice da etapa de Aplicação. De forma semelhante, o indicador relacionado a oportunidades de trabalho para os membros das famílias beneficiadas ou à obtenção de conhecimentos e habilidades foram os mais comprometidos.

Vale a pena ressaltar que a etapa de Eficácia considerou como indicadores os principais objetivos relacionados à instalação de sistemas de bombeamento fotovoltaico que é promover segurança hídrica, energética e alimentar, sendo instalada de modo que os usuários pudessem adaptar a tecnologia às suas necessidades específicas. Dessa forma os sistemas podem contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população beneficiada, na medida em que auxiliam na convivência com as dificuldades naturais impostas pela natureza, e também às relacionadas com a governança das regiões rurais semiáridas.

Araújo (2015) analisou a experiência de implantação de Banco de Sementes Comunitário (BSC) no Território Rural da Borborema, caracterizando esta tecnologia como uma tecnologia social, com grande eficácia em conservar e recuperar a agrobiodiversidade local. Já os autores Burgardt, Belli Filho e Martins (2018) analisaram um projeto denominado Tecnologias Sociais para a Gestão da Água (TSGA) que disseminava as boas práticas dos

recursos hídricos no estado de Santa Catarina. O projeto analisado obteve índice final de 0,71, porém não considerou em sua análise a etapa de eficácia.

## 7.5 Considerações finais

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o uso dos SFB como tecnologia social no meio rural piauiense, através do sistema de indicadores conhecidos como SIDMATECS, que analisa a tecnologia em oito etapas, dividida em duas fases: Fase 1 – Construção e Difusão, e Fase 2- Resultados e Impactos. Para tal, foram realizadas visitas em 39 comunidades rurais piauienses que se beneficiaram com a instalação de sistemas fotovoltaicos, em que 53 atores sociais, entre líderes comunitários e instituições promotoras, responderam a um formulário de pesquisa.

Após a análise dos índices obtidos através da conversão das respostas do formulário, percebeu-se que os SFB instalados no meio rural piauiense se caracterizam como uma Tecnologia Social. Apesar das fragilidades encontradas em cada uma das fases, os sistemas foram eficazes em ajudar a população no convívio com o semiárido, proporcionando segurança hídrica, alimentar e energética, em especial nos períodos de mais dificuldades, permitindo o aumento da renda das famílias beneficiadas e a diminuição da vulnerabilidade socioeconômica.

Ressalta-se, também, a necessidade de maior acompanhamento dos projetos por parte das instituições promotoras, em especial no que tange a problemas de ordem técnica e formativa para as comunidades beneficiadas. Dessa foram, ressalta-se a necessidade de se investir mais em processos de formação nas comunidades, para que possam disseminar ainda mais o uso desta tecnologia e os benefícios trazidos por ela, além de aumentar a quantidade de pessoas qualificadas e capacitadas para trabalhar com esta tecnologia, e que estas formações contemplem também as necessidades produtivas das famílias, fortalecendo ainda mais a autonomia e convivência com a região semiárida.

Por fim, a análise dos SBF desenvolvida nesta pesquisa fornece informações importantes para que o poder público possa investir cada vez mais na implantação de SFB no meio rural, visando em especial o acesso à água para as comunidades rurais isoladas, através de políticas que possam de fato ter sucesso e vida útil cada vez maior, beneficiando mais pessoas que sofrem, dentro do contexto das mudanças climáticas. Deste modo, espera-se também que os subsídios fornecidos neste trabalho orientem novos pesquisadores para que despertem o interesse para realização de novas pesquisas de cunho social, em especial à aplicação de novas tecnologias no meio rural de clima semiárido.

## 7.6 Referências

ABREU, R. J. D.; ALMEIDA, M. F. F.; DURÃES, G. R. N.; GOVONE, J. S. Estudo comparativo do índice de GINI de Minas Gerais entre os anos de 1990 a 2010 via Krigagem Ordinária e Krigagem Partição. **Sigmae**, v. 12, n. 1, p. 1-9, 2023.

AIRES, J. D. M.; COSTA, C. M. M.; BRANDÃO, A. F. F. A. Rumo a um conceito de inovação no turismo. **Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo** [online]. v. 16, p. e-2577, 2022. DOI: https://doi.org/10.7784/rbtur.v16.2577.

ARAÚJO, R. O. A. **Tecnologias sociais e suas contribuições para a sustentabilidade: proposição de um sistema de indicadores para diagnóstico, monitoramento e avaliação**. 2015. 300f. (Tese de Doutorado em Recursos Naturais), Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologias e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2015.

ARAÚJO, R. O. A.; CÂNDIDO, G. A. Sistema de Indicadores para Diagnóstico, Monitoramento e Avaliação de Tecnologias sociais: Proposição de uma metodologia. **Espacios**, v. 38, n. 2, 2017.

ARAÚJO, R. O. A.; CÂNDIDO, G. A. Tecnologia social e inovação social: interação indutora do desenvolvimento sustentável nos territórios rurais. **Espacios**, v. 36, n. 13, 2015.

ARAÚJO, S. M. S. As secas e suas consequências sobre os recursos do semiárido brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 7, n. 1, p. 52–58, 2021. DOI: https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n1ID21251.

ARCHANJO JUNIOR, M. G.; GEHLEN, S. T. A Tecnologia Social e sua Contribuição para a Educação em Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, p. 345-374, 2020. DOI: https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u345374.

ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 34, p. 53-66, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.34100.005.

ASSAD, E. D.; CALMON, M.; LOPES-ASSAD, M. L.; FELTRAN-BARBIERI, R.; POMPEU, J.; DOMINGUES, L. M.; NOBRE, C. A. Adaptação e resiliência de sistemas agrícolas às mudanças climáticas locais e eventos extremos: uma revisão integrativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, p. e72899- e72908, 2022.

BATISTA, V. A.; BICHARA, C. N. C.; CARNEIRO, C. R. O.; FURTADO, L. G.; BOTELHO, M. G. L.; SILVA, D. F.; PONTES, A. N. Tecnologias sociais voltadas para o saneamento básico de comunidades ribeirinhas na Amazônia. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 19, p. 909-920, 2021. DOI: https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081918.

BERNARD, H. R. **Research methods in anthropology: qualitative and quantitative approaches**. Rowman & Littlefield Publishers, 6 ed., 2017, 728 p.

BOCKORNI, B. R. S.; GOMES, A. F. A amostragem em snowball (bola de neve) em uma pesquisa qualitativa no campo da administração. **Revista de Ciências Empresariais da UNIPAR**, v. 22, n. 1, 2021. DOI: https://doi.org/10.25110/receu.v22i1.8346.

BURGARDT, L. K. B.; BELLI FILHO, P.; MARTINS, S. R. Avaliação do Projeto Tecnologias Sociais para Gestão da Água mediante sistema de indicadores socioambientais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 188-201, 2018. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0017.

CALCA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; ANACLETO, K. B.; FRANCO, J. R.; DAL PAI, A.; CANEPPELE, F. L. Uma perspectiva sobre o aproveitamento térmico e a conversão direta da energia solar em áreas rurais no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e9810615610-e9810615610, 2021. DOI: https://doi.org/10.33448/RSD-V10I6.15610.

CASTRO, G. G. P.; SOUSA, C. H.; MOREIRA, R. L. D.; CAMPOS, V. M.; SOUSA, J. A.; SOUZA, L. L. A utilização da bomba de corda como alternativa nas regiões do semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 27393-27402, 2019. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-4961.

CAVALCANTE; O.G.F.O.; COSTA, P. M. M.; ROCHA, M. B. Tecnologia social: tendências e aproximações em periódicos brasileiros. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 18, n. 54, p.143-165, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.3895/rts.v18n54.13859.

CRISES. *Centre de Recherche Sur Les Innovations Sociales.* ***Rapport Annuel des activités scientifiques du Crises 2009-2010***. Quebec, 2010. Disponível em: https://crises.uqam.ca/a-propos/rapports-annuels/. Acesso em 01 agosto 2024.

CRUZ, G. C.; RIBEIRO, E. M.; ARAÚJO, V. M.; ASSIS, T. R. P. A seca no cotidiano: agricultura familiar e estiagem em comunidades rurais do Gerais de Januária, MG. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 28, n. 3, p. 700-720, 2020. DOI: https://doi.org/10.36920/esa-v28n3-9.

DAGNINO, R.; BRANDÃO, F. C.; NOVAES, H. T. Sobre o marco analítico-conceitual da tecnologia social. *In*: DAGNINO, R. (org) **Tecnologia social: Ferramenta para construir outra sociedade**. 2. ed. Campinas, Komedi, 2010, pp. 71-112.

ECHALAR, J. D.; LIMA, D. C. B. P.; OLIVEIRA, J. F. Plano Nacional de Educação (2014–2024) – O uso da inovação como subsídio estratégico para a Educação Superior. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, v. 28, p. 863-884, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-40362020002802143.

FRANZONI, G. B.; SILVA, T. N. Inovação Social e Tecnologia Social: o caso da Cadeia Curta de Agricultores Familiares e a Alimentação Escolar em Porto Alegre/RS. **Desenvolvimento Em Questão**, v. 14, n. 37, p. 353–386, 2016.

GAMARRA-ROJAS, G; FABRE, N. Agroecologia e mudanças climáticas no Trópico Semiárido. **Revista do Desenvolvimento Regional,** v. 22, n. 2, p. 174-188, 2017.

HENIG, E. V.; SANTOS, I. A.; MENDES, J. M. Nova vida no sertão: A contribuição das Tecnologias Sociais Agroecológicas para a convivência com o Semiárido. **RP3 - Revista de Pesquisa em Políticas Públicas**, n. 1, 2019.

HERRERA, A. O. La generación de tecnologías en las zonas rurales. *In*: DAGNINO, R. (org) **Tecnologia social: Ferramenta para construir outra sociedade**. 2. ed. Campinas, Komedi, 2010, pp. 23-51.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Síntese de Indicadores Sociais**: uma análise das condições de vida da população brasileira, 2024. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.180 p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021:** The Physical Science Basis., Cambridge: Cambridge University Press, 2021, 2391 p.

ITS. Instituto de Tecnologia Social. **Caderno tecnologia social**: conhecimento e cidadania 1: tecnologia social, 2007.

LEMOS, M. A. C.; DECHANDT, S. G. The Social Technology Network: analysis of the articulation in light of the social management concept. **Organizações & Sociedade**, v. 26, p. 513-534, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/1984-9260906.

LOBO, M. A. A.; LIMA, D. M. B; SOUZA, C. M. N.; NASCIMENTO, W. A.; ARAÚJO, L. C. C.; SANTOS, N. B. Avaliação econômica de tecnologias sociais aplicadas à promoção de saúde: abastecimento de água por sistema Sodis em comunidades ribeirinhas da Amazônia. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, p. 2119-2127, 2013. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-81232013000700027.

MACIAZEKI-GOMES, R. C.; TONELI, M. J. F.; NOGUEIRA, M. C. O. C.; SALVARO, G. I. J. Modos de trabalhar e modos de subjetivar na agricultura familiar no sul do Brasil. **Revista Estudos Feministas**, v. 29, n. 1, e65762, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-9584-2021v29n165762.

MAIL, W. V. S.; BRITO, A. G. F.; XAVIER, B.; SILVA, L. R.; SANTOS, P. G.; AGUIAR, C. T; SILVA NETO, L. S.; OSÓRIO, N. B. A Tecnologia social educacional para idosos, inovação e extensão universitária. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 85419-85433, 2020. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-093.

MEDEIROS, C. B.; GALVÃO, C. E. S.; CORREIA, S.; GÓMEZ, C.; CASTILLO, L. Inovação social além da tecnologia social: constructos em discussão. **Revista de Administração, Contabilidade e Economia**, Joaçaba, v. 16, n. 3, p. 957-982, 2017.

MELO, D. C. P.; OLIVEIRA, M. J. M.; CORDEIRO, L. F. A.; SOUSA, W. S. Estudo do bombeamento de água salobra para irrigação agrícola: solução para uma cooperativa do semiárido nordestino com energia solar fotovoltaica. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.4, p.449-456, 2021. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0035.

MORAES, A. M.; MORANTE, F.; VALER, L. R.; FEDRIZZI, M. C. Análise da gestão e operação de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamento no semiárido brasileiro. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 24, p. 256-267, 2020.

MORAES, A. M.; TRIGOSO, F. B. M.; VALER, L. R. M.; FEDRIZZI, M. C. O papel das instituições na difusão de sistemas fotovoltaicos de bombeamento no semiárido brasileiro. *In*: **Congresso Brasileiro de Energia Solar,** VI CBENS, Belo Horizonte, p. 1-8, 2016.

