

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO



Uma Análise do Potencial energético Solar no Território Brasileiro

Pedro Goulart Seabra

1912459

Orientador: Juliano Assunção

**Rio de Janeiro
Junho de 2022**

Uma Análise do Potencial energético Solar no Território Brasileiro

Pedro Goulart Seabra

1912459

Orientador: Juliano Assunção

Rio de Janeiro

Junho 2022

Declaro que o presente trabalho é da minha autoria e que não recorri, para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa exceto quando autorizado pelo professor Tutor.

As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor.

SUMÁRIO

1. Introdução	5
2. Energia e Desenvolvimento Socioeconômico	7
3. Panorama Brasileiro	8
4. Análise do Potencial Fotovoltaico	9
4.1. Conjuntura Nacional	9
4.2. Conjuntura Regional	11
4.3. Conjuntura Estadual	16
5. Consumo de Eletricidade e População	18
6. Conclusão	21
7. Referências Bibliográficas	22

1. INTRODUÇÃO

Em 2015, 193 países assumiram um compromisso global para criarem um modelo global de desenvolvimento sustentável e denominaram-no Agenda 2030. Este documento contempla um plano com 17 objetivos que visam atingir uma maior integração do crescimento econômico, de justiça social e sustentabilidade ambiental, colocando o mundo em um caminho mais resiliente e sustentável até 2030.

Dentre os objetivos está o acesso confiável, sustentável, moderno e a preços acessíveis à energia limpa. A importância de estabelecer este objetivo surge a partir da noção de que o desenvolvimento socioeconômico está relacionado ao acesso à eletricidade e, conforme a população vai crescendo, cria-se a necessidade de maior geração de energia elétrica para que essa demanda seja suprida. Ao mesmo passo, o clima vem se alterando ao redor do mundo gerando diversos efeitos capazes de frear a capacidade energética brasileira.

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica elaborado pelo EPE, as hidrelétricas foram responsáveis pela produção de 63,5% do total de eletricidade gerada em 2020. A dependência elétrica brasileira vem se mostrando um fator a ser superado há muitos anos, pois, conforme o país é atingido por mudanças severas dos climas, como grandes secas, a geração de eletricidade por meio de hidrelétricas fica comprometida e, para evitar consequências como os apagões vistos em 2001, as termelétricas são acionadas.

Do ponto de vista legal, dois problemas são fundamentais para verificar as consequências na economia brasileira: a geração elétrica por meio de termelétricas não somente é mais cara no quesito produção, como também há maior incidência de encargos no consumo de eletricidade proveniente dessas fontes devido ao impacto ambiental. Além disso, as empresas geradoras devem gerar uma determinada quantidade por um período estabelecido e, desta forma, quando há secas no país, essas devem acionar as termelétricas para suprir a escassez da sua produção.

Dito isso, podemos prever uma relação cíclica agravada a cada volta. À medida que mudanças climáticas afetam o regime de chuvas no Brasil, maior é o impacto sob a geração de energia elétrica e, por conta disso, maior necessidade terá de gerar energia através de termelétricas que, por sua vez, têm um maior índice de poluição agravando ainda mais os problemas gerados por mudanças climáticas.

O sistema elétrico brasileiro é composto de 3 setores: Geração, Transmissão e Distribuição. Os nomes dos setores são autoexplicativos, então a importância da análise setorial recai sobre a eficiência de suas funcionalidades e fatores necessários para implementação de políticas que permitam o seu desenvolvimento.

O setor que gera eletricidade no Brasil é historicamente centralizado, ou seja, a maior parte da energia é gerada por grandes centrais de produção com grandes capacidades instaladas, sendo elas hidrelétricas e/ou termelétricas. Essas usinas, usualmente, estão distantes dos grandes centros de consumo e, por isso, necessitam de longas linhas de transmissão que encarecem o custo da eletricidade para o consumidor final.

A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 permite que o consumidor possa gerar sua própria energia através de fontes renováveis ou de consórcios. Tal abertura possibilita fornecer

o excedente da produção para a rede de distribuição local, gerando benefícios financeiros, ambientais e sociais devido a possibilidade de minimização de custos no médio e longo prazo.

Tal fato pode ser considerado uma das primeiras portas rumo ao objetivo 7 da agenda 2030, acesso confiável, sustentável, moderno e a preços acessíveis a energia limpa. A análise do potencial de geração de energia elétrica oriunda de fonte solar é fundamental para o estudo de viabilidade de implementação de geração distribuída (GD) nos municípios brasileiros.

Sendo assim, entender as possibilidades e capacidades de geração elétrica no país torna-se fundamental para garantir a oferta de eletricidade a preços que permitam o crescimento socioeconômico a longo prazo, fornecendo segurança elétrica e, por fim, reduza os impactos ambientais.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial brasileiro para geração de energia através da irradiação solar, ou seja, energia fotovoltaica. Para isso, começaremos analisando o cenário do país como todo a fim de identificar as regiões com maior potencial energético oriundo da fonte em questão.

Em seguida, destrincharemos essas regiões, identificando os municípios com potencial mais elevado e faremos uma análise do potencial em âmbito estadual. Avaliaremos, posteriormente, o consumo histórico de eletricidade do Brasil, levando em conta a população atual para traçarmos uma relação entre o consumo e a população.

