



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Garanhuns

Bacharelado em Engenharia Elétrica

Engenharia Elétrica

KALLEBY ALMEIDA DA ROCHA

**APROVEITAMENTO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO  
AGRESTE MERIDIONAL PERNAMBUCANO NA ÚLTIMA DÉCADA**

Garanhuns

2022

KALLEBY ALMEIDA DA ROCHA

**APROVEITAMENTO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO  
AGRESTE MERIDIONAL PERNAMBUCANO NA ÚLTIMA DÉCADA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Diego Soares Lopes.

Garanhuns

2022

R672a

Rocha, Kalleby Almeida da.

Aproveitamento da capacidade de geração de energia solar no agreste meridional pernambucano na última década / Kalleby Almeida da Rocha ; orientador Diego Soares Lopes, 2022.

55 f. : il.

Orientador: Diego Soares Lopes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Pernambuco. Pró-Reitoria de Ensino. Diretoria de Ensino. Campus Garanhuns. Coordenação do Curso Superior em Engenharia. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2022.

1. Energia solar - Pernambuco. 2. Geração de energia fotovoltaica - Pernambuco. 3. Energia solar - Aproveitamento energético. I. Título.

CDD 621.473

Riane Melo de Freitas Alves –CRB4/1897

KALLEBY ALMEIDA DA ROCHA

**APROVEITAMENTO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO  
AGRESTE MERIDIONAL PERNAMBUCANO NA ÚLTIMA DÉCADA**

Trabalho aprovado. Garanhuns, 27/12/2022.

---

Professor Orientador: Prof. Dr. Diego Soares Lopes - IFPE

---

Avaliador Interno: Prof. Me. Robson Dias de Ramalho - IFPE

---

Avaliador Externo: Prof. Me. Victor Andrade Lima Ferreira - IFPB

Garanhuns

2022

Dedico este trabalho a minha mãe, graças a ela tudo se tornou possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus que proporcionou o dom da vida e a oportunidade de trilhar este caminho em busca do título de bacharel em engenharia elétrica.

Não é um caminho fácil, porém torna-se menos penoso quando se caminha com bons companheiros e durante estes anos, Deus colocou pessoas maravilhosas no meu caminho que trilharam e desfrutaram da mesma jornada que passei.

Agradeço aos colegas e amigos que chegaram até esta etapa comigo e também aos que ficaram pela jornada.

Agradeço a minha mãe, Luciana, que esteve comigo em todos os momentos, sendo eles bons ou ruins, comemorando cada conquista com grandes sorrisos e trazendo sempre suas palavras reconfortantes de mãe.

Agradeço também ao meu pai, Orlando, que depositou seu sonho em ser engenheiro eletricista na minha trajetória, quando em um momento em que tive de escolher qual profissão seguir, ele me direcionou.

Agradeço também aos meus irmãos, que não são poucos, por estarem ao meu lado durante esta caminhada, compartilhando sorrisos e frustrações.

Agradeço também a minha namorada, Mychaella, que me acompanhou durante o processo de escrita, dando todo o suporte necessário e todo o carinho.

Por fim, aos meus familiares que deram suporte durante a realização deste objetivo.

*“Minha mãe foi a mulher mais bonita que já vi. Tudo o que sou devo à minha mãe.  
Atribuo meu sucesso na vida à educação moral, intelectual e física que recebi dela.”*

George Washington

## RESUMO

Nos últimos anos muito tem se falado em energia solar e sua participação na matriz elétrica brasileira. Desse modo, através de consulta aos órgãos responsáveis por efetuar os estudos da matriz elétrica. Com isso buscou-se, através deste trabalho, estimar a capacidade de geração das cidades que compõem o agreste meridional pernambucano, de modo a enfatizar a importância das mesorregiões, alinhado à estimativa de potência instalada atual da região. Para isso obteve-se dados das extensões territoriais das cidades que compõem o agreste meridional através da EMBRAPA e os dados de irradiação solar baseado no banco de dados do CRESESB, informações estas aplicadas à um modelo de usina solar, composta por um inversor de 175 kWp, verificando quantas usinas cada cidade comportaria, variando os modelos dos painéis ao longo dos anos. Avaliando a capacidade de todas as cidades do agreste meridional, estima-se que haja uma produção de 10,56 GWp ao utilizar as usinas de 175 kW e módulos de 670 Wp, geração está composta por aproximadamente 22.129 usinas. A potência instalada atual estimada através de consultas a empresas foi de aproximadamente 7 MWp. Dessa forma, ao se comparar com o início da década, muito se evoluiu na colaboração das usinas solares no agreste, porém quanto a capacidade de geração da região, ainda há muito a se aproveitar.

Palavras-chave: Matriz elétrica. Energia Solar. Agreste Meridional.

## ABSTRACT

In recent years much has been said about solar energy and its participation in the Brazilian electric matrix. In this way, through consultation with the bodies responsible for carrying out the studies of the electric matrix. With that in mind, this work sought to estimate the generation capacity of the cities that make up the southern harsh of Pernambuco, to emphasize the importance of the region, aligned with the estimate of current installed power in the region. For this, data were obtained from the territorial extensions of the cities that make up the southern harsh through EMBRAPA and solar irradiation data based on the CRESESB database, information applied to a model of the solar plant, consisting of an inverter of 175 kWp, verifying how many plants each city would have, varying the panel models over the years. Evaluating the capacity of all the cities in the southern harsh, it is estimated that there is a production of 10.56 GWp when using the 175 kW plants and 670 Wp modules, generation is composed of approximately 22,129 plants. The current installed power is around 7 MWp when we evaluate the companies that collaborated with the study. In this way, when compared to the beginning of the decade, much has evolved in the collaboration of solar plants in the southern harsh region, but in terms of the region's generation capacity, there is still much to take advantage of.

Keywords: Electric Matrix. Solar Energy. Southern Harsh.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 – Divisão Pernambucana em Mesorregiões.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2 – Área Rural por cidade (km²). ....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 3 – Acesso aos dados de geração CRESESB.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4 – Dados de irradiação Garanhuns. ....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5 – Processo de geração solar.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6 – Dimensões dos módulos .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 7 – Plote da alocação de 20 módulos de uma usina. ....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 8 – Levantamento da evolução dos painéis solares na última década. .</b>	<b>32</b>
<b>Figura 9 – Quantidade de Módulos por Inversor de 10kW.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 10 – Quantidade de Módulos por Inversor de 15kW.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 11 – Quantidade de Módulos por Inversor de 18kW.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 12 – Quantidade de usinas utilizando inversores de 175 kW com módulos de 280 Wp.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 13 – Quantidade de usinas utilizando inversores de 175 kW com módulos de 670 Wp.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 14 – Capacidade de Geração do agreste meridional.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 15 – Capacidade de Geração diária. ....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 16 – Capacidade Instalada por Cidade. ....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 17 – Potência instalada por cidade - EMPRESA 1 .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 18 – Distribuição da Potência instalada por ano. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 19 – Capacidade Instalada por Cidade. ....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 20 – Potência instalada por cidade - EMPRESA 2 .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 21 – Distribuição da Potência instalada por ano. ....</b>	<b>48</b>

## **LISTA DE QUADROS**

**Quadro 1 – Estratégias do Centro de Referência.**

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cidades que compõem o Agreste Meridional.....	19
Tabela 2 – Área Urbana e Rural por município. ....	20
Tabela 3 – Fabricantes de painéis solares e de inversores.....	27
Tabela 4 – Capacidade de geração Solar por cidade. ....	31
Tabela 5 – Evolução dos painéis fotovoltaicos. ....	32
Tabela 6 – Evolução dos Inversores.....	33
Tabela 7 – Quantidade de Módulos por inversor de 175 kW. ....	36
Tabela 8 – Área ocupada por cada conjunto de módulos. ....	36
Tabela 9 – Área Urbana e Rural por município. ....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPM	Centro Nacional de Pesquisa e Monitoramento
CRESESB	Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S.Brito
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEN	Plano Anual de Operação Energética
SIN	Sistema Interligado Nacional

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2 MOTIVAÇÃO	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.4 ESTRUTURA DO TEXTO	17
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	18
2.1 AGRESTE MERIDIONAL	19
<b>2.1.1 Distinção do perímetro urbano e rural</b>	<b>20</b>
2.2 CRESESB	22
<b>2.2.1 Solar</b>	<b>23</b>
2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA	24
<b>3. METODOLOGIA</b>	26
3.1 LEVANTAMENTO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO SOLAR PROVENIENTE DO CRESESB	26
3.2 DESENVOLVIMENTO DOS EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO	26
<b>3.2.1 Equipamentos de geração solar dos painéis solares</b>	<b>26</b>
<b>3.2.2 Evolução dos Inversores</b>	<b>27</b>
3.3 CONSULTA A EMPRESAS E CRITÉRIOS ADOTADOS	28
3.4 ESTIPULAR A CAPACIDADE DE GERAÇÃO	28
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISES</b>	31
4.1 Evolução dos equipamentos de geração solar	31
4.2 Estipular a capacidade de geração de Energia Solar	33
4.3 Avaliação dos dados oriundos das empresas	43
<b>4.3.1 Empresa 1</b>	<b>43</b>
<b>4.2.2 Empresa 2</b>	<b>46</b>
4.4 Avaliação do aproveitamento da geração solar.	48
<b>5. CONSIDERAÇÕES</b>	50
5.1 Conclusões	50
5.2 Sugestões de trabalhos futuros	51
REFERÊNCIAS	53

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma matriz energética em que mais de 70% se origina em fontes renováveis de energia, isto o torna competitivo no mercado de créditos em carbono, podendo exportar para países com déficit como China, Índia e Arábia Saudita (RANGEL et al., 2016; REI et al., 2017). Dentre as formas de geração de energia pode-se ressaltar que a produção de energia considerada limpa, oriunda de fontes renováveis de energia, tem crescido com a expansão de usinas fotovoltaicas e de parques eólicos nos últimos anos em toda a extensão territorial brasileira. Apesar de períodos de uma escassez de água, os reservatórios de água das hidrelétricas tem reduzido, de modo a servir de aporte esse aumento de capacidade de geração solar fotovoltaica e eólica vem como fonte de energia auxiliar que possibilita um aporte as hidrelétricas, com estes avanços no setor o impacto de futuras escassez nos reservatórios terão um amortecimento do ponto de vista financeiro nos valores das contas de energia.

Segundo Dupont (2015), quanto às formas de geração de energia, destaca-se, do ponto de vista de impactos ambientais, as hidrelétricas, por apresentar um impacto inferior ao meio ambiente, quando comparada às termelétricas a base de carvão. Não as exime dos impactos ambientais que as hidrelétricas geram, como alagamento de áreas produtivas e emissão de metano.

A geração de energia oriunda das hidrelétricas é amplamente utilizada no Brasil, devido às suas características geográficas que permitem tal exploração, porém a depender do clima das regiões esta forma de energia pode sofrer com os níveis de suas represas, para tal suporte a esta fonte tem-se o uso das termelétricas, devido às suas características de manter a inércia do sistema, com o mínimo de oscilações na geração. A fim de gerar um aporte energético e limpo tem-se a crescente nas fontes solares, que apesar de não possuírem a mesma estabilidade para o sistema que as citadas anteriormente, a energia elétrica oriunda do sol auxilia na produção instantânea de potência para o sistema, reduzindo a demanda das fontes de maior porte, elevando a durabilidade das reservas de água e reduzindo a demanda da queima de combustíveis fósseis, além de que o uso das termelétricas não possuem

uma agradável aceitação ambiental, devido às queimas necessárias para produção de energia.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo dados do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) em 2012 as hidrelétricas, somando Itaipu, representavam 80.645 MW que compõem 77,9% da matriz elétrica brasileira, a energia elétrica oriunda do sol não possuía participação relevante na composição da matriz elétrica brasileira, não constando assim no PEN (Plano Anual de Operação Energética) e a eólica contribuía com 650 MW representando 0,6% de toda a capacidade instalada. Avançando para o cenário atual, no levantamento realizado pelo ONS em 2022, tem-se um novo cenário de geração, tendo permanecido como maior fonte de geração de energia as hidrelétricas com uma parcela de 101,9 GW (58,6%), 4,6 GW destinado a energia solar representando 2,6% da capacidade de geração brasileira e a eólica contribuindo com 20,7 GW equivalente a 11,9% da geração.

Ao comparar ambos os dados, destaca-se uma crescente contribuição da energia elétrica oriunda da fonte solar e dos parques eólicos. As usinas solares fotovoltaicas tiveram um aumento de 4,6 GW de geração, do ponto de vista geral na matriz houve um aumento significativo, impactando assim na matriz energética. Trazendo o foco a energia oriunda de parques eólicos, destaca-se o aumento de 656 MW para 20,7 GW de contribuição, essa fonte de geração elevou sua colaboração na matriz elétrica que passou de uma colaboração de 0,6% para compor 11,9% de toda a energia gerada no Brasil (PEN, 2022).

## 1.2 MOTIVAÇÃO

Os estudos de planejamento são desenvolvidos buscando aferir o avanço de cargas e o aumento da capacidade de geração, visando assim manter o SIN (Sistema Interligado Nacional) estável, para que o acréscimo de carga anual não prejudique o sistema. Dessa forma, as entidades responsáveis realizam estudos de planejamento buscando horizontes de pesquisa distintos, de modo que o ONS realiza estudos de planejamento com um horizonte de 5 anos, para avaliar as condições de atendimento

ao consumo de energia elétrica. Segundo dados da EPE a empresa desenvolve o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), já para as projeções de médio prazo (horizonte de cinco anos) existe uma interface EPE-ONS no processo de previsão de carga, para os estudos e política de operação energética, além de intercâmbio de dados, informações e modelos computacionais.