MORAES, A. M.; VALER, L. R.; MORANTE, F.; FEDRIZZI, M. C.; ZILLES, R.; MELENDEZ, T. A. F. Projeto Sol e Água no Sertão: processo de implantação e avaliação de um Sistema Fotovoltaico de Bombeamento para irrigação de uso familiar no semiárido brasileiro. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.** v. 21, p 12.11-12.20, 2017.

MORAIS, F. H. M.; GUIMARÃES, J. C.; LOPES, W. G. R. Produção científica (2011-2021) sobre políticas públicas voltadas ao semiárido por meio de tecnologias sociais. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade**, v. 12, n. 2, p. 86-110, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.17648/aos.v12i2.2701.

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. O. L.; MORAES, A. M.; BARBOSA, F. R. Influência da irradiação solar na análise de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 4, p. 723-734, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786360049.

MOREIRA, A. T.; SANTOS, E. C.; NOBREGA, G. T.; REGINA, S.; CARVALHO, B. O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. **Revista Educação em Foco**, v. 14, p. 22-27, 2022.

NACHTIGALL, Y. D. L.; VIOLA, M. S.; GONÇALVEZ, G. E.; OLIVEIRA, S. Estratégias em promoção aos objetivos de desenvolvimento sustentável: Experiências com a reprodução de tecnologias sociais no Brasil. **Economia e desenvolvimento**, v. 32, n. 8, p. 01-10, 2020. DOI: https://doi.org/10.5902/1414650941490.

NUNES, N. A.; PAZETTO, A. Z.; ANDRADE, J. B. S. O.; LOPES, A. D. Investigando a Startup enxuta: uma discussão sobre a metodologia de uma organização da sociedade civil na perspectiva da tecnologia social. **Ciências da Administração**, v. 23, n. 59, p. 8-22, 2021.

OLIVEIRA, N. D. A.; SILVA, T. N. Inovação social e tecnologias sociais sustentáveis em relacionamentos intercooperativos: um estudo exploratório no CREDITAG-RO. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, v. 5, n. 2, p. 277-29, 2012. DOI: https://doi.org/10.5902/198346595655.

OTTERLOO, A. **Tecnologias Sociais**: Caminhos para a sustentabilidade. Brasília: 2009, 278p.

PEREIRA, R. F. A. Bombeamento de água utilizando sistemas fotovoltaicos. **Engineering Sciences**, v. 9, n. 1, p. 85-91, 2021. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0009.

PIAUÍ. SECRETARIA DO PLANEJAMENTO. **Relatório Mensal do Emprego Formal no Piauí:** Novo Caged. Teresina: CEPRO/SEPLAN, 2025. 15 p.

QUEIROZ, D. B.; CAVALCANTE, A. M. B.; LIMA, P. V. P. S.; SILVA, E. M. Tecnologias Sociais na Redução da Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas nos Municípios do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 261-268, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-77863720051.

RIBEIRO NETO, T. F.; SILVA, A. H. G.; GUIMARÃES, I. M.; GOMES, M. V. T. Piscicultura familiar extensiva no baixo São Francisco, estado de Sergipe, Brasil. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 4, n. 1, p. 62-69, 2016. DOI: https://doi.org/10.2312/Actafish.2016.4.1.62-69.

RUIDIAZ-GÓMEZ, K. S.; CACANTE-CABALLERO, J. V. Desenvolvimento histórico do conceito de Qualidade de Vida: uma revisão da literatura. **Revista Ciência Cuidado**, v. 18, n. 3, p. 86-99, 2021.

SANTOS, Y. C.; PESSOA, Z. S.; CARVALHO, E. F.; DIAS, E. M. S.; TEIXEIRA, R. L. P. Enfrentamento aos riscos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro: a adaptação climática como uma nova agenda governamental. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 22, n. 1, p. 46-66, 2023. DOI: https://doi.org/10.12660/rgplp.v22n1.2023.85670.

SILVA, K. Z.; COLOMBO, R. Mudanças Climáticas: Influência Antrópica, Impactos e Perspectivas. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**. v.8, n.3, p. 47-68, 2019. DOI: https://doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i3.p47-68.

SILVA, M. J. N.; KHAN, A. S.; COSTA, E. M.; AMORIM, D. I. M.; TABOSA, F. J. S. O impacto das tecnologias sociais sobre a geração de emprego e renda e a sustentabilidade ambiental do pequeno agricultor do semiárido cearense. **Planejamento e Políticas públicas**, v. 57, n. 1, p. 65-94, 2021.

SOUZA, A. C. A. A.; POZEBBON, M. Práticas e mecanismos de uma tecnologia social: proposição de um modelo a partir de uma experiência no semiárido. **Organizações & Sociedade**, v. 27, n. 93, p. 231-254, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/1984-9270934.

TAVARES, S.; SILVA, W.; SILVA, D. Integração de tecnologias sociais no manejo ambiental da agricultura familiar no suporte hídrico e alimentar no semiárido brasileiro–INTECS. **Enciclopédia Biosfera**, v. 21, n. 50, p. 130-141, 2024.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Revista Geosul**, v. 34, n. 70, p. p. 385-405, 2019. DOI: https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385.

TOMAZ, B. M.; FLORENTINO, H. S. Tecnologias sociais de acesso à água enquanto estratégias de convivência com o semiárido: experiências e protagonismo da comunidade do Sítio Carcaré, São José da Lagoa Tapada-PB. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 5, n. 1, p. e1706-e1725, 2021.

VENTURA, A. C.; GARCÍA, L. F.; ANDRADE, J. C. S. Tecnologias sociais: as organizações não governamentais no enfrentamento das mudanças climáticas e na promoção de desenvolvimento humano. **Cadernos Ebape. BR**, v. 10, p. 605-629, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S1679-39512012000300009.

VERMA, S.; MISHRA, S.; CHOWDHURY, S.; GAUR, A.; MOHAPATRA, S.; SONI, A.; VERMA, P. Solar PV powered water pumping system: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 5601-5606, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.434.

WEBER, J.; SILVA, T. N. Nexo água-alimentos energia e objetivos do desenvolvimento sustentável: premiação de tecnologias sociais pela Fundação Banco do Brasil. *In*: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 22, 2020, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: USP, 2020. 17 p.

# 8 CONCLUSÕES

As regiões semiáridas enfrentam crescente ameaça devido aos impactos adversos das mudanças climáticas, como o aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos, como, por exemplo, as secas, tornando suas populações rurais, especialmente aquelas dependentes da agricultura familiar, ainda mais vulneráveis social e economicamente. Um dos principais desafios é manter uma produção alimentar sustentável e eficiente, considerando ações que visam suprir adequadamente o acesso aos recursos naturais de forma equilibrada.

As Tecnologias Sociais são consideradas como alternativas para promover inclusão social, trazendo melhorias na qualidade de vida para a população vulnerável. Dessa forma passam a desempenhar um papel crucial na promoção da transformação social e no desenvolvimento comunitário, em especial as tecnologias que proporcionem acesso à água para as necessidades diárias e atividades produtivas. Além disso, dentro desse contexto o uso de sistemas de bombeamento de água movidos à energia solar vem se tronando uma solução interessante e promissora, pois na medida em que propiciam o acesso à água, podem trazer desenvolvimento social e econômico.

No Brasil, até meados da década de 2000, foram instalados diversos SFB por meio de experiências do poder público que não conseguiram obter o êxito esperado, tanto por falhas na implantação quanto na gestão dos sistemas, especificamente por não considerarem a dinâmica social e econômica das comunidades beneficiadas. As três principais políticas públicas implementadas no Brasil para o acesso à água utilizando SFB foram o PRODEEM e o PLPT. Os sistemas instalados se deterioraram ao longo do tempo, e projetos posteriores a esses programas foram desenvolvidos principalmente por instituições não governamentais e projetos universitários, geralmente em pequena escala e de forma experimental. Alguns desses sistemas foram instalados no Piauí, mas de forma desorganizada e mal distribuída em relação a outros estados que também foram beneficiados, tendo em vista a grande extensão territorial do estado.

Sendo assim, inicialmente foi realizado uma pesquisa bibliográfica para situar esta pesquisa dentro deste contexto, dar embasamento teórico e buscar lacunas científicas a serem respondidas. Inicialmente, tendo como base a revisão sistemática da literatura científica publicada no período de 2011 a 2021, foi realizado nesta pesquisa o levantamento das políticas públicas voltadas para o acesso à água no semiárido brasileiro, utilizando tecnologias sociais. Observou-se que a tecnologia social empregada consistia exclusivamente em cisternas que eram instaladas para a captação de água das chuvas. Assim, como primeira lacuna de pesquisa, não se encontrou nos estudos nenhuma tecnologia social voltada para o desenvolvimento

sustentável que se utilizasse da energia solar fotovoltaica para acesso a água, ou que fosse caracterizada como tal.

Por outro lado, tendo como base a revisão sistemática da literatura científica publicada no período de 2013 a 2024 relacionnadas à utilização dos sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água em regiões semiáridas, bercebe-se que a maioria dos estudos sobre SFB em áreas rurais, respondem a objetivos puramente técnicos, sendo poucos são os trabalhos multidisciplinares e de cunho social relacionados aos impactos da instalação dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento, em especial em comunidades rurais, sendo esta a segunda lacuna de pesquisa que deu base para o desenvolvimento desta pesquisa.

Percebeu-se, portanto que na literatura científica ainda não considerou a possibilidade de aplicação dos SFB como uma tecnologia social, podendo, portanto, auxiliar a população vulnerável a conviver com os impactos das mudanças climáticas, superarando as dificuldades naturais e desafios sócio-economicos ainda existentes nas áreas rurais semiáridas, garantindo segurança hídrica, energética e alimentar.

Sabendo-se que o estado do Piauí é privilegiado por receber altos índices de radiação solar e pela abundância de água subterrânea, em que a utilização da energia fotovoltaica desponta como alternativa, em termos de segurança energética, para a retirada de água dos aquíferos existentes na região, questionou-se sobre o seu uso no meio rural piauiense, em termos de viabilidade, iniciativas recentes para a instalação, principais aplicações e benefícios, bem como sobre a possibilidade de ser caracterizada como uma tecnologia social para auxiliar na convivência com o semiárido.

Sendo assim, esta pesquisa teve como objetivo geral, analisar o funcionamento dos SFB, enquanto tecnologia social de convivência com o semiárido, considerando seus impactos socioeconômicos em comunidades rurais do Piauí. Para atingir este objetivo, esta pesquisa foi executada em mais duas etapas, além da pesquisa bibliográfica: uma pesquisa documental em que buscou-se analisar a disposição dos recursos hídricos subterrâneos e solares para fins de utilização de SFB no Piauí; em uma pesquisa de campo com vistas a identificar as principais iniciativas para a instalação de SFB no meio rural do Piauí; caracterizar as principais aplicações dos SFB no meio rural do Piauí voltadas para a agricultura familiar; e validar o uso dos SFB como tecnologia social em comunidades rurais piauienses.

No que tange à viabilidade para a instalação dos SFB o Piauí, concluiu-se que, em termos de irradiação solar, sobre o estado incide uma média anual de 5,541 kWh/m²/dia, que pode ser considerada excelente para a geração de energia solar, sendo que os meses de agosto a novembro apresentam as médias mais altas. Já em relação às águas subterrâneas, por estar

situado sobre a Bacia do Rio Parnaíba, que em termos de volume de água é superada apenas pelas bacias dos rios Paraná e Amazonas, o estado concentra grandes mananciais subterrâneos. Ressalta-se que no Piauí já foram perfurados mais de 37 mil poços (considerando apenas os cadastrados no SIAGAS) evidenciando a necessidade da população por esse recurso.

Os dados levantados nesta pesquisa, indicam que os aquíferos do estado do Piauí têm um nível médio de água de aproximadamente 19,31 m, profundidade média é de 116,5 m, vazão média de aproximadamente 5,3 m³/h, e vazão específica média do estado foi de 0,87 m³/h/m. A espacialização do indice de bombeamento, que relaciona a irradiação solar com o nível da água, revelou que praticamente todo o estado é adequado para a instalação de SFB visando à extração da água subterrânea. Assim, confirmou-se a primeira hipótese desta pesquisa ao se demostrar que o estado do Piauí tem condições favoráreis e um vasto potencial para a instalação de SFB no meio rural com vistas à promoção da segurança energética, hídrica e alimentar, e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico e para a redução da vulnerabilidade.

O estudo no meio rural piauiense revelou que as comunidades enfrentam vulnerabilidade social devido à baixa renda, dependência de auxílio público e infraestrutura precária, como falta de saneamento e escassez hídrica. A agricultura familiar de subsistência é o principal meio de sustento, com dependência excessiva da chuva, sendo que qualquer excedente produzido apenas complementa a baixa renda familiar, muitas vezes abaixo do salário mínimo. Nas comunidades visitadas, são evidentes as dificuldades de acesso à água e a escassez alimentar. Além disso, muitos locais do estado, o acesso à energia elétrica é deficitário ou até mesmo inexistente. Esses problemas são agravados por fatores naturais, eventos extremos resultantes das mudanças climáticas e pela má governança do setor público.

