



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO- UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS- CCT
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DIEGO PEREIRA COQUEIRO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO E UM
SISTEMA EÓLICO PARA ABASTECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA
RESIDÊNCIA EM SÃO LUÍS DO MARANHÃO**

São Luís
2019

DIEGO PEREIRA COQUEIRO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM SISTEMA FOTOVOLTÁICO E UM
SISTEMA EÓLICO PARA ABASTECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA
RESIDÊNCIA EM SÃO LUÍS DO MARANHÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Airton Egydio Petinelli

São Luís

2019

Coqueiro, Diego Pereira.

Análise comparativa entre um sistema solar fotovoltaico e um sistema eólico para abastecimento de energia elétrica de uma residência em São Luís do Maranhão / Diego Pereira Coqueiro. – São Luís, 2019.

95 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Me. Airton Egydio Petinelli.

1.Energia solar. 2.Sistema fotovoltaico. 3.Energia eólica. 4.Viabilidade econômica. 5.Dimensionamento. I.Título

CDU: 620.92(812.1)

DIEGO PEREIRA COQUEIRO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO E UM
SISTEMA EÓLICO PARA ABASTECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA DE UMA
RESIDÊNCIA EM SÃO LUÍS DO MARANHÃO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Airton Egydio Petinelli


Aprovado em: 03 / 12 / 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Airton Egydio Petinelli

Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho

Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Me. Adriana Oliveira Carvalho

Universidade Estadual do Maranhão

Aos meus pais, Maria Perizalda Pereira e Dioclecio Sousa Coqueiro, pela paciência, incentivo e compreensão ao longo dessa árdua etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Maria Perizalda Pereira e Dioclecio Sousa Coqueiro, que são meus heróis, orgulho e inspiração, me incentivando muito, foram meu porto seguro, me ampararam e se esforçaram integralmente para que oferecessem a melhor educação possível desde sempre. Sem eles, seria impossível chegar onde cheguei e ser a pessoa que eu sou.

À minha namorada, Laura Cristina Lopes de Alencar, por entender minha ausência, por me apoiar e ajudar em todos os momentos, pela compreensão e companheirismo.

À minha família, eu deixo uma palavra de gratidão por todo conforto e ânimo que me deram.

Aos meus amigos de turma, que me ajudaram a passar por vários problemas no decorrer da jornada, sempre prestativos e apoiando quando possível.

Ao meu orientador, Airton Egydio Petinelli, pela assistência no pouco tempo que lhe coube, pelas correções, conselhos, por todo o suporte e por confiar desde o início neste projeto.

À UEMA, instituição tão importante, agradeço o ambiente propício à evolução e crescimento e pelos ensinamentos passados através dos professores, coordenadores e todos os profissionais da constituição.

Enfim, a todos que, de forma direta ou indireta, me ajudaram a obter essa conquista na minha vida.

RESUMO

O presente trabalho investiga o uso de energia elétrica renovável, especificamente a solar fotovoltaica e eólica, para uma residência localizada em São Luís, Maranhão, assim analisando qual dos dois tipos apresenta maior rentabilidade com o passar dos anos, deste modo, o estudo apresenta qual dos dois modelos energéticos é o mais rentável baseando-se em preceitos técnicos, nas especificações do local e residências utilizadas no estudo. Isto posto foram dimensionados os sistemas para abastecimento de energia elétrica, tanto o solar fotovoltaico quanto o eólico, todos orçamentados e comparados com os custos do sistema tradicional de abastecimento elétrico da região em estudo, dados estes que foram retirados da companhia distribuidora de energia elétrica responsável pela região em questão, buscando encontrar qual é o mais rentável. Os resultados encontrados foram que todos os sistemas propostos são investimentos viáveis, com algumas situações prevalecendo o uso de energia eólica, isso se deve ao fato das altas tributações impostas pela companhia energética e de que os sistemas eólicos não necessitam de sistema de fixação e inversor a parte, fazendo com que a maior parte dos insumos cobrados não seja da energia elétrica propriamente dita, mas de impostos.

Palavras-chave: Energia solar. Sistema Fotovoltaico. Energia Eólica. Viabilidade Econômica. Dimensionamento.

ABSTRACT

The present work investigates the use of renewable electric energy, specifically photovoltaic and wind solar energy, for a residence located in São Luís, Maranhão, thus analyzing which of the two types has the highest profitability over the years, therefore, this work presents which of the two models is the most profitable based on technical precepts, site specifications and residences used in the study. Thus, the systems for the electricity supply, both solar photovoltaic and wind, were all budgeted and compared with the costs of the traditional electricity supply system of the region under study, which were taken from the electricity distribution company responsible the region in question, seeking to find which one is the most profitable. The results found were that all proposed systems are viable investments, with some situations prevailing the use of wind energy, this is due to the fact that the high taxes imposed by the energy company and that wind systems do not require a clamping and inverter system apart from, making that most of the inputs charged are not electricity itself, but of taxes.

Keywords: Solar energy. Photovoltaic system. Wind energy. Economic viability. Sizing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução do uso das energias renováveis	19
Figura 2 - Sistema de conjunto fototérmico	21
Figura 3 - Geração e potência solar instalada no mundo em 2016.....	22
Figura 4 - Potencial solar no mundo	23
Figura 5 - Efeito fotovoltaico na junção PN	25
Figura 6 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica	26
Figura 7 - Célula fotovoltaica de silício monocristalino	27
Figura 8 - Célula fotovoltaica de silício policristalino.....	27
Figura 9 - Célula fotovoltaica de silício amorfo	28
Figura 10 - Célula fotovoltaica de silício cuasi-mono.....	29
Figura 11 - Células fotovoltaicas CIGS	29
Figura 12 - Comparativo entre tipos de células e módulos fotovoltaicas.....	31
Figura 13 - Módulo fotovoltaico	32
Figura 14 - Bateria	32
Figura 15 - Inversor	33
Figura 16 - Controlador de carga	34
Figura 17 - String box.....	34
Figura 18 - Sistema off grid	35
Figura 19 - Sistema on grid	36
Figura 20 - Sistema híbrido eólico e solar.....	36
Figura 21 - Perfil vertical da velocidade dos ventos.....	38
Figura 22 - Distribuição da área de cada continente segundo a velocidade.....	39
Figura 23 - Princípio de funcionamento de um aerogerador	40
Figura 24 - Aerogerador eólico vertical tipo Darrius.....	41
Figura 25 - Aerogerador eólico vertical tipo Savonius	42
Figura 26 - Aerogerador eólico horizontal.....	43
Figura 27 - Detalhamento nacele	43
Figura 28 - Gerador e caixa de transmissão	45
Figura 29 - Localização do imóvel a ser estudado	55
Figura 30 - Residência escolhida para o estudo.....	56
Figura 31 - Dados referentes as classificações e especificações do imóvel	57
Figura 32 - Histórico de consumo	57

Figura 33 - Dados tarifários e impostos do imóvel	58
Figura 34 - Latitude, longitude e altitude do objeto de estudo.....	59
Figura 35 - Inserção de dados no portal CRESESB	59
Figura 36 - Irradiação ao dia para a área do objeto de estudo.....	60
Figura 37 - Inserção de dados e velocidade média anual em m/s da região de estudo para 50 metros	60
Figura 38 - Velocidade média anual do vento para 100 metros.....	61
Figura 39 - Velocidade média anual do vento para 150 metros.....	62
Figura 40 - Velocidade anual média do vento para 200 metros.....	62
Figura 41 - Ábaco de geração de energia anual em kW de acordo com o vento m/s	65
Figura 42 - Ábaco de geração de energia anual em kW de acordo com o vento m/s	67
Figura 43 - Ábaco de geração de energia anual em kW de acordo com o vento m/s	68
Figura 44 - Ábaco de geração de energia anual em kW de acordo com o vento m/s	70
Figura 45 - Inversor Fronius 8200W	72
Figura 46 - Conjunto de fixação com módulos fixados	73
Figura 47 - String box neosolar pro 3x1	74
Figura 48 - Conectores MC4	75
Figura 49 - Cabo condutor 4mm ² preto	76
Figura 50 - Cabo condutor 4mm ² vermelho.....	76
Figura 51 - Gráfico com porcentagem dos valores da fatura do mês 10/2019 do imóvel em estudo	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico	64
Tabela 2 - Especificações do aerogerador para 50 metros de altitude	65
Tabela 3 - Especificações do aerogerador para 100 metros de altitude	66
Tabela 4 - Especificações do aerogerador para 150 metros de altitude	68
Tabela 5 - Especificações do aerogerador para 200 metros de altitude	69
Tabela 6 - Especificações técnicas do inversor para o sistema fotovoltaico	72
Tabela 7 - Especificações técnicas da string box	74
Tabela 8 - Premissas gerais da viabilidade	79
Tabela 9 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema fotovoltaico completo	79
Tabela 10 - Análise de viabilidade de retorno do investimento do sistema solar	82
Tabela 11 - Tempo de retorno para o sistema fotovoltaico	83
Tabela 12 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema eólico completo instalado à 50 metros de altitude	83
Tabela 13 - Tempo de retorno para o sistema eólico de 50 metros de altitude	84
Tabela 14 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema eólico completo instalado à 100 metros de altitude	84
Tabela 15 - Tempo de retorno para o sistema eólico de 100 metros de altitude	84
Tabela 16 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema eólico completo instalado à 150 metros de altitude	85
Tabela 17 - Tempo de retorno para o sistema eólico de 150 metros de altitude	85
Tabela 18 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema eólico completo instalado à 200 metros de altitude	85
Tabela 19 - Tempo de retorno para o sistema eólico de 200 metros de altitude	86
Tabela 20 - Tipo de sistema e seus respectivos retornos acumulado e descontado	88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivo específico	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Fontes renováveis de energia.....	18
2.2 Energia solar.....	20
2.2.1 Potencial energético energia solar.....	21
2.3 Energia solar fotovoltaico.....	23
2.3.1 Efeito fotovoltaico.....	24
2.3.2 Célula fotovoltaica	26
2.3.2.1 Célula fotovoltaica de silício monocristalino.....	26
2.3.2.2 Célula fotovoltaica de silício policristalino	27
2.3.2.3 Célula fotovoltaica de silício amorfo.....	28
2.3.2.4 Célula fotovoltaica de silício cuasi-mono.....	28
2.3.2.5 Célula fotovoltaica de disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS).....	29
2.3.2.6 Célula fotovoltaica de telureto de cádmio (CdTe).....	30
2.3.2.7 Célula fotovoltaica de película fina	30
2.3.2.8 Células fotovoltaicas orgânicas.....	30
2.3.3 Comparativo entre os tipos de células fotovoltaicas.....	30
2.3.4 Sistema fotovoltaico	31
2.3.4.1 Módulo fotovoltaico	31
2.3.4.2 Bateria.....	32
2.3.4.3 Inversores	33
2.3.4.4 Controlador de carga	33
2.3.4.5 String box.....	34
2.3.5 Categorias de um sistema fotovoltaico	35
2.3.5.1 Sistema isolado ou <i>off grid</i>	35
2.3.5.2 Sistema conectado a uma rede ou <i>on grid</i>	35
2.3.5.3 Sistema híbrido	36
2.4 Energia eólica	37
2.4.1 Ventos.....	37