Para além das informações supracitadas, tem-se como motivação principal do trabalho a preocupação com a região de estudo. Os órgãos responsáveis por estudos energéticos na matriz energética brasileira levam em consideração as grandes regiões do país, como: Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste, de forma a não contemplar as particularidades das mesoregiões que compõe as macrorregiões.

Estudos de previsão de geração são produzidos a fim de averiguar a capacidade do sistema em comportar e manusear a potência pelo sistema, para isso, tem-se que desenvolver uma base de dados que seja o mais próximo possível do cenário das regiões, dessa forma o estudo das dimensões territoriais e capacidade de geração são fundamentais para gerar dados de projeção, tornando os dados mais confiáveis e aumentando a exatidão do planejamento do sistema.

### 1.3 OBJETIVOS

#### Objetivo Geral

- Analisar a evolução da implantação da energia solar no agreste meridional pernambucano, a fim de estipular o crescimento desta forma de geração de energia no contexto do agreste meridional na última década.

#### Objetivo Específico

- Levantar o histórico da evolução da geração de energia solar na região do agreste meridional pernambucano;
- Analisar os dados referentes a evolução da geração de energia solar na região do agreste meridional;
- Avaliar a capacidade de geração solar referente a cada cidade que compõem o agreste meridional;

- Realizar a estimativa do aproveitamento de toda a capacidade instalada em relação a capacidade de geração.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TEXTO

O presente trabalho desenvolveu-se através da divisão em capítulos, no primeiro capítulo apresenta-se uma contextualização geral da energia solar, contemplando brevemente estudos que demonstram a importância desta fonte de energia, demonstrando o crescente aumento da colaboração desta fonte de energia na matriz energética brasileira. No capítulo da fundamentação teórica tem-se as cidades que compõem a região de estudo e a introdução ao site do CEPEL que consta os dados da irradiação solar por metro quadrado no dia .

O capítulo da metodologia, contempla os métodos utilizados na coleta dos dados, além de apresentar a tratativa destes dados, definindo as métricas usadas, nas análises, de modo complementar traz informações referentes aos manuais de equipamentos utilizados na geração de energia solar fotovoltaica, contemplando o horizonte temporal do presente trabalho.

O capítulo resultados e análises do trabalho, apresenta os dados e realiza avaliação de cenários aplicando equipamentos distintos, a fim de desenvolver os dados da capacidade de geração das cidades, exibindo a capacidade encontrada atrelada aos dados de irradiação solar, apontando a colaboração das empresas para a potência instalada. No capítulo das considerações finais deu-se uma contextualização geral do trabalho, transpassando por todos os pontos, trazendo uma comparação entre a potência instalada e a capacidade de geração.

Dessa forma, no capítulo 2 serão abordados aspectos de formação das mesorregiões e microrregiões, até contemplar a relevância do agreste meridional pernambucano, repartindo o estado de Pernambuco nas suas regiões. Definindo as extensões territoriais das cidades que compõem o agreste, distinguindo os perímetros urbanos e rurais das cidades. Apresentando brevemente as fontes fotovoltaicas como fonte de geração de energia, além de apresentar os dados de geração do CRESEB (Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S.Brito) que apresentará as bases de dados e as potencialidades da geração solar.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, inicialmente, será abordada a composição do agreste meridional, destacando sua importância no cenário pernambucano. Apresentando definições de mesorregiões e microrregiões, trazendo as dimensões territoriais destas regiões e ressaltando a importância econômica, além de contextualizar aqueles que serão foco principal do trabalho.

A divisão em mesorregiões e microrregiões foi instaurada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Segundo o IBGE, as mesorregiões se estabeleceram agrupando municípios que possuíssem características sociais, geográficas e a articulação espacial próximas. Como critério para as microrregiões adotaram questões como a produção econômica e a articulação da região. Tal composição e repartição das regiões dos estados brasileiros vigoraram entre 1989 e 2017, porém em alguns locais essas repartições perduram até o presente momento.

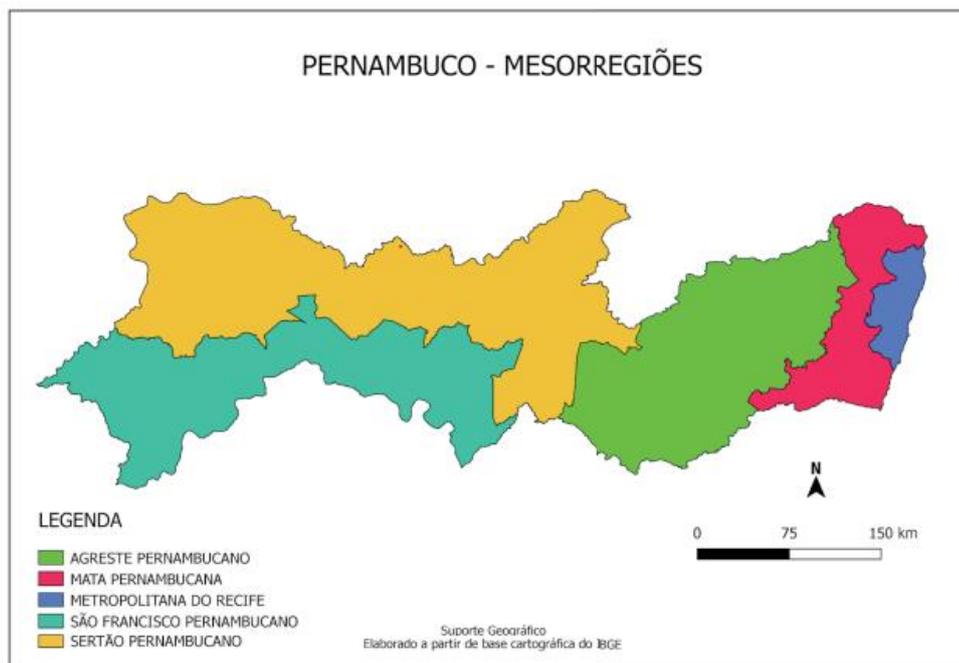
Partindo para o objeto de estudo do presente trabalho, o estado pernambucano subdivide-se geograficamente em mesorregiões que são estas:

- São Francisco Pernambucano;
- Sertão Pernambucano;
- Agreste Pernambucano;
- Mata Pernambucana;
- Metropolitana do Recife.

As mesorregiões são representadas na Figura 1, que fraciona geograficamente as regiões que compõem o estado pernambucano, apresentando os limites territoriais.

A pesquisa tem um enfoque na região do agreste meridional, que localiza-se no agreste pernambucano. Para tal deve-se abordar a constituição dessa região, que tem uma relevância econômica vasta no estado Pernambuco.

**Figura 1 – Divisão Pernambucana em Mesorregiões**



Fonte: Suporte Geográfico, 2017.

## 2.1 AGRESTE MERIDIONAL

Dentre as cidades em que compõem o agreste meridional, pode-se destacar Garanhuns como polo turístico, tem-se cidades como São Bento do Una como grande polo da Avicultura, além de Paratama que nos presentes dias possui 2 grandes parques eólicos. Na Tabela 1 pode-se observar as cidades que formam o agreste pernambucano e suas respectivas áreas territoriais.

**Tabela 1 – Cidades que compõem o Agreste Meridional.**

<sup>a</sup> Cidades	<sup>b</sup> Área(km <sup>2</sup> )	<sup>a</sup> Cidades	<sup>b</sup> Área(km <sup>2</sup> )	<sup>a</sup> Cidades	<sup>b</sup> Área(km <sup>2</sup> )
Águas Belas	885,988	Correntes	317,793	Palmeirina	168,796
Angelim	118,037	Garanhuns	458,552	Paratama	185,371
Bom Conselho	792,185	Iati	635,137	Pedra	921,477
Brejão	159,786	Itaíba	1.061,694	Saloá	251,549
Buíque	1.320,871	Jucati	120,604	São Bento do Una	719,148
Caetés	294,946	Jupi	104,994	São João	258,33
Calçado	121,945	Jurema	148,254	Terezinha	151,450
Canhotinho	423,168	Lagoa do Ouro	198,762	Tupanatinga	950,474

Capoeiras	336,329	Lajedo	189,09	Venturosa	335,482
<b>TOTAL = 27</b>					

Fonte: <sup>a</sup>IBGE, 2022, <sup>b</sup>PE-AZ,2022.

Utilizar-se-á de tais informações para determinar a capacidade de geração de energia. Para realizar as análises utilizou-se apenas a área disponível em território rural, devido a potência das usinas demandar um aglomerado de módulos, que torna-se inviável quando aplicado no território urbano.

### 2.1.1 Distinção do perímetro urbano e rural

A fim de gerar estimativas próximas do aproveitamento das energias renováveis na região de estudo, buscou-se a base de dados da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), o CNPM (Centro Nacional de Pesquisa e Monitoramento), que possibilita a consulta de suas informações de forma livre. A EMBRAPA apresenta os dados por estado e dentro de cada estado pode-se consultar todas as cidades que o formam, além de latitude e longitude, altitude, população total, população urbana, área total do município e área urbana.

Através dos dados disponibilizados pela EMBRAPA construiu-se a Tabela 2:

**Tabela 2 – Área Urbana e Rural por município.**

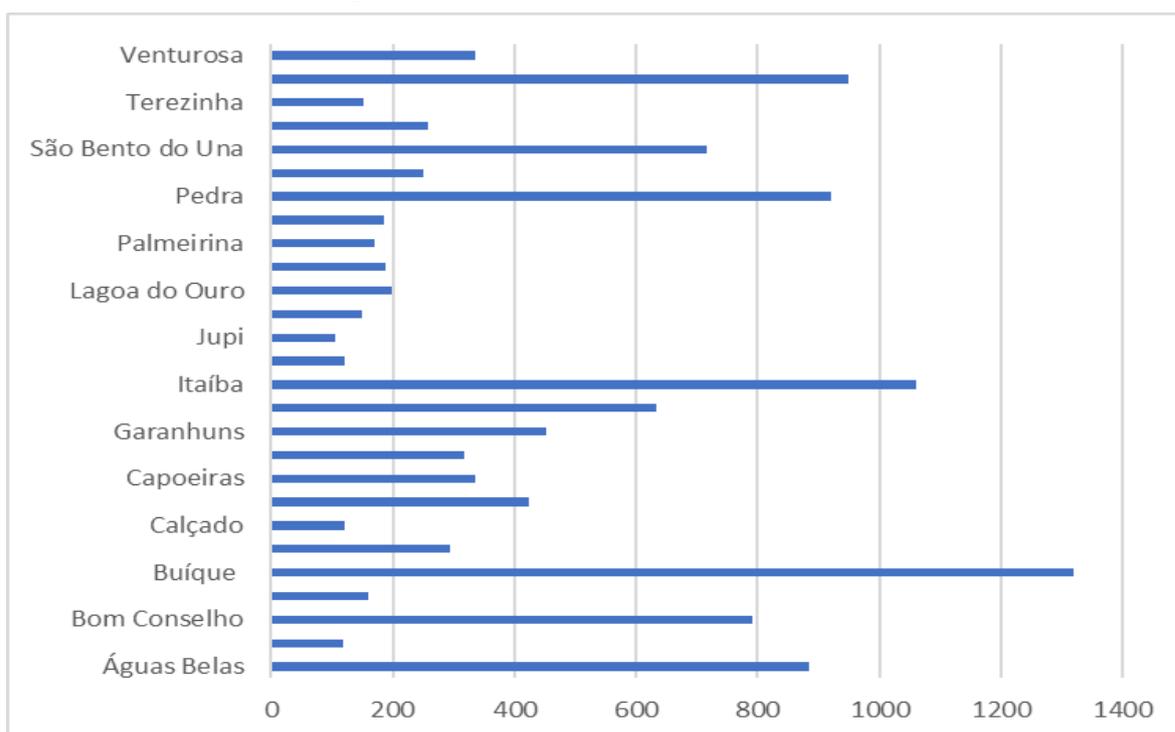
Cidade	Área Urbana (km <sup>2</sup> )	Área Rural (km <sup>2</sup> )
Águas Belas	1,7942	884,1938
Angelim	0,3682	117,6688
Bom Conselho	2,0357	790,1493
Brejão	0,3682	159,4178
Buíque	1,5923	1319,279
Caetés	1,149	293,797
Calçado	0,3682	121,5768
Canhotinho	0,99	422,178
Capoeiras	0,362	335,967
Correntes	0,81	316,983
Garanhuns	7,11	451,442
Iati	1,1975	633,9395
Itaíba	0,3682	1061,326

Jucati	0,3682	120,2358
Jupi	1,1612	103,8328
Jurema	0,36	147,894
Lagoa do Ouro	0,3682	198,3938
Lajedo	0,9	188,19
Palmeirina	0,3682	168,4278
Paranatama	0,3682	185,0028
Pedra	1,3595	920,1175
Saloá	1,1329	250,4161
São Bento do Una	1,9479	717,2001
São João	1,2211	257,1089
Terezinha	0,3682	151,0818
Tupanatinga	1,1892	949,2848
Venturosa	1,2612	334,2208

Fonte: EMBRAPA,2022.

A partir dos dados de extensão territorial expressos na Tabela 2, buscou-se uma representação distinta dos dados, a fim de gerar uma comparação visual simplificada da comparação entre as zonas rurais de cada uma das cidades expressa na Figura 2.

**Figura 2 – Área Rural por cidade (km<sup>2</sup>).**



Fonte: EMBRAPA, 2022.