As iniciativas para a instalação dos SFB descrias nesta pesquisa foram provenientes principalmente de instituições públicas de ensino superior e ONGs, confirmando, assim, a segunda hipótese desta pesquisa, apesar do alcance dessas inicativas ter sido limitado. A participação do governo estadual, crucial para a expansão e sustentabilidade dessas tecnologias, mostrou-se notavelmente baixa. O uso pleno dos sistemas é impedido, muitas vezes por problemas de ordem técnica, que fazem com que seu funcionamento seja interrompido, caindo no desuso. As principais dificuldades incluem a falta de conhecimento técnico dos moradores, a ausência de mão de obra especializada nas proximidades e a falta de acompanhamento pós-instalação, em especial por meio de um plano de manutenção que deveria ter sido incuído no projeto pelas instituições promotoras.

Com relação às aplicações, os SFB são utilizados nessas comunidades para atividades produtivas em pequena escala. Os moradores usam a água bombeada para irrigar hortas

comunitárias e individuais, para fornecer água aos animais criados de forma intenssiva, predominantemente aves, suínos, caprinos e ovinos, além de promover a reposição da água na criação de peixes em tanques escavados. Esta atividade, em especial, ainda se encontra em estágios iniciais, mas demonstrando viabilidade. Também existem aplicações que utilizam grandes volumes de água, como é o caso de sistemas destinados ao abastecimento comunitário, em lavanderias comunitárias e em campos agrícolas.

Essas aplicações contribuem significativamente para a melhoria da qualidade de vida, resultando em aumento na produção, tanto na agricultura, quanto na criação de animais, além de oportunidades reais de aumento de renda para as famílias beneficiadas pelos sistemas através da comercializarlização dos alimentos produzidos. Dessa forma, uma quantidade maior de pessoas saíram da sobrevência integral do que produziam para autoconsumo, tendo agora a renda complementada por essas vendas. Ressalta-se que, em 40 comunidades visitadas, os benefícios da instalação do SFB atingiram diretamente cerca de 430 famílias em todo o estado do Piauí.

Sendo assim, confirmou a hipótese de que as comunidades rurais do Piauí, que receberam a implantação de sistemas fotovoltaicos para captação de água, experimentaram benefícios sociais e econômicos significativos. Sendo assim, a instalação de SFB pode ser considerada uma alternativa tecnicamente viável para as comunidades rurais que vivem em situação de vulnerabilidade, por estarem geograficamente distantes das redes de distribuição de energia, e por viverem com dificuldades constantes para ter acesso a água, tanto para as atividades básicas que o ser humano necessita, quanto para as atividades voltadas para a redução da pobreza.

A análise dos SFB por meio do SIDMATECS demonstrou através do índice 0,828 obtido na etapa de Construção e Difusão que dentro do contexto água-energia-alimentos, a energia solar fotovoltaica pode ser vista como uma tecnologia social crucial para a convivência no semiárido, assegurando o mínimo necessário e a segurança alimentar para a população vulnerável. Apesar das fragilidades presentes em algumas etapas, a instalação dos sistemas se demonstrou como uma alternativa eficaz para auxiliar a população no convívio com o semiárido, proporcionando segurança hídrica, alimentar e energética. No entanto, deve-se ressaltar a necessidade de maior acompanhamento dos projetos por parte das instituições promotoras, auxiliando na resolução dos problemas de ordem técnica que limitem o uso pleno desses sistemas, e a maior participação das instituições públicas de ensino no que tange a parte formativa dos usuários das comunidades beneficiadas.

Ressalta-se que foi elaborada uma cartilha (Apêndice D) com informaçoes básicas relacionadas ao uso desta tecnologia no meio rural, visando fortalecer ainda mais a disseminação desta tecnologia, trazendo ainda mais a autonomia para as famílias na convivência com a região semiárida. Além disso, os SFB, ao serem caracterizados como Tenologia Social, poderão ser posteriormente transformados em políticas públicas que tragam benefícios reais e permanentes para as populações vulneráveis do meio rural de clima semiárido.

Os estudos realizados nesta pesquisa poderão servir de base para outras pesquisas, até mesmo advindas de outros campos do conhecimento, sendo elas interdisciplinares ou não, contribuindo direta e significativamente para o conhecimento relacionado aos sistemas fotovoltaicos aplicados ao bombeamento de água em regiões rurais de clima semiárido. Para tal, foi produzido um mapa interativo (Apêndice E) contendo as informações encontradas nesta pesquisa a respeito dos SFB instalados em comunidades rurais do Piauí. Os resultados encontrados consolidam de fato esta tecnologia como uma alternativa sustentável ao sistema convencional de suprimento de energia, contribuindo para o acesso à água a ser utilizada no consumo básico e em outras atividades típicas das populações habitantes de comunidades rurais remotas, em especial a agricultura familiar, bem como das potencialidades de uso desses sistemas promovendo o desenvolvimento socioeconômico.

Assim, dentro do contexto apresentado para o nexo água-energia-alimentos, os dados desta pesquisa poderão também ser utilizados por instituições do âmbito federal, estadual ou municipal, que trabalhem com comunidades rurais do semiárido para se instigar a criação de políticas públicas para o acesso a água e energia, visando também a segurança alimentar da população vulnerável, que busquem mitigar o impacto social das mudanças climáticas em comunidades rurais.

Como limitação desta pesquisa, a Técnica Bola de Neve, utilizada para a identificação das comunidades que foram beneficiadas com a instalação dos SFB, apesar de se mostrar eficaz, pode não identificar todo o espaço amostral, pois depende tanto do conhecimento das pessoas, não em termos de esclarecimento, mas do objeto do estudo, quanto de sua boa vontade em colaborar com as informações necessárias. Além disso, o ponto de saturação da técnica, a partir do qual não é mais possível identificar novas comunidades, se mostra impreciso, tanto por esse possível desconhecimento dos participantes, quanto pela incerteza da informação prestrada. Dessa forma, nesta pesquisa, pode não ter identificado outros SFB instalados nas mesmas condições, apesar de ter sido possível desenvolver a pesquisa, com os que foram identificados.

**REFERÊNCIAS**

ALIYU, M.; HASSAN, G.; SAID, S. A.; SIDDIQUI, M. U.; ALAWAMI, A. T.; ELAMIN, I. M. A review of solar-powered water pumping systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 87, p. 61-76, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.010.

ALMEIDA, H. A.; ALMEIDA, E. C. V. Potencial da energia solar fotovoltaica no Semiárido nordestino. **Concilium**, v. 22, n. 2, p. 197-210, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.53660/CLM-111-130.

ALSHAAR, M. W.; AL-OMARI, Z.; EMAR, W.; ALNSOUR, M.; ABU-RUMMAN, G. Application of pv-thermal array for pumping irrigation water as an alternative to pv in ghor al-safi, jordan: a case study. **Evergreen**. v. 9, n. 4, p.1140-1150, 2022. DOI: https://doi.org/10.5109/6625725.

ALVARENGA, A. C.; FERREIRA, V. H.; FORTES, M. Z. 2014. Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar. **Sinergia**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 311-318, 2014.

ALVES, G. E. C.; SANTOS, V. L. C.; SANTOS, D. B. Análise de viabilidade da utilizaçao de energia solar fotovoltaica para o bombeamento de água na comunidade de Itaitu, Jacobina-BA. **Exatas Online**, v. 5, n. 1, 2014.

ANDRADE, M. G.; VILAS BOAS, M. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; DIETER, J.; SATO, M.; HERMES, E.; MERCANTE, E.; TOKURA, L. K. Statistical quality control for the evaluation of the uniformity of microsprinkler irrigation with photovoltaic solar energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 743-753, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.012.

ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista espinhaço**, vol. 3, n. 2, p. 28-39, 2014. https://doi.org/10.5281/zenodo.3964806.

ANGELOTTI, F.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; SÁ, I. D. Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1097-1111, 2011. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i6.232763.

ARAÚJO, R. O. A.; CÂNDIDO, G. A. Tecnologia social e inovação social: interação indutora do desenvolvimento sustentável nos territórios rurais. **Espacios** [online], v. 36, n. 13, 2015.

ASSAD, E. D.; CALMON, M.; LOPES-ASSAD, M. L.; FELTRAN-BARBIERI, R.; POMPEU, J.; DOMINGUES, L. M.; NOBRE, C. A. Adaptation and resilience of agricultural systems to local climate change and extreme events: an integrative review. **Pesquisa Agropecuária Tropical,** v. 52, 2022.

AVELAR, A. C.; PONCIANO, V. F. G.; SARETTA, E.; PONCIANO, I. M., COUTRIM, E. F.; GONÇALVES NUNES, M. R. Desempenho de dois sistemas de bombeamento por energia fotovoltaica no meio rural. **Irriga**, v. 1, n. 4, p. 653-660, 2021. DOI: https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n4p653-660.

AWASTHI, A.; SHUKLA, A. K.; MANOHAR, M., DONDARIYA, C.; SHUKLA, K. N.; PORWAL, D.; RICHHARIYA, G. Review on sun tracking technology in solar PV system. **Energy Reports**, v. 6, p. 392-405, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.02.004.

BARROS, L. F. O.; LEITE, M. J. H.; PINTO, A. V. F.; PEITER, A. S.; LINS, C. F.; BRANDÃO, S.; FREITAS, G. P.; OLIVEIRA, A. C. N.; LIMA, T. B. Impactos socioambientais da energia solar fotovoltaica no município de Maceió - AL. **Observatório de da Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 7, p. 6571-6590, 2023. DOI: https://doi.org/10.55905/oelv21n7-041.

BELIK, W.; CORREA, V. H. C. A Crise dos Alimentos e os Agravantes para a Fome Mundial. **Mundo agrario**, v. 14, n. 27, p. 1-28, 2013.

BENGHANEM, M.; DAFFALLAH, K. O.; ALAMRI, S. N.; JORAID, A. A. Effect of pumping head on solar water pumping system. **Energy conversion and management**, v. 77, p. 334-339, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.09.043.

BENGHANEM, M.; DAFFALLAH, K. O.; ALMOHAMMEDI, A. Estimation of daily flow rate of photovoltaic water pumping systems using solar radiation data. **Results in Physics**, v. 8, p. 949-954, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.01.022.

BENGHANEM, M.; DAFFALLAH, K. O.; JORAID, A. A.; ALAMRI, S. N.; JABER, A. Performances of solar water pumping system using helical pump for a deep well: A case study for Madinah, Saudi Arabia. **Energy Conversion and Management**, v. 65, p. 50-56, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.08.013.

BOITRAGO, S. A.; SANTOS, S. S.; GONÇALVES, A. H. R.; CANELA, M. A. R. Captação de água por sistema fotovoltaico para consumo humano na localidade rural ilha Caiapós, São Romão-Minas Gerais. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 12, n. 2, 2016. DOI: https://doi.org/10.5216/reec.v12i2.37490.

BOUTELHIG, A.; ARAB, A. H.; HANINI, S. New approach to exploit optimally the PV array output energy by maximizing the discharge rate of a directly-coupled photovoltaic water pumping system (DC/PVPS). **Energy conversion and management**, v. 111, p. 375-390, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.12.058.

BOUTELHIG, A.; HANINI, S.; ARAB, A. H. Geospatial characteristics investigation of suitable areas for photovoltaic water pumping erections, in the southern region of Ghardaia, Algeria. **Energy**, v. 165, p. 235-245, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.036.

BOUTELHIG, A.; HANINI, S.; ARAB, A. H. Performances' investigation of different photovoltaic water pumping system configurations for proper matching the optimal location, in desert area. **Energy conversion and management**, v. 151, p. 439-456, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.012.

BOUTELHIG, A.; MELIT, A.; HANINI, S. Groundwater sources assessment for sustainable supply through photovoltaic water pumping system, in M'zab valley, Ghardaia. **Energy Procedia**, v. 141, p. 76-80, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.015.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R.; VIEIRA, P. A. O desafio alimentar no século XXI: the food challenge of the twenty-first century. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 24, n. 2, p. 497-522, 2016.

BURNEY, J. A.; NAYLOR, R. L. Smallholder irrigation as a poverty alleviation tool in sub-Saharan Africa. **World Development**, v. 40, n. 1, p. 110-123, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.05.007.

BURSZTYN, M. Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas. **Estudos Avançados**, v. 34, n. 98, p. 167-186, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.3498.011.

CALCA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; ANACLETO, K. B.; FRANCO, J. R.; DAL PAI, A.; CANEPPELE, F. L. A perspective on thermal application and the direct conversion of solar energy in rural areas in Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e9810615610-e9810615610, 2021. DOI: https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15610.