Feita essa análise, identificaremos a área necessária para se obter a demanda de energia elétrica prevista até 2031. Com isso, será possível ter uma base capaz de fornecer informações relevantes para o cenário do mercado de energia elétrica para a próxima década.

Uma vez estabelecidos os potenciais de geração no Brasil, políticas públicas mais eficientes podem ser desenvolvidas para o setor. O desenvolvimento deste setor vem se mostrando promissor rumo a uma menor dependência geracional através da diversificação da matriz energética.

Estabelecer o potencial energético dentre os municípios do Brasil permite diversos tipos de análise que podem ser essenciais para um desenvolvimento socioeconômico do país, pois, nos proporciona um melhor entendimento das localidades onde o investimento e implementação de recursos será mais eficiente. Com isso, pode ser possível oferecer uma maior estabilidade em relação a oferta, preços e tarifas de eletricidade em todo o país. Por fim, saber o potencial energético permite a manutenção e expansão do acesso, podendo aquecer a economia através de investimento doméstico ou externo e redução no custo de produção de diversos bens.

2. Energia e Desenvolvimento Socioeconômico

Desde a 2ª Revolução Industrial, a economia global veio se tornando cada vez mais dependente da capacidade de transformar a energia de que dispomos na natureza em formas de energia que possamos utilizar para aumentar a nossa produção, tornando-a mais eficiente. A relação entre o desenvolvimento socioeconômico e a geração de energia é bastante discutida, pois, a ideia de desenvolvimento, principalmente tecnológico, está intrinsecamente ligada à disponibilidade e acesso à energia.

Ao longo dos anos, estudos vêm nos mostrando que a melhora do padrão de vida da sociedade é determinada pelo aumento do consumo de energia (VELLOSO, 2002). Através do consumo energético, podemos inferir graus de progresso industrial e tecnológico dos países, porém, há quem argumentará que o desenvolvimento depende também de outros fatores sociais.

Contudo, sabemos que sem a energia a atividade socioeconômica não se desenvolve devido a necessidade do aumento da eficiência produtiva do país. Além disso, já evidenciamos casos nos quais a expansão da capacidade de geração de eletricidade melhora a condição de vida da população à medida que novos investimentos são feitos no setor, causando uma redução do desemprego (DINKELMAN, 2011).

Portanto, o conhecimento do potencial solar do Brasil se faz necessário, pois, conforme há o crescimento da população devemos ter a capacidade de gerar energia elétrica sem ficarmos totalmente dependentes das grandes hidrelétricas que nos fornecem hoje mais da metade da eletricidade consumida.

3. Panorama Brasileiro

O Balanço Energético Nacional (EPE, 2020) nos mostra o cenário do mercado brasileiro de geração de energia elétrica. Em 2019, tínhamos uma capacidade instalada no país de aproximadamente 170.188 MW, sendo 59% provenientes de grandes Usinas Hidrelétricas, 3,1% vindas das PCH (Pequena Central Geradora) e 0,5% das CGH (Central Geradora Hidrelétrica), ou seja, aproximadamente 63% da eletricidade consumida no Brasil vem de matriz hídrica.

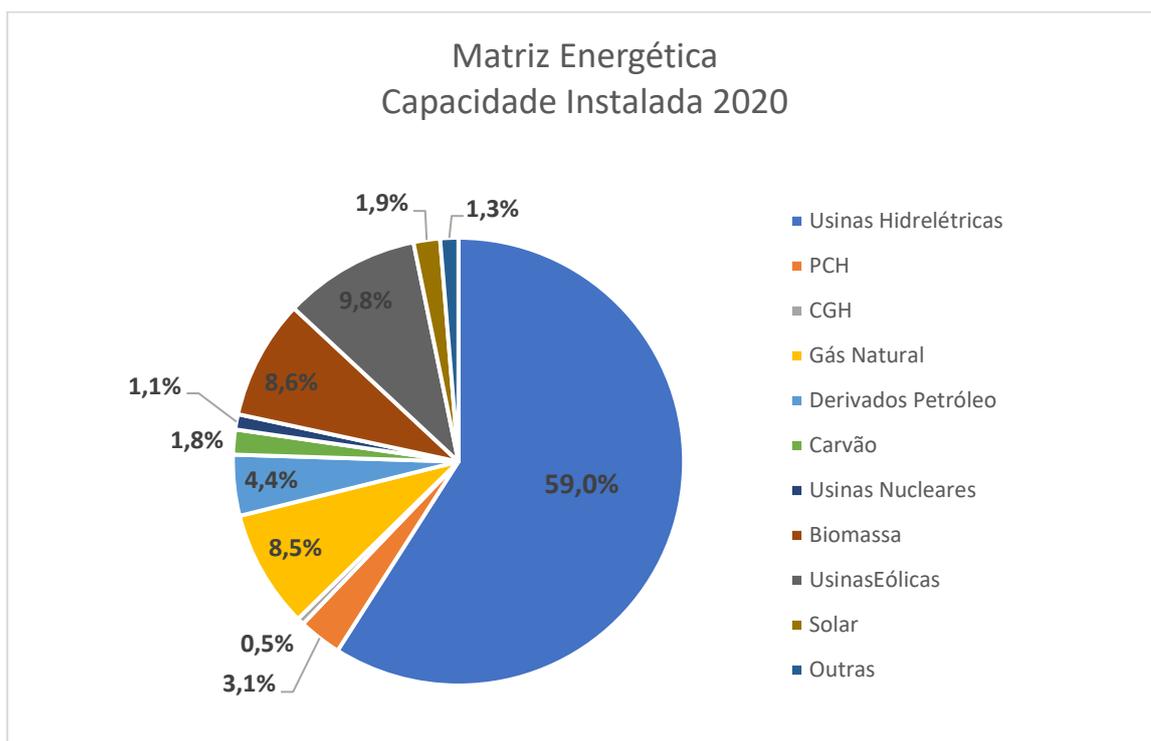


Figura 1 - Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020, formulação Própria