## 2.2 CRESESB

A fim de realizar os estudos referentes às capacidades de geração de cada cidade, utilizou-se a ferramenta do Cepel, o Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S.Brito (CRESESB). Trata-se de um centro que compilou diversos estudos voltados a energia solar e eólica em todo o território nacional, além de levantar dados reais de velocidade do vento e irradiação, os disponibilizando para consulta pública, bastando apenas atribuir a latitude e longitude que se deseja e selecionar se deseja os dados de irradiação solar ou as informações como velocidade do vento para geração eólica. É possível notar que no Quadro 1 são apresentados de modo geral os objetivos e estratégias utilizadas para coletar e analisar os dados do CRESESB.

**Quadro 1 – Estratégias do Centro de Referência.**

Coletar e difundir conhecimentos e experiências através de publicações e sistemas de informação, e de apoio à capacitação e treinamento de recursos humanos.
Identificar e apoiar os Centros de Excelência, Centros de Desenvolvimento Regionais, Laboratórios e Grupos de Trabalho especializados das energias solar e eólica, fortalecendo estas instituições e recomendando a priorização dos recursos disponíveis.
Criar Centros de Exposição das tecnologias e biblioteca especializada em energias solar e eólica, de forma a facilitar as atividades de educação e de pesquisa.
Apoiar a implementação de soluções tecnológicas efetivas, visando o incremento da competitividade de mercado e o desenvolvimento de modelos e ferramentas computacionais.
Estabelecer critérios uniformes de avaliação de desempenho de sistemas e equipamentos; de custos, benefícios e oportunidades; e de execução de inventário e zoneamento indicativo dos potenciais de energia solar e eólica.
Estabelecer acordos de cooperação com entidades nacionais e internacionais, com o objetivo de intercambiar experiências e conhecimentos, e de identificar oportunidades de desenvolvimento e aplicação das referidas tecnologias.

Interagir com órgãos normativos e grupos especializados para o estabelecimento de recomendações técnicas.

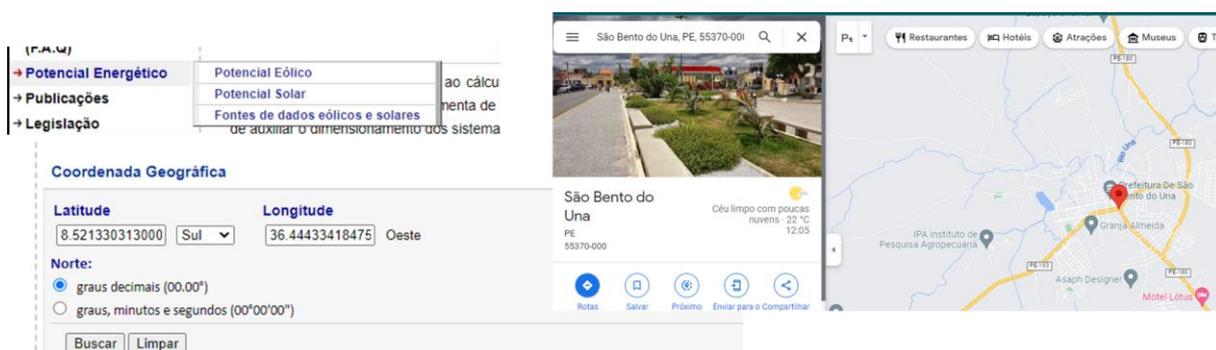
FONTE: CRESESB, 2014.

### 2.2.1 Solar

O levantamento da irradiação solar base do sistema do CRESESB é pautado em 5 Atlas distintos: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), Atlas Solarimétrico de Minas Gerais (2012), Energia Solar Paulista: Levantamento do Potencial (2013), Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (2017). Todos os atlas foram desenvolvidos em conjunto com universidades como FADE-UFPE / CEPEL, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Os bancos de dados foram acrescentados nos servidores do CRESESB, que os disponibilizam de forma gratuita para consulta, necessitando apenas das coordenadas geográficas do local ao qual se deseja verificar as informações de irradiação. Nota-se na Figura 3 a interface operacional do CRESESB, apresentando assim a forma de se acessar os dados, junto a um exemplo de cidade com suas respectivas coordenadas geográficas.

**Figura 3 – Acesso aos dados de geração CRESESB.**

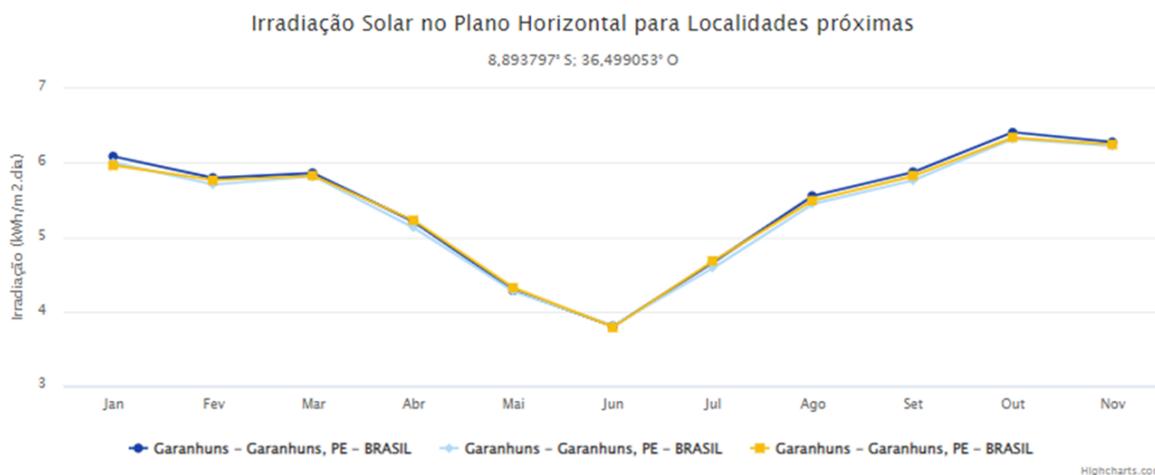


Fonte: CRESESB, 2022.

Ao coletar os valores de latitude e longitude da cidade que se deseja avaliar, adiciona-se nos campos da seção de potencial energético solar. Garanhuns possui as coordenadas geográficas latitude 8,893797º longitude 36,499053º, nota-se na Figura

4 os dados fornecidos pelo CRESESB, apresentando graficamente os valores referentes a irradiação solar no plano horizontal.

**Figura 4 – Dados de irradiação Garanhuns.**



Fonte: CRESESB, 2022.

Além de disponibilizar os valores da irradiação nos meses, o CRESESB disponibiliza a média da irradiação e a variação do mínimo e do máximo entre os meses. Ressaltando que os dados estão constantemente sendo atualizados, através do banco de dados da CEPEL.

### 2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA

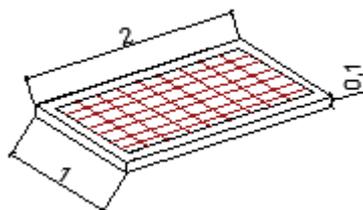
Existem diversas formas de gerar energia elétrica, utilizando água para mover as aletas dos geradores nas hidrelétricas, através do aproveitamento da força do vento para mover as hélices dos aerogeradores, dentre outras. A geração de energia através dos raios solares têm como princípio a conversão da luz direta dos fótons em eletricidade, através de células fotovoltaicas, que são constituídas por semicondutores de Silício(Si), ao gerar uma diferença de potencial contínua em cada uma das células que estão associadas entre si, comumente em série, a tensão gerada é direcionada aos inversores, que convertem a tensão contínua em alternada para que assim possa ser vinculada a rede elétrica da concessionária, como representado na Figura 5.

**Figura 5 – Processo de geração solar.**

Fonte: Próprio Autor, 2022.

Existem outras formas de desenvolver a etapa final desse sistema, os painéis podem ser direcionados a controladores de carga, que por sua vez direcionam a tensão para o armazenamento em banco de baterias e das baterias conectam-se aos inversores, independentemente do modo que as utilize a potência gerada será dependente diretamente da combinação entre os módulos e da potência do inversor.

Com o passar dos anos o número de fabricantes têm aumentado consideravelmente, porém as dimensões dos módulos não se alteraram significativamente, nota-se através da Figura 6 as dimensões dos módulos utilizadas como parâmetros para este estudo.

**Figura 6 – Dimensões dos módulos**

Fonte: Próprio Autor, 2022.

Dessa forma, no capítulo seguinte abordará a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, introduzindo critérios para as avaliações, consulta a empresas para o levantamento da capacidade instalada, evolução dos equipamentos utilizados na geração de energia solar, os módulos fotovoltaicos e inversores CC/CA, além das métricas adotadas para estipular a capacidade de produção de energia em cada cidade.

### **3. METODOLOGIA**

Neste capítulo serão apresentados os estudos que congregam o roteiro metodológico para análise da perspectiva de expansão da geração de energia, realizando um levantamento de capacidade de geração da região. Em síntese, se percorre a seguinte estrutura: (3.1) Levantamento da capacidade de geração solar proveniente do Cresesb; (3.2) Desenvolvimento dos equipamentos de geração; (3.2.1) Evolução dos painéis solares; (3.2.2) Evolução dos Inversores; (3.3) Consulta a empresas e critérios adotados; (3.4) Estipular a capacidade de geração;

#### **3.1 LEVANTAMENTO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO SOLAR PROVENIENTE DO CRESESB**

Utilizando os dados do CRESESB referentes a irradiação solar, obteve-se a capacidade diária de geração de energia por metro quadrado em cada uma das localidades de estudo, com o intuito de posteriormente desenvolver a tratativa de dados referente ao aproveitamento do potencial elétrico das cidades.

#### **3.2 DESENVOLVIMENTO DOS EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO**

Nesta seção serão apresentados dados referentes aos equipamentos geradores da energia solar. De modo a representar a evolução dos meios de geração de energia ao longo dos anos, destacando assim a modernização dos equipamentos, visando uma melhor eficiência utilizando a mesma área de superfície.

##### **3.2.1 Equipamentos de geração solar dos painéis solares**

Ao tratar de equipamentos é necessário levar em consideração as atualizações que surgem com o passar dos anos, o presente trabalho aborda um recorte temporal de uma década, nesse período ocorreram diversas atualizações de equipamentos. Existe uma evolução das potências dos módulos, tal aumento de potência deve-se a

alguns fatores, como o surgimento de painéis bifaciais, além do aumento na eficiência das células fotovoltaicas e o crescimento nas dimensões dos módulos

Buscou-se, através dos manuais dos equipamentos, as suas datas de fabricação, de modo a obter uma proximidade com quais equipamentos estavam em comercialização no Brasil em cada período da década estudada, desse modo agrupou-se os fabricantes referenciados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Fabricantes de painéis solares e de inversores.**

Painéis	Inversores
Panasonic	SMA Sunny Boy
Sunmodule	Ingeteam Ingecon Sun
Kyocera	Fronius IG
Yingli	Huawei
First Solar	Solaredge
Canadian Solar	GoodWe
SunTech	SolarEdge
LG Solar	ABB
JinKo	

---

Fonte: Próprio Autor, 2022.

### 3.2.2 Evolução dos Inversores

Além dos módulos fotovoltaicos, deve-se levar em consideração os inversores solares a eles associados, que realizam a conversão da tensão CC gerada nos painéis e as transformam em tensão alternada para que sejam injetadas na rede da concessionária. O levantamento foi realizado através da avaliação dos manuais de equipamentos de diversos fabricantes, considerando os modelos comercializados no Brasil durante o período estudado.

### 3.3 CONSULTA A EMPRESAS E CRITÉRIOS ADOTADOS

De modo a definir o aproveitamento da capacidade de geração de energia solar, buscou-se a princípio o levantamento de dados referentes a geração de energia solar dentro do recorte do agreste meridional. A fonte principal dos dados de potência instalada é a concessionária de energia elétrica, ela possui o controle de quantas usinas solares e qual a potência instalada em cada cidade. Porém, a concessionária não compartilha de tais informações. Visando outro método de obter estes dados, foi realizado o contato com empresas do ramo de energia solar que possuem instalações nessa área, de modo a guiar o estudo sobre o aproveitamento da capacidade instalada.

Estimou-se que atuem de 15 a 20 empresas especializadas no ramo de energia solar, que possuem instalações nas cidades do agreste meridional. A fim de gerar uma melhor tratativa de dados, definiu-se um critério para a consulta às empresas. Tal critério aplicado define que apenas as empresas que possuem mais de 500 usinas instaladas entrariam na tratativa destes dados, com a aplicação deste critério deu-se a consulta às empresas, como resultado apenas três das 20 empresas atendiam ao critério.

De modo geral, as duas das três empresas referências no mercado regional se dispuseram a compartilhar seus dados de instalação, a partir dos dados coletados pode-se estipular as instalações de energia solar.

### 3.4 ESTIPULAR A CAPACIDADE DE GERAÇÃO

Ao decorrer do trabalho se faz necessário calcular estimativas quanto às capacidades de geração de cada cidade, porém a capacidade de geração depende da disponibilidade territorial, dos dados de irradiação, além dos equipamentos utilizados. De modo a realizar as estimativas utilizou-se apenas as extensões rurais das cidades, por se tratar da maior parte do território das cidades de estudo, sabe-se que nem todo o território rural pode ser aproveitado para estes fins, pois todas as cidades do agreste meridional tem elevada contribuição na produção rural, possuindo grandes pólos aviários, bacias leiteiras, pecuárias dentre outros.

A fim de estimar a capacidade de geração das cidades do agreste, utilizando-se apenas do território rural das cidades, buscou-se selecionar um dos equipamentos de conversão de energia e realizar variação apenas dos módulos a ele associados. Pois, aproveitando um único inversor e variando os módulos, pode-se ter os dados de área que um sistema ocuparia. Para a presente pesquisa utilizou-se os inversores de maior porte em comercialização, que seriam os de inversores de 175 kWp. A partir dos manuais dos inversores de 175 kW, calculou-se a quantidade de módulos por inversor, utilizando as potências dos painéis no decorrer dos anos. (*Os manuais dos equipamentos utilizados na pesquisa encontram-se nas referências*).