CAMPOS, M. S.; ALCÂNTARA, L. S. Sistema Fotovoltaico de Bombeamentopara irrigação na agricultura familiar. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 205-214, 2018.

CAROZZI, H. J. C.; MAIA, V.; NOGUEIRA, C. E. C. Aplicação da tecnologia Keppe-motor® para viabilizar o processo de moto-bombeamento de água em regiões sem acesso à rede elétrica convencional mediante o uso de painéis fotovoltaicos de menor custo. **Revista Thêma et Scientia**, v. 4, n. 2, 2014.

CARRÊLO, I. B.; ALMEIDA, R. H.; NARVARTE, L.; MARTINEZ-MORENO, F.; CARRASCO, L. M. Comparative analysis of the economic feasibility of five large-power photovoltaic irrigation systems in the Mediterranean region. **Renewable Energy**, v. 145, p. 2671-2682, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.030.

CARRICONDO-ANTÓN, J. M.; JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; JUÁREZ, J. M.; TOMAS, A. R.; GONZÁLEZ-ALTOZANO, P. Optimization of an isolated photovoltaic water pumping system with technical–economic criteria in a water users association. **Irrigation Science**, v. 41, n. 6, p. 817-834, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s00271-023-00859-6.

CARVALHO, R. D.; DALSASSO, R. L.; GUEDES, T. L.; SANTOS, J. A. C. Otimização do dimensionamento em sistemas de bombeamento fotovoltaico: validação de modelo em sistema piloto na comunidade rural de Rio Belo, Orleans (SC). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 1153-1162, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-41522018160134.

CHABOUR, H. E.; PARDO, M. A.; RIQUELME, A. Economic assessment of converting a pressurised water distribution network into an off-grid system supplied with solar photovoltaic energy. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 24, n. 6, p. 1823-1835, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s10098-022-02290-5.

CHANDEL, S. S.; NAIK, M. N.; CHANDEL, R. Review of performance studies of direct coupled photovoltaic water pumping systems and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 163-175, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.019.

CHANDEL, S. S.; NAIK, M. N.; CHANDEL, R. Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1084-1099, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083.

CINTRA, P. H. N.; MELO, O. F. P.; MENEZES, J. O. S. Produção agrícola: Uma revisão bibliográfica sobre as mudanças climáticas e produtividade de plantas graníferas no brasil. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 11, p. 2179-5959, 2020.

COSTA, L. C. A.; SILVA, G. D. P. Save water and energy: A techno-economic analysis of a floating solar photovoltaic system to power a water integration project in the Brazilian semiarid. **International Journal of Energy Research**, v. 45, n. 12, p. 17924-17941, 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/er.6932.

CRUZ, J. L. Energia solar e o desenvolvimento de políticas para agricultura familiar no semiárido piauiense. **Anais do Seminário Regional de Políticas e Sustentabilidade (SERPS)**, v. 1, p. 66-74, 2023. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.10794010.

CRUZ, T. P. R.; CARVALHO, L. H. R.; FAVACHO, R. C.; CAMPOS, P. S. S.; MORAES, R. I. R.; MORAIS, E. C.; MARQUES, G. T.; CHASE, O. A. Análise socioambiental e legislativa dos impactos da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 63495-63511, 2020. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-689.

DAL BEM, J. C. T.; BARBI, I.; NORMEY-RICO, J. E.; RUTHER, R. Solução para bombeamento de água em propriedades rurais utilizando energia solar fotovoltaica. **Revista Brasileira de Energia Solar,** v. 7, n. 1, p.50-57, 2016. DOI: https://doi.org/10.59627/cbens.2016.1302.

DANTAS, S. G. **Oportunidades e desafios da geração solar fotovoltaica no semiárido do Brasil.** Texto para discussão. Rio de Janeiro: IPEA, 2020.

EISERMANN, J. I.; BRITO, M. C. A. Desempenho de Métodos Numéricos Clássicos em Problemas de Otimização Irrestrita. **Abakos**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 25-47, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.5752/P.2316-9451.2021v9n2p25-47.

EL CHAAR, L.; LAMONT, L. A.; EL ZEIN, N. Review of photovoltaic technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 2165-2175, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.004.

FARRAR, L. W.; BAHAJ, A. S.; JAMES, P.; ANWAR, A.; AMDAR, N. Floating solar PV to reduce water evaporation in water stressed regions and powering water pumping: Case study Jordan. **Energy Conversion and Management**, v. 260, p. 115598, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115598.

FEDRIZZI, M. C.; SAUER, I. L. **Bombeamento solar fotovoltaico, histórico, características e projetos**. *In*: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., Campinas. Anais [online], 2002.

FERNANDES, G. S. T., LIMA, E. A., MOURA NETO, A., GONÇALVES JÚNIOR, Â. S. Variação interdecadal de elementos climáticos no Estado do Piauí (Brasil). **Revista**

**Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, 2020.

FERNANDEZ-AHUMADA, L. M.; RAMÍREZ-FAZ, J.; LOPEZ-LUQUE, R.; VARO-MARTÍNEZ, M.; MORENO-GARCÍA, I. M.; DE LA TORRE, F. C. Influence of the design variables of photovoltaic plants with two-axis solar tracking on the optimization of the tracking and backtracking trajectory. **Solar Energy**, v. 208, p. 89-100, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.063.

FONTOLAN, M. V.; FERRAREZE, R. B.; SIGNOR, A.; LIMA, R. S. ODS 2: Fome Zero e agricultura sustentável no contexto rural. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 29, p. e022004-e022004, 2022. DOI: https://doi.org/10.20396/san.v29i00.8665666.

GALDINO, J. C. S.; FREITAS, M. A. V.; SILVA, N. F.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, J. M. D. Creating the Path for Sustainability: Inserting Solar PV in São Francisco Transposition Project. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 8982-8919, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12218982.

GAMARRA-ROJAS, G; FABRE, N. Agroecologia e mudanças climáticas no Trópico Semiárido. **Revista do Desenvolvimento Regional. v**. 22, n. 2, p. 174-188, 2017.

GARCÍA-CASCALES, M. S.; MOLINA-GARCÍA, A.; SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; MATEO-AROCA, A.; MUNIER, N. Multi-criteria analysis techniques to enhance sustainability of water pumping irrigation. **Energy Reports**, v. 7, p. 4623-4632, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.026.

GHASEMI-MOBTAKER, H.; MOSTASHARI-RAD, F.; SABER, Z.; CHAU, K. W.; NABAVI-PELESARAEI, A. Application of photovoltaic system to modify energy use, environmental damages and cumulative exergy demand of two irrigation systems-A case study: Barley production of Iran. **Renewable Energy**, v. 160, p. 1316-1334, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.047.

GASQUE, M.; GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; GUTIÉRREZ-COLOMER, R. P.; GARCÍA-MARÍ, E. Comparative evaluation of two photovoltaic multi-pump parallel system configurations for optimal distribution of the generated power. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 48, p. 101634, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101634.

GOPAL, C.; MOHANRAJ, M.; CHANDRAMOHAN, P.; CHANDRASEKAR, P. Renewable energy source water pumping systems—A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 25, p. 351-370, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.012.

GUZMÁN, A. B.; VICENCIO, R. B.; ARDILA-REY, J. A; AHUMADA, E. N.; ARAYA, A. G.; MORENO, G. A. A cost-effective methodology for sizing solar PV systems for existing irrigation facilities in Chile. **Energies**, v. 11, n. 7, p. 1853, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/en11071853.

HADDAD, S.; BENGHANEM, M.; MELLIT, A.; DAFFALLAH, K. O. ANNs-based modeling and prediction of hourly flow rate of a photovoltaic water pumping system: Experimental validation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 635-643, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.083.

HADWAN, M.; ALKHOLIDI, A. Assessment of factors influencing the sustainable performance of photovoltaic water pumping systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 92, p. 307-318, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.092.

HANG, Z.; DELAN, Z.; ZHICHAO, L.; MAOSHENG, G.; QUANMING, L.; WEIHAN, Z.; CHANGXIN, L. Sunlight catching device to adjust the dip angle of photovoltaic panel through water level. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 38, n. 6, p. 221-229, 2022. DOI: https://dx.doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2022.06.025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário:** resultados definitivos. Rio de Janeiro: IBGE. 2019. 109 p.

IBGE. Instituo Brasileiro de Geografia e Estatística. **Prévia da população calculada com base nos resultados do Censo Demográfico 2022 até 25 de dezembro, 2022.** 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938. Acesso em 20/08/2024.

IEA. International Energy Agency. **Word Energy Outlook**: 2024. 2024. Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024#downloads. Acesso em: 21/11/2024.

JEAN, W.; SÁTIRO, G.; CASTANHO, P. R. A.; OLIVEIRA, E. S.; FERREIRA, J. L.; ROCHA, J. D.; DÁVALOS, N. E. B.; NOGUEIRA, D. Estudo sobre pobreza energética e segurança energética no seminário brasileiro: vulnerabilidade e resiliência socioambiental. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, v. 32, 2024. DOI: http://dx.doi.org/10.38116/brua32art3.

KANNAN, N.; VAKEESAN, D. Solar energy for future world: -A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 1092-1105, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022.

KSENTINI, A.; AZZAG, E. B. Improvement and optimization of an autonomous photovoltaic pumping system. **International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks**, v. 32, n. 3, p. e2547, 2019. DOI: https://doi.org/10.1002/jnm.2547.

KSENTINI, A.; AZZAG, E. B.; BENSALEM, A. Sizing and optimisation of a photovoltaic pumping system. **International Journal of Energy Technology and Policy**, v. 15, n. 1, p. 71-85, 2019. DOI: https://doi.org/10.1504/IJETP.2019.096619.

KUMAR, M.; REDDY, K. S.; ADAKE, R. V.; RAO, C. V. K. N. Solar powered micro-irrigation system for small holders of dryland agriculture in India. **Agricultural Water Management**, v. 158, p. 112-119, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.05.006.

KUMAR, S. S.; BIBIN, C.; AKASH, K.; ARAVINDAN, K.; KISHORE, M.; MAGESH, G. Solar powered water pumping systems for irrigation: A comprehensive review on developments and prospects towards a green energy approach. **Materials Today: Proceedings**, v. 33, p. 303-307, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.092.

KUSAKANA, K. Optimal operation scheduling of grid-connected PV with ground pumped hydro storage system for cost reduction in small farming activities. **Journal of Energy Storage**, v. 16, p. 133-138, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.est.2018.01.007.

LEITE, A. F.; SOUSA, C. M.; SILVA, J. I. A. O. Acesso e governança da água no semiárido brasileiro: um estudo em comunidades rurais do Estado da Paraíba. *In*: JACINTO, R. (org). **Novas fronteiras, outros diálogos: As novas geografias dos países de língua portuguesa**. Lisboa: Âncora Editora, 2023.

LI, D.; ZHU, D.; WANG, R.; GE, M.; WU, S.; CAI, Y. Sizing optimization and experimental verification of a hybrid generation water pumping system in a greenhouse. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2020, p. 1-11, 2020. DOI: https://doi.org/10.1155/2020/3194196.

LI, G.; JIN, Y.; AKRAM, M. W.; CHEN, X. Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system–A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 440-458, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.055.

LIMA, I. R. D.; SILVEIRA, C. D. S.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. D. C. Nexo: água, Clima, Energia e Meio Ambiente-Uma Perspectiva sobre o Empreendimento de Itataia-CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 449-457, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786353007.

LITRE, G.; CURI, M.; MESQUITA, P. S.; NASUTI, S.; ROCHA, G. O desafio da comunicação da pesquisa sobre riscos climáticos na agricultura familiar: a experiência de uso de cartilha educativa no Semiárido nordestino. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 40, p. 207-228, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/dma.v40i0.49069.

LÓPEZ-LUQUE, R.; RECA, J.; MARTÍNEZ, J. Optimal design of a standalone direct pumping photovoltaic system for deficit irrigation of olive orchards. **Applied Energy**, v. 149, p. 13-23, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.107.

MALVEZZI, R. **Semi-árido: uma visão holística**. Pensar Brasil. Brasília: CONFEA, 2007. 140p.

MALVEZZI, R. Uma Conceituação Processual e Holística da Convivência com o Semiárido. *In*: SANTOS, A. P. S.; CUNHA, A. R. B. A.; DENIS, A. A. C.; PEREZ-MARIN, A. M. (org.). **Vivências e práticas para a coabitação no semiárido brasileiro**. Campina Grande, Instituto Nacional do Semiárido. 2016, p. 13-28.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, p. 1189-1200, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8.