4. Análise do Potencial Fotovoltaico

4.1. Conjuntura Nacional

O Brasil é o quinto maior país do mundo, totalizando uma área de 8,5 milhões de metros quadrados, dividido em 5 regiões (Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro Oeste), 27 estados (contando o Distrito Federal) e 5.570 municípios. Em 2022, estima-se que o país tenha uma população de aproximadamente 215 milhões de pessoas e, de acordo com as projeções do IBGE que veremos mais a frente, deve chegar a uma população de 226 milhões até 2031.

A unidade de medida comumente usada para geração de energia é o MWh, ou seja, a quantidade de Mega Watts gerado por hora. Os dados coletados de irradiação das análises do LABREN, por serem a irradiância num intervalo de tempo, estão em $\text{Wh/m}^2\cdot\text{dia}$. Portanto, faz-se necessário a conversão dos dados para obtermos uma capacidade geracional.

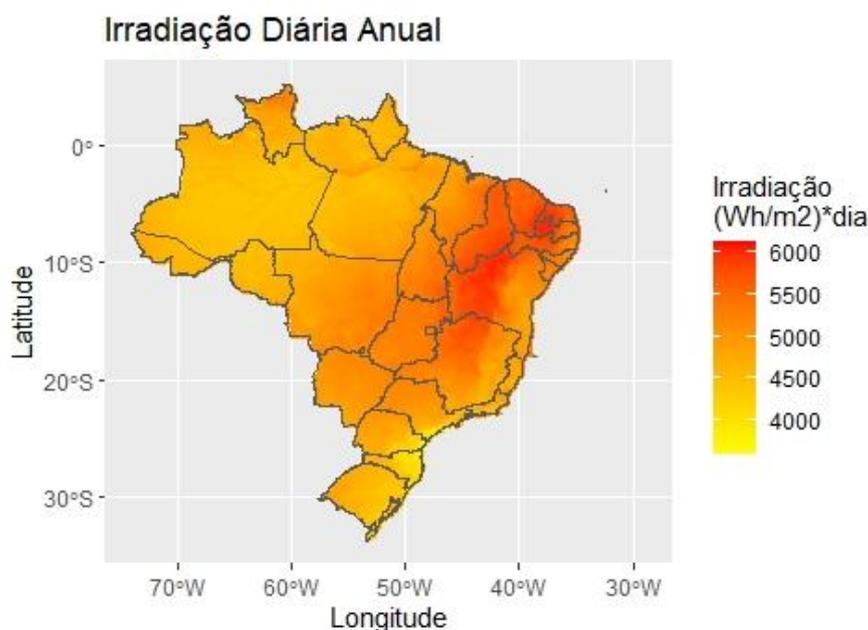


Figura 2 - Fonte: LABREN, produção do autor

Através do mapa de irradiação média do território brasileiro, podemos observar que há uma maior incidência na faixa fronteiriça as regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste que serão posteriormente analisadas mais profundamente. O Brasil possui uma média de irradiação anual de $5.035,32 \text{ Wh/m}^2\cdot\text{dia}$ e podemos verificar o potencial através da seguinte tabela:

Potencial de Geração - BRASIL	
Média Anual (Wh/m².dia)	5.035,52
Dias	365
Potencial Anual (Wh/m²)	1.837.963,17
Área Brasil (m²)	851.034.554.000,00
Irradiância (MWh)	1.564.170.166.079,37

Tabela 1 - Fonte: LABREN, IBGE, formulação própria

Vemos que a incidência média anual, para ser estabelecido posteriormente um potencial geracional, é na ordem de $1,56 \times 10^{12}$ MWh. No ano de 2021, foi consumido um total de $5,02 \times 10^8$ MWh e, portanto, mesmo de forma simplória, podemos entender que há um grande potencial não aproveitado.

Dos 5.570 municípios brasileiros, 2.707 municípios possuem uma média de irradiação anual acima da média brasileira, ou seja, 48,6% dos municípios. Esses municípios estão distribuídos da seguinte forma:

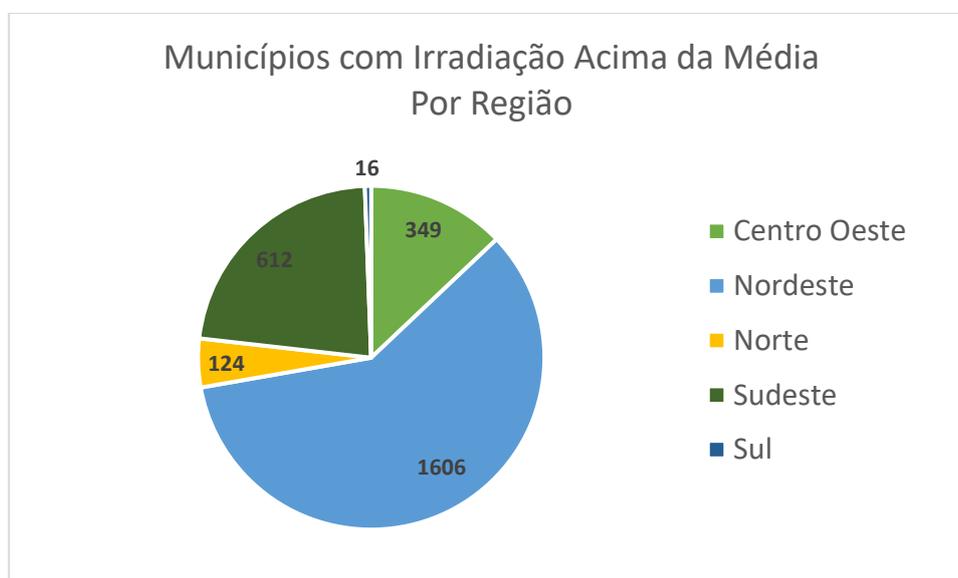


Figura 3 - Fonte: LABREN, formulação própria

Visto que 59% dos municípios com maior potencial estão no Nordeste, vamos seguir a análise focando na região com maior potencial à região com menor potencial.

4.2. Conjuntura Regional

- **Nordeste**

O Nordeste é o terceiro maior estado do país, contando com uma área de aproximadamente 1,5 milhões de quilômetros quadrados divididos em 9 estados e 1794 municípios. É a região com maior potencial para geração de energia através da atividade fotovoltaica uma vez que possui uma média de irradiação anual de 5.464,90 Wh/m².dia.

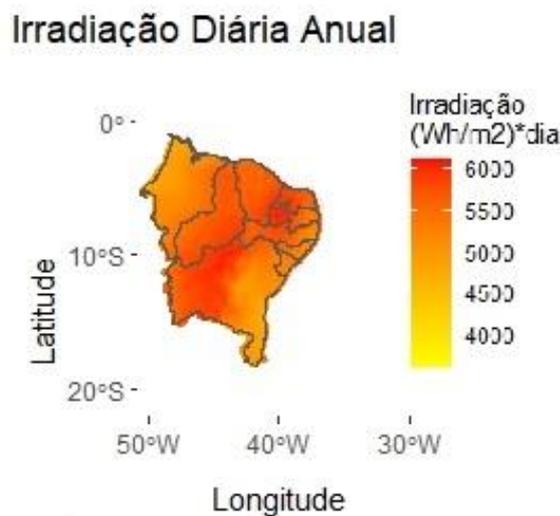


Figura 4 - Fonte: LABREN, formulação própria

O mapa acima permite verificarmos a grande concentração de municípios com irradiação média diária acima da média brasileira, uma vez que cerca de 90% dos municípios estão acima da média brasileira de 5.035,32 Wh/m².dia.

A verificação desse fato pode ser dada através da tabela abaixo que nos mostra o Potencial de Geração de eletricidade sendo quase duas vezes maior do que quando consideramos o Brasil como um todo. Mesmo com todo esse potencial, o Nordeste possui apenas 6,29 GW de capacidade instalada de geração fotovoltaica (2021).

Potencial de Geração - NORDESTE	
Média Anual (Wh/m².dia)	5.464,90
Dias	365
Potencial Anual (Wh/m²)	1.994.688,50
Área (m²)	1.552.175,42
Irradiância (MWh)	3.096.106.460.256,67

Tabela 2 - Fonte: LABREN, IBGE, formulação própria

A incidência de irradiação média do Nordeste é suficientemente maior do que as outras regiões do país, fato este que justifica a grande concentração de projetos centralizado na região, cerca de 70% (Bezerra, 2021). Em 2021, a região foi responsável por consumir aproximadamente $8,69 \times 10^8$ MWh, correspondendo a menos de 1% da irradiância anual média.

Dos 9 estados nordestinos, 4 possuem uma média de irradiação diária anual maior do que a média da região, sendo Ceará, Paraíba, Piauí e Rio Grande do Norte. Contudo, vale destacar que a média anual de todos os estados é maior do que média do país.

Devido ao movimento de translação da terra, diferentes períodos do ano possuem diferentes taxas de irradiação diária. Obviamente, ao pensar em termos de projetos para produção de energia, torna-se necessário uma avaliação mais cuidadosa. Porém, como o objetivo do presente trabalho é apenas realizar uma análise dos potenciais, passaremos rapidamente por essas variações, conforme tabela abaixo.