2.4.2 Potencial energético eólico SUMÁRIO	39
2.4.3 Aerogeradores.....	40
2.4.3.1 Turbina eólica de eixo vertical.....	41
2.4.3.2 Turbinas eólicas de eixo horizontal.....	42
2.4.4 Componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal.....	43
2.4.4.1 Nacele.....	43
2.4.4.2 Pás.....	44
2.4.4.3 Cubo.....	44
2.4.4.4 Transmissão e caixa multiplicadora.....	44
2.4.4.5 Gerador.....	44
2.4.4.6 Torre.....	45
3. METODOLOGIA.....	46
3.1 Área de estudo.....	46
3.2 Dados.....	46
3.3 Dimensionamentos.....	48
3.3.1 Energia de geração.....	48
3.3.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos.....	48
3.3.3 Dimensionamento sistema eólico.....	49
3.3.4 Dimensionamento dos inversores.....	50
3.3.5 Sistema de fixação.....	51
3.3.6 Dimensionamento proteção.....	51
3.3.6.1 Disjuntores.....	51
3.3.6.2 Fusíveis.....	52
3.3.6.3 <i>String box</i>	52
3.3.8 Cálculo de retorno dos investimentos.....	53
4. ESTUDO DE CASO.....	55
4.2 Dados.....	56
4.2.1 Dados do imóvel.....	56
4.2.2 Dados solares.....	59
4.2.3 Dados eólicos.....	60
4.3 Dimensionamentos.....	63
4.3.1 Energia de geração.....	63
4.3.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos.....	63
4.3.3 Dimensionamento sistema eólico.....	64

4.3.3.1 Para 50 metros de altitude	SUMÁRIO	64
4.3.3.2 Para 100 metros de altitude		66
4.3.3.3 Para 150 metros de altitude		68
4.3.3.4 Para 200 metros de altitude		69
4.3.5 Dimensionamento dos inversores		71
4.3.5.1 No sistema fotovoltaico		71
4.3.5.2 No sistema eólico		72
4.3.6 Sistema de fixação		72
4.3.7 Dimensionamento proteção		73
4.3.8 Dimensionamento dos cabos condutores		74
4.3.8.1 Para o sistema fotovoltaico		74
4.3.8.2 Para o sistema eólico		76
4.3.8.2.1 Para 50 metros de altitude		76
4.3.8.2.2 Para 100 metros de altitude		77
4.3.8.2.3 Para 150 metros de altitude		77
4.3.8.2.4 Para 200 metros de altitude		78
4.3.9 Cálculo de retorno dos investimentos		78
4.3.9.1 No sistema solar		79
4.3.9.2 No sistema eólico		83
4.3.9.2.1 Para 50 metros de altitude		83
4.3.9.2.2 Para 100 metros de altitude		84
4.3.9.2.3 Para 150 metros de altitude		85
4.3.9.2.4 Para 200 metros de altitude		85
5. CONCLUSÃO		87
REFERÊNCIAS		89

1 INTRODUÇÃO

A eletricidade se tornou uma das mais versáteis maneiras de uso de energia, se tornando um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países. Os avanços tecnológicos no ramo da energia elétrica, permitiram que ela chegue aos locais mais afastados, transformando-os em grandes centros urbanos, fato que é facilmente observado através de satélites e pelo dia a dia (ANEEL, 2002).

Nas últimas três décadas, o consumo de energia no Brasil cresce a uma taxa de 5% ao ano, fazendo-se necessário investir em outras fontes de energia. O Brasil é rico em recursos naturais renováveis, com uma matriz energética predominante hidrelétrica, cerca de 70% da oferta interna total, mas que vem sendo suprido através de outras fontes renováveis (FRANÇA, 2016).

As energias de fontes renováveis mais utilizadas são energia eólica, energia hidráulica, energia do mar, energia solar, energia geotérmica e biomassa, a utilização dessas acarreta numa redução do uso de combustíveis fósseis, essas além de serem praticamente inesgotáveis, apresentam pouco ou quase nenhum impacto ambiental, sem afetar a composição atmosférica do planeta e o seu balanço térmico. Provendo para regiões mais afastadas maior desenvolvimento (COSBEY, 2011).

Para esse trabalho duas serão destacadas, a primeira que é a energia solar fotovoltaica, que segundo Braga (2008) é obtida através da conversão da radiação solar em energia elétrica por meio de materiais semicondutores, e a segunda, energia eólica, que de acordo com Alves (2015) é obtida através dos rotores que giram, por meio do vento, convertendo essa força do vento em energia cinética.

O trabalho abordará energia solar fotovoltaica, e energia eólica, comparando ambas para o abastecimento em uma residência, considerando aspectos técnicos de implantação, através do dimensionamento, aspecto financeiro, mostrando a viabilidade de cada uma com o passar dos anos. Assim fornecendo informações para um estudo mais aprofundado sobre ambos os sistemas de abastecimento elétrico para uma residência.

1.1 Justificativa

A importância desse trabalho se intensifica no contexto atual da sociedade, com o aumento das temperaturas devido a inserção de gás carbônico na atmosfera, provocada pela queima de combustíveis fósseis, o uso de outras fontes energéticas ganhou mais força, promovendo maior quantidade de estudos sobre a área, comparações entre essas diferentes fontes e melhores modos de usufruir de cada uma.

O presente trabalho justifica-se pelo interesse em uso de fontes de energia renováveis, que tem tido maior impulso na atualidade, com a busca por uma sociedade sustentável, assim reduzindo o uso de combustíveis fósseis e suprimindo a sua necessidade com energia limpa, energia renovável. O estudo do uso das energias renováveis ganha destaque, pois a utilização das mesmas acarreta uma diminuição de custos, já que são recursos mais baratos para aplicar quando a energia é produzida.

Esse trabalho dimensiona e compara o abastecimento elétrico de uma residência, utilizando um sistema energético solar fotovoltaico e um sistema eólico, evidenciando suas características, especificações, assim, aprofundando e esclarecendo os estudos sobre esse tema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Comparar o sistema solar fotovoltaico com o sistema eólico para o fornecimento de energia elétrica para uma residência localizada em São Luís do Maranhão.

1.2.2 Objetivo específico

- Dimensionar um sistema solar fotovoltaico para abastecimento de energia elétrica de uma residência;
- Dimensionar um sistema eólico para abastecimento de energia elétrica de uma residência, variando sua altura;
- Comparar o dimensionamento do sistema solar e do sistema eólico sob os aspectos técnicos e econômicos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fontes renováveis de energia

Atualmente as tecnologias e a requisição de energia têm aumentado muito e colocado em questão a capacidade de sustentabilidade dos recursos energéticos que são utilizados, e também os seus efeitos para o desenvolvimento da economia e da sociedade de modo geral. Devido a isso, várias políticas no âmbito internacional e também nacional têm direcionado recursos e estratégias, um exemplo são os aumentos incentivos às pesquisas e promoção de investimentos, para o desenvolvimento e a implementação de fontes de geração de energias renováveis, tendo como fonte de base diversos acordos elaborados entre as principais nações (SILVA, 20-?).

As agressões provocados ao meio ambiente pelo uso de energias não renováveis fazem com que o uso de energias renováveis sejam, segundo Goldemberg (2007), a única solução para esses problemas, reduzindo a emissão de carbono e riscos de vazamentos em transporte de petróleo e que são fontes praticamente inexauríveis, emitindo muito menos poluentes locais e gerando até mais empregos que se comparados aos gerados pela indústria de energia ligada aos combustíveis fósseis, em comparação per capita de geração por unidade de energia.

Além de todos os benefícios já citados, segundo Silva (20-?), implementar novas fontes de energias renováveis irá também afetar ao desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, programas de pesquisa e desenvolvimento, além do modo de comercialização de energias limpas, um exemplo é a bolsa do clima em Chicago, onde ocorre a venda e compra de certificados de carbono. Em adição, tem-se as novas estratégias das grandes empresas, que buscam se inserir no ramo da sustentabilidade, o que são conhecidas como ações verdes e tudo devido as preocupações com as condições climáticas do planeta.

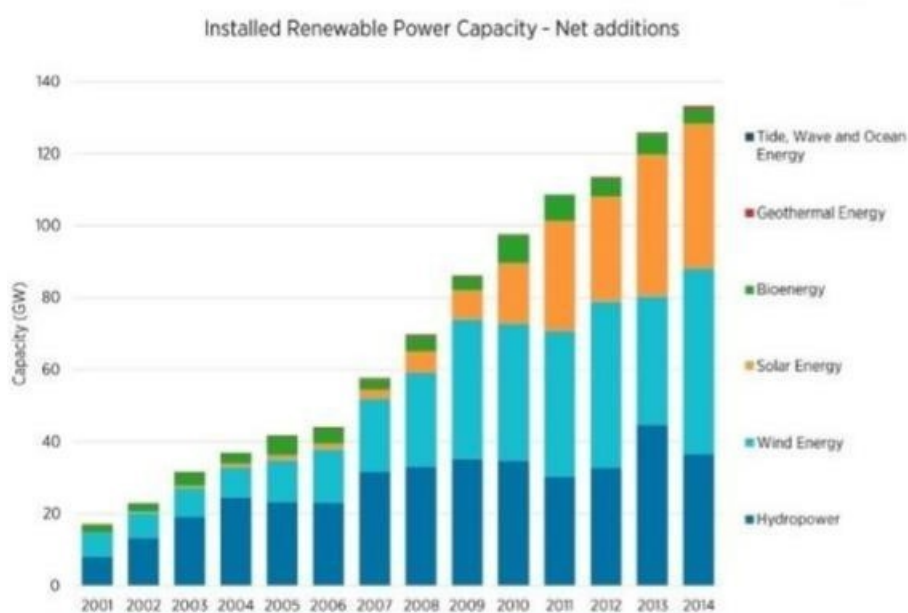
O esgotamento de petróleo é outro fator que eleva a necessidade do debate sobre uso de energias renováveis, embora não assuste os responsáveis pelo planejamento estratégico das principais nações do mundo, um grande indicio de que é algo a ser observado é o fato de grandes companhias internacionais do setor de petróleo estarem com atuação na área de energias

renováveis, pode-se citar a Shell Solar e a BP Solar, mas o certo é que a longo prazo a escassez de petróleo poderá ser o grande agente impulsionador da utilização em grande escala desse tipo de energia (GALDINO, 2010).

Aproveitar energia sempre irá levar a algum tipo de impacto ao ambiente podendo ser renovável ou não renovável, pequeno ou grande em proporções, todavia, esses impactos podem ser diminuídos se associados ao Planejamento de Recursos Integrados, já que esse visa um mundo mais sustentável, através de medidas políticas e econômicas, de curto e longo prazo observando também as demais dimensões, como, ambientais e técnicas (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Os impactos ambientais gerados pelas novas fontes de energia renováveis são de baixa escala e muito pequenas se comparados aos causados pelas fontes não renováveis de energia, petróleo e carvão. Ainda que essas novas tecnologias para fornecimento de energia tenham um alto custo de implantação possuem como benefícios o rápido retorno financeiro, e tempo de implantação, dentre elas vale ressaltar a energia proveniente da biomassa, ventos (energia eólica) e do sol (energia solar) (NASCIMENTO; ALVES, 2017). A figura 1 mostra a evolução do uso das energias renováveis pelo mundo desde o ano de 2001 até 2014.

Figura 1 - Evolução do uso das energias renováveis



Fonte: Prospecção energias renováveis (2016)

A evolução no uso das energias renováveis, como mostrado na figura 1, teve grande impulso devido ao uso da energia solar, que foi de 26% de acréscimo e também devido ao aumento do uso da energia eólica, duas das grandes impulsionadoras.