Através do estudo dos manuais dos equipamentos observou-se que os inversores possuem na média 12 entradas MPPT's (do inglês *Maximum Power Point Tracking*, ou Rastreamento do Ponto de Máxima Potência) e cada uma delas dispõem de uma tensão máxima de 1000 Vcc por MPPT, sendo assim averiguou-se os manuais dos módulos a fim de obter a tensão de operação de cada uma delas. Então, observou-se quantos módulos poderiam ser adicionados ao inversor sem que extrapolasse a tensão máxima de operação do inversor. Tal processo pode ser visualizado através da expressão (1).

$$Q_{Módulo} = \frac{V_{MPPT}}{V_{Módulo}} * Q_{MPPT} \quad (1)$$

$Q_{Módulo}$  – Quantidade de Módulos.

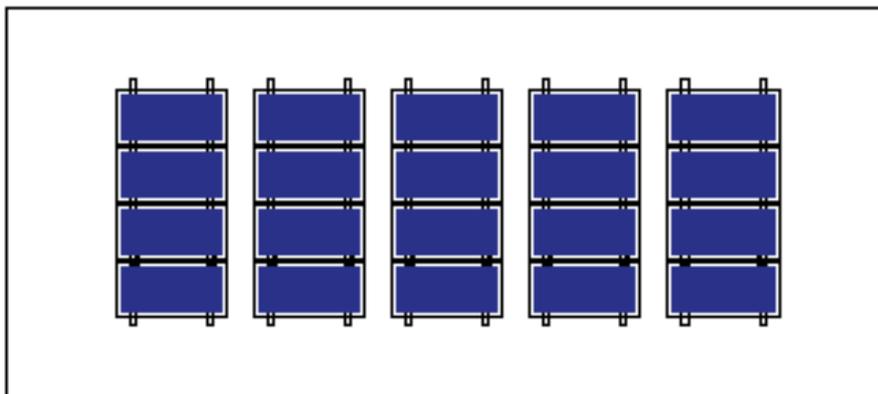
$V_{MPPT}$  – Tensão de entrada da MPPT.

$V_{Módulo}$  – Tensão de operação da associação dos Módulos.

$Q_{MPPT}$  – Quantidade de MPPT's do Inversor.

Através da quantidade de módulos encontrada pela expressão (1) pode-se estimar a área que uma usina de 175 kW ocuparia com cada um dos módulos, os plotando na ferramenta de elaboração de projetos do AutoCad, que possibilitou plotar as diferentes microusinas solares e calcular a área ocupada por cada variação de módulo. Nota-se na Figura 7 a modelagem de uma usina de 20 módulos de modo a estimar a área ocupada por uma usina.

**Figura 7 – Plote da alocação de 20 módulos de uma usina.**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

A distribuição dos módulos nas estruturas se deu através dos modelos de pré-moldados utilizados nas usinas montadas em solo por uma das empresas em pauta, seguindo as orientações de distanciamento entre as mesas e entre os módulos de modo similar aos sistemas montados. Logo, as dimensões são de posse da empresa responsável, cedendo apenas os dados a fim de evoluir o estudo.

No capítulo seguinte serão apresentados os resultados e análises desenvolvidos para este estudo, partindo dos conceitos apresentados neste tópico desenvolveu-se a construção da seção a seguir.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISES

No decorrer deste capítulo serão apresentados dados referentes à evolução dos módulos fotovoltaicos, bem como dos inversores, contemplando o recorte temporal do presente estudo, avaliando as potências de pico de cada módulo e a capacidade de injetar potência na rede dos inversores. Seguindo para a avaliação da capacidade de geração de cada cidade, serão comparados cenários de geração usando módulos de potências distintas para um mesmo inversor, aplicando tais informações a dimensão territorial de cada uma das cidades e comparando a discrepância obtida com a variação dos módulos na capacidade de geração.

Inicialmente, devem ser apresentados os dados referentes a capacidade de geração solar por cidade da região de estudo. Conforme mencionado anteriormente, esses dados foram obtidos através de consulta ao CRESESB, e estão sumarizados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Capacidade de geração Solar por cidade.**

Cidades	kWh/m <sup>2</sup> .dia	Cidades	kWh/m <sup>2</sup> .dia	Cidades	kWh/m <sup>2</sup> .dia
Águas Belas	5,47	Correntes	5,24	Palmeirina	5,17
Angelim	5,2	Garanhuns	5,29	Paranatama	5,46
Bom Conselho	5,37	Iati	5,42	Pedra	5,57
Brejão	5,3	Itaíba	5,63	Saloá	5,35
Buíque	5,65	Jucati	5,31	São Bento do Una	5,31
Caetés	5,44	Jupi	5,31	São João	5,27
Calçado	5,29	Jurema	5,28	Terezinha	5,26
Canhotinho	5,26	Lagoa do Ouro	5,26	Tupanatinga	5,63
Capoeiras	5,48	Lajedo	5,24	Venturosa	5,49
<b>Cidades com melhor irradiação: Buíque, Itaíba e Tupanatinga</b>					

Fonte: Próprio Autor, 2022.

### 4.1 EVOLUÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE GERAÇÃO SOLAR

Com o passar dos anos os equipamentos vão se atualizando, possuindo uma maior eficiência, com os painéis solares não foi diferente. Os primeiros módulos possuem uma eficiência de aproximadamente de 15%, este valor era referente a sua potência em Wp. Dessa forma, com o avanço da tecnologia os painéis mais modernos

possuem uma eficiência de 21,57%. Além do aumento da eficiência dos módulos, as células fotovoltaicas se tornaram cada vez menores, dessa forma pode-se observar o efeito diretamente na potência em Wp dos módulos através da Tabela 5, que aplicando o recorte temporal junto a consulta aos fabricantes e produtos comercializados em cada período possibilitou a comparação.

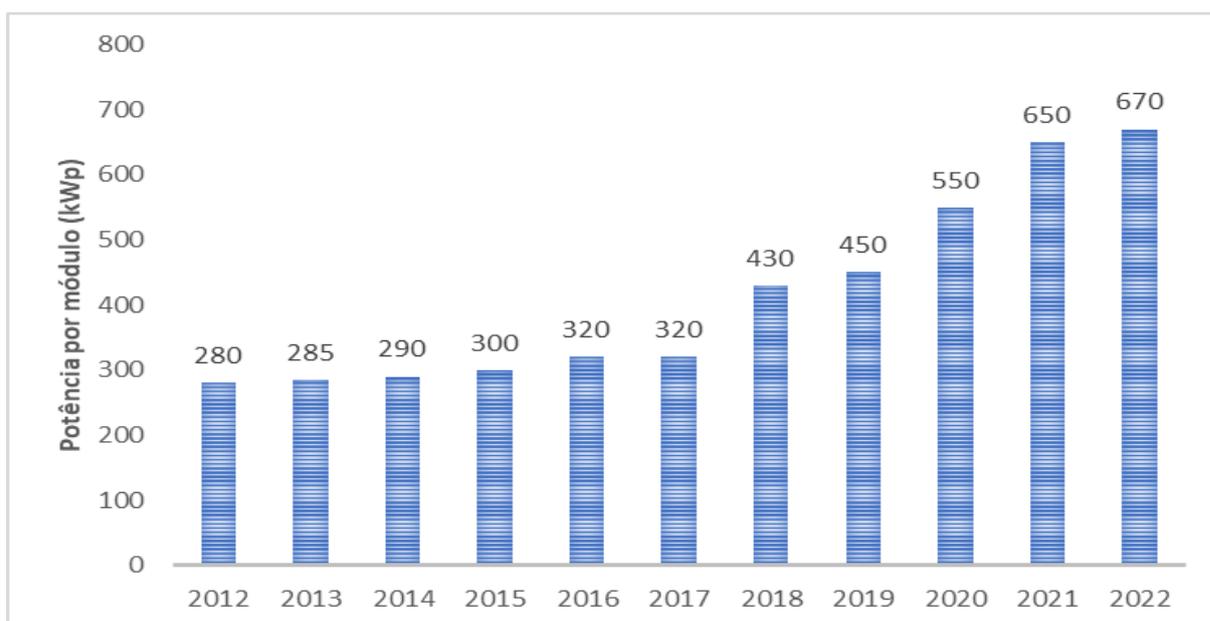
**Tabela 5 – Evolução dos painéis fotovoltaicos.**

Ano	Potência (Wp)
2012	280
2013	285
2014	290
2015	300
2016	320
2017	320
2018	430
2019	450
2020	550
2021	650
2022	670

Fonte: Próprio Autor.

Nota-se na Figura 8 a representação dos dados expostos na Tabela 5, porém de uma forma de visualização distinta permitindo uma comparação entre as potências dos módulos em Wp no passar dos anos de maneira mais clara.

**Figura 8 – Levantamento da evolução dos painéis solares na última década.**



Fonte: Próprio Autor.

Tratando-se da evolução, pode-se destacar que houve uma crescente quanto ao rendimento por módulo de maneira geral. Nos primeiros anos do recorte temporal, poucas eram as empresas que tinham seus equipamentos em comercialização no Brasil, além disso poucas dessas tinham se adentrado no comércio mundial.

Em meados de 2016 houve uma alta no número de fabricantes de painéis solares, de modo que de 2017 ao ano de 2022 houve um passo de modelos de 320 Wp para módulos de 670 Wp, um aumento de 350 Wp por módulo, superando em muito o mesmo intervalo do período anterior, que de 2012 a 2017 teve um aumento de 40 Wp por módulo.

Um aumento de aproximadamente nove vezes para o mesmo intervalo de tempo, tal aumento deve-se ao aumento da eficiência dos módulos que para os módulos do início da década possuíam uma eficiência de cerca de 13% para os atuais que possuem cerca de 22%, além disso os painéis também elevaram as suas dimensões, dessa forma agrupando mais células fotovoltaicas e por fim surgiu os painéis fotovoltaicos bifaciais que agregam um aumento na produção de energia.

Além dos painéis, outro componente fundamental, e limitante nos sistemas fotovoltaicos, é o inversor. Na Tabela 6, é apresentado os valores dos inversores utilizados na região para o período considerado.

**Tabela 6 – Evolução dos Inversores.**

Ano	Potência (kW)
2012 - 2017	2,5~18
2018 - 2022	25~175

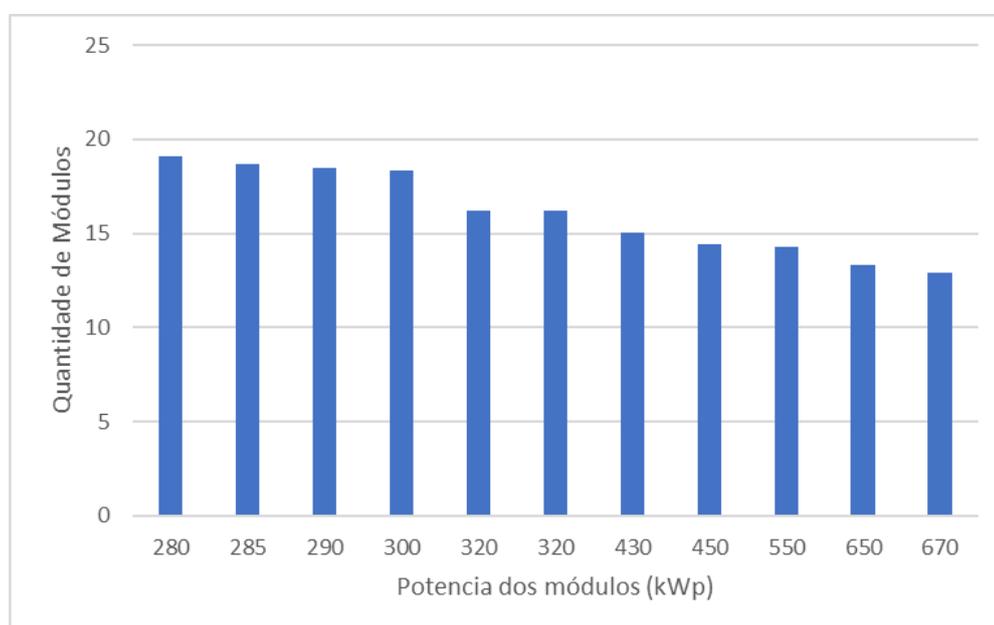
Fonte: Próprio Autor. Adaptado de ABB,2018

#### 4.2 ESTIPULAR A CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

Visando estimar o aproveitamento dos equipamentos de cada ano, elaborou-se as Tabelas 7 e 8. Essas tabelas serão fundamentais para realizar as estimativas de ocupação territorial, pois cada cenário possui a demanda de quantidade de módulos distintos, utilizando a área disponível para estimar a capacidade de geração.