Estado	AL	BA	CE	MA	PR	PE	PI	RN	SE
Anual	5.326,64	5.245,30	5.665,03	5.201,06	5.649,01	5.427,26	5.717,40	5.742,35	5.315,51
Jan	6.031,64	6.125,52	5.467,27	4.760,68	5.930,11	5.925,64	5.433,98	5.940,32	6.166,76
Fev	5.902,83	6.046,78	5.522,28	4.858,36	5.956,26	5.861,18	5.416,66	5.980,18	6.007,16
Mar	5.896,20	5.709,69	5.488,46	4.843,27	5.985,58	5.877,51	5.392,62	5.980,57	5.890,40
Abr	5.143,38	4.876,69	5.077,71	4.810,28	5.543,87	5.280,42	5.227,47	5.590,21	5.048,84
Mai	4.311,47	4.258,64	5.096,41	4.861,98	4.930,01	4.533,20	5.221,70	5.129,59	4.262,03
Jun	3.960,96	3.954,17	5.019,82	5.081,85	4.500,75	4.136,91	5.258,14	4.741,51	3.986,08
Jul	4.067,91	4.172,99	5.337,55	5.270,55	4.705,51	4.290,80	5.560,79	4.979,71	4.090,13
Ago	4.690,13	4.761,04	6.041,83	5.794,77	5.461,34	5.017,25	6.198,38	5.690,27	4.645,37
Set	5.493,74	5.490,46	6.424,54	6.036,59	6.021,45	5.751,49	6.559,83	6.129,65	5.416,79
Out	5.826,51	5.675,57	6.397,36	5.682,55	6.226,87	5.997,68	6.398,54	6.304,57	5.764,09
Nov	6.321,32	5.730,10	6.318,08	5.357,19	6.403,35	6.297,99	6.152,94	6.404,83	6.230,73
Dez	6.273,31	6.141,60	5.789,07	5.055,20	6.123,10	6.156,83	5.788,01	6.036,54	6.277,09

Tabela 3 - Fonte: LABREN, formulação própria

- **Centro Oeste**

Sendo a segunda maior região do Brasil com aproximadamente 1,6 milhões de metros quadrados, divididos em três estados, mais o Distrito Federal, e 467 municípios. Desses municípios, 349 tem irradiação anual média maior do que a média do país, sendo, portanto, a região com o segundo maior percentual de municípios com irradiação acima da média.

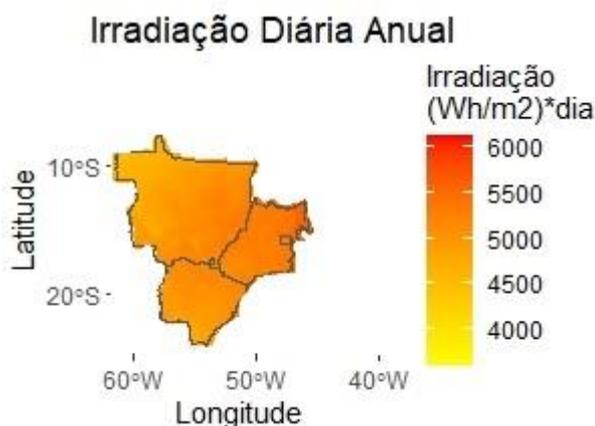


Figura 5 - Fonte: LABREN, formulação própria

Podemos perceber pelo mapa de irradiação acima que quanto mais próximo da região nordeste, maior é o tom de vermelho observado. Portanto, seria razoável afirmar que quanto maior for o afastamento de um município em relação ao Nordeste, menor será também o potencial de geração de energia fotovoltaica. Contudo, o Centro Oeste ainda possui uma média relativamente maior do que do Brasil, sendo está de 5.163,88 Wh/m².dia.

A região agora analisada possui a segunda menor densidade demográfica (10,5 hab./km²) de acordo com as projeções populacionais do IBGE, ganhando apenas da região Norte. Além disso, aliada a forte atividade agropecuária na região e , sua densidade demográfica fator torna-se importante ao avaliar a necessidade de implementação de projetos fotovoltaicos na região.

Em 2021, o Centro Oeste teve o segundo menor consumo de eletricidade do Brasil sendo de apenas 3,98 x 10⁷ MWh, ou seja, 7,94% do total consumido no país. Assim como na região nordeste, o consumo de eletricidade não chega a 1% da Irradiância na região, conforme podemos observar na Tabela 4.

Potencial de Geração – CENTRO OESTE	
Média Anual (Wh/m².dia)	5.163,88
Dias	365
Potencial Anual (Wh/m²)	1.884.816,20
Área (m²)	1.600.597,90
Irradiância (MWh)	3.016.832.851.605,98

Tabela 4 - Fonte: LABREN, IBGE, formulação própria

- **Sudeste**

O Sudeste é tido como a principal região do país, com maior PIB e a maior densidade demográfica (96,94 hab./km²). Possui a segunda menor área, cerca de 925 mil metros quadrados, sendo apenas maior do que o Sul. Portanto, a análise da região recai sobre a possibilidade da implementação de geração distribuída a fim de suprir a demanda de eletricidade doméstica, por exemplo.

Das 5 regiões, o Sudeste é responsável pelo maior consumo de eletricidade do país, atingindo a marca de 245.872.276 MWh no ano de 2021, ou seja, praticamente a metade da eletricidade demanda. Porém, apesar de ter uma média de irradiação anual menor do que a do Brasil, ainda seria capaz de aumentar a geração de energia fotovoltaica substancialmente, conforme mostrado na Tabela 5.