MARIANI, L.; GUARENGHI, M. M.; MITO, J. Y. L.; CAVALIERO, C. K. N.; GALVÃO, R. R. A. Análise de oportunidades e desafios para o Nexo Água-Energia. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 37, p. 9-30, maio, 2016. DOI: https://doi.org/10.5380/dma.v37i0.45046.

MARQUES, V. S.; ALMEIDA, E. E.; PESSOA, R. S. Política hídrica no cerrado piauiense e o uso de águas subterrâneas como alternativa ao desenvolvimento econômico do estado do

Piauí. **Arquivo Jurídico – Revista Jurídica Eletrônica da UFPI**, v. 10, n. 1, p. 143–159, jan/jun 2023.

MATTOS, L. C.; FERREIRA, A. P.; MAY, P. H. Seca e estiagem: dois sentidos para o mesmo fenômeno. *In*: SABOURIN, E.; RIBEIRO, O. L. M.; GOULET, F.; MARTINS, E. S. **A ação pública de adaptação da agricultura à mudança climática no Nordeste semiárido brasileiro**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais, 2021. pp. 29-46.

MCCAULEY, D. **Energy justice**: re-balancing the trilemma of security, poverty and climate change. Basingstoke, Cham: Palgrave McMillan. 2017. 124 p.

MELO, D. C. P.; OLIVEIRA, M. J. M.; CORDEIRO, L. F. A.; SOUSA, W. S. Estudo do bombeamento de água salobra para irrigação agrícola: solução para uma cooperativa do semiárido nordestino com energia solar fotovoltaica. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.4, p.449-456, 2021. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0035.

MESQUITA, P. S., CAVALCANTE, L.; MILHORANCE, C.; NOGUEIRA, D.; ANDRIEU, N. Importância dos programas voltados aos agricultores familiares nos períodos de seca frente à necessidade de adaptação às mudanças climáticas no Semiárido brasileiro. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 55, p. 599-618, 2020. DOI: https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.72974.

MILITÃO, M. F. A.; OLIVEIRA, J. J. L.; SOUSA, T. M. I.; PEREIRA, L. E.; ROCHA, A. L. Extensão universitária e a convivência com o semiárido: o reaproveitamento de águas cinzas na região do Cariri Cearense. **Extensão em Foco**, n. 21, 2020. DOI: https://doi.org/10.5380/ef.v0i21.70569.

MITSCHER, M.; RÜTHER, R. Economic performance and policies for grid-connected **Energy Policy** residential solar photovoltaic systems in Brazil. v. 49, p. 688-694, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.009.

MONTEIRO, P. B.; CABRAL, J. J. S. S. Gestão das águas subterrâneas no estado do Piauí (Brasil) no contexto das mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 58, n. 1, p. 45–58, 2023. DOI: https://doi.org/10.5327/Z2176-94781485.

MORAES, A. M.; MORANTE, F.; VALER, L. R.; FEDRIZZI, M. C. Análise da gestão e operação de Sistemas Fotovoltaicos de Bombeamentono semiárido brasileiro. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.** v. 24, p 256-267, 2020.

MORAES, A. M.; VALER, L. R.; MORANTE, F.; FEDRIZZI, M. C.; ZILLES, R.; MELENDEZ, T. A. F. Projeto Sol e Água no Sertão: processo de implantação e avaliação de um Sistema Fotovoltaico de Bombeamentopara irrigação de uso familiar no semiárido brasileiro. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.** v. 21, p 12.11-12.20, 2017.

MORAIS, F. H. M.; SILVA, O. A. V. O. L.; MORAES, A. M.; BARBOSA, F. R. Influência da Irradiação Solar na Análise de Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 4, p. 723-734, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786360049.

MORAIS, F.; MORAES, A.; BARBOSA, F. Technical-economic analysis of the first mini-generation photovoltaic system of Piauí, Brazil. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, n. 10, p. 1706-1714, 2019. DOI: https://doi.org/10.1109/TLA.2019.8986449.

MORAIS, F. H. M.; GUIMARÃES, J. C.; LOPES, W. G. R. Produção científica (2011-2021) sobre políticas públicas voltadas ao semiárido por meio de tecnologias sociais. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade**, v. 12, n. 2, p. 86-110, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.17648/aos.v12i2.2701.

MURALIDHAR, K.; RAJASEKAR, N. A review of various components of solar water-pumping system: Configuration, characteristics, and performance. **International Transactions on Electrical Energy Systems**, v. 31, n. 9, p. e13002- e13035, 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/2050-7038.13002.

MWANZA, M.; KAOMA, M; BOWA, C. K.; NUMAN ÇETIN, N. S.; ÜLGEN, K. The potential of solar energy for sustainable water resource development and averting national social burden in rural areas of Zambia. **Periodicals of Engineering and Natural Sciences**. v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.21533/pen.v5i1.64.

NOGUEIRA, C. E. C.; BEDIN, J.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SOUZA, S. N. M.; NEVES, J. C. M. Performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in a water pumping system in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 1610-1616, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.082.

OLIVEIRA, E. N. C. S.; LIRA, M. A. T.; MORAES, A. M. **Sistemas fotovoltaicos de bombeamento na agricultura familiar piauiense**. *In*: Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS, 7, Gramado. Anais, 2018. DOI: https://doi.org/10.59627/cbens.2018.225.

OLIVEIRA, G. S.; LIMA, E. F. A.; NUNES, V. F.; FREIRE, F. N. A.; ALMEIDA, A. F. L. Cálculo teórico de um Sistema Fotovoltaico de Bombeamentoe simulação de aplicação na agricultura familiar. **Irriga**, n. 1, n. 2, p. 47-52, 2018. DOI: https://doi.org/10.15809/irriga.2018v1n2p47-52.

OLSSON, A.; CAMPANA, P. E.; LIND, M.; YAN, J. PV water pumping for carbon sequestration in dry land agriculture. **Energy conversion and management**, v. 102, p. 169-179, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.056.

PAGE, M. J.; MOHER, D.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MCKENZIE, J. E. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n160.

PANDEY, A. K; TYAGI, V. V.; SELVARAJ, J. A. L; RAHIM, N. A.; TYAGI; S. K. Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 859-884, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.043.

PARIDA, B.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of solar photovoltaic technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 1625-1636, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032.

PEREIRA, H. M. P.; MENDES, L. F. R. Análise de rendimento do sistema de bombeamento de água por energia solar fotovoltaica para irrigação de um viveiro de mudas. **Vértices**, v. 21, n. 3, p. 463-494, 2019. DOI: https://doi.org/10.19180/1809-2667.v21n32019p463-494.

PEREIRA, R. F. A. Bombeamento de água utilizando sistemas fotovoltaicos. **Engineering Sciences**, v. 9, n. 1, p. 85-91, 2021. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.001.0009.

PICAZO, M. Á. P.; JUÁREZ, MANZANO, J. M.; GARCÍA-MÁRQUEZ, D. Energy consumption optimization in irrigation networks supplied by a standalone direct pumping photovoltaic system. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 4203, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/su10114203.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Ceresb, 2014. 530 p.

QUEIROZ, D. B.; CAVALCANTE, A. M. B.; LIMA, P. V. P. S.; SILVA, E. M. Tecnologias Sociais na Redução da Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas nos Municípios do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 261-268, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-77863720051.

ROBLIN, S. Solar-powered irrigation: A solution to water management in agriculture? **Renewable Energy Focus**. v. 17, n. 5, p. 205-206, Set/Out, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ref.2016.08.013.

RUBIO-ALIAGA, Á.; GARCIA-CASCALES, M. S.; SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; MOLINA-GARCIA, A. Multidimensional analysis of groundwater pumping for irrigation purposes: Economic, energy and environmental characterization for PV power plant integration. **Renewable Energy**, v. 138, p. 174-186, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.077.

RUBIO-ALIAGA, Á.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; MOLINA-GARCIA, A. MCDM-based multidimensional approach for selection of optimal groundwater pumping systems: Design and case example. **Renewable Energy**, v. 163, p. 213-224, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.079.

RUBIO-ALIAGA, Á.; SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; BENHAMOU, M.; MOLINA -GARCÍA, A. GIS based solar resource analysis for irrigation purposes: Rural areas comparison underground water scarcity conditions. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v.156, p. 128–139, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.06.045.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, p. 195-212, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201.

.
SAAVEDRA, A.; GALVIS, N. A.; CASTANEDA, M.; ZAPATA, S.; MESA, F.; ARISTIZÁBAL, A. J. Feasibility of using photovoltaic solar energy for water treatment plants. **International Journal of Electrical and Computer Engineering**, v. 11, n. 3, p. 1962-1968, 2021. DOI: https://doi.org/10.11591/ijece.v11i3.pp1962-1968.

SANNA, A.; BUCHSPIES, B.; ERNST, M.; KALTSCHMITT, M. Decentralized brackish water reverse osmosis desalination plant based on PV and pumped storage-Technical analysis. **Desalination**, v. 516, p. 115232, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115232.

SANTIAGO, C. M. C.; SALES, M. C. L.; PAULA J. E. A. Caracterização físico-ambiental da bacia do rio São Nicolau- semiárido piauiense. **Revista Equador**, v. 1, n. 1, p. 118-139, 2013. DOI: https://doi.org/10.26694/equador.v2i1.1035.

SARMENTO, D. O mínimo existencial. **Revista de Direito da Cidade**, v. 8, n. 4, p. 1644-1689, 2016. DOI: https://doi.org/10.12957/rdc.2016.26034.

SEME, S.; ŠTUMBERGER, B.; HADŽISELIMOVIĆ, M.; SREDENŠEK, K. Solar photovoltaic tracking systems for electricity generation: A review. **Energies**, v. 13, n. 16, p. 4224, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/en13164224.

SHAO, W.; LIU, J.; ZHU, M.; WENG, B.; WANG, N.; HUANG, H.; YU, Y.; YAN, D.; JIANG, S. Evaluation of a photovoltaic water-supply scheme for the surface water system in Xiamen, China. **Applied energy**, v. 230, pp. 357-373, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.067.

SILVA, D. S.; PONZILACQUA, M. H. P. Acesso à água de qualidade como direito humano fundamental: a garantia do mínimo existencial. **Revista Humanidades & Inovação**, v. 7, n. 20, p. 537-551, 2020.

SILVA, E. R. A. Os objetivos do desenvolvimento sustentável e os desafios da nação. *In*: De Negri, J. A.; Araújo, B. C.; Bacelette, R. (org.) **Desafios da nação: artigos de apoio, volume 2**. Brasília: IPEA, 2018. p. 659-678.

SILVA JÚNIOR, P. C.; COSTA, J.; MORAES, A. M.; LIRA, M. A. T. Estudo e avaliação da implantação de sistemas fotovoltaicos no meio rural em associações e cooperativas piauienses. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 11, n. 2, p. 115-123, 2020. DOI: https://doi.org/10.59627/rbens.2020v11i2.316.

SILVA, K. Z.; COLOMBO, R. Mudanças Climáticas: Influência Antrópica, Impactos e Perspectivas. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**. v.8, n.3, p. 47-68, 2019. DOI: https://doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i3.p47-68.

SILVA, M. A.; SOUZA, S. V.; GIMENES, R. M. T.; LOPES, A. C. V. Energia fotovoltaica na agricultura familiar: um estudo de caso na região de Dourados-MS. **Informe GEPEC**, v. 26, n. 2, p. 69-86, 2022. DOI: https://doi.org/10.48075/igepec.v26i2.26993

SILVA, M. R. F.; DUTRA, M.C. F. S. G.; DIAS, N. S.; LIMA, A. O. Governança ambiental e o direito de acesso à água, à luz da Agenda 2030. **Acta Hidrogeográfica**, v. 1, p. 1-14, 2022. DOI: https://doi.org/10.59776/2764-4197.2022.3780.

SILVA, N. T. P. Geração fotovoltaica no semiárido pernambucano uma explanação do potencial energético do sertão do Pajeú. **Revista Multidisciplinar do Sertão**, v. 3, n. 3, p. 293-301, 2021. DOI: https://doi.org/10.37115/rms.v3i3.355.

SILVA, R. M. A.; AQUINO, J. R.; COSTA, F. B.; NUNES, E. M. Características produtivas e socioambientais da agricultura familiar no Semiárido brasileiro: evidências a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Desenvolvimento e Meio ambiente**. v. 55, p. 314-338, 2020. DOI: https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73745.

SINGH, D. B.; MAHAJAN, A.; DEVLI, D.; BHARTI, K.; KANDARI, S.; MITTAL, G. A mini review on solar energy based pumping system for irrigation. **Materials Today: Proceedings**, v. 43, p. 417-425, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.716.
SINGH, G. K. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. **Energy**, v. 53, p. 1-13, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.057.

SOUZA, M.; VERSIEUX, B. H. Nexo entre água, energia e alimento no contexto das mudanças do clima: o caso do Nordeste brasileiro. **Estudos Internacionais – Revista de Ralações Internacionais**, v. 9, n. 1, p. 112-130, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.5752/P.2317-773X.2021v9n1p112-130.