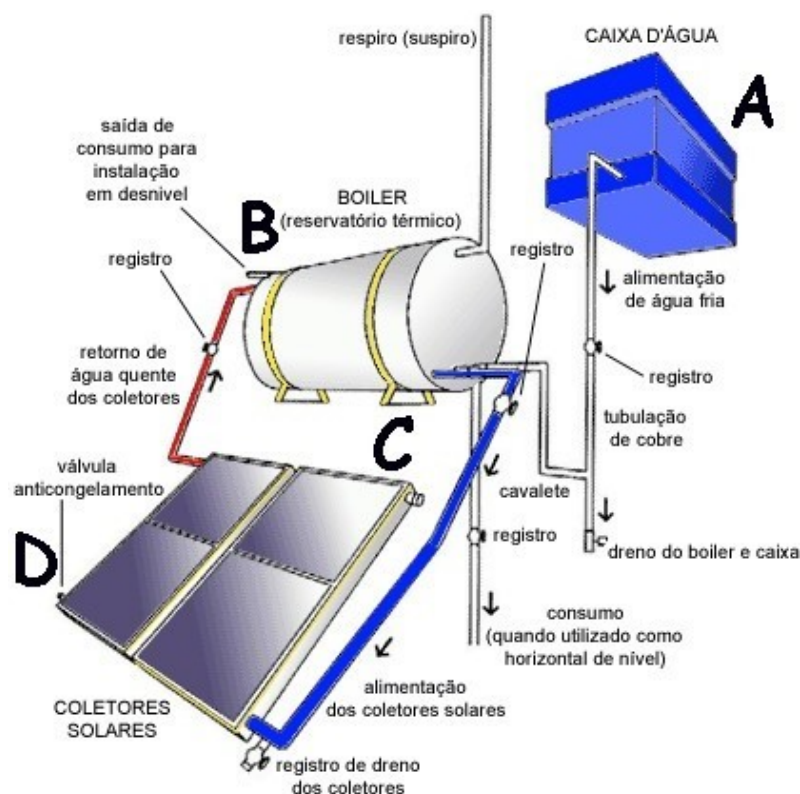
2.2 Energia solar

O Sol é uma fonte inesgotável tanto como fonte de energia, calor e luz, e é uma das alternativas energéticas mais prósperas do milênio, e além disso o sol é o fator que determina as outras energias, sendo assim todas são derivadas dele, a evaporação é causada pelo aquecimento das águas, que dá origem ao ciclo das águas, possibilitando a precipitação, represamento e conseqüentemente a energia hidráulica, hidroeletricidade. Em adição é também responsável pela circulação atmosférica, logo a circulação dos ventos, provindo energia eólica. Petróleo é proveniente da decomposição de resíduos vegetais e animais, que precisam do sol para obter energia e viver (CRESESB,2014).

A capacidade de fornecimento anual do sol é de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, o que é suficiente para abastecer o mundo todo 10.000 vezes durante esse período, ou seja, além de ser responsável pela manutenção da vida na terra a radiação solar é uma fonte inesgotável e viável de fonte energética, com um enorme potencial de utilização através de captação e conversão em forma de energia, sendo elas, térmicas ou elétricas. A energia solar pode ser fototérmica, ligado estritamente a capacidade de um corpo em absorver energia em forma de calor a partir da radiação do sol, para isso é necessário captar e armazenar, os equipamentos mais usuais são os coletores solares, usados para aquecimentos de fluidos de modo geral, líquidos ou gasosos. Outro modo de utilização da energia proveniente do sol é a solar fotovoltaica, é a conversão direta da luz em eletricidade, conhecido como efeito fotovoltaico, muito utilizado inicialmente em setores de comunicação em locais remotos ou de difícil acesso à energia elétrica convencional, impulsionado posteriormente pela “corrida espacial” na guerra fria. Hoje a célula solar é o modo mais adequado de fornecer a quantidade de energia precisa para longos períodos de permanência no espaço, alimentado satélites e

estações, por exemplo, pois tem o menor custo e peso, facilitando sua utilização, transporte e consumo (CRESESB,2014). A Figura 2 apresenta um sistema de um conjunto utilizável para aquecimento de água através da energia solar.

Figura 2 - Sistema de conjunto fototérmico



Fonte: SOLETROL (2019)

2.2.1 Potencial energético energia solar

Os processos mais comuns de utilização de energia solar são: o aproveitamento fotovoltaico, converte luz solar em energia elétrica e o aproveitamento por concentração, que produz calor utilizando para aquecimento de modo direto de água ou ambientações. Em 2016, o mundo apresentava uma potência solar instalada de 301 GW divididos de acordo com a figura 3, o desenvolvimento das tecnologias e o aumento da capacidade das instalações vem proporcionando um aumento significativo no fator de capacidade médio de geração solar (MME, 2016). A figura 3 mostra a geração e potência solar instalada no mundo em 2016.

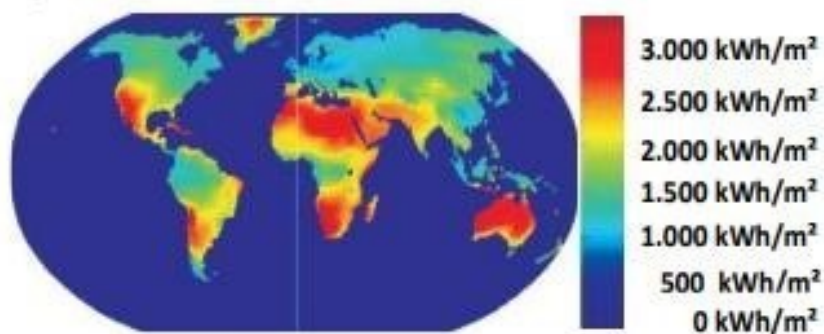
Figura 3 - Geração e potência solar instalada no mundo em 2016

	Pais	Geração (TWh)	% da Geração Total	Potência Instalada (MW)	Fator de Capacidade (%)	Expansão no Ano (GW)
1	China	66,2	1,1	78.070	13,2	34,5
2	Estados Unidos	56,8	1,3	40.300	18,6	14,7
3	Japão	49,5	4,9	42.750	14,9	8,6
4	Alemanha	38,2	5,9	41.275	10,8	1,5
5	Itália	22,9	8,1	19.279	13,7	0,4
6	Espanha	13,6	5,0	5.490	28,3	0,1
7	Índia	11,9	0,8	9.010	18,8	4,0
8	Reino Unido	10,3	3,1	11.727	11,0	2,0
9	França	8,3	1,5	7.130	13,8	0,6
10	Austrália	7,2	2,8	5.488	15,8	0,8
11	Coreia do Sul	5,2	0,9	4.350	15,2	0,9
12	Grécia	4,0	8,2	2.611	17,5	0,0
13	África do Sul	3,3	1,3	1.544	27,6	0,5
14	Canadá	3,1	0,5	2.715	13,4	0,2
15	Bélgica	3,0	3,6	3.422	10,1	0,2
	Outros	29,7	0,4	26.313	14,6	6,3
	Mundo	333,1	1,4	301.473	14,4	75,1
	% do mundo	1,4		4,7		34,9

Fonte: MME (2016)

Segundo o MME (2016), no Brasil em 2017 haviam 438,8 MW de potência instalada para geração solar, o que corresponde a 15,7 mil instalações, desses o setor de comércio obtinha a maior contribuição em potência (37%), em usuários o maior eram as residências (75%). A energia solar no Brasil, de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia- PDE 2026, prevê uma capacidade de geração solar de 13 GW, ou seja, 5,7% do total, o Plano Nacional de Energia-PNE 2050, estima que serão 9% do total, 78GW de potência.

O potencial brasileiro é gigantesco, com a região nordeste sendo uma das que mais apresentam valores de irradiação solar global, como representado na figura 4, com a maior média e menor variabilidade anual entre todas as regiões brasileiras, os valores de maior amplitude são encontrados na Bahia e também a noroeste de Minas Gerais, durante o ano as condições climáticas ajudam, pois apresentam um regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar. A irradiação média anual brasileira varia entre 1200 e 2400 kWh/m², estando bem acima da Europa, mas abaixo de outros locais que superam os 3000 kWh/m², como norte e sul da África, México, Chile, Peru.

Figura 4 - Potencial solar no mundo

Fonte: MME (2016)

2.3 Energia solar fotovoltaica

Energia solar fotovoltaica é por definição toda energia gerada através da conversão direta de radiação do sol em energia elétrica, eletricidade, por meio da utilização de uma célula fotovoltaica, que por sua vez apropria-se do princípio do efeito fotoelétrico ou também conhecido como fotovoltaico (IMHOFF,2007).

Segundo Nascimento (2004) uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, sua função é manter um fluxo de elétrons dentro de um circuito elétrico enquanto houver incidência de radiação solar sobre o mesmo. Segundo Severino (2010), o efeito fotovoltaico é gerado pela absorção de energia solar, que causa uma diferença de potencial na estrutura que sofre a incidência.

Um modelo fotovoltaico é definido por:

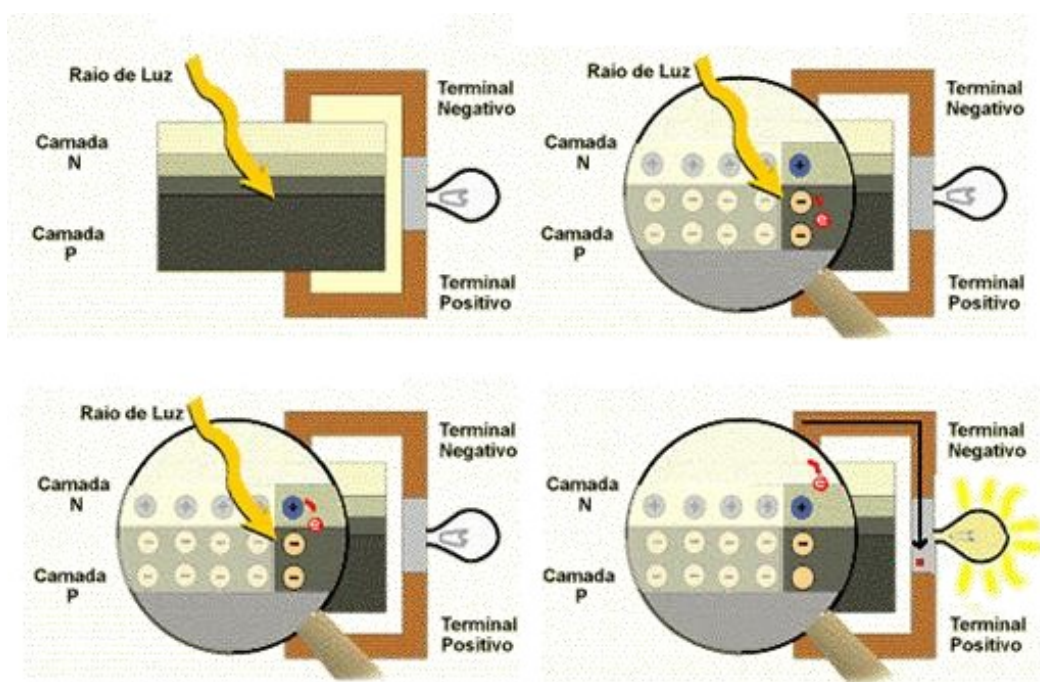
Um conjunto de células associadas em série paralelo forma um painel fotovoltaico, e com outros dispositivos como acumuladores, conversores e inversores constituem um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica. A confiabilidade desse sistema é uma das características mais importantes. Porque não possui partes móveis, baixo nível de complexidade, não se degrada com os efeitos naturais, como: ventos fortes, descargas atmosféricas e além de tudo apresenta alto índice de disponibilidade. Para um sistema fotovoltaico utilizado como complemento de energia elétrica em relação a convencional, uma das vantagens é que caso ocorra um defeito, este se limita à instalação específica não se estendendo às demais. (NASCIMENTO, 2004, p. 19-20).