Potencial de Geração – SUDESTE	
Irradiação Média Anual (Wh/m².dia)	4.943,14
Dias	365
Potencial Anual (Wh/m²)	1.804.246,10
Área (m²)	924.558,34
Irradiância (MWh)	1.668.130.780.971,72

Tabela 5 - Fonte: LABREN, IBGE, formulação própria

Apesar da média da região estar abaixo da média nacional, o Sudeste conta com 616 municípios que estão acima dessa média, sua grande maioria localizada no estado de Minas Gerais e dentro da região do Cerrado. Uma avaliação para implementação de projetos maiores de Usinas Fotovoltaicas poderia ser realizada neste pedaço onde o potencial é maior, a fim de poder tornar a oferta de eletricidade mais confiável para a região.

- **NORTE**

O Norte do Brasil é a maior região do país, contando com aproximadamente 3,87 milhões de quilômetros quadrados, ou seja, 45% do território brasileiro. A grande dificuldade para a expansão da geração de eletricidade fotovoltaica é devido ao bioma da região, Amazônia, pois possui extensas áreas de floresta o que reduz a irradiação global.

Contudo, 124 municípios estão acima da média anual nacional, sua grande maioria encontra-se ao leste da região, devido a maior proximidade do Cerrado e maior distância da Amazônia. Podemos observar pelos resultados demonstrados na Tabela 6 que o potencial solar da região é vastamente superior ao consumo em 2021 - $3,6 \times 10^7$ MWh.

Potencial de Geração – NORTE	
Média Anual (Wh/m².dia)	4.854,67
Dias	365
Potencial Anual (Wh/m²)	1.771.954,55
Área (m²)	3.850.516,28
Irradiância (MWh)	6.822.939.833.335,30

Tabela 6 - Fonte: LABREN, IBGE, elaboração própria

- **SUL**

O Sul do Brasil é a menor das 5 regiões do país, mas possui a segunda maior densidade demográfica. Assim como o Sudeste, a importância da implementação de projetos fotovoltaicos recai sobre a geração distribuída, não só pela alta densidade demográfica, mas também pela baixa irradiação ao longo do ano e devido a fatores climáticos associados ao posicionamento geográfico.

A região em questão possui apenas 16 municípios com média superior à média nacional, fato que mostra a viabilidade da expansão da geração solar no Sul. Além disso, seu potencial continua sendo maior do que o consumo de eletricidade em 2021 – 92×10^6 MWh.

Potencial de Geração – SUL	
Média Anual (Wh/m².dia)	4.535,68
Dias	365
Potencial Anual (Wh/m²)	1.655.523,20
Área (m²)	576.736,82
Irradiância (MWh)	954.801.189.115,27

Tabela 7 - Fonte: LABREN, IBGE, elaboração própria

4.3. Conjuntura Estadual

Vimos até agora, alguns resultados que proporcionaram certo esclarecimento a respeito do potencial solar das regiões e municípios brasileiros. Porém, para podermos ter uma perspectiva melhor da aplicação deste potencial encontrado no território brasileiro, faz-se necessário aplicar uma análise do ponto de vista do consumo e para termos uma noção aproximada da área de implementação necessária.

Para tanto, observaremos a Tabela 8 abaixo:

Estado	Irradiação Anual Média (MWh/m²)	Consumo 2021 (MWh)	Área de Implementação (m²)
Rondônia	4.603,13	3.359.264	730
Acre	4.601,82	1.095.148	238
Amazonas	4.492,85	6.187.940	1.377
Roraima	4.898,60	1.035.821	211
Pará	4.805,80	21.136.221	4.398
Amapá	4.705,06	1.140.010	242
Tocantins	5.213,30	2.524.356	484
Maranhão	5.201,06	8.146.928	1.566
Piauí	5.717,40	3.961.522	693
Ceará	5.665,03	12.872.723	2.272
Rio Grande do Norte	5.742,35	6.038.024	1.051
Paraíba	5.649,01	5.881.376	1.041
Pernambuco	5.427,26	15.212.343	2.803
Alagoas	5.326,64	4.634.710	870
Sergipe	5.315,51	3.873.658	729
Bahia	5.245,30	26.198.576	4.995
Minas Gerais	4.998,92	60.373.963	12.077
Espirito Santo	4.820,97	10.194.712	2.115
Rio de Janeiro	4.719,22	38.246.464	8.104
São Paulo	4.916,09	137.057.137	27.879
Paraná	4.746,51	34.518.683	7.272
Santa Catarina	4.304,74	27.884.539	6.478
Rio Grande do Sul	4.503,44	30.357.370	6.741
Mato Grosso do Sul	4.991,77	6.341.372	1.270
Mato Grosso	5.025,93	9.770.041	1.944
Goiás	5.297,87	17.324.457	3.270
Distrito Federal	5.252,00	6.406.674	1.220

A partir dos resultados obtidos acima, podemos encontrar a área de implementação de painéis solares considerando 100% de eficiência, ou seja, toda a irradiação recebida por metro quadrado é convertida em eletricidade.

Contudo, por se tratar de um cenário ideal que se encontra bem longe do que de fato temos hoje disponível no mercado. Dos principais módulos fotovoltaicos analisados por BLASZCZAK (2017), foi estimado que há em média 14% de conversão da irradiação em eletricidade, portanto, foi possível obter alguns resultados mais relevantes.