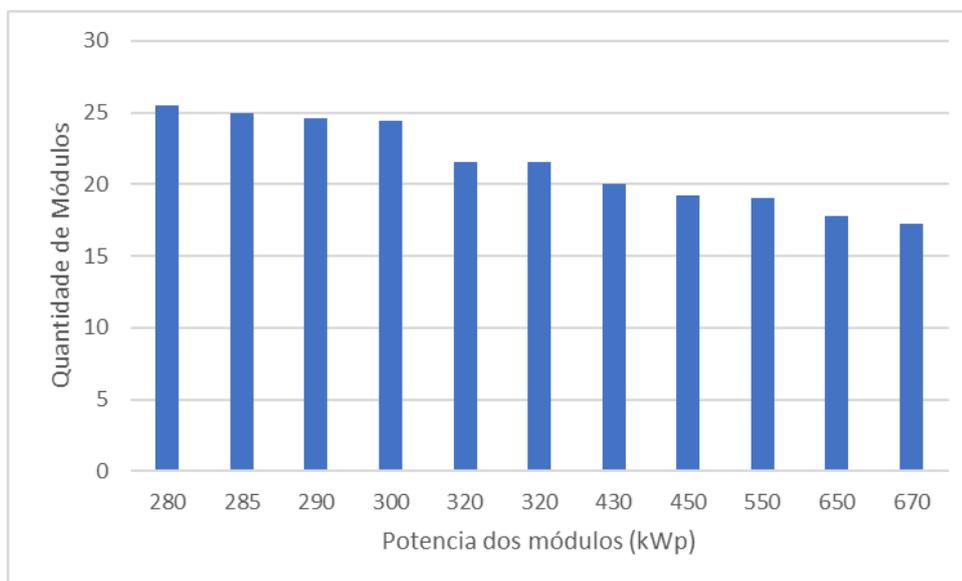
A capacidade de geração está diretamente relacionada à potência do inversor, já a quantidade de módulos é o que define a área ocupada para gerar a quantidade de energia do inversor. De modo a apresentar essa ideia, as Figuras 9, 10 e 11 representam a quantidade de módulos que o inversor suporta, seguindo as potências dos módulos avaliados e aplicando a tensão de entrada de cada MPPT dos inversores em paralelo com a tensão de operação dos painéis seguindo a equação (1), pode-se então gerar a quantidade de módulos que o inversor suporta com cada tipo de módulo a ele associado.

**Figura 9 – Quantidade de Módulos por Inversor de 10kW.**



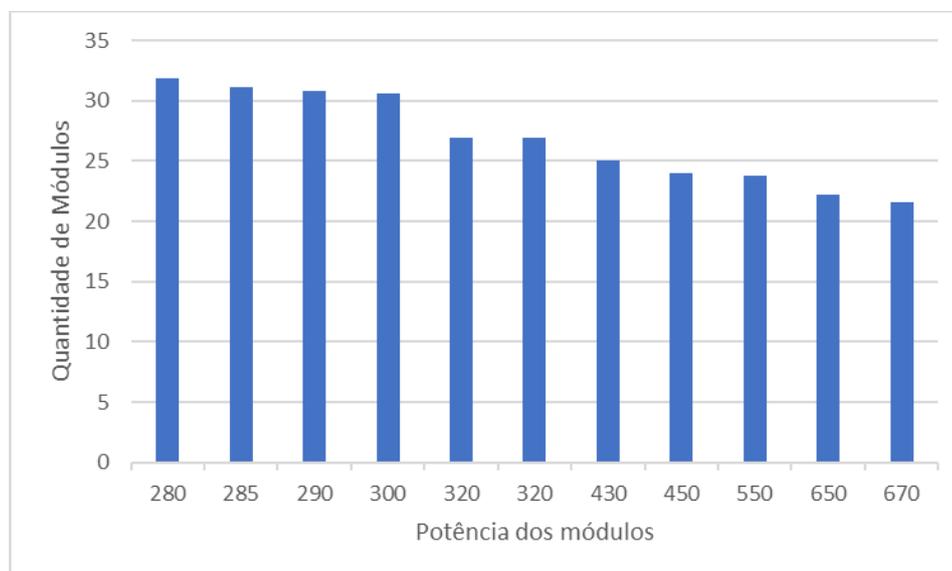
Fonte: Próprio Autor.

**Figura 10 – Quantidade de Módulos por Inversor de 15kW.**



Fonte: Próprio Autor.

**Figura 11 – Quantidade de Módulos por Inversor de 18kW.**



Fonte: Próprio Autor.

Dada a contextualização da quantidade de módulos por inversor, buscou-se estimar a capacidade de geração por cidade. Utilizou-se os dados de área da zona rural das cidades e, aplicando a esta área os inversores de 175 kWp, calculou-se a quantidade de módulos por inversor através da equação (1). Desse modo construiu-

se a Tabela 7 que apresenta a quantidade de módulos associados ao inversor de 175 kWp de cada um dos modelos de painéis.

**Tabela 7 – Quantidade de Módulos por inversor de 175 kW.**

Quantidade de Módulos	Tensão de Operação dos painéis (V)	Potência do módulo (Wp)
382	30	280
374	31	285
370	31,4	290
368	32,1	300
324	32,5	320
302	37,1	430
288	37,1	450
286	39,9	550
268	41,6	650
260	42	670

Fonte: Próprio Autor.

Com o auxílio do cálculo de área do AutoCad pode-se então calcular a área em metros quadrados que uma usina projetada para um inversor de 175 kW, chegando ao seguinte dado, para inversor de 175 kW usando 382 módulos de 280 Wp ocupa 1539,9m<sup>2</sup>, já usando 260 módulos de 670 Wp ocupa 1256,7m<sup>2</sup>, como critério de comparação o modelo de painel de 280 Wp possui as dimensões de 1,65x0,992m, já um painel de 670 Wp mede 2,384x1,303m.

A partir da Tabela 7, pode-se estimar a quantidade de área necessária para atender cada um dos conjuntos de módulos, a Tabela 8 representa a área demandada por cada potência de módulo associado ao inversor de 175 kW, tais valores foram obtidos aplicando a estrutura disponibilizada e utilizada por uma das empresas, aplicando a mesma formação da Figura 7, de modo que cada estrutura comporta 4 módulos e com as placas alocadas o distanciamento entre cada conjunto de 4 módulos será de 0,5m.

**Tabela 8 – Área ocupada por cada conjunto de módulos.**

Conjunto dos Módulos (Wp)	Área ocupada para atender 175 kW do inversor (km <sup>2</sup> )
---------------------------	---

280	1,5399
285	1,5333
290	1,4778
300	1,4778
320	1,3611
320	1,3611
430	1,2198
450	1,1859
550	1,1699
650	1,071
670	1,0484

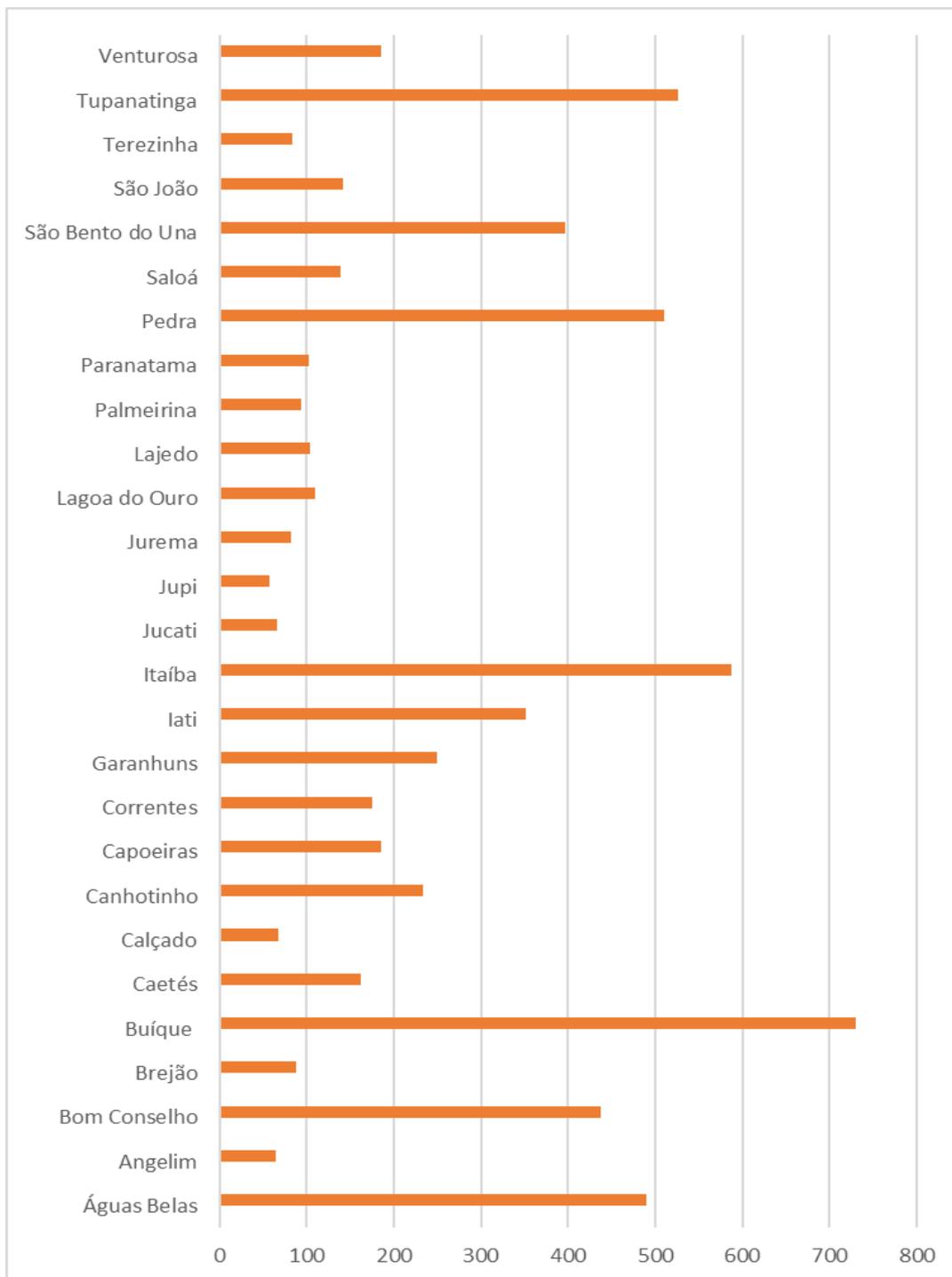
---

Fonte: Próprio Autor.

Aplicando as informações de área ocupada por uma usina de 175 kW com as configurações de módulos disponíveis no recorte temporal, desenvolveu-se as Figuras 12 e 13 a fim de gerar uma comparação entre o cenário que ocuparia o menor espaço utilizando os módulos de 670 Wp em paralelo como a implementação de sistemas de 175 kW composto por módulos de 280 Wp.

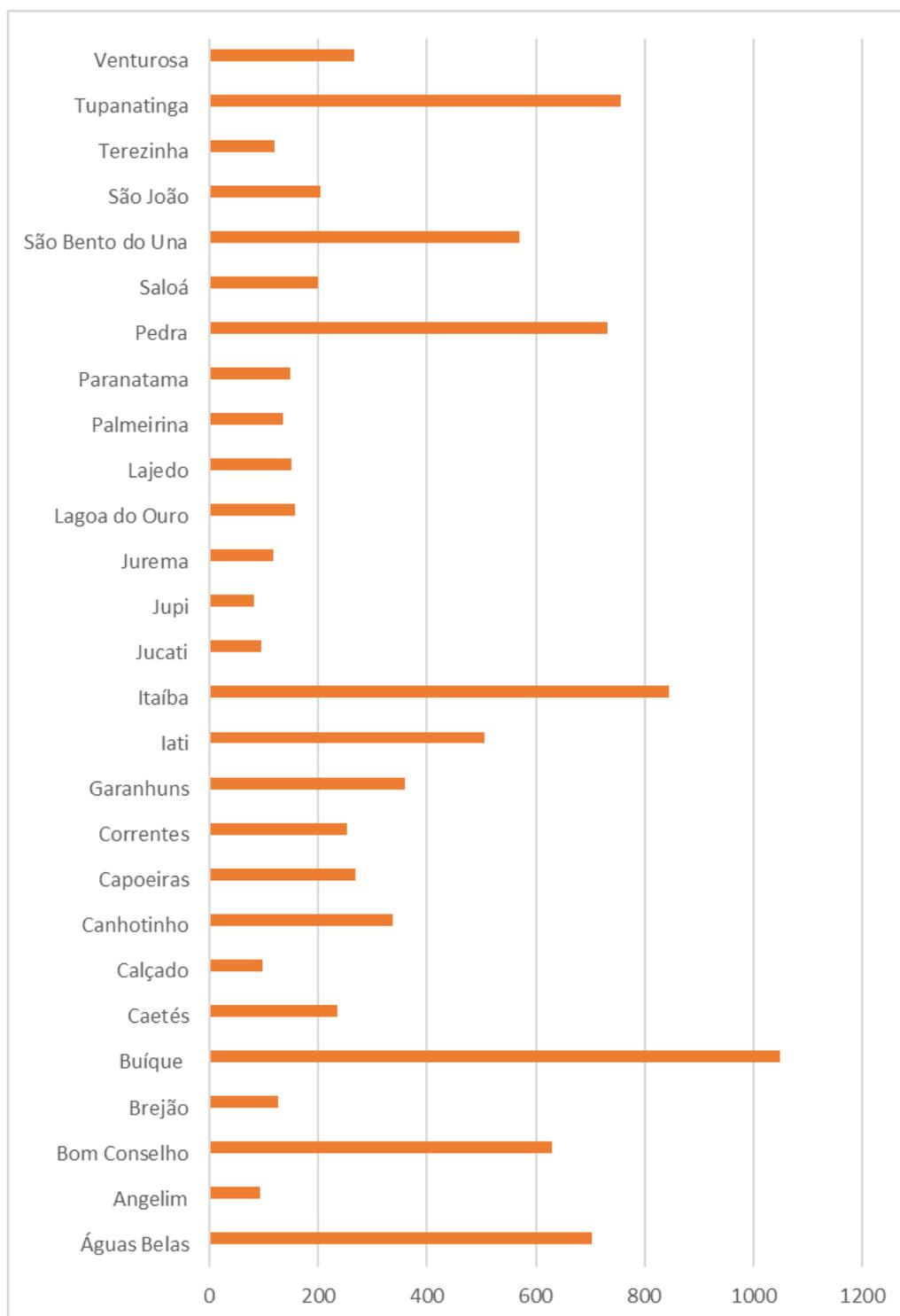
Pode-se observar que na cidade de Venturosa, utilizando usinas compostas por módulo de 280 Wp aplicadas a extensão territorial rural da cidade, é possível chegar a aproximadamente 185 usinas, gerando uma capacidade instalada de 32,4 MWp, já quando utiliza-se os painéis de 680 Wp observa-se que a quantidade de usinas que podem ser instaladas na mesma área da cidade chega 266 usinas, obtendo a capacidade de geração de aproximadamente 46,5 MWp, ou seja, na mesma área disponível do território, pode-se instalar uma diferença de 81 usinas, além de uma potência de 14,1 MW maior no segundo caso.