2.3.1 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico foi observado pelo físico francês Edmund Becquerel pela primeira vez em 1839, por meio de uma solução de selênio, foi observado por ele a presença de uma tensão entre os eletrodos na solução condutora, quando tinha incidência de luz solar. Em 1870, este efeito foi estudado mais vez, mas desta vez em sólidos, como o próprio selênio e posteriormente em 1880 a primeira célula fotovoltaica foi construída utilizando o selênio, mas com eficiência de 2%. Com os anos a tecnologia progrediu e em 1950 os Estados Unidos da América começaram com experimentos envolvendo as células voltaicas, em 1954 o laboratório Bell fez uma célula voltaica de junção PN e desde então tem-se trabalhado na obtenção de um sistema com longa duração para alimentação de satélites. Além desses eventos pode-se citar 1973, ano em que foram feitos novos estudos para novas aplicações (BRAGA, 2008).

Por meio de um silício puro, faz-se a introdução de átomos de boro em uma metade e na outra de fosforo, isso gerará a chamada junção PN. É nesta junção que os elétrons livres de um lado, N, passam para o outro lado, P, então encontrando os buracos que são responsáveis por sua captura, assim há que haja um acúmulo de elétrons no lado P, transformando-o em negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado N, ou seja, ele se torna eletricamente positivo. Estas cargas que são capturadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de outros elétrons do lado n para o lado p; até que atinja um equilíbrio no processo determinado através de um equilíbrio, demonstrado quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado N (CRESESB, 2014). A figura 5 apresenta o efeito fotovoltaico em uma junção PN, como se desenvolve todo o processo até a geração de energia elétrica.

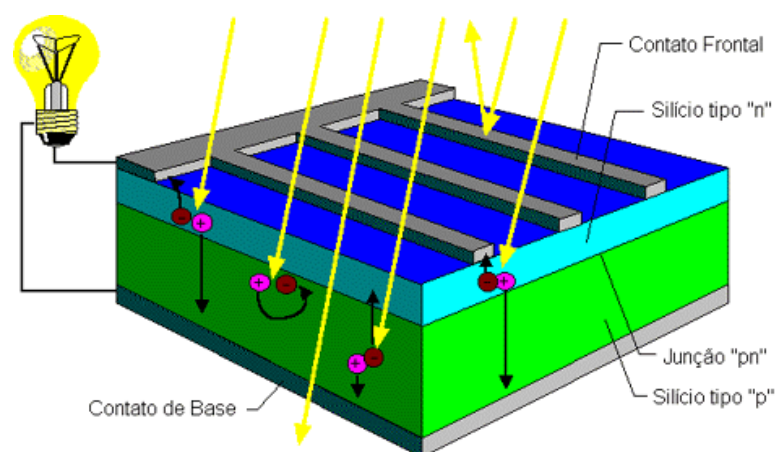
Figura 5 - Efeito fotovoltaico na junção PN



Fonte: CRESESB (2014)

Ainda segundo Cresesb (2014) se uma junção PN qualquer for exposta a fótons, incidência solar, com energia maior que o *gap*, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se esse efeito acontece na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de efeito fotovoltaico, representado pela figura 6. Se as duas extremidades da parte de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas. Segundo Nascimento (2004), a intensidade da corrente gerada irá depender da quantidade de energia solar, intensidade da luz, sendo diretamente proporcionais, quanto maior uma maior a outra.

Figura 6 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica



Fonte: CRESESB (2014)

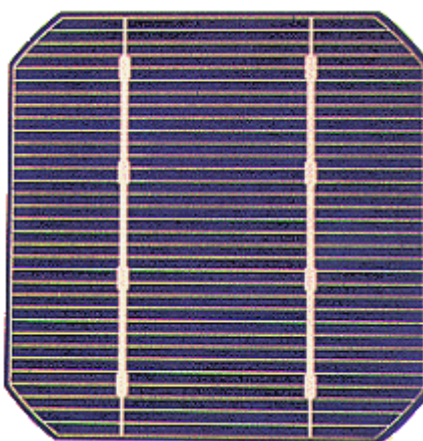
2.3.2 Célula fotovoltaica

Uma célula fotovoltaica é o item do módulo fotovoltaico responsável por transformar a radiação solar em energia elétrica, na forma de corrente contínua, essas células são indispensáveis para a energia solar fotovoltaica. Existem vários tipos de células que variam dependendo da sua natureza e características dos materiais que são utilizados em sua fabricação, sendo eles, silício variando sua estrutura entre silício monocristalino, policristalino e amorfo (SOLAR ENERGIA, 2019). Além de células feitas com disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS), célula fotovoltaica de telureto de cádmio (CdTe) (BLUE SOL, 2019) e por fim célula fotovoltaica de quasi-mono (DAMIASOLAR, 2017).

2.3.2.1 Célula fotovoltaica de silício monocristalino

A célula fotovoltaica de silício monocristalino, representada na figura 7, é a mais utilizada e comercializada para converter energia solar em elétrica, pois possui um processo básico na fabricação. Das células que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, de modo geral, as que apresentam as maiores eficiências, podendo atingir uma eficiência de até 15% podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios (CRESESB, 2014).

Figura 7 - Célula fotovoltaica de silício monocristalino

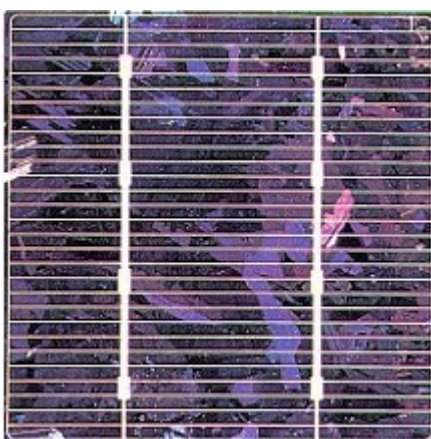


Fonte: CRESESB (2014)

2.3.2.2 Célula fotovoltaica de silício policristalino

As células fotovoltaicas de silício policristalino, modelo ilustrado na figura 8, são mais baratas do que as células fotovoltaicas de silício monocristalino, já que exigem um processo de preparação menos rigoroso, mas também são menos eficientes. Alcançando ao longo dos anos uma eficiência máxima de 12,5% em escalas de produção industrial (CRESESB, 2014).

Figura 8 - Célula fotovoltaica de silício policristalino



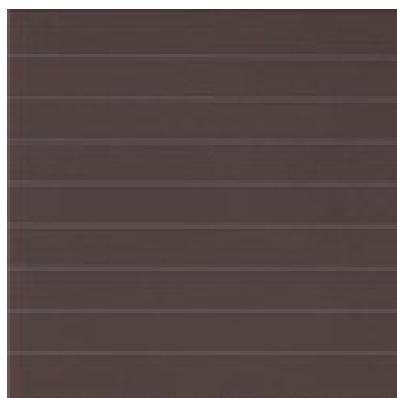
Fonte: CRESESB (2014)

2.3.2.3 Célula fotovoltaica de silício amorfo

As células fotovoltaicas de silício amorfo diferem das demais devido ao alto grau de desordem na estrutura atômica, e tem mostrado grandes vantagens para propriedades elétricas no processo de fabricação, além de ter um baixo custo de produção, suas únicas desvantagens são, baixa eficiência na conversão, se comparada às células monocristalizadas e policristalizadas de silício, e as amorfas são prejudicadas por um processo de degradação bem no início de sua vida útil reduzindo-a. Na figura 9 temos uma célula fotovoltaica de silício amorfo.

Esse tipo de célula apresenta eficiência energética mais baixa dentre as outras de silício, atingindo aproximadamente 10,5% do potencial total (SOLENERGIA, 2019).

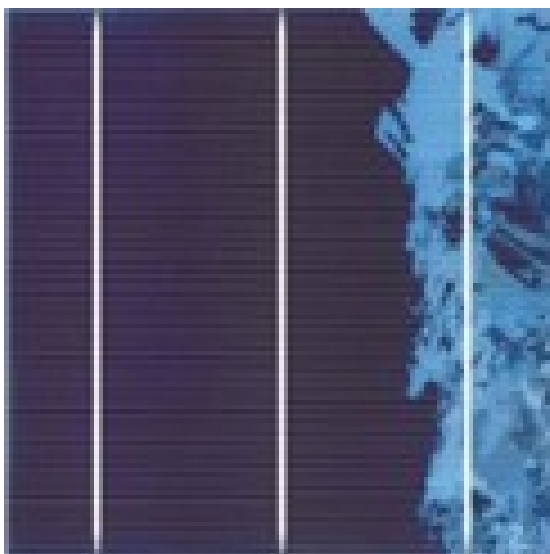
Figura 9 - Célula fotovoltaica de silício amorfo



Fonte: DAMIASOLAR (2017)

2.3.2.4 Célula fotovoltaica de silício cuasi-mono

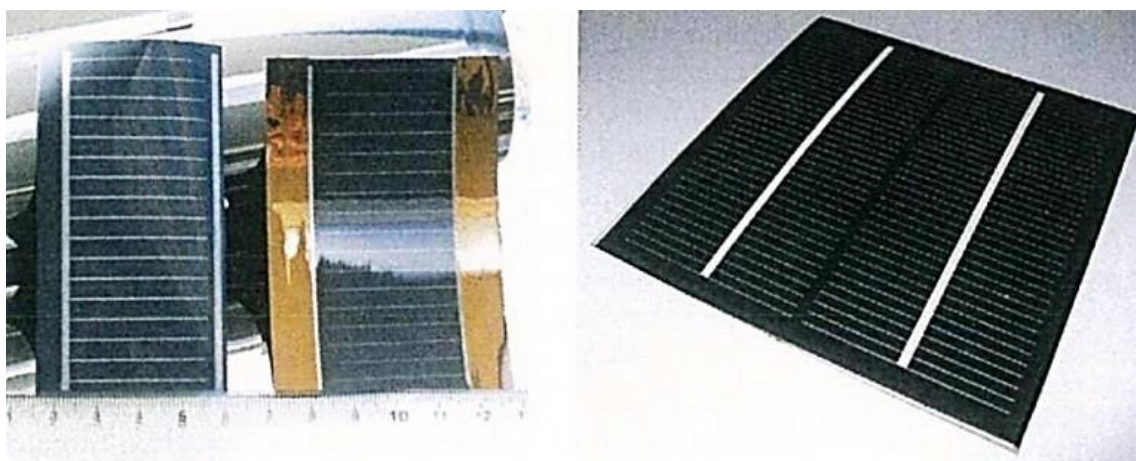
As células fotovoltaicas cuasi-mono ou casi-mono são fabricadas usando o mesmo sistema das células fotovoltaicas de silício monocristalina, porém usa um método mais cuidadoso de controle para orientar os cristais, oferecendo um desempenho excelente graças à fusão de dois tipos de células solares em um único só tipo, o que provoca uma diferença visual que podem apresentar parcelas monocristalinas e policristalinas em um só célula (DAMIASOLAR, 2017). Na figura 10 está ilustrada uma célula fotovoltaica de casi-mono.