TAMBO, F. L. R.; THEBALDI, M. S.; LIMA, L. A. Easydrip: dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejamento energizada por sistemas fotovoltaicos em regiões moçambicanas. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 69549-69567, 2020. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-413.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Revista Geosul**, v. 34, n. 70, p. p. 385-405, jan./abr, 2019.

TEIXEIRA, N. F. F.; SILVA, E. V.; FARIAS, J. F. Geoecologia das paisagens e planejamento ambiental: discussão teórica e metodológica para a análise ambiental. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, n. 9, p. 147-158, 2018. DOI: https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385.

TODDE, G.; MURGIA, L.; DELIGIOS, P. A.; HOGAN, R.; CARRELO, I.; MOREIRA, M.; PAZZONA, A.; LEDDA, L.; NARVARTE, L. Energy and environmental performances of hybrid photovoltaic irrigation systems in Mediterranean intensive and super-intensive olive orchards. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 2514-2523, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.175.

TROMMSDORFF, M.; KANG, J.; REISE, C.; SCHINDELE, S.; BOPP, G.; EHMANN, A.; WESELEK, A.; HOGY, P.; OBERGFELL, T. Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 140, p. 110694, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110694.

TYAGI, V. V.; KAUSHIK, S. C.; TYAGI, S. K. Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 1383-1398, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.013.

UN. United Nations. **Transforming our world*:* the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Division for Sustainable Development Goals. Nova York, 2015.

VALER, L. R.; MELENDEZ, T. A.; FEDRIZZI, M. C.; ZILLES, R. MORAES, A. M. Variable-speed drives in photovoltaic pumping systems for irrigation in Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 15, p. 20-26, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seta.2016.03.003.

VALER, R.; MORAES, A. M.; MORANTE, F.; ZILES, R.; FEDRIZZI, M. C. Experiências no semiárido cearense na implantação de sistemas fotovoltaicos para irrigação: lições aprendidas. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 17, p. 04.01-04.10, 2013.
VERMA, S.; MISHRA, S.; CHOWDHURY, S.; GAUR, A.; MOHAPATRA, S.; SONI, A., VERMA, P. Solar PV powered water pumping system–A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 5601-5606, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.434.

VIANA, L. A.; ZAMBOLIM, L.; SOUSA, T. V.; TOMAZ, D. C. Melhoria da qualidade de vida em regiões rurais sem acesso à energia elétrica por meio da geração solar fotovoltaica. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 3, p. 204-211, 2019. DOI: https://doi.org/10.13083/reveng.v27i3.901.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Érica. 2015. 224 p.

WAZED, S. M.; HUGHES, B. R.; O'CONNOR, D.; CALAUTIT, J. K. A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1206-1225, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.039.

WAZED, S. M.; HUGHES, B. R.; O'CONNOR, D.; CALAUTIT, J. K. Solar driven irrigation systems for remote rural farms. **Energy Procedia**, v. 142, p. 184-191, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.030.

XIE, H.; RINGLER, C.; MONDAL, A. H. Solar or diesel: a comparison of costs for groundwater-fed irrigation in sub-Saharan africa under two energy solutions. **Earth's Future**, v. 9, n. 4, p. e2020EF001611, 2021. DOI: https://doi.org/10.1029/2020EF001611.

YAHYAOUI, I.; CHAABENE, M.; TADEO, F. Evaluation of Maximum Power Point Tracking algorithm for off-grid photovoltaic pumping. **Sustainable Cities and Society**, v. 25, p. 65-73, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.11.005.

YAHYAOUI, I.; TADEO, F.; SEGATTO, M. V. Energy and water management for drip-irrigation of tomatoes in a semi-arid district. **Agricultural water management**, v. 183, p. 4-15, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.003.

YAICHI, M.; TAYEBI, A.; MAMMERI, A.; BOUTADARA, A. Performance of a PV field's discontinuous two-position sun tracker systems supplying a water pumping system: Concept, theoretical and experimental studies–A case study of the Adrar area in Algeria's Sahara. **Renewable Energy**, v. 201, p. 548-562, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.10.095.

YAN, Y.; WANG, Y.; YAN, J.; LIU, Z.; LIAO, Q.; WANG, B. Tech-economic modeling and analysis of agricultural photovoltaic-water systems for irrigation in arid areas. **Journal of Environmental Management**, v. 338, p. 117858, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117858.

YANG, Z.; SUN, G.; BEHRENS, P.; ØSTERGAARD, P. A.; EGUSQUIZA, M.; EGUSQUIZA, E.; XU, B.; CHEN, D.; PATELLI, E. The potential for photovoltaic-powered pumped-hydro systems to reduce emissions, costs, and energy insecurity in rural China. **Energy Conversion and Management: X**, v. 11, p. 100108, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100108.

ZAVALA, V.; LÓPEZ-LUQUE, R.; RECA, J.; MARTÍNEZ, J.; LAO, M. T. Optimal management of a multisector standalone direct pumping photovoltaic irrigation system. **Applied Energy**, v. 260, p. 114261, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114261.

ZHANG, J.; LIU, J.; CAMPANA, P. E.; ZHANG, R.; YAN, J.; GAO, X. Model of evapotranspiration and groundwater level based on photovoltaic water pumping system. **Applied energy**, v. 136, p. 1132-1137, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.045.

ZHANG, Q.; GE, M.; WU, P.; WEI, F.; XUE, S.; WANG, B.; GE, X. Solar photovoltaic coupled with compressed air energy storage: A novel method for energy saving and high quality sprinkler irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 288, p. 108496, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108496.

## APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

O presente instrumento de pesquisa é parte integrante do projeto de pesquisa intitulado **Uso da energia solar fotovoltaica como tecnologia social de convivência com o semiárido**, do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, a nível de Doutorado, da Universidade Federal do Piauí, que tem como objetivo é analisar o uso dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento enquanto tecnologia social de convivência com o semiárido, considerando seus impactos socioeconômicos e ambientais em comunidades rurais piauienses. O questionário é anônimo e confidencial e as respostas serão utilizadas apenas para fins científicos. Seu preenchimento terá duração de aproximadamente 20 minutos. As questões apresentadas não têm associadas respostas corretas ou incorretas, e sua resposta, pessoal e sincera, é muito importante. Desde já, agradeço a sua colaboração neste estudo, e coloco-me à disposição para quaisquer eventuais esclarecimentos que se fizerem necessários.

**Pesquisador**: Fabrício Higo Monturil de Morais **Contato:** (86) 98823-2730 (WhatsApp)

**ENTREVISTA Nº _____DATA**: _____ / _____ / _____

**COMUNIDADE: _____ MUNICÍPIO: _____**

### I – INFORMAÇÕES SÓCIOECONÔMICAS

**01.** Sexo:
( ) Masculino ( ) Feminino

**02.** Idade: _____ **03.** Naturalidade: _____

**04.** Tempo de moradia na comunidade: _____

**05.** Número de pessoas na família: _____

**06.** Ocupação Profissional:
( ) Sem ocupação profissional ( ) Profissional de Carteira Assinada
( ) Servidor público ( ) Aposentado(a) / Pensionista
( ) Outra
Caso “Outra”, especifique: _____

**07.** Abastecimento de água da família antes da instalação do sistema fotovoltaico:
( ) Açude ( ) Poço Tubular
( ) Poço Cacimbão ( ) Rio
( ) Cisterna ( ) Outro
Caso “Outro”, especifique: _____

**08.** Suprimento de energia elétrica da família antes da instalação do sistema fotovoltaico:
( ) Sem nenhum acesso ( ) Rede da concessionaria
( ) Gerador particular ( ) Outro
Caso "Outro", especifique: _____

**09.** Que atividades provenientes da agricultura familiar eram desenvolvidas antes da instalação do sistema fotovoltaico?
( ) Caça ( ) Agricultura ( ) Pecuária
( ) Piscicultura ( ) Pesca ( ) Outro
Caso "Outro", especifique: _____

**10.** Toda a família participava dessas atividades?
( ) Sim ( ) Não

**11.** Qual era a destinação dessa produção?
( ) Consumo próprio ( ) Comercialização ( ) Consumo Animal

**12.** Caso a resposta do item anterior tenha sido "Comercialização", como era feito o transporte das mercadorias?
( ) Transporte próprio ( ) Carroça
( ) Lombo de animal ( ) Outro
Caso "Outro", especifique: _____

**13.** Qual era a Renda Mensal da família (em Salários Mínimos), antes da instalação do sistema fotovoltaico?
( ) menor que 01 salário mínimo ( ) 01 salário mínimo
( ) entre 01 e 02 salários mínimos ( ) 02 salários mínimos
( ) entre 02 e 03 salários mínimos ( ) 03 salários mínimos
( ) acima de 03 salários mínimos ( ) Auxílio Público
Caso "Auxílio Público", especifique: _____

**14.** A produção acontecia o ano todo?
( ) Sim ( ) Não
Caso "Não", qual o motivo: _____

**15.** Caso "Não", em que períodos do ano acontecia a produção?
( ) Janeiro a Março ( ) Abril a Junho
( ) Julho a Setembro ( ) Outubro a Dezembro

**16.** Como a(s) atividade(s) que necessita(m) de água e energia elétrica era(m) desenvolvida(s) antes da instalação do sistema fotovoltaico?
_____
_____

**17.** Qual a finalidade da água bombeada pelo sistema fotovoltaico após a sua instalação?
( ) Consumo Doméstico ( ) Irrigação ( ) Produção Animal
( ) Não sei informar ( ) Outra
Caso "Outra", especifique: _____

**18.** Caso a água seja utilizada para "Produção Animal" o que está sendo produzido?
( ) Aves ( ) Suínos ( ) Caprinos e ovinos
( ) Bovinos ( ) Peixes ( ) Outro
Caso "Outro", especifique: _____

**19.** Houve algum incremento neste tipo de produção a partir da instalação do sistema fotovoltaico?
( ) Sim ( ) Não
Caso "Sim", especifique: _____

**20.** Caso a água seja utilizada para "Irrigação", o que está sendo produzido?
( ) Hortaliças ( ) Frutas
( ) Verduras ( ) Outro
Caso "Outro", especifique: _____

**21.** Houve algum incremento neste tipo de produção a partir da instalação do sistema fotovoltaico?
( ) Sim ( ) Não
Caso "Sim", especifique: _____

**22.** Qual passou a ser a destinação dessa produção, a partir da instalação do sistema fotovoltaico?
( ) Consumo próprio ( ) Comercialização ( ) Consumo Animal

**23.** Caso a resposta do item anterior tenha sido "Comercialização", qual passou a ser a contribuição da renda obtida com as vendas para o orçamento geral da família?
( ) 1% a 10% ( ) 11% a 40%
( ) 41% a 70% ( ) 71% a 100%

**24.** Onde esses produtos passaram a ser comercializados, a partir de então?
( ) Feiras livres ( ) No próprio local
( ) Comércios e Supermercados ( ) Outro
Caso "Outro", especifique: _____

**25.** Como passou a ser feito o transporte das mercadorias, após a instalação do sistema fotovoltaico?
( ) Transporte próprio ( ) Carroça
( ) Lombo de animal ( ) Outro
Caso "Outro", especifique: _____

**26.** Que outra (s) atividade (s) além do suprimento de água, foi(foram) contemplada(s) com a instalação do sistema fotovoltaico?

_____

_____

**27.** Você ou alguém da sua família já teve algum problema de saúde relacionado à qualidade da água que consomem?

( ) Sim ( ) Não

Caso "Sim", especifique: _____

**28.** Como você classificaria a disponibilidade da água na sua região, antes e depois da instalação do sistema fotovoltaico?

Antes: ( ) Insuficiente ( ) Suficiente ( ) Abundante

Depois: ( ) Insuficiente ( ) Suficiente ( ) Abundante

**29.** Quais os principais desafios que sua comunidade enfrenta em relação ao acesso a água potável?

_____

_____

**30.** Você acha que investir em sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água pode ter um impacto positivo na saúde da população da comunidade? Porque?

_____

_____

## II – INSTALAÇÃO E USO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BOMBEAMENTO

**31.** A energia gerada está sendo suficiente para as necessidades da comunidade para as quais o sistema fotovoltaico visa atender?

( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei informar

Caso não, especifique: _____

**32.** Houve alguma mudança na vida da comunidade ou da família após a instalação do sistema fotovoltaico?

( ) Melhorou ( ) Piorou

( ) Nenhuma Mudança ( ) Não sei informar

Caso Melhorou, o que melhorou? _____

Caso Piorou, o que piorou?_____

**33.** As pessoas da comunidade ou da família participaram da instalação do sistema fotovoltaico?

( ) Não ( ) Sim ( ) Não sei informar

Caso sim, especifique: _____

**34.** Existe algum morador responsável por cuidar e zelar pelo sistema fotovoltaico?
( ) Não ( ) Sim ( ) Não sei informar
Caso sim, especifique: _____

**35.** Existe algum morador responsável pela operação do sistema fotovoltaico?
( ) Não ( ) Sim ( ) Não sei informar
Caso sim, especifique: _____

**36.** O sistema apresentou algum problema após a sua instalação?
( ) Não ( ) Sim ( ) Não sei informar
Caso sim, especifique: _____

**37.** O problema foi solucionado?
( ) Não ( ) Sim ( ) Não sei informar
Caso sim, especifique como: _____
Caso não, especifique o motivo: _____

**38.** Você acredita que a utilização da energia solar em outras comunidades que vivem na mesma situação que a sua, possa trazer mudanças nas vidas dos moradores?
( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei informar
Caso sim, especifique: _____

**39.** Possui algum conhecimento relacionado à energia solar?
( ) Não ( ) Sim
Caso sim, especifique: _____

**40.** Você deseja obter mais conhecimento ou informação sobre a energia solar fotovoltaica?
( ) Sim ( ) Não ( ) Não sei informar
Caso sim, especifique:
_____

**41.** Para você, qual a dimensão mais importante do sistema fotovoltaico de bombeamento?
( ) Social ( ) Econômica
( ) Ambiental ( ) Não sei informar

**42.** Você teria mais alguma observação que julgue importante a respeito do sistema fotovoltaico instalado, ou dos benefícios ou malefícios que o mesmo trouxe para a comunidade?
_____
_____
_____

## APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

**Título do projeto:** Uso da energia solar fotovoltaica como tecnologia social de convivência com o semiárido
**Pesquisador responsável:** Fabrício Higo Monturil de Morais
**Instituição/Departamento:** Universidade Federal do Piauí – PRODEMA
**E-mail para contato:** fabricio@ifpi.edu.br
**Telefone para contato**: (86) 98823-2730

Você está sendo convidado a participar como voluntário de uma pesquisa. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (**TCLE**), visa assegurar seus direitos como participante e você poderá manter uma cópia do mesmo, caso assim deseje, e outra cópia ficará com o pesquisador. Por favor, **leia com atenção e calma**, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de indicar sua concordância, você poderá esclarecê-las com o pesquisador. Se preferir, você pode levar este Termo para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo se você não aceitar participar ou retirar sua autorização em qualquer momento.

O trabalho **justifica-se** ao ressaltar a importância de estudos sobre do uso de tecnologias, que possam contribuir para convivência do homem em comunidades rurais remotas, onde são comuns a escassez hídrica e a falta de energia, destacando-se, então, a possibilidade do uso da energia solar fotovoltaica, que poderia contribuir para o acesso à água e para outras atividades inerentes ao bem-estar do ser humano.

O **objetivo geral** da pesquisa é analisar o uso dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento enquanto tecnologia social de convivência com o semiárido, considerando seus impactos socioeconômicos e ambientais em comunidades rurais piauienses. Como **objetivos específicos** pretende-se: refletir sobre as políticas voltadas para o fornecimento de energia elétrica e de acesso à água no o semiárido do Nordeste; relacionar os fatores que impulsionam a utilização da energia solar fotovoltaica no meio rural piauiense; determinar o potencial para a utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento no estado do Piauí; identificar as principais aplicações dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento no semiárido piauiense; avaliar a uso dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento em comunidades rurais do semiárido piauiense.

A pesquisa será de natureza exploratória, através de uma abordagem quali-quantitativa, realizada por meio de uma pesquisa de campo, com amostragem não probabilística intencionalmente escolhida. Na pesquisa de campo inicialmente será realizada uma sondagem prévia e os primeiros contatos com os informantes locais. Serão realizadas entrevistas e/ou aplicados questionários, utilizando-se de formulário preparado previamente, junto às famílias beneficiadas e aos líderes das comunidades. Essa etapa será desenvolvida de forma presencial, no local desejado pelo participante da pesquisa, dando-se preferência para a sua moradia, em ambiente reservado e sem a observação de terceiros.

Com os **resultados esperados**, espera-se realizar um diagnóstico da realidade das comunidades do semiárido piauiense em relação ao nexo água-energia, de modo a se verificar

o seu desenvolvimento socioeconômico, sensibilizando sociedade com relação à importância da utilização das técnicas de convivência com o semiárido, e sua relação com o desenvolvimento socioeconômico de regiões vulneráveis ao fenômeno das mudanças climáticas.

Os resultados obtidos no estudo serão utilizados para fins científicos (divulgação em revistas e em eventos científicos) e os pesquisadores se comprometem em manter o sigilo e identidade anônima, como estabelecem as Resoluções do Conselho Nacional de Saúde nº. 466/2012 e 510/2016 que tratam de normas regulamentadoras de pesquisas que envolvem seres humanos.

A qualquer momento você poderá se sentir desconfortável ao responder aos questionamentos e/ou não estar disposto a atender na hora ou dia marcados. Podem surgir o medo de não saber responder às perguntas, cansaço ou vergonha, desconforto e quebra do anonimato. Poderá haver também a exposição de imagens fotográficas ou filmagens. Diante disso, a pesquisa sempre irá garantir os respeitos aos seus valores culturais, sociais, morais, éticos, religiosos, bem como os hábitos e costumes da sua comunidade. Iremos assegurar a confidencialidade e a privacidade das suas informações, a proteção da sua imagem e a não estigmatização, garantindo a não utilização de informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades, inclusive em termos de autoestima, de prestígio e/ou econômico – financeiro. A não violação e a integridade dos documentos serão garantidas.

Você não terá nenhum custo com a pesquisa, e caso aja por qualquer motivo, asseguramos que você será devidamente ressarcido. Não haverá nenhum tipo de pagamento por sua participação, ela é voluntária. No entanto, há garantia de indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa.

Para qualquer outra informação, você poderá entrar em contato com o pesquisador responsável, ou poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa – UFPI, que acompanha e analisa as pesquisas científicas que envolvem seres humanos, no Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Bairro Ininga, Teresina –PI, telefone (86) 3237-2332, e-mail cep.ufpi@ufpi.br. Horário de Atendimento ao Público, segunda a sexta, manhã: 08h00 às 12h00 e a tarde: 14h00 às 18h00. Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com o pesquisador responsável: Fabrício Higo Monturil de Morais. Telefone para contato: (86) 98823-2730. E-mail: fabricio@ifpi.edu.br.

Ciente e de acordo com o que fui anteriormente exposto, eu _____, aceito participar desta pesquisa, assino este consentimento em duas vias, rubrico as outras páginas e fico com a posse de uma delas.

_____ (PI), _____/_____/_____

_____ _____

Assinatura do participante CPF do participante

_____

Fabrício Higo Monturil de Morais
Pesquisador Responsável

## APÊNDICE C – FORMULÁRIO

O presente instrumento de pesquisa é parte integrante do projeto de pesquisa intitulado **Uso da energia solar fotovoltaica como tecnologia social de convivência com o semiárido**, do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, a nível de Doutorado, da Universidade Federal do Piauí, que tem como objetivo é analisar o uso dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento enquanto tecnologia social de convivência com o semiárido, considerando seus impactos socioeconômicos e ambientais em comunidades rurais piauienses. O questionário é anônimo e confidencial e as respostas serão utilizadas apenas para fins científicos. Seu preenchimento terá duração de aproximadamente 20 minutos. As questões apresentadas não têm associadas respostas corretas ou incorretas, e sua resposta, pessoal e sincera, é muito importante. Desde já, agradeço a sua colaboração neste estudo, e coloco-me à disposição para quaisquer eventuais esclarecimentos que se fizerem necessários.

**Pesquisador**: Fabrício Higo Monturil de Morais **Contato:** (86) 98823-2730 (WhatsApp)

**FORMULÁRIO Nº _____** **DATA**: _____ / _____ / _____

**COMUNIDADE: _____** **MUNICÍPIO: _____**

**01.** Para a escolha das comunidades beneficiadas houve consulta prévia entre os atores sociais envolvidos (usuários; poder público; instituições de CT&I públicas e privadas; e organizações sociais como ONGs, associações, cooperativas, movimentos sociais etc.).

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**02.** As famílias beneficiadas aceitaram a instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento como uma possível solução do problema, demanda ou necessidade da comunidade?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**03.** A instalação do sistema fotovoltaico substituiu as técnicas e métodos tradicionais já utilizados pelas famílias beneficiadas, ou representa algum avanço tecnológico?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**04.** A instalação do sistema fotovoltaico para bombeamento de água representa uma solução concreta e adequada para a resolução do problema, demanda ou necessidade das famílias beneficiadas?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**05.** A instalação do sistema fotovoltaico tem potencial para fornecer água em quantidade suficiente para as famílias beneficiadas sem esgotamento do recurso disponível?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**06.** Foi levada em consideração a participação das famílias beneficiadas em alguma das etapas do projeto?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**07.** Aconteceram reuniões e encontros para envolver as famílias beneficiadas no processo de implantação dos sistemas fotovoltaicos?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**08.** Houve reuniões para a troca de conhecimentos entre os atores sociais envolvidos na instalação do sistema fotovoltaico?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**09.** Os usuários tiveram a oportunidade de gerar/adquirir novos conhecimentos sobre os sistemas fotovoltaicos?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**10.** Os usuários foram conscientizados em relação às questões ambientais e sustentabilidade relacionada aos sistemas fotovoltaicos?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**11.** Durante o processo de desenvolvimento do projeto, os usuários foram capacitados e puderam adquirir as habilidades necessárias para a gestão adequada do sistema fotovoltaico instalado?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**12.** Os usuários participaram de todo o projeto de instalação dos sistemas fotovoltaicos, desde o planejamento até a aplicação?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**13.** Após a instalação do sistema fotovoltaico as famílias beneficiadas passaram a depender menos das tecnologias convencionais ara a captação da água?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**14.** Todas as famílias beneficiadas partilham igualmente dos benefícios gerados pela instalação do sistema fotovoltaico?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**15.** A instalação do sistema fotovoltaico possibilitou a geração de emprego ou ocupação para algum membro das famílias beneficiadas?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**16.** A instalação do sistema fotovoltaico contribuiu para a ativação ou expansão do mercado local?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**17.** O Projeto contou com o apoio permanente de órgãos de pesquisa e extensão às famílias beneficiadas?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**18.** O sistema fotovoltaico pode substituir as tecnologias convencionais utilizadas anteriormente pelas famílias beneficiadas?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**19.** Novas experiências foram desenvolvidas a partir da aplicação dos conhecimentos adquiridos pelos usuários?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**20.** As experiências promovidas a partir da instalação do sistema fotovoltaico podem ser adaptadas a diferentes contextos sociais, culturais, ambientais e econômicos?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**21.** O conhecimento produzido no decorrer do projeto é acessível ao público em geral?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**22.** Os usuários do sistema fotovoltaico são capazes de explicar e demonstrar os conhecimentos adquiridos a outras pessoas?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**23.** Com a instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento, as famílias beneficiadas tornaram-se mais independentes para decidir o quê, como e quando plantar ou criar?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**24.** A instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento propiciou maior independência em relação ao fornecimento de água para as famílias beneficiadas?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**25.** A instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento propiciou maior independência em relação ao fornecimento de energia elétrica para as famílias beneficiadas?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**26.** A comunidade está adaptando a tecnologia social às suas necessidades específicas?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**27.** Por meio da instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento as famílias beneficiadas puderam aumentar a oferta de alimentos consumidos?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**28.** Após a instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento os usuários tiveram seus ganhos aumentados e/ou realizaram novos investimentos?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**29.** A instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento proporcionou uma nova fonte de renda ou ampliou a renda dos seus usuários?
**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente

**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**30.** A instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento possibilitou que os usuários e seus familiares tivessem melhores condições de acesso à educação?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**31.** A instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento proporcionou o aumento do número de oportunidades de trabalho nas famílias beneficiadas?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**32.** Após a instalação do sistema os membros das famílias beneficiadas sentem que podem contar com o apoio de outros membros da comunidade para a resolução de problema pessoais?

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**33.** Os usuários dos sistemas fotovoltaicos de bombeamento tornaram-se mais confiantes na sua capacidade de agir para mudar a própria situação.

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**34.** A instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento contribuiu para a redução do nível de dependência dos usuários em relação às elites locais.

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**35.** A instalação do sistema fotovoltaico de bombeamento em rede contribuiu para a ampliação da rede de relacionamento dos usuários.