**Figura 12 – Quantidade de usinas utilizando inversores de 175 kW com módulos de 280 Wp.**



Fonte: Próprio Autor.

**Figura 13 – Quantidade de usinas utilizando inversores de 175 kW com módulos de 670 Wp.**



Fonte: Próprio Autor.

Através da projeção de quantas usinas de 175 kW podem ser instaladas em cada cidade, baseando-se na sua extensão territorial de zona rural, chega-se à capacidade de geração de cada cidade, conforme apresentado na Tabela 9.

**Tabela 9 – Área Urbana e Rural por município.**

<b>Cidade</b>	<b>Geração com Módulos 280 Wp (MWp)</b>	<b>Geração com Módulos 670 Wp (MWp)</b>
Águas Belas	85,7	123,127
Angelim	11,4	16,385
Bom Conselho	76,59	110,031
Brejão	15,5	22,199
Buíque	127,9	183,714
Caetés	28,5	40,912
Calçado	11,8	16,93
Canhotinho	40,9	58,79
Capoeiras	32,6	46,78
Correntes	30,7	44,141
Garanhuns	43,8	62,86
Iati	61,5	88,28
Itaíba	102,9	147,79
Jucati	11,65	16,74
Jupi	10,06	14,46
Jurema	14,336	20,59
Lagoa do Ouro	19,23	27,63
Lajedo	18,24	26,206
Palmeirina	16,325	23,454
Paranatama	17,93	25,762
Pedra	89,19	128,129
Saloá	24,273	34,871
São Bento do Una	69,519	99,872
São João	24,92	35,803
Terezinha	14,64	21,038
Tupanatinga	92,15	132,191
Venturosa	32,4	46,541

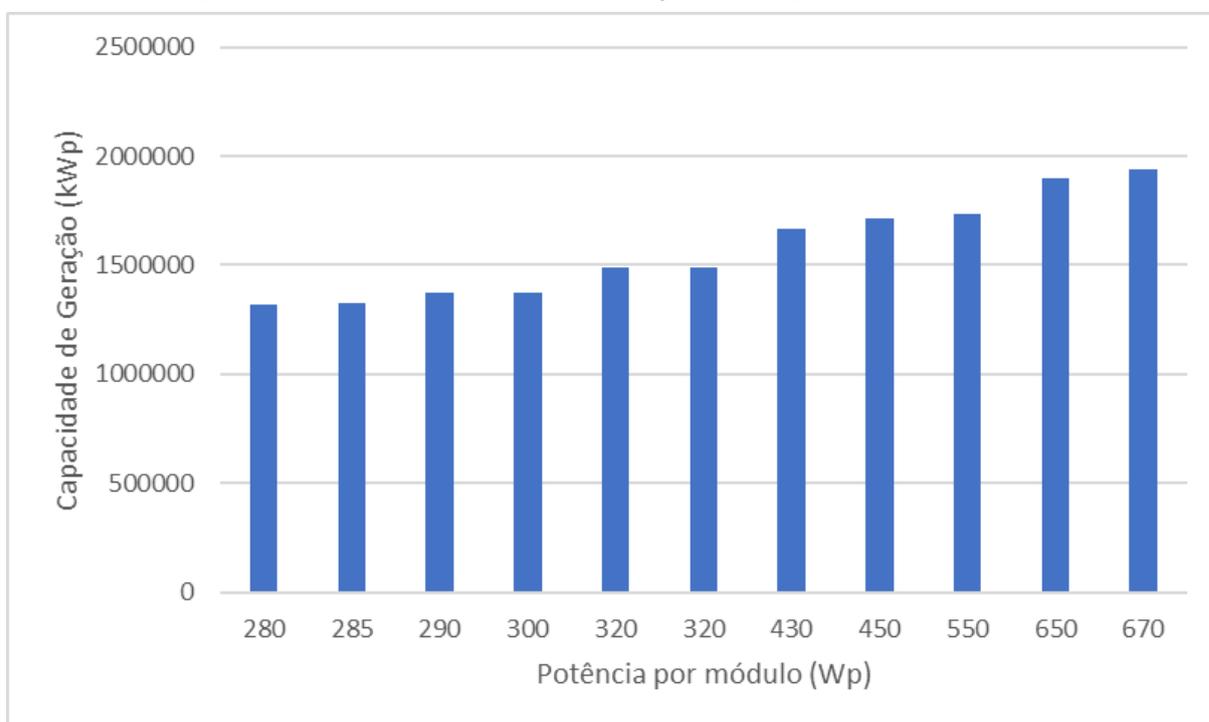
Fonte: Próprio Autor.

Além de gerar estes dados, buscou-se estimar a capacidade de geração que o agreste meridional possui como um todo. Desse modo, somou-se às áreas rurais das

idades e a partir das áreas definidas nas Figuras 12 e 13. Com isso desenvolveu-se a figura 14, nela consta a capacidade de geração das usinas que o agreste contemplaria em sua extensão territorial, variando os modelos dos módulos, dentre os estudados no recorte temporal.

Como a área dos territórios é imutável a capacidade de geração vai variar de acordo com a capacidade do equipamento, de modo que a máxima geração será obtida quando o equipamento conseguir converter toda a irradiação solar em energia elétrica, igualando assim com os dados obtidos pelo CRESESB.

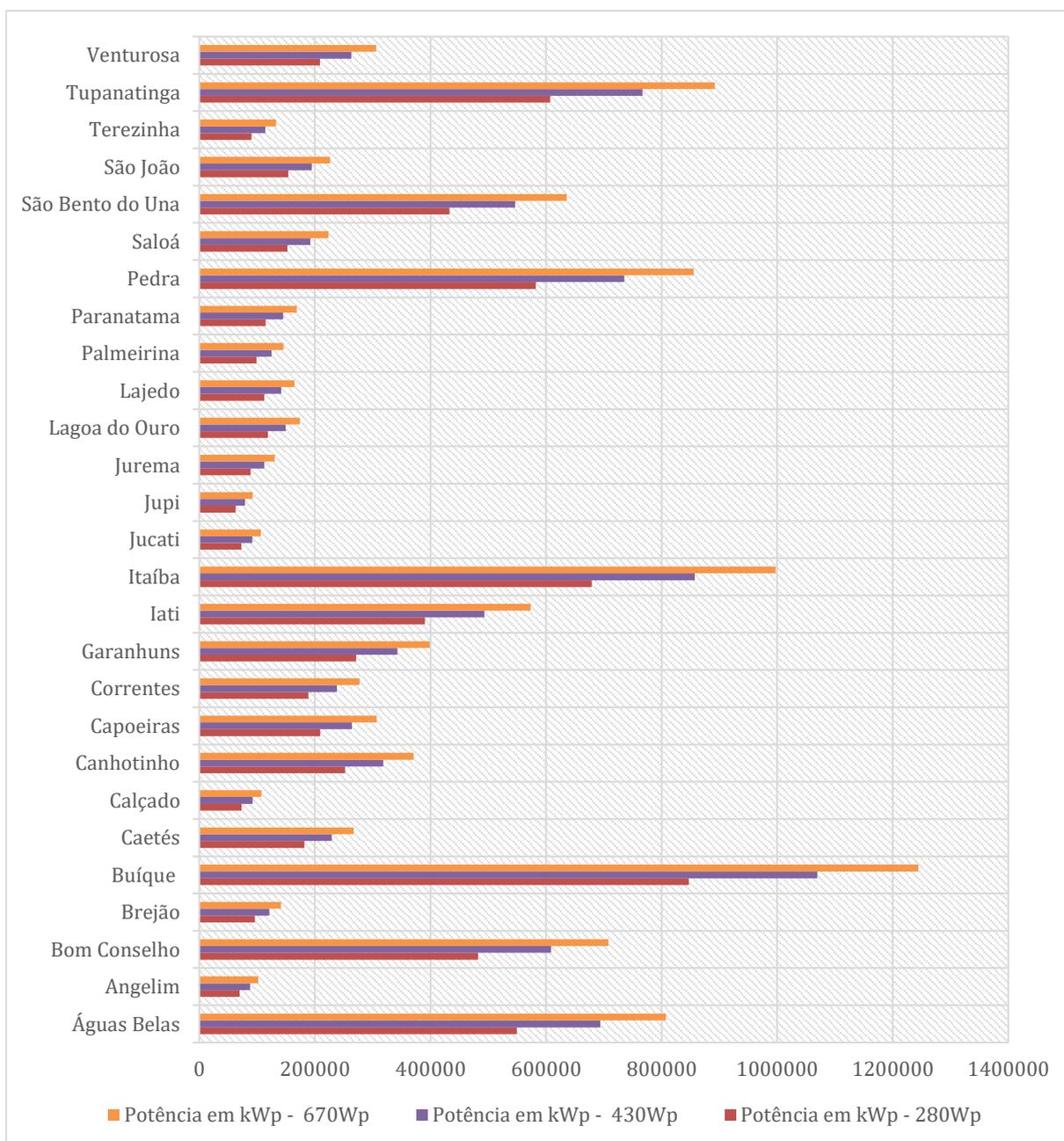
**Figura 14 – Capacidade de Geração do agreste meridional.**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

Seguindo para a próxima etapa do estudo, tem-se que realizar o cruzamento da capacidade de geração com os dados de irradiação oriundos do CRESESB. Dessa forma, aplicou-se a capacidade de geração de cada cidade a sua respectiva irradiação solar, a fim de avaliar a real capacidade de geração da implementação de usinas do agreste meridional. Nota-se na Figura 15 a comparação entre 3 cenários, que estimam a geração com 3 potências de módulos distintas, com módulos de 280, 430 e 670 Wp.

**Figura 15 – Capacidade de Geração diária.**



Fonte: Próprio Autor, 2022.

Pode-se destacar as diferenças de geração de cada um dos cenários, além de ressaltar o enorme potencial de cidades como Buíque, Itaíba e Tupanatinga, que possuem as maiores taxas de irradiação solar e associados com suas extensões territoriais se mantêm como locais a serem melhor aproveitados para implementação de sistemas solares. Avaliando a capacidade de todas as cidades do agreste meridional, estima-se que haja uma produção de 10,56 GW ao utilizar as usinas de 175 kW e módulos de 670 Wp, que seria maior do que a atual colaboração da energia solar no cenário nacional que gira em torno de 4,6 GW de participação das solares na

matriz energética, ao usar módulos de 280 Wp chega-se ao valor de 7,18 GW de capacidade de geração.

### 4.3 AVALIAÇÃO DOS DADOS ORIUNDOS DAS EMPRESAS

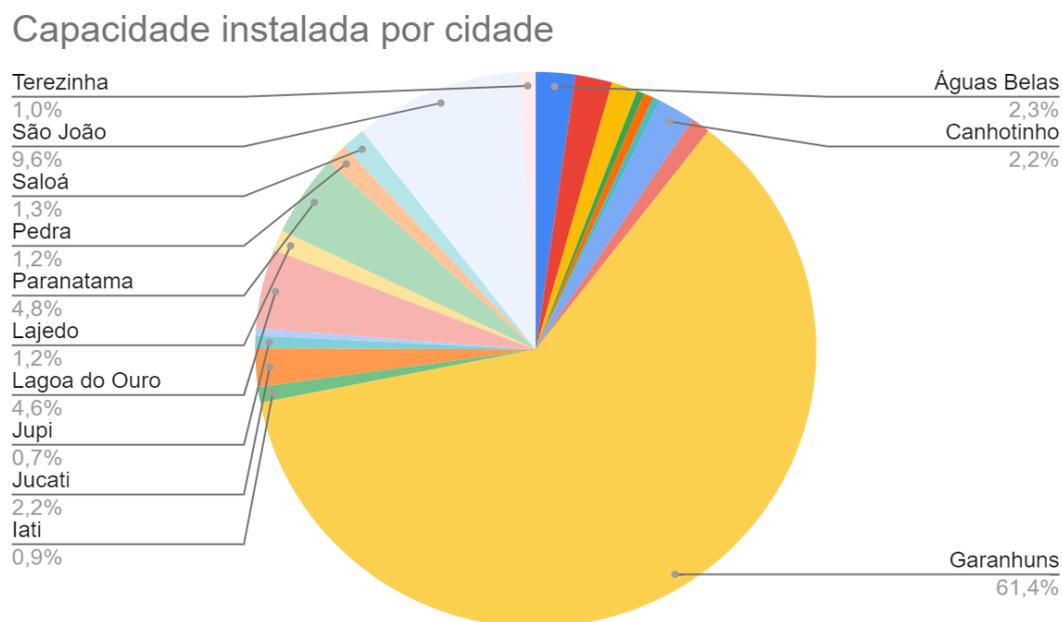
Nesta seção serão apresentados os dados fornecidos pelas empresas, detalhando as suas potências instaladas atualmente no recorte regional estudado. De modo a observar a cidade que possui a maior carga instalada entre as que compõem o agreste meridional, além de avaliar o quanto cada cidade tem de potencial e averiguando o quanto dessa capacidade foi aproveitada.