Figura 10 - Célula fotovoltaica de silício quasi-mono

Fonte: DAMIASOLAR (2017)

2.3.2.5 Célula fotovoltaica de disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS)

Neste tipo de célula o substrato de vidro é inicialmente revestido com uma camada de molibdênio usando pulverização catódica, diferente das células fotovoltaicas de silício amorfo, essas não sofrem degradação sob ação da luz, mas necessitam de selamento para evitar a degradação de óxido de zinco, outra desvantagem é seu alto custo devido ao uso de índio, que além de raro é altamente requisitado em telas de smartphones. Apresentam eficiência de até 11% (BLUE SOL, 2017). A figura 11 representa células fotovoltaicas do tipo CIGS.

Figura 11 - Células fotovoltaicas CIGS

Fonte: Blue sol (2017)

2.3.2.6 Célula fotovoltaica de telureto de cádmio (CdTe)

As células fotovoltaicas de CdTe são fabricadas em um substrato de vidro e uma camada transparente servindo como condutor, que é onde se usa o óxido de estanho e índio, este condutor é revestido como uma fina camada de Sulfeto de Cádmio, servindo como conduto tipo N, e uma fina camada de Telureto de Cádmio, funcionando como tipo P. A principal dificuldade em sua fabricação é o CdTe que é tóxico devido ao cádmio, assim como as CGIS elas não se degradam com a luz (BLUE SOL,2017).

2.3.2.7 Célula fotovoltaica de película fina

Segundo Blue sol (2017), são células que não utilizam muita matéria prima e energia em seu processo de fabricação, não possuem restrições e tamanho e são flexíveis, possui custo reduzido já que usa menos material, além de consumir menos energia se comparados aos amorfos. Suas desvantagens vão desde vida útil baixa, 10 anos, e também menor eficiência.

2.3.2.8 Células fotovoltaicas orgânicas

Esse tipo de tecnologia utiliza um semicondutor orgânico, que é responsável por absorver a luz, gerar e separar as cargas, como exemplo, temos alguns originados das misturas de um polímero condutor e outro derivado do ferro, além disso possuem baixo custo de produção (ALVES, 2011).

2.3.3 Comparativo entre os tipos de células fotovoltaicas

Os rendimentos de células e módulos fotovoltaicos são fornecidos pelos seus fabricantes, alguns deles foram destacados e colocadas na figura 12, organizando por tipo de material e seu rendimento em células e módulos.

Figura 12 - Comparativo entre tipos de células e módulos fotovoltaicas

MATERIAIS E/OU TECNOLOGIAS	CÉLULAS	MÓDULOS
Silício monocristalino - m-Si	14% a 25%	14% a 21%
Silício policristalino - p-Si	20%	13 a 16,5%
Orgânicas	12%	7-12%
Filmes finos	9 a 16%	7 a 13%
Silício amorfo - a-Si	9%	6 a 9%
Telureto de Cádmio - CdTe	14,4%	9 a 11%
Seleneto de Cobre, Índio e Gálio - CIGS	22%	10 a 12%
Híbrido - HJT		23%

Fonte: Adaptado de Martin et al. (2015)

2.3.4 Sistema fotovoltaico

Segundo Braga (2008) um sistema fotovoltaico é composto por módulo fotovoltaico, baterias, inversores e outros componentes.

2.3.4.1 Módulo fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos ou painéis solares são os principais componentes do sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica. Os módulos são formados por um conjunto de células fotovoltaicas que podem estar associadas, em série, paralelo ou de ambos os modos, variando de acordo com as tensões e correntes designadas durante elaboração do projeto. O conjunto de painéis solares é chamado de gerador fotovoltaico constituindo assim a primeira parte do sistema, são eles os responsáveis por captar a radiação solar e transformar em energia elétrica (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011). Na figura 13 temos um modelo de módulo fotovoltaico.

Figura 13 - Módulo fotovoltaico

Fonte:DAMIASOLAR (2019)

2.3.4.2 Bateria

Bateria ou acumuladores eletroquímicos, tem a função de acumular a energia produzida durante as horas de incidência luminosa para então poder utilizada à noite ou quando for solicitada, além disso servem como estabilizadores de corrente e também de tensão quando necessário para alimentar as cargas elétricas. Podem ser primárias ou secundárias, que são respectivamente, não recarregáveis e recarregáveis. Para sistemas fotovoltaicos os utilizados são as secundárias, que por sua vez, podem ser, dentre as mais comuns, de Chumbo-ácido e as de Níquel-Cádmio (BRAGA, 2008). Representado na figura 14 um modelo de bateria.

Figura 14 - Bateria

Fonte:HELIAR (2019)

2.3.4.3 Inversores

Segundo Braga (2008), conversores CC/CA ou inversores são utilizados para alimentação de uma carga que está isolada e também para interligar um gerador fotovoltaico à rede, sendo seu principal papel criar corrente CA a partir de corrente CC, já que uma célula fotovoltaica gera corrente CC.

Segundo Damiasolar (2014), os inversores podem ser senoidais puros, que convertem para a onda de corrente designada dos aparelhos de maneira precisa e com qualidade, ou de onda modificada que não tem a mesma precisão na conversão gerando uma onda quadrada podendo alterar o rendimento e funcionamento do aparelho. Na figura 15 temos um modelo de inversor.

Figura 15 - Inversor



Fonte: NEOSOLAR (2019)

2.3.4.4 Controlador de carga

A função de um controlador de carga é monitorar a tensão da bateria, verificando quando ela está completa, quando nesse estado, o controlador desliga a entrada de tensão da bateria, promovendo uma vida útil maior as fontes geradoras de energia (REIS, 2014). A figura 16 mostra um controlador de carga.

Figura 16 - Controlador de carga

Fonte: Energia total (2019)

2.3.4.5 String box

É um equipamento de proteção que age de maneira a isolar o sistema de produção energética visando impedir acidentes elétricos, como curtos ou surtos elétricos, para isso contém fusíveis e disjuntores que servem como sacrifício impedindo que peças mais caras do sistema se prejudiquem, é conectada ligando as unidades geradoras de energia ao inversor (SOLARVOLT, 2019). A figura 17 apresenta um modelo de string box.

Figura 17 - String box

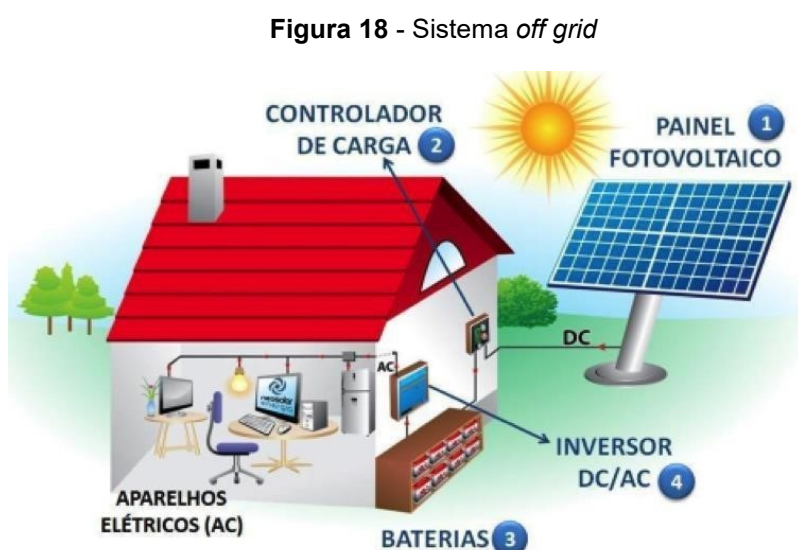
Fonte: Energia livre (2019)

2.3.5 Categorias de um sistema fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em: sistemas isolados ou *off grid*, híbridos e conectados à uma rede ou *on grid*, mas todos obedecendo a uma configuração básica onde o sistema tem unidade de controle de potência e uma unidade de armazenamento (CRESESB,2014).

2.3.5.1 Sistema isolado ou *off grid*

O sistema isolado, que está esquematizado na figura 18, não depende da rede de energia elétrica convencional para funcionar, podendo ser com armazenamento ou sem armazenamento (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

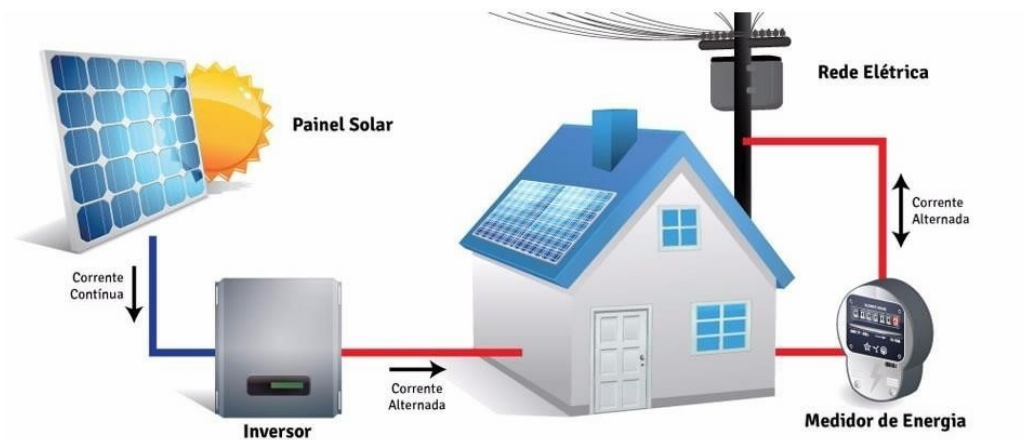


Fonte: Consultreviso (2019)

2.3.5.2 Sistema conectado a uma rede ou *on grid*

É um tipo de sistema que trabalha em conjunto à rede elétrica de energia. Resumidamente o módulo fotovoltaico gera energia elétrica em corrente contínua e então converte-a para alternada, injetando na rede de energia elétrica, isso acontece devido ao inversor (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011). Na Figura 19 é possível analisar como o sistema funciona.

Figura 19 - Sistema on grid

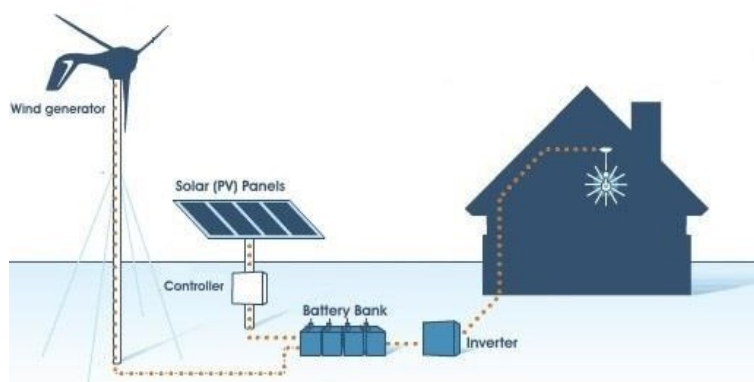


Fonte: EcoMais (2018)

2.3.5.3 Sistema híbrido

É um sistema onde há uma associação de sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia, proporcionando eletricidade de diversas maneiras, como, geradores eólicos, motores à diesel ou gás (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011). A figura 20 ilustra um modelo de sistema híbrido.