**( )** Não ou Discordo Totalmente **( )** Discordo Parcialmente
**( )** Nem concordo nem discordo **( )** Concordo Parcialmente
**( )** Sim ou Concordo Totalmente

**APÊNDICE D – CARTILHA INFORMATIVA SOBRE SFB**

Fabrício Higo Monturil de Morais
Wilza Gomes Reis Lopes
Marcos Antônio Tavares Lira

# SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO



Estratégia para a convivência com o meio rural semiárido

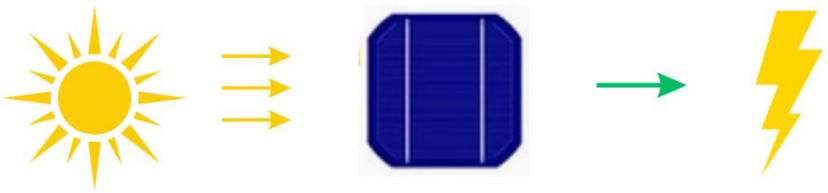
# Sumário

Página

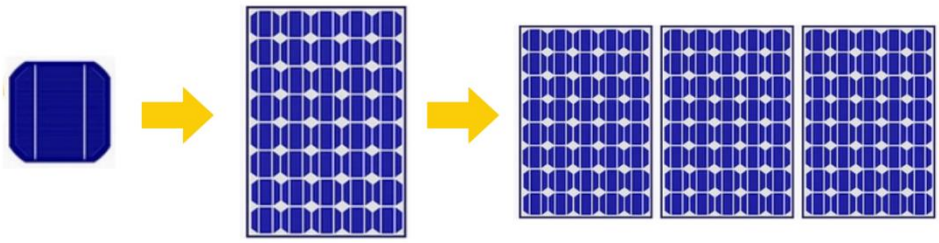
Energia Solar Fotovoltaica.....3
Sistemas de Bombeamento.....4
Aplicações no Meio Rural.....5
Formas de Instalação.....6
Componentes Básicos.....7
Classificação dos Sistemas.....8
Cuidados Necessários.....9
Referências Bibliográficas.....12
Sobre os Autores.....13

# Energia Solar Fotovoltaica

É a energia obtida através da conversão direta da luz do sol em eletricidade através do Efeito Fotovoltaico, tendo como elemento básico a Célula Fotovoltaica.



Várias células podem ser conectadas em disposições lógicas (série ou paralelo) formando um Módulo Fotovoltaico. Por sua vez, a conexão de vários módulos é denominada Painel ou Arranjo Fotovoltaico.

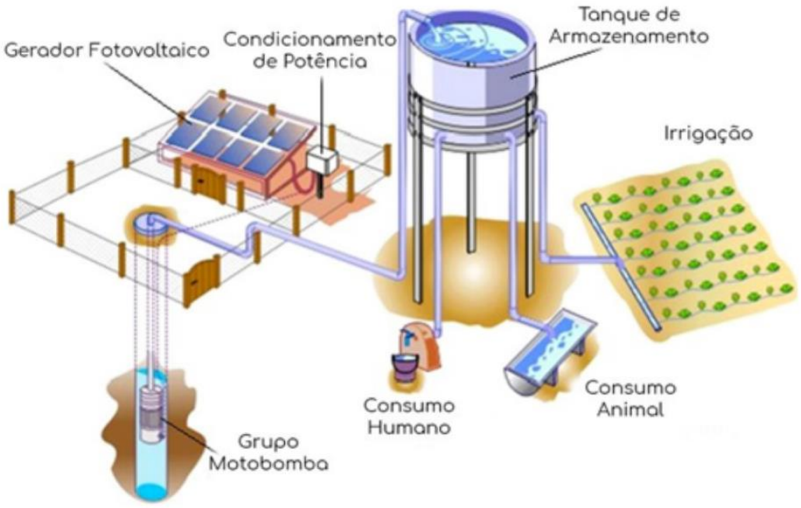


3

# Sistemas de Bombeamento

Converte a energia solar em eletricidade para alimentar uma bomba hidráulica, que por sua vez, ao ser instalada em um poço, retira a água do subsolo para uso imediato, ou para armazenar em reservatórios para uso posterior.

São ideais para **auxiliar o convívio** em regiões com dificuldades de acesso à energia elétrica e água, principalmente localidades rurais isoladas geograficamente, para fornecimento de água para **abastecimento comunitário**, **criação de animais**, **irrigação de plantios**, **piscicultura**, etc.



# Aplicações no Meio Rural



Abastecimento Comunitário



Irrigação de plantios



Criação de Animais



Piscicultura

# Formas de Instalação

**ON-GRID**

São conectados à rede elétrica através de um inversor. Geralmente são instalados com o objetivo de reduzir o valor da fatura de energia.



Não funcionam quando a rede fica sem energia elétrica e quando não há sol, é usada a energia fornecida pela rede elétrica, no sistema de compensação.

**OFF-GRID**

São instalados e locais não atendidos pela rede elétrica. Têm como objetivo principal fornecer a energia necessária para energizar a bomba.



Para aumentar a autonomia podem ser instalados bancos de baterias ou reservatórios para armazenamento de água.

# Componentes Básicos

**MÓDULO FOTOVOLTAICO**

Converte a luz solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico, fornecendo para a bomba energia em corrente contínua.



**DRIVER SOLAR**

Ajusta a energia elétrica fornecida pelo módulo às necessidades da bomba, caso esta funcione em corrente contínua.




**INVERSOR SOLAR**

Converte a energia elétrica fornecida pelo módulo de corrente para corrente alternada necessária para o funcionamento da bomba.




**BOMBA SOLAR**

É instalada no poço para retirar a água do subsolo utilizando a energia elétrica fornecida pelo módulo e ajustada pelo driver ou inversor.



# Classificação dos Sistemas

**PEQUENO PORTE**

Apresentam potência variando entre 50 e 400 W. Alimentam bombas com ligação através de driver.



**MÉDIO PORTE**

Apresentam potência instalada entre 400 e 1500 W, alimentando bombas de acoplamento direto ou através de inversor.



**GRANDE PORTE**

Possuem potência acima de 1500 W, e alimentam bombas instaladas em altas profundidades através de inversor.



# Cuidados Necessários

- Verificar a isolação dos cabos e instalar os divers, inversores e quadros elétricos protegidos da chuva












9

# Cuidados Necessários

- Manter os equipamentos e o ambiente ao redor sempre limpos.











# Cuidados Necessários

- Conferir o encaixe das mangueiras, e verificar a vedação dos registros de água.





Ao perceber algum problema no funcionamento do sistema, entrar em contato com a empresa instaladora ou instituição promotora.

# Referências Bibliográficas

MORAES, A. M.; MORANTE, F.; VALER, L. R.; FEDRIZZI, M. C. Análise da gestão e operação de sistemas de bombeamento fotovoltaico no semiárido brasileiro. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 24, p. 256-267, 2020.

MORAIS, F. H. M., LIRA, M. A. T., LOPES, W. G. R. Revisão sistemática da literatura científica sobre o uso de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 1, p. 298-327, 2025.

PEREIRA, R. F. A. Bombeamento de água utilizando sistemas fotovoltaicos. **Engineering Science**s, v. 9, n. 1, p. 85-91, 2021.

SILVA, O. A. V. O. L.; MORAIS, F. H. M.; LOPES, W. G. R.; LIRA, M. A. T. Driving factors for the installation of mini and micro rural distributed generation systems: economic analysis – a case study in Piauí, Brazil. **Sustainability in Debate**, v. 14, n. 2, p. 134–150, 2023.

VALER, L. R.; MELENDEZ, T. A.; FEDRIZZI, M. C.; ZILLES, R. MORAES, A. M. Variable-speed drives in photovoltaic pumping systems for irrigation in Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 15, p. 20-26, 2016.

# SOBRE OS AUTORES



**Fabrício Higo Monturil de Morais.**
Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Curso Técnico em Eletrotécnica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus Teresina-Central, Departamento de Indústria, Segurança e Produção Cultural. É líder do Grupo de Pesquisa intitulado Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energias Renováveis e Sustentabilidade Ambiental (GIPERSA), cadastrado no Diretório de Grupos de Pesquisa no Brasil, do CNPq. E-mail: fabricio@ifpi.edu.br



**Wilza Gomes Reis Lopes.**
Doutora em Engenharia Agrícola Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Petrônio Portela, Centro de Tecnologia, Departamento de Construção Civil e Arquitetura. É líder do Grupo de Pesquisa intitulado Ambiente Construído, cadastrado no Diretório de Grupos de Pesquisa no Brasil, do CNPq. E-mail: wilza@ufpi.edu.br

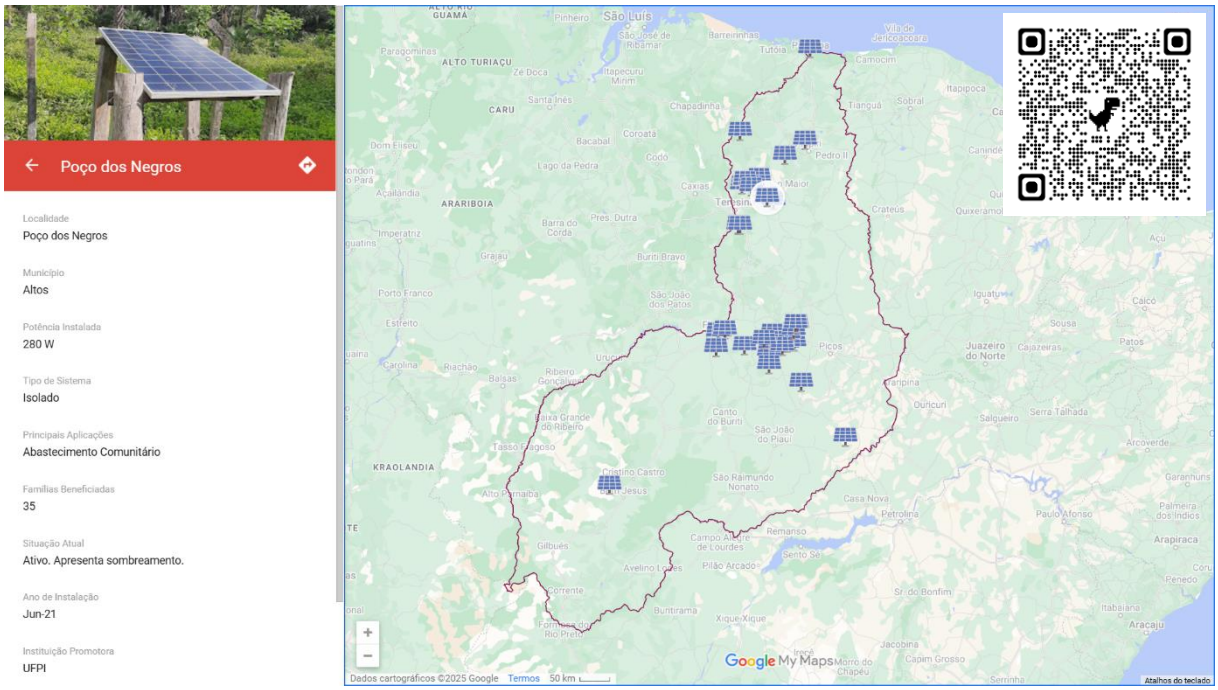


**Marcos Antônio Tavares Lira.**
Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Professor do Curso de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Piauí (UFPI), Campus Petrônio Portela, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica. É líder do Grupo de Pesquisa intitulado Grupo Interdisciplinar de Pesquisa em Energia Solar do Piauí (GIPES), cadastrado no Diretório de Grupos de Pesquisa no Brasil, do CNPq. E-mail: marcoslira@ufpi.edu.br


INSTITUTO
FEDERAL
Piauí


UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PIAUÍ

## APÊNDICE E – MAPA INTERATIVO COM INFORMAÇÕES DOS SFB VISITADOS DURANTE A PESQUISA




Link opcional de acesso:
https://www.google.com/maps/d/u/0/view?mid=1pQdWrkteBYtxqfYTUAZI2fdOWET_BtM&usp=sharing

## APÊNDICE F – ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE A PESQUISA

MORAIS, F. H. M.; GUIMARÃES, J. C.; LOPES, W. G. R. Produção científica (2011-2021) sobre políticas públicas voltadas ao semiárido por meio de tecnologias sociais. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade**, v. 12, n. 2, p. 86-110, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.17648/aos.v12i2.2701.

MORAIS, F. H. M., LIRA, M. A. T., LOPES, W. G. R. Revisão sistemática da literatura científica sobre o uso de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 18, n. 1, p. 298-327, 2025. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.1.p298-327.

MORAIS, F. H. M.; LIRA, M. A. T.; LOPES, W. G. R. Solar and groundwater resources assessment for the installation of photovoltaic pumping systems in the state of Piauí, Brazil. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 29, p. 1-17, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gsd.2025.101443.