Estado	Irradiação Anual Média (MWh/m2)	Geração Eficiência 14% (MWh/m2)	Consumo 2021 (MWh)	Área de Implementação (m2)
Rondônia	4.603,13	644,44	3.359.264	5.213
Acre	4.601,82	644,25	1.095.148	1.700
Amazonas	4.492,85	629,00	6.187.940	9.838
Roraima	4.898,60	685,80	1.035.821	1.510
Pará	4.805,80	672,81	21.136.221	31.415
Amapá	4.705,06	658,71	1.140.010	1.731
Tocantins	5.213,30	729,86	2.524.356	3.459
Maranhão	5.201,06	728,15	8.146.928	11.189
Piauí	5.717,40	800,44	3.961.522	4.949
Ceará	5.665,03	793,10	12.872.723	16.231
Rio Grande do Norte	5.742,35	803,93	6.038.024	7.511
Paraíba	5.649,01	790,86	5.881.376	7.437
Pernambuco	5.427,26	759,82	15.212.343	20.021
Alagoas	5.326,64	745,73	4.634.710	6.215
Sergipe	5.315,51	744,17	3.873.658	5.205
Bahia	5.245,30	734,34	26.198.576	35.676
Minas Gerais	4.998,92	699,85	60.373.963	86.267
Espirito Santo	4.820,97	674,94	10.194.712	15.105
Rio de Janeiro	4.719,22	660,69	38.246.464	57.889
São Paulo	4.916,09	688,25	137.057.137	199.138
Paraná	4.746,51	664,51	34.518.683	51.946
Santa Catarina	4.304,74	602,66	27.884.539	46.269
Rio Grande do Sul	4.503,44	630,48	30.357.370	48.149
Mato Grosso do Sul	4.991,77	698,85	6.341.372	9.074
Mato Grosso	5.025,93	703,63	9.770.041	13.885
Goiás	5.297,87	741,70	17.324.457	23.358
Distrito Federal	5.252,00	735,28	6.406.674	8.713

Percebemos, portanto, que todos os estados brasileiros conseguiriam produzir energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos sem chegar a ocupar 1% do seu território. Logo, podemos inferir que há um enorme potencial ainda não explorado no país.

5. Consumo de Eletricidade e População

Ano	População	Consumo (MWh)
2021	213.317.639	501.774.032
2020	211.755.692	476.568.909
2019	210.147.125	482.515.814
2018	208.494.900	475.764.500
2017	206.804.741	467.474.733
2016	205.156.587	462.068.775
2015	203.475.683	465.987.156
2014	201.717.541	474.823.454
2013	200.004.188	463.142.494
2012	198.314.934	448.126.391
2011	196.603.732	433.015.634
2010	194.890.682	415.667.758

Tabela 8 - Fonte: IBGE, Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021, formulação própria

Tendo como propósito prover um ponto de partida para a expansão da geração eletricidade fotovoltaica, devemos observar a relação entre o crescimento populacional e o consumo de energia. Para isso, podemos utilizar uma regressão linear simples para que possamos ter ao menos uma noção do comportamento do consumo.

Desta forma, iremos assumir o Consumo como variável dependente e a População como variável independente:

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta} * X_i$$

Onde:

- \hat{Y}_i é o valor predito do consumo dada uma população (X_i);
- X é a variável independente (População);
- $\hat{\alpha}$ é o intercepto;
- $\hat{\beta}$ a inclinação da regressão;

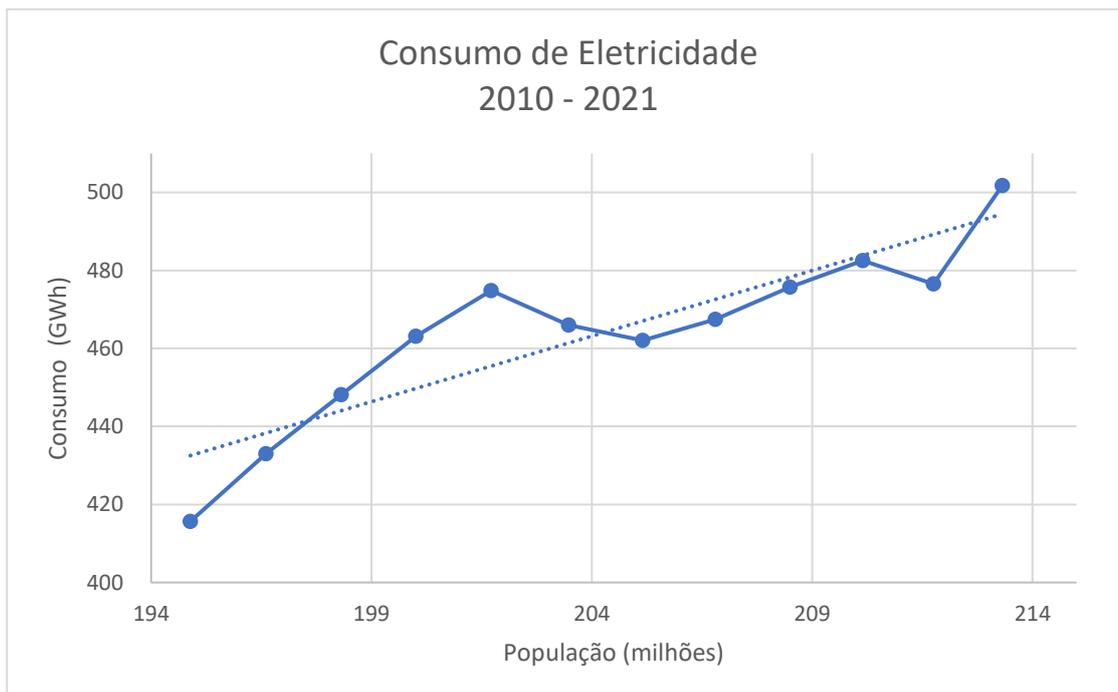


Figura 6 - Fonte: IBGE, Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021, formulação própria