Figura 20 - Sistema híbrido eólico e solar



Fonte: Eco planet energy (2019)

2.4 Energia eólica

A energia eólica é proveniente do deslocamento das massas de ar, que são causadas pela diferença de temperatura na atmosfera terrestre, devido ao movimento da terra e à orientação dos raios solares. Desta forma, pode-se dizer que a energia eólica é uma forma de energia solar (REIS, 2008).

Os primórdios da utilização do vento pela humanidade datam do século VII na Pérsia, utilizaram moinhos de vento para agricultura, o desenvolvimento dessa tecnologia ocorreu durante a Idade Média de forma acidental e empírica, somente com o período renascentista que os cálculos começaram a integrar e avançar a cerca desse assunto (PINTO,2013).

Somente em 1887 o primeiro moinho com propósito de geração foi criado pelo professor e engenheiro eletricitista James Blyth em Glasgow, na Escócia, um aerogerador de eixo vertical com cerca de 10 metros utilizado para alimentação de energia elétrica de sua casa de campo (MATTOS et al., 2010). O aperfeiçoamento da tecnologia ganhou grande incentivo com os estudos do meteorologista e físico dinamarquês Poul La Cour, que até hoje tem influência nos modelos (PINTO,2013). O físico, através de seus estudos, alterou algumas configurações da turbina aumentando sua eficiência, além disso diminuiu o número de pás no rotor tornando ainda mais eficiente se comparado as turbinas com muitas pás, que apresentam rotação mais lenta (SINTRA,2013).

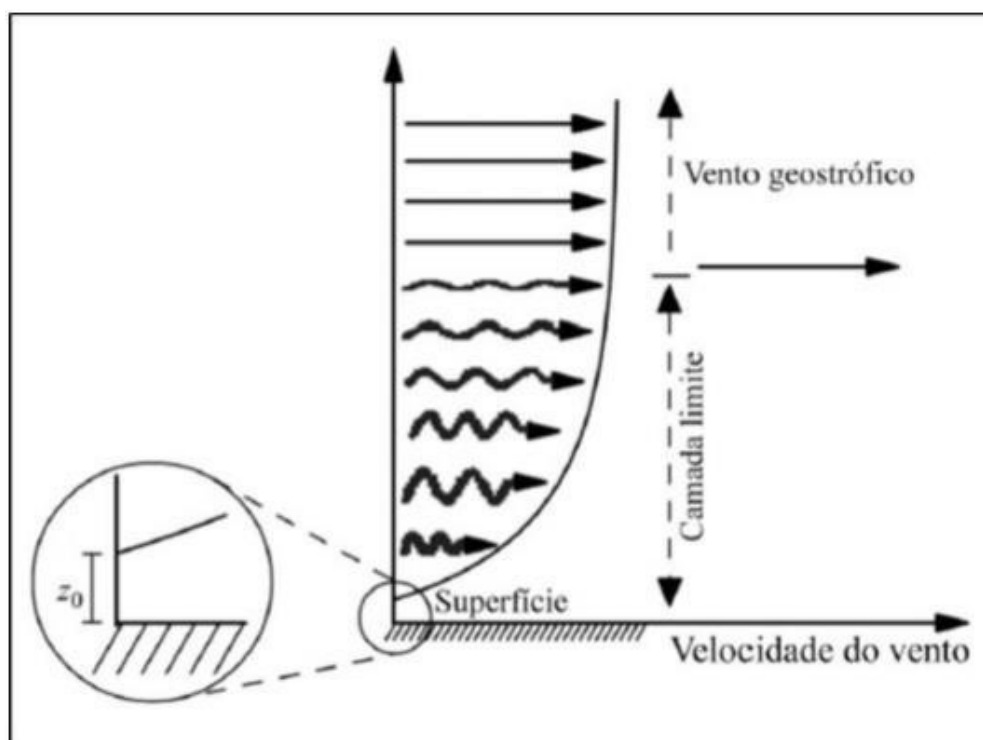
Segundo Epalanga (2013), a energia eólica não emite gás de efeito estufa, não necessita de água para funções secundárias, como limpeza e/ou resfriamento, e a instalação de uma usina eólica causa poucos impactos ao ambiente, que de dois até três anos é recuperado, além disso para se explorar são utilizados, pela usina, apenas 3% da área, que não é desapropriada, faz-se um contrato de aluguel com os possuidores do terreno.

2.4.1 Ventos

O aquecimento da superfície solar de forma desigual, provocando um aquecimento desigual na superfície terrestre, gerando diferenças nas camadas de ar fazendo com que elas se movimentem de uma zona de pressão para outra, isso gera o vento (BREITENBACH,2016).

O vento é influenciado pela pressão e pela superfície terrestre. A proximidade com a superfície fará com que tenha maior turbulência mecânica, diminuindo sua velocidade devido a rugosidade e atrito com o terreno, então é desenvolvida uma camada limite, que descreve a velocidade de ventos zero até o geostrófico, neste por sua vez encontra-se o equilíbrio. A figura 21 mostra o perfil vertical da velocidade dos ventos em função da altura.

Figura 21 - Perfil vertical da velocidade dos ventos



Fonte: Adaptado de Martins et al. (2008)

Segundo Custódio (2009, p. 137):

A rugosidade de uma determinada superfície é determinada pelo tamanho e distribuição dos elementos de rugosidade que a compõem. Normalmente, essa é parametrizada em uma escala de comprimento, chamada de comprimento de rugosidade z_0 . O comprimento de rugosidade é a altura onde a velocidade do vento é zero, caso o vento tenha um comportamento logarítmico com a variação de altura. Isto geralmente ocorre durante condições de vento moderado e forte.

O vento sofre influências de acordo com o tipo de terreno em que circula, podendo ter sua velocidade reduzida quando próximo ao solo, a esse fenômeno

dá-se o nome de rugosidade, exemplos de terrenos com alta rugosidade são áreas de construções e com vegetações, por outro lado, morros lisos ou áreas oceânicas não aumentam o efeito de redução da velocidade (CUSTÓDIO,2009).

Em contrapartida a velocidade do vento é considerada uma variável contínua aleatória, pois varia ao longo do dia, para ser analisada é utilizada uma função de densidade de probabilidade, definida pelas estatísticas da velocidade do vento a função de densidade de probabilidade de Weibull (PINTO, 2013).

Segundo Pinto (2013), outro parâmetro que deve ser estudado é a direção do vento, identificando de onde é proveniente e para onde sua velocidade está distribuída na área. Assim tornando a utilização dos aerogeradores mais eficaz.

2.4.2 Potencial energético eólico

O método avaliativo do potencial eólico de uma região necessita colher dados sobre os ventos, tanto sua velocidade quanto seu regime, utilizando dados coletados em aeroportos e estações meteorológicas, por exemplo. O potencial estimado bruto mundial para energia eólica é de 500 TWh por ano, mas somente 10% pode ser aproveitado devido à conceitos técnicos, mas ainda seria suficiente para abastecer o consumo da terra em quatro vezes. Somente com uma densidade de 500 W/m^2 , em uma altura de 50 metros é possível aproveitar a energia eólica, o que necessitaria que os ventos alcançassem de 7 a 8 m/s, a figura 22 mostra a distribuição da área de cada continente segundo a velocidade média do vento (ANEEL, 2014).

Figura 22 - Distribuição da área de cada continente segundo a velocidade

Região/Continente	Velocidade do Vento (m/s) a 50 m de Altura					
	6,4 a 7,0		7,0 a 7,5		7,5 a 11,9	
	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)	(10 ³ km ²)	(%)
África	3.750	12	3.350	11	200	1
Austrália	850	8	400	4	550	5
América do Norte	2.550	12	1.750	8	3.350	15
América Latina	1.400	8	850	5	950	5
Europa Ocidental	345	8,6	416	10	371	22
Europa Ocidental & ex-URSS	3.377	15	2.260	10	1.146	5
Ásia (excluindo ex-URSS)	1.550	6	450	2	200	5
Mundo	13.650	10	9.550	7	8.350	6

Fonte: GRUBB, M.J.; MEYER, N.I., (1993)

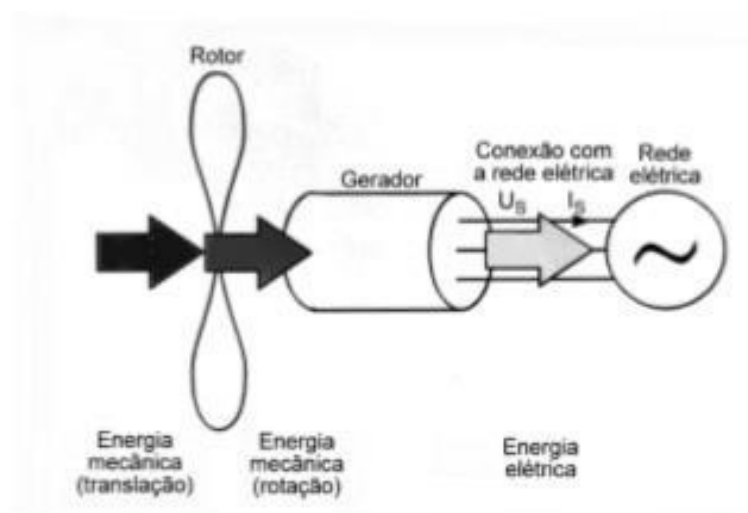
A maioria dos estudos apontam que o potencial energético eólico brasileiro está na ordem de 20.000 MW até 60.000 MW, diferença grande devido à metodologia aplicada, mas ainda assim os investimentos e estudos na área tem motivado a exploração desse tipo de energia, principalmente na região nordeste, precisamente no Ceará e em Pernambuco (ANEEL, 2014). Segundo estudo realizado pela CRESESB o potencial eólico brasileiro estimado seria de uma ordem de 143 GW.

2.4.3 Aeroeradores

Por definição, aerogeradores são equipamentos cujo qual o objetivo é gerar energia a partir de fontes eólicas, vento. A energia cinética proveniente dos ventos é convertida em energia mecânica para então ser transformada em energia elétrica (CUSTÓDIO, 2009).

O funcionamento de um aerogerador, representado na figura 23, compreende dois processos de transformação, primeiramente, o rotor, gira e retira energia cinética do vento convertendo-a em um conjugado mecânico, o gerador, por sua vez, converte esse conjugado em eletricidade e alimenta a rede elétrica (PEREIRA,2004).

Figura 23 - Princípio de funcionamento de um aerogerador



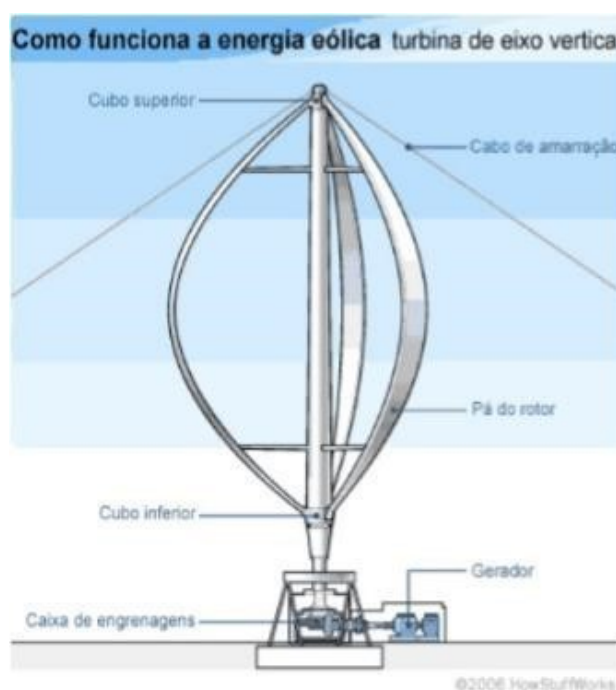
Fonte: Pereira (2004)

As turbinas eólicas quanto ao tipo de eixo se dividem em duas categorias, eixo vertical e horizontal:

2.4.3.1 Turbina eólica de eixo vertical

Segundo Pereira (2004), as unidades de eixo vertical são as que possuem as pás se deslocando na direção do fluxo do ar, como exemplo temos as do tipo Darrius, que está representado na figura 24, e Savonius, que por sua vez está representado na figura 25, como exemplo, o primeiro tipo é constituído, geralmente, por lâminas curvadas com um perfil aerodinâmico que ficam presas pela ponta no seu eixo vertical.