Vale ressaltar que o ano 2022 tem sido o ano em que houve o maior crescimento na capacidade de geração em ambas as empresas que compartilharam seus dados. Muito disso deve-se à lei da energia solar (14.300/2022) derivada do projeto de lei 5.829/2019, que tem previsão de entrar em vigor em Janeiro de 2023, instigando assim o comércio de todo o Brasil.

#### 4.3.1 Empresa 1

A empresa 1 teve suas vendas iniciais a partir de 2019 e, até o presente momento, conta com uma capacidade instalada de 2480,5 kWp, que abrangem todas as cidades alvo do estudo. Na Figura 16 está representada a distribuição da capacidade instalada pelas cidades. Nota-se na figura 18 a distribuição de vendas ao longo dos anos de atividade da empresa.

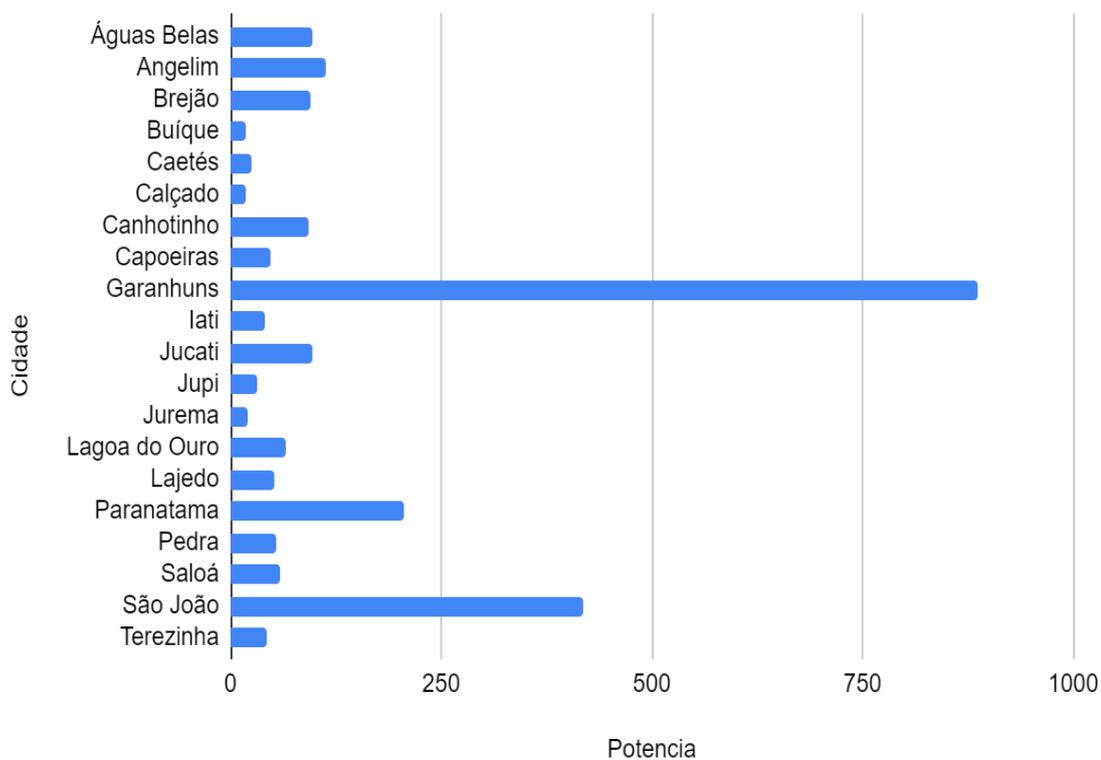
A fim de representar de maneira distinta, e mais clara quanto a quantidade instalada por cidade, tem-se a Figura 17, que através das barras apresenta visualmente as potências instaladas em cada uma das cidades alvo do estudo. Destacando a cidade de Garanhuns como sendo a cidade que possui maior quantidade de potência instalada, chegando próximo a 1MWp.

**Figura 16 – Capacidade Instalada por Cidade.**

Fonte: Próprio Autor.

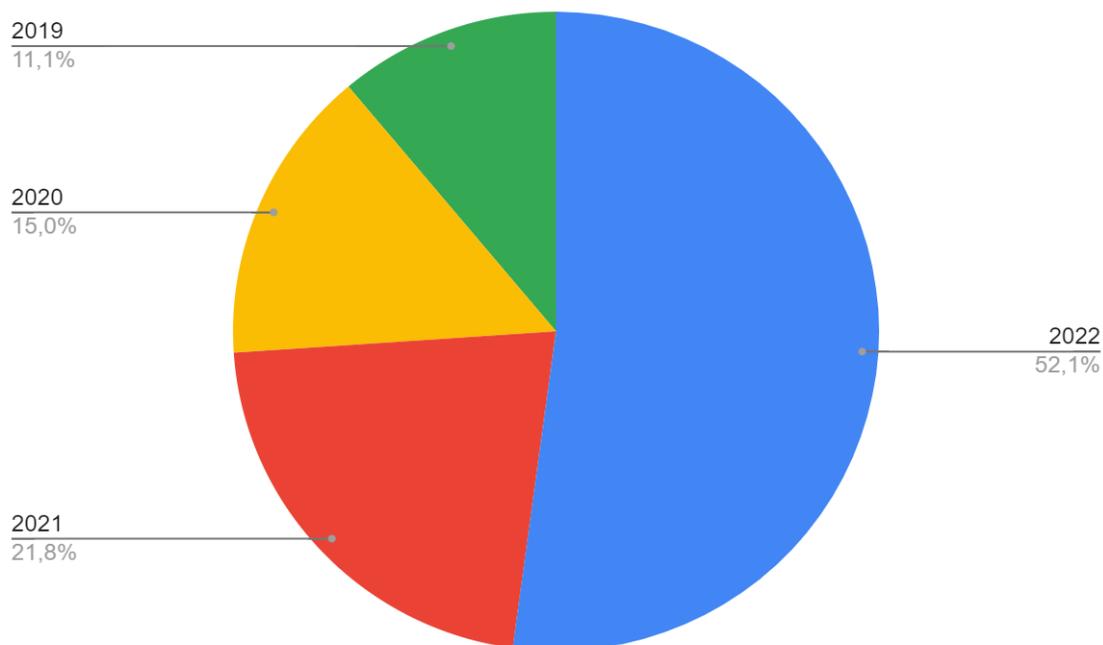
**Figura 17 – Potência instalada por cidade - EMPRESA 1**

## Potencia vs. Cidade



Fonte: Próprio Autor.

De modo a representar a distribuição das potências instaladas por cada ano de atuação da empresa, desenvolveu-se a Figura 18, que traz a distribuição da potência instalada ao longo da atuação da empresa.

**Figura 18 – Distribuição da Potência instalada por ano.**

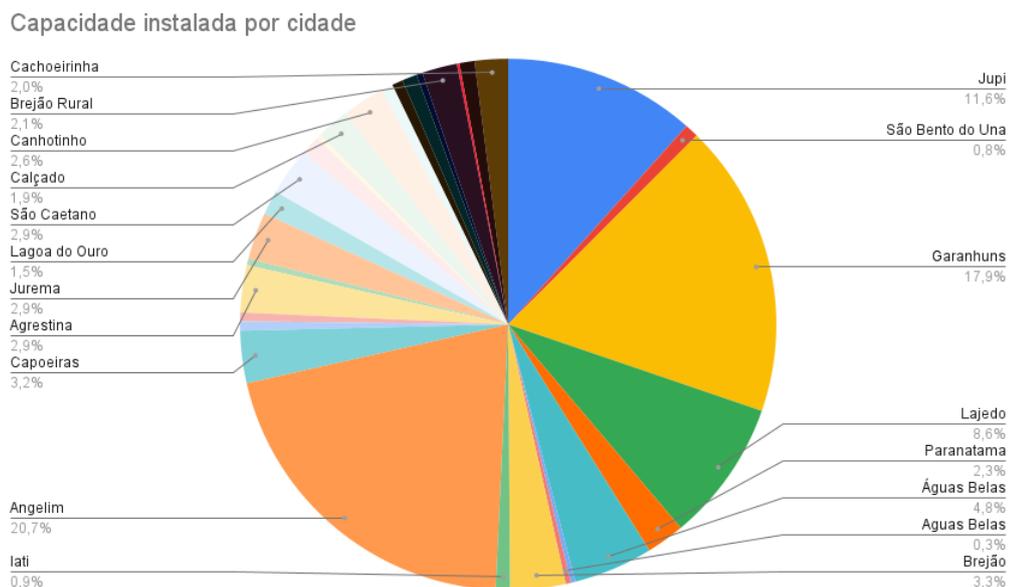
Fonte: Próprio Autor

#### 4.2.2 EMPRESA 2

A empresa 2 teve suas vendas iniciais a partir de 2019 e, até o presente momento, conta com uma capacidade instalada de 4420,8 kWp, que abrangem quase todas as cidades alvo do estudo. Na Figura 19 está representada a distribuição da capacidade instalada pelas cidades. Já na Figura 21 está exposta a distribuição de vendas ao longo dos anos de atividade da empresa.

De modo complementar e a fim de apresentar uma forma de visualização distinta, tem-se a Figura 20. No gráfico em questão os mesmos dados são representados por barras, de modo que a visualizar comparativamente as cidades entre si, do ponto de vista dos kWp.

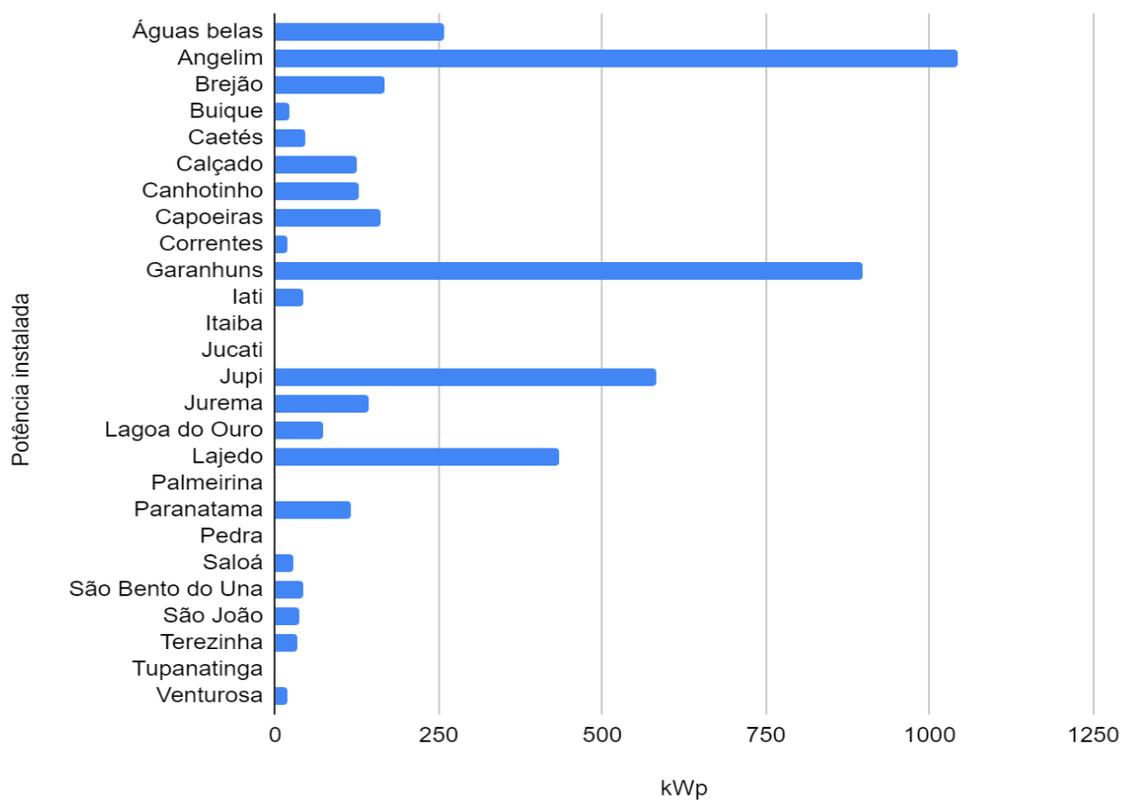
**Figura 19 – Capacidade Instalada por Cidade.**



Fonte: Próprio Autor.