Temos, portanto, a seguinte equação:

$$Y = 3,361x - 222,48$$

Utilizando a projeção da população elaborada pelo IBGE, veremos a seguinte evolução no consumo:

Ano	Projeção População	Projeção Consumo (MWh)
2022	214.828.540,00	522.038.722,94
2023	216.284.269,00	526.931.428,11
2024	217.684.462,00	531.637.476,78
2025	219.029.093,00	536.156.781,57
2026	220.316.530,00	540.483.857,33
2027	221.545.234,00	544.613.531,47
2028	222.713.669,00	548.540.641,51
2029	223.821.305,00	552.263.406,11
2030	224.868.462,00	555.782.900,78
2031	225.854.415,00	559.096.688,82

Figura 7 - Fonte: IBGE, Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021, formulação própria

Para conseguirmos ter dimensão da necessidade de expansão da implementação de uma matriz com maior participação da geração de eletricidade a partir dos sistemas fotovoltaicos, utilizamos do mesmo recurso utilizado no Tópico 5.3. Foi utilizado o mesmo raciocínio para avaliar a área necessária para suprir a demanda elétrica brasileira nas projeções até 2031.

Ano	Consumo 2021 (MWh)	Área de Implementação (m2)
2021	501.774.032	248.280
2022	522.038.722,94	258.179
2023	526.931.428,11	260.470
2024	531.637.476,78	262.667
2025	536.156.781,57	264.769
2026	540.483.857,33	266.774
2027	544.613.531,47	268.680
2028	548.540.641,51	270.484
2029	552.263.406,11	272.185
2030	555.782.900,78	273.785
2031	559.096.688,82	275.281

6. Conclusão

Vimos, através dos resultados obtidos com as análises da Irradiação Solar no território brasileiro, o grande potencial do país em geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos. Das 5 regiões brasileiras, o Nordeste foi o que se mostrou mais promissor na geração fotovoltaica uma vez que apresenta maior quantidade de municípios com índices de irradiação acima da média brasileira e menor variação da irradiação ao longo do ano.

Os municípios do Centro Oeste brasileiro apresentaram valores relevantes para expansão da geração fotovoltaica na região, principalmente aos municípios que estão mais próximos do cerrado. Além disso, devido a baixa densidade demográfica e o relevo, o Centro Oeste do país pode vir a ser uma boa localidade para instalação de usinas fotovoltaicas de maior porte.

Devido às altas densidades demográficas, as regiões Sudeste e Sul, possuem uma maior viabilidade para projetos de geração distribuída, uma vez que os municípios com maior consumo de eletricidade e maior população têm um grande potencial solar não explorado.

Por fim, percebemos que há uma grande possibilidade da expansão da geração de eletricidade no país de fonte solar. Além disso, as projeções de consumo para a próxima década não se mostraram como um grande desafio à manutenção do acesso à eletricidade no Brasil, principalmente, pois, como vimos, o potencial solar seria capaz de suprir a demanda utilizando muito menos do que 1% do território brasileiro.

7. Referências Bibliográficas

- VELLOSO, Verônica Pimenta. A eletricidade no Brasil sob a perspectiva da história social. História, Ciências e saúde -Manguinhos, Rio de Janeiro: set./dez. 2002, vol.9, no.3, p.705-709.
- BEZERRA, Francisco Diniz. Energia solar. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n.174, jul. 2021
- VIANA, Trajano de Souza et al. POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM CONCENTRAÇÃO NO BRASIL. III Congresso Brasileiro de Energia Solar - Belém, 2011.
- EPE, Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2020 – Ano base 2019
- OLIVEIRA, David. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO, 2017
- JUNIOR, Hélio de Souza Morais. et al. APLICAÇÃO DE ENERGIA SOLARFOTOVOLTAICA – UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO AMAZÔNICA. Belém: REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.2, N.4, p.1303 - 1309, 2012
- ABEBERESE, A. B. (2017): “Electricity Cost and Firm Performance: Evidence from India,” Review of Economics and Statistics, 99, 839–852.
- DINKELMAN, Taryn (2011). The Effects of Rural Electrification on Employment: New Evidence from South Africa.
- VIANA, Trajano de Souza (2010). POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM CONVENTRADOR NO BRAIL.
- BRAMBILLA, P. H. M.; MUELLER, B. M. P. / UNOPAR Cient., Ciênc. Juríd. Empres., Londrina, v. 5, p. 33-45, mar. 2004
- LIPSCOMB ET AL. (2013): Development effects of electrification: Evidence from the Topographic Placement of Hydropower Plants in Brazil
- NERI, Marcelo(2013). Duas Décadas de desigualdade e pobreza no Brasil medidas pela PNAD/IBGE.
- DATT, G.; RAVALLION, M. Growth and redistribution components of changes in poverty measures: a decomposition with applications to Brazil and India in the 1980s. Journal of Development Economics, v. 38, p. 275–295, 1992.