Figura 24 - Aerogerador eólico vertical tipo Darrius



Fonte: HowStuffWorks (2006)

Figura 25 - Aerogerador eólico vertical tipo Savonius



Fonte: Adaptado de Tolmasquim et al. (2016)

De modo geral tem a vantagem de não necessitar de um mecanismo que acompanha as variações do vento, diminuindo a complexidade do projeto e os esforços que podem ser causados (CRESESB, 2014).

2.4.3.2 Turbinas eólicas de eixo horizontal

Os rotores de eixo horizontal são movidos por forças de sustentação, predominantemente, e necessitam de mecanismos que sejam capazes de permitir ao disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento, podendo se adaptar de acordo com a necessidade. Esses rotores podem apresentar uma pá e contrapeso, duas pás, três pás ou até múltiplas pás, podendo ser, de diversas formas, modelos e materiais. Geralmente são utilizadas pás rígidas de alumínio, madeira ou fibra de vidro com reforço (CRESESB, 2014). Na figura 26 está ilustrado um modelo de aerogerador eólico horizontal.

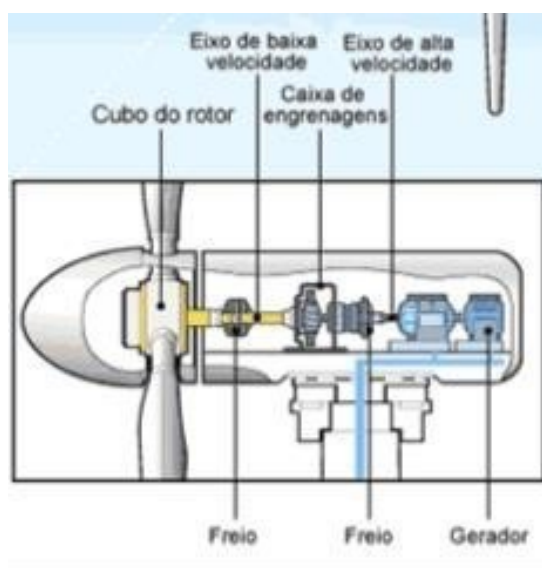
Figura 26 - Aerogerador eólico horizontal

Fonte: Adaptado de Tolmasquim et al. (2016)

2.4.4 Componentes de uma turbina eólica de eixo horizontal

2.4.4.1 Nacele

É a carcaça que se localiza sobre a torre, onde estão o gerador, caixa de engrenagens, o sistema de controle como um todo, medição do vento e os motores para rotação e melhor posicionamento em relação ao vento (CRESESB, 2014). Detalhamento da nacela ilustrado na figura 27.

Figura 27 - Detalhamento nacela

Fonte: HowStuffWorks (2006)

2.4.4.2 Pás

São os perfis aerodinâmicos que interagem com o vento, com a função de converter a energia cinética provocada por ele em energia mecânica, pode ser feito de alumínio, madeira e atualmente usa-se fibras de vidro reforçada com epóxi (CRESESB, 2014).

2.4.4.3 Cubo

Segundo Cresesb 2014, local onde as pás são fixadas, feita geralmente de aço ou uma liga de alta resistência, acomodando os mecanismos de adaptação ao vento, mudando o ângulo de ataque das pás.

2.4.4.4 Transmissão e caixa multiplicadora

A transmissão engloba a caixa multiplicadora e tem como função transmitir a energia mecânica proveniente do eixo do rotor até o gerador (CRESESB, 2014).

2.4.4.5 Gerador

Responsável por transformar a energia mecânica da rotação em energia elétrica utilizando equipamentos de conversão eletromecânica, podem ser geradores de corrente contínua, síncronos, assíncronos ou de corrente alternada (CRESESB, 2014). Na figura 28 está um modelo de gerador e caixa de transmissão.

Figura 28 - Gerador e caixa de transmissão



Fonte: CRESESB (2014)

2.4.4.6 Torre

Segundo Cresesb (2014), é um item estrutural de grande porte com função de sustentar e posicionar o rotor em uma altura que seja possível para um funcionamento conveniente.

3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada é, quanto aos seus objetivos, de natureza descritiva pois existe um levantamento de dados e uma análise dos mesmos feita posteriormente, e também é uma pesquisa exploratória já que trata de dois assuntos novos e que estão sendo ainda estudados e abordados pelo país.

Os procedimentos de coleta de informações foram feitos através de pesquisas em artigos, monografias, livros e diversas outras fontes de informação acerca do assunto abordado, logo é uma bibliografia documental e experimental, onde constatou-se a teoria e então foram feitos os cálculos e experimentos apresentando posteriormente os resultados e conclusões. As fontes de informação são teóricas, devido as leituras feitas em bibliografias acerca do assunto.

A natureza do problema é aplicada porque traz conhecimentos que ajudam a expandir e aprofundar o conhecimento nessa área estudada. A abordagem do problema é qualitativa e quantitativa, pois, respectivamente, tem-se a problemática ao redor da questão em estudo e números com estatísticas interligadas para ajudar na elaboração de resultados e conclusões mais embasadas.

3.1 Área de estudo

Será escolhido um imóvel residencial em São Luís do Maranhão como objeto de estudo.

3.2 Dados

Os dados referentes ao consumo do imóvel em questão serão retirados partindo dos relatórios de consumo de energia elétrica da empresa que realiza essa função na região em que se localiza o imóvel residencial, que é a Companhia Energética do Maranhão S.A (CEMAR), ou também conhecida como Equatorial Energia Maranhão, sendo a responsável pela comercialização e distribuição de energia elétrica localizada no Maranhão, Brasil. Os dados relacionados as tarifas e cobranças também serão obtidos através das faturas

geradas por esta empresa. Todos retirados de um intervalo de 12 meses para maior segurança e embasamento.

As informações relativas à incidência solar serão obtidas pelo CRESESB que utiliza a plataforma *SunData v 3.0*:

Produzido a partir de um total de 17 anos de imagens de satélite e com informações de mais de 72.000 pontos em todo o território brasileiro, o Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição é o que se tem de mais moderno em informações de irradiação solar no Brasil. Vale lembrar que as informações apresentadas são indicativas e possuem as limitações dos modelos utilizados. Para avaliações mais precisas recomenda-se a medição da irradiação no local de interesse (CRESESB,2018).

Este programa utiliza o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar -2º Edição, que foi então produzido pelo Centro do Sistema Terrestre (CCST) utilizando o Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos de Energia (LABREN) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). É utilizado o sistema de coordenadas geográficas, latitude e longitude, se caso a cidade ou ponto geográfico requerido não faça parte da lista é sugerido um local mais próximo, a inserção dos valores pode ser em graus, minutos e segundos (00°00'00") ou graus decimais (00.00°), com as coordenadas escolhidas o programa fornece os valores de irradiação solar em kWh/m².dia no plano horizontal que são correspondentes as diárias médias mensais dos 12 meses do ano (CRESESB, 2018). Além deste o *SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assesment)* será utilizado para maior embasamento e aprofundamento na coleta de dados.

Os dados relacionados aos ventos serão retirados do CRESESB através de consulta oriunda do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, levando em consideração a velocidade média do vento em m/s, fatores da distribuição de Weibull sazonal do vento consolidados à 50 metros de altura com resolução de 1km x 1km. Serão utilizados os dados da *SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assesment)* para maior embasamento e profundidade no estudo.

Para a obtenção da latitude e longitude da área de estudo será utilizado a ferramenta *Google Earth*, assim como para encontrar a altitude do local em questão.

Os valores de custo necessários como da placa fotovoltaica, geradores, inversores e aerogerador serão retirados dos seus fabricantes e comercializadores, pois não há tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisas e Custos e Índices para a Construção Civil).

3.3 Dimensionamentos

3.3.1 Energia de geração

A energia de geração será calculada com os dados de consumo fornecidos pela CEMAR, utilizando alguns conceitos e fórmulas. Inicialmente faz a média do consumo energético nos últimos 12 meses e a classe, variando de acordo com o tipo de residência e do fator de ligação se é monofásico, bifásico ou trifásico, segundo a resolução normativa 414 de 2010 da ANEEL, de acordo com a ligação existente haverá um consumo mínimo atrelado que deve ser subtraído do consumo total apresentado, para ligação monofásica é 30kWh, para ligação bifásica é 50kWh para ligação trifásica 100kWh.

A média aritmética do consumo dos 12 meses é dada por:

$$M_{\text{CONSUMO}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} C_{\text{MENSAIS}}}{12}$$

M_{CONSUMO} = Média aritmética entre os consumos dos últimos 12 meses(kWh/mês)

$\sum_{i=1}^{12} C_{\text{MENSAIS}}$ = Somatória dos consumos mensais

12 = Doze meses

3.3.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Iniciando o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos é necessário identificar a energia de geração por dia, usando a fórmula:

$$E_{\text{GERAÇÃO/DIA}} = \frac{M_{\text{CONSUMO}}}{30}$$

$E_{\text{GERAÇÃO/DIA}}$ = Energia de geração para o sistema em um dia (kWh/dia)

M_{CONSUMO} = Média aritmética entre os consumos dos últimos 12 meses (kWh/mês)

30 = Trinta dias referentes ao mês comercial

Com a energia de geração para o sistema em um dia definida e os dados de irradiação solar diária mensal no plano horizontal, denominado horas de sol pico por dia, calcula-se a potência de pico necessária para os módulos fotovoltaicos, que é dado por:

$$W_{\text{pico}} = \frac{E_{\text{GERAÇÃO/DIA}}}{H_{\text{SOL PICO}}}$$

W_{PICO} = Potência de Pico (kW)

$H_{\text{SOL PICO}}$ = Horas de Sol Pico (h)

$E_{\text{GERAÇÃO/DIA}}$ = Energia de geração para o sistema em um dia (kWh/dia)

Após definir a potência de pico, escolhem-se os módulos fotovoltaicos e de acordo com sua potência individual são definidas as quantidades que serão utilizadas, através da fórmula:

$$N_{\text{MÓDULOS}} = \frac{\left(\frac{W_{\text{PICO}}}{n}\right)}{W_{\text{MÓDULO FOTOVOLTAICO}}}$$

$N_{\text{MÓDULOS}}$ = Número de módulos fotovoltaicos

n = Rendimento

W_{PICO} = Potência de pico (kW)

$W_{\text{MÓDULO FOTOVOLTAICO}}$ = Potência individual do módulo fotovoltaico (W)

3.3.3 Dimensionamento sistema eólico

Para o dimensionamento do sistema eólico serão utilizados os ábacos de geração de energia pelo vento fornecidos pelas empresas dos aerogeradores e o consumo total anual ou mensal do imóvel.