**Figura 20 – Potência instalada por cidade - EMPRESA 2**

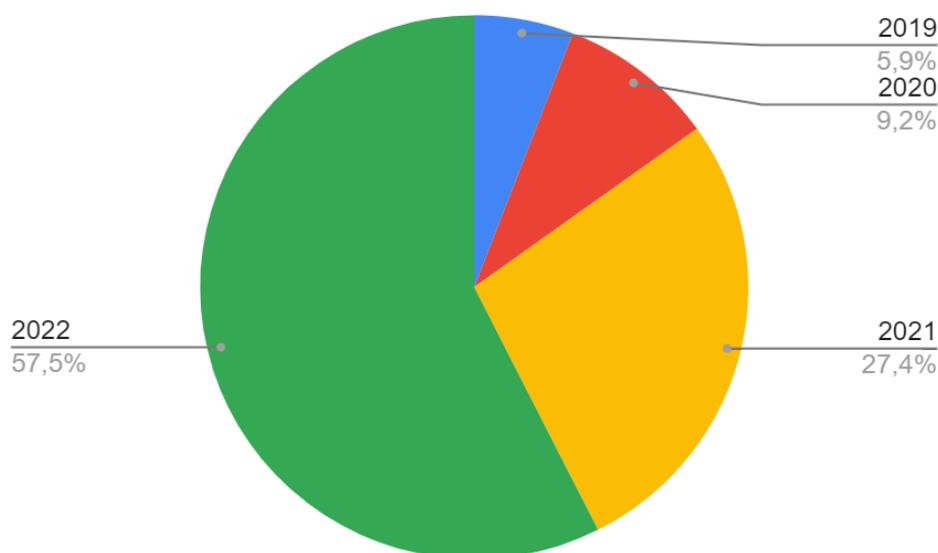
kWp vs. Potência instalada



Fonte: Próprio Autor

A Figura 21 tem por função representar a distribuição das potências instaladas por cada ano de atuação da empresa. Destacando o ano de 2022 como sendo responsável por 57,5% da potência instalada dessa empresa, é válido salientar que a lei que envolve a taxaçoão desta forma de geraçoão entra em vigor no ano de 2023, a partir disto houve uma procura mais relevante do que em anos anteriores.

**Figura 21 – Distribuição da Potência instalada por ano.**



Fonte: Próprio Autor

#### 4.4 AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DA GERAÇÃO SOLAR.

De modo a quantificar e realizar comparaçoões quanto aos dados que foram obtidos e apresentados pode ressaltar que através da projeçoão da capacidade de geraçoão em comparaçoão com a potência instalada pelas empresas, pode-se destacar que a potência instalada de ambas as empresas juntas, resulta em um valor de aproximadamente 7 MWp nas instalaçoões do agreste meridional. A fim de comparar, pode-se avaliar a cidade que possui o menor potencial de geraçoão, segundo a Tabela 9, é a cidade de Angelim que possui a capacidade de gerar 11,4 MWp utilizando inversor de 175 kW e módulos de 280 Wp que são os painéis do início da década,

com os 7 MWp instalado, destaca-se que o aproveitamento é igual a 61,4%, ou seja, em comparação com a cidade que possui o menor potencial demandando os painéis do início da década pode-se ressaltar que ainda existe um grande potencial a ser explorado na região. Porém vale a pena ressaltar que os valores de potência instalada no início da década eram ínfimos.

## 5. CONSIDERAÇÕES

### 5.1 CONCLUSÕES

No decorrer deste trabalho, buscou-se averiguar o aproveitamento da energia solar nas cidades que compõem o agreste meridional, trazendo um recorte geográfico distinto, com a finalidade de apresentar dados mais próximos, minimizando discrepância nas bases de dados de órgãos voltados à pesquisa energética. Tratou-se durante o desenvolvimento do trabalho que a EPE e ONS realizam estudos de projeção da matriz energética, atualizando a contribuição das diversas fontes de geração. Porém os estudos desenvolvidos por estes órgãos levam em consideração macrorregiões, além de tratar mais atentamente os leilões de energia. Para isso, uma base de dados que avalia as extensões territoriais e irradiação solar vem a agregar e gerar dados de regiões micro.

Durante o desenvolvimento do trabalho, definiu-se o agreste meridional, apresentando as cidades que o compõem, além de buscar dados junto a EMBRAPA sobre as extensões territoriais das cidades, associando tais valores com a irradiação oriundo do CRESESB, a fim gerar as informações debatidas no corpo do texto.

Além disso, coletou-se dados sobre os diversos painéis solares e inversores comercializados no recorte temporal, com isso definiu-se critérios que geraram as análises durante os resultados, como a adoção de usinas utilizando o inversor de 175 kW e aplicar-la com diversas combinações de módulos, que possibilitaram junto ao AutoCad, verificar a área ocupada por cada conjunto de módulos, em seguida elaborou-se estimativas da capacidade de geração das cidades aplicando o critério das usinas de 175 kW.

Tomando os dados de área dos locais juntamente com a área ocupada por uma usina solar, estimou-se a quantidade de usinas que as cidades comportam, dessa forma se tornou possível obter a capacidade de geração de cada cidade e do agreste meridional como um todo, chegou-se ao valor de 2 GWp de capacidade de geração utilizando módulos de 670 Wp.

Dessa forma, cruzando as informações da capacidade de geração com os dados de irradiação solar em cada cidades, observou-se que ao somar a capacidade

de todas as cidades do agreste meridional junto a irradiação das cidades, estimou-se uma produção de 10,56 GW ao utilizar as usinas de 175 kW e módulos de 670 Wp.

Através da consulta aos dados fornecidos pelas empresas, observou-se que comparado a capacidade de geração a capacidade instalada é bastante inferior, ao somar todas as instalações chega-se em um valor de aproximadamente 7 MWp nas instalações de todas as cidades do agreste meridional. Quando realizou-se a comparação com a capacidade de geração da cidade que apresentou o menor potencial, observou-se que os 7 MWp equivalem a 61,4% dos 11,4 MWp gerados com módulos de 280 Wp nas usinas.

Avaliando o aproveitamento pode-se concluir que existe um grande potencial a ser explorado na região, mas também vale constatar a crescente nas instalações. Considerando que em 2012 não possuíam uma quantidade significativa de usinas instaladas, para um cenário em 2022 de aproximadamente 7 MWp é uma crescente bastante significativa, além disso as empresas que disponibilizaram o acesso aos seus dados estão em atividade desde 2019, sendo assim em um intervalo de três anos houve um crescimento admirável. Dessa forma conclui-se que muito se desenvolveu nos últimos anos quando comparado ao início da década, porém comparado ao potencial da região pode-se salientar que muito ainda há de ser aproveitado.

## 5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

De modo a complementar o presente trabalho, seria interessante gerar projeções futuras do aproveitamento da energia solar no agreste meridional. Tomando como base as informações da potência instalada compartilhadas pelas empresas e baseado nos seus crescimentos anuais, a fim de projetar baseado nos dados, em que ano seria possível igualar a potência instalada como a capacidade instalada dos sistemas.

Em seguida, pode-se avaliar o impacto da lei que irá taxar a geração distribuída, a fim de averiguar se a atual crescente da potência instalada terá um impacto negativo ou positivo nos próximos anos.

Em paralelo com os dados de geração solar pode-se avaliar os mesmos cenários da geração solar no âmbito da energia eólica. Avaliando a potência instalada

atual dos sistemas, além de avaliar se existem perspectivas de crescimento nos próximos anos, averiguar as cidades mais propícias para tal instalação e realizar assim o aproveitamento dessa fonte nas cidades do agreste.

## REFERÊNCIAS

ABB. **Product Manual:** PVS-175-TL. 2018. Disponível em:

<https://www.fimer.com/sites/default/files/PVS-175-TL%20-%20Product%20manual%20EN-RevA%28M0000045AG%29.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

CANADIANSOLAR. **Painel solar fotovoltaico:** CSS6K. São Paulo, 2017. Disponível em:

[https://www.dcco.com.br/cms/uploads/PANIEL\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICO\\_CANADIAN\\_SOLAR\\_DCCO\\_a3fc1f6094.pdf](https://www.dcco.com.br/cms/uploads/PANIEL_SOLAR_FOTOVOLTAICO_CANADIAN_SOLAR_DCCO_a3fc1f6094.pdf). Acesso em: 15 out. 2022.

CANADIANSOLAR. **Painel solar Fotovoltaico:** CS3K. Walnut Creek, USA, 2017.

Disponível em: [https://sicesolar.com.br/wp-content/uploads/2017/12/CSI\\_KuPower\\_CS3K-285-300-P.pdf](https://sicesolar.com.br/wp-content/uploads/2017/12/CSI_KuPower_CS3K-285-300-P.pdf). Acesso em: 15 out. 2022.

CANADIANSOLAR. **Painel solar Fotovoltaico:** CS3W. Ontario, Canadá, 2019.

Disponível em: [https://www.ecorienergiasolar.com.br/assets/uploads/2bcef-canadian\\_solar-datasheet-hiku\\_cs3w-p-420\\_425\\_430\\_435\\_1000v1500v\\_v5.584.pdf](https://www.ecorienergiasolar.com.br/assets/uploads/2bcef-canadian_solar-datasheet-hiku_cs3w-p-420_425_430_435_1000v1500v_v5.584.pdf). Acesso em: 15 out. 2022.

CRESESB. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica.** Av. Horácio Macedo, 354 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 20 ago. 2022.

DAH SOLAR. **Painel solar Fotovoltaico:** DHP72. Hefei City, Anhui, China, 2017.

Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/assets/uploads/39a76-dhp72-320w-335w.pdf>. Acesso em: 16 out. 2022.

Dupont, F. H., Grassi, F., & Romitti, L. (2015). **Renewable Energies: seeking for a sustainable energy matrix.** Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental, 19, 70–81.

DEYE. **Inversor trifásico:** SUN - 12 / 15 / 18k. 2020. Disponível em:

[http://www.radarsolar.com.br/uploads/produtos/58/0000151\\_sun-15k-g.pdf](http://www.radarsolar.com.br/uploads/produtos/58/0000151_sun-15k-g.pdf). Acesso em: 16 out. 2022.

EMBRAPA. **Projetos de Urbanização.** Av. Soldado Passarinho, 303.Fazenda Chapadão CEP 13070-115 Campinas, SP, 2006. Disponível em:

<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/urbanizacao/>. Acesso em: 16 out. 2022.

FREITAS, Matheus M. **Alternativa De Modelo De Negócio Para Distribuidoras De Energia Elétrica Através Do Leasing De Energia Solar Fotovoltaica**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal De Santa Maria Centro De Tecnologia. Santa Maria, RS. Brasil, 2021.

GEOCONSULT. **CGE Taíba Águia: Estudo de Impacto Ambiental - EIA**, Relatório de Impacto Ambiental - RIMA. Fortaleza: [s.n.].

GONÇALVES, André R.; COSTA, Rodrigo S.; PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; **CENÁRIOS DE EXPANSÃO DA GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018.

GONÇALVES, Marco L.F. **Instalações de Microgeração e Sua Evolução com o Enquadramento Legal**. 2014. Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2014

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Cidades e Estados - Pernambuco**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 20 ago. 2022.

JINKO. **Painel solar Fotovoltaico: Tiger Pro 72HC-TV**. 2020. Disponível em: <https://www.energiasolarphb.com.br/wp-content/uploads/2021/10/JINKO-530W-MONO-HALF-CELL-BIFACIAL-JKM530M-72HL4-TV.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

JINKO. **Painel solar Fotovoltaico: Tiger 78TR**. 2020. Disponível em: <https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto1550661dArquivo26660.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

LEAPTON SOLAR. **Painel solar Fotovoltaico: LP210\*210-M-66-MH**. Jiangsu, China, 2021. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/assets/uploads/94e0e-portuguese-lp210-m-66-mh-650-670w-2021v2-1-.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

MOSQUEIRA, Glória L. A. **A Evolução Da Energia Solar Fotovoltaica No Brasil**. Rio De Janeiro, Rj – Brasil. dez de 2020

OLIVEIRA, Alzira M.; MARIO, Maurício C.; Pacheco, Marcos T. T.; **Fontes renováveis de energia elétrica: evolução da oferta de energia fotovoltaica no Brasil até 2050**. Brazilian Applied Science Review, Curitiba, v., n.1, p.257-272 jan. 2021

ONS. **Plano Anual de Operação Energética:** 2012/2016. Rio de Janeiro, RJ, 2011. Disponível em: [http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/PEN2012\\_SumarioExecutivo.pdf](http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/PEN2012_SumarioExecutivo.pdf). Acesso em: 03 set. 2022.

ONS. **Plano Anual de Operação Energética:** 2022/2026. Rio de Janeiro, RJ, 2021. Disponível em: [http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Apresenta%c3%a7%c3%a3o%20PEN%202022%20-%20Agentes\\_rv2.pdf](http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Apresenta%c3%a7%c3%a3o%20PEN%202022%20-%20Agentes_rv2.pdf). Acesso em: 03 set. 2022.

PE-AZ. **Pernambuco de A-Z:** Agreste Meridional. Bairro Novo – Olinda, Pernambuco, 2010. Disponível em: <https://www.pe-az.com.br/o-estado/regioes/288-agreste-meridional>. Acesso em: 20 ago. 2022.

RANGEL, M.S.; BORGES, P.B.; SANTOS, I. F. S. **Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, n.3, p.267-277, 2016.

SIRIUS. **Painel solar Fotovoltaico:** HD144N. Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, set. 2021. Disponível em: <https://energiasirius.com/wp-content/uploads/2021/06/Datasheet-Modulo-Sirius-Bifacial-450w-144-halfcell.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

SIRIUS. **Painel solar Fotovoltaico:** HD144N-550. Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, out. 2021. Disponível em: <https://energiasirius.com/wp-content/uploads/2021/10/Datasheet-Modulo-Bifacial-550w-144-Halfcell.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

SOLAREEDGE. **Inversores Trifásicos:** SE17K / SE27.6K. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/assets/uploads/e9e87-se17k-se27.6k-inversores-trifasicos.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

SOLAREEDGE. **Inversores Trifásicos:** SE20.1K / SE27.6K / SE33.3K / SE40K. Disponível em: <https://www.solareedge.com/sites/default/files/se-three-phase-inverter-with-setapp-datasheet-prt.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

SUPORTE GEOGRÁFICO. **MAPAS MESORREGIÕES DE PERNAMBUCO**2016. Disponível em: <https://suportegeografico77.blogspot.com/2018/04/mapas-mesorregioes-de-pernambuco.html>. Acesso em: 25 nov. 2022.

YINGLI. **Painel solar Fotovoltaico:** YL280P-29B. 2018. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&file=custom/upload/File-1537463368.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.