O número de aerogeradores será dado por:

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{E_{\text{TOTAL}}}{W_{\text{AEROGERADOR}}}$$

$N_{\text{AEROGERADORES}}$ = Número de aerogeradores

E_{TOTAL} = Energia requerida do sistema

$W_{\text{AEROGERADOR}}$ = Potência gerada pelo aerogerador de acordo com o ábaco

3.3.4 Dimensionamento dos inversores

No dimensionamento desse equipamento, serão avaliados alguns aspectos como o tamanho do sistema, potência do gerador, características elétricas do módulo fotovoltaico escolhido. Serão utilizados dois critérios são eles, a potência do inversor tem que ser maior ou igual a potência de pico dos módulos em conjunto e a tensão da soma dos módulos não pode ultrapassar a tensão permitida na entrada do inversor.

Diferentemente da potência, caso a tensão seja menor do que a especificação técnica do aparelho podem haver problemas e danos ao item, caso a potência seja menor, o máximo que acontecerá é um desperdício (VILLALVA,2015).

Para o cálculo da tensão do conjunto e, posteriormente a escolha do tipo do inversor, precisamos primeiro verificar a tensão do circuito aberto do módulo, que é especificado pelo fabricante, dando sequência, multiplica-se o valor pela quantidade de módulos do conjunto, como expressado na fórmula:

$$V_{\text{OC}_{\text{TOTAL}}} = V_{\text{OC}_{\text{MÓDULOS}}} \times N_{\text{MÓDULOS}}$$

$V_{\text{OC}_{\text{TOTAL}}}$ = tensão total gerada pelo conjunto de módulos;

$V_{\text{OC}_{\text{MÓDULOS}}}$ = tensão gerada por cada módulo;

$N_{\text{MÓDULOS}}$ = quantidade de módulos do conjunto;

Para maior segurança do sistema será considerado um fator de segurança para não haver uma tensão maior na saída do inversor que a que calculamos. Esse fator de segurança pode ser obtido a partir do acréscimo de 10% da tensão do conjunto, método empírico muito utilizado pelos profissionais

da área, ou a partir do coeficiente de temperatura para a tensão do circuito, que também é um item especificado pelo fabricante do módulo. Nesse trabalho utilizaremos o método empírico de adição de 10%, logo que esse método proporciona sempre um valor mais elevado do que o cálculo feito a partir do coeficiente de temperatura (VILLALVA, 2015), logo temos a equação:

$$V_{OC'TOTAL} = V_{OCTOTAL} \times 1,1$$

$V_{OC'TOTAL}$ = tensão total final gerada pelo conjunto de módulos;

$V_{OCTOTAL}$ = tensão total gerada pelo conjunto de módulos;

Segundamente é calculado a potência que deve ter o gerador, baseado na potência de pico dos módulos escolhidos e sua quantidade, pela fórmula:

$$P_{MAKTOTAL} = P_{MAKMÓDULO} \times N_{MÓDULOS}$$

$P_{MAKTOTAL}$ = potência máxima do conjunto;

$P_{MAKMÓDULO}$ = potência máxima do módulo;

$N_{MÓDULOS}$ = quantidade de módulos do conjunto;

3.3.5 Sistema de fixação

O sistema de fixação será escolhido de acordo com a disponibilidade do mercado e quantidade de módulos necessários para suprir a demanda.

3.3.6 Dimensionamento proteção

3.3.6.1 Disjuntores

Os disjuntores são dimensionamentos baseado na corrente nominal do inversor escolhido aplicando-o na fórmula (FLANDOLI,2018).

$$D = C * 1,2$$

D= Disjuntor (A)

C= Corrente do inversor (A)

3.3.6.2 Fusíveis

Os fusíveis são dimensionamentos baseado na corrente nominal do inversor escolhido aplicando-o na fórmula (FLANDOLI,2018).

$$F = C * 0,8$$

F= Fusíveis (A)

C= Corrente do inversor (A)

3.3.6.3 *String box*

Com os disjuntores e fusíveis dimensionados é então escolhida a *string box* levando em consideração os resultados obtidos e disponibilidade do mercado.

3.3.7 Dimensionamento cabeamentos e conectores

3.3.7.1 Dimensionamento dos conectores

Os conectores são usados apenas para sistema fotovoltaico, conexão entre os módulos, são usados um par para cada módulo, logo o número de pares de conectores será igual ao número de módulos.

3.3.7.2 Dimensionamento dos cabeamentos

Os dimensionamentos dos cabeamentos são iguais para todos e levam em consideração a distância adotada entre a unidade geradora de energia e inversor, amperagem e voltagem da mesma, aplicando esses dados na seguinte fórmula:

$$A = \frac{I \times L \times 2}{\sigma \times V}$$

A= Área da seção dos cabos (mm²)

L= Comprimento entre unidade geradora e inversor (L)

σ = condutância do material do cabo

V= Voltagem da unidade geradora (V)

3.3.8 Cálculo de retorno dos investimentos

Após dimensionamento de todos os componentes de sistema fotovoltaico e do eólico, são somados os custos dos itens de acordo com os sites pesquisados, pois não há tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisas e Custos e Índices para a Construção Civil), de ambas para comparação e cálculo junto as tarifas da companhia de distribuição de energia elétrica competente.

Serão escolhidas algumas variáveis para avaliação da viabilidade econômica dos projetos, são elas: payback, VPL(valor presente líquido) e o TIR (Taxa de interna de retorno), segundo Ávila (2015), é utilizado para calcular a taxa de desconto que um determinado fluxo tem que atingir para se igualar o VPL a zero.

Payback é o cálculo do período necessário para que o lucro se iguale ao custo do investimento inicial, existem dois tipos de payback:

- a) Simples: que é o mais fácil para se calcular uma vez que não leva em conta a desvalorização do dinheiro no tempo estudado, sendo assim não apresenta grande confiabilidade econômica (NAKABAYASHI, 2014).
- b) Descontado: é o mais confiável pois estuda de maneira mais detalhada a desvalorização do dinheiro, utilizando a inflação prevista, investido com o período de retorno necessário para que se equiparem (NAKABAYASHI, 2014).

Valor presente líquido (VPL), que é um método da matemática utilizado para projetar um fluxo de caixa futuro para valores de hoje (DUARTE, 201?), para a diferença entre os benefícios e os custos do projeto, cálculo feito a partir do VPL, temos que considerar o investimento inicial, a taxa de desconto, o fluxo

de caixa em um período, o período em questão e o horizonte de análise do fluxo de caixa. Podemos calcular o valor presente líquido a partir da equação:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t}$$

I_0 = investimento inicial

FC_t = fluxo de caixa no período

r = taxa de desconto

t = período

n = horizonte de análise do fluxo de caixa

Se após o final do período estimado para retorno, o valor do VPL for positivo, o projeto é considerado viável, caso contrário, não é vantajoso o investimento (NAKABAYASHI, 2014).

O tempo é achado dividindo a diferença entre o investimento e o ganho que se tem por ele dividido pelo investimento.

Taxa interna de retorno (TIR), é calculada pela fórmula:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t}$$

I_0 = investimento inicial

FC_t = fluxo de caixa no período

t = período

TIR = taxa interna de retorno

n = horizonte de análise do fluxo de caixa

Figura 30 - Residência escolhida para o estudo



Fonte: Autor (2019)

4.2 Dados

4.2.1 Dados do imóvel

Dados de consumo energético do imóvel estudado

Todos os dados referentes ao imóvel necessários para os dimensionamentos foram retirados da fatura referente ao mês de outubro do ano de 2019 que foi fornecida pela CEMAR. Na figura 31 estão ilustrados os dados referentes ao imóvel.

O tipo do imóvel definido pela concessionária residencial pleno.

O tipo de tarifa é convencional monomia.

A tensão nominal e tipo de ligação são respectivamente 220 V e trifásica.

Não há perdas no ramal.

Figura 31 - Dados referentes as classificações e especificações do imóvel

equatorial ENERGIA

Nota Fiscal | Fatura de Energia Elétrica | Série B: | CFOP: 5258/AA
 Nº da Fatura: 0201910001864698 001864698
 Instalação: 192/400

Equatorial Maranhão Distribuidora de Energia S.A.
 Alameda A, Qd SQ5, nº 100, Loteamento Quifandinha,
 Altos do Calhau - São Luis - MA CEP: 65.070-900
 Insc. Estadual: 120.515.11-3 CNPJ: 06.272.793/0001-84

Para atendimento, informe este número.

Conta do Mês 10/2019 **Vencimento** 06/11/2019 **Conta Contrato** 1927400

Dados do cliente

DIOCLECIO SOUSA COQUEIRO
 IV COLHEIRO NETO 15
 PQ UNIVERSITARI 65010-000 SAO LUIS - MA
 Nº Parceiro de Negócio: 2275120
 Grupo e Subgrupo de Tensão: B/B1
 Tipo de Tarifa: CONVENCIONAL MONOFASIA
 Classificação: Residencial Pleno
 Perdas no Ramal(kWh): 0,00

CPF: 432.014.313-20
 Tensão Nom.: 220 V - TRI
 UL/Seq: 5113B008-800
 Nr Medidor: 30570276308
 Fator de Potencia: 0

Datas

Emissão 22/10/2019 Apresentação 22/10/2019 Previsão próxima leitura: 21/11/2019

Fonte: Adaptado de CEMAR (2019)

Os dados de consumo energético foram retirados da mesma fatura, utilizados os valores referentes somente aos últimos 12 meses, o que compreende o mês de novembro de 2018 até o mês de outubro de 2019, na figura 32 mostra o histórico de consumo.

Figura 32 - Histórico de consumo

Histórico do Consumo (kWh)													
	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
CONSUMO	938	926	808	878	799	697	712	649	713	613	705	714	785

Fonte: Adaptado de CEMAR (2019)

As tarifas e impostos seguindo o mesmo procedimento.

Tarifa cobrada: 0,630180 R\$/kWh

ICMS= 29%

CONFINS=1,9636%

PIS=0,4263%

Adicionais de bandeira vermelha e amarela foram desconsiderados, assim como os itens financeiros, assim temos um valor médio de aproximadamente 30% de impostos sobre a fatura durante os meses estudados, o que dá aproximadamente um valor de 0,896 R\$/kWh. Na figura 33 temos as tarifas cobradas e impostos referentes ao imóvel.

Figura 33 - Dados tarifários e impostos do imóvel

Demosntrativo de Faturamento			
Fornecimento	Quantidade	Tarifa	Valor
Consumo	785	0,630180	494,68
Adicional Band. Amarela			8,09
Adicional Band. Vermelha			9,81
ICMS			214,49
PIS			2,24
COFINS			10,31
Itens Financeiros			
Cip. Hum Pub Pref Munic			34,45
Total a pagar:			R\$ 774,07
Informações de tributos			
Tributos	Base de cálculo	Alíquota (%)	Valor (R\$)
ICMS	739,62	29,0000	214,49
PIS	525,13	0,4263	2,24
COFINS	525,13	1,9636	10,31
Reservado ao Fisco			
D21CEADE9EE1D/23F8E3AE579DFEAFD4		Número do Programa Social	
Período Fiscal		22/10/2019	

Fonte: Adaptado de CEMAR (2019)

As latitudes e longitudes da área de estudo foram retiradas do *Google Earth*, na figura 34 temos a latitude, longitude e altitude do objeto de estudo, sendo:

Latitude: 2°33'37" S ou -2,5602961

Longitude: 44°13'44" W ou -44,2291401

Altitude: 53 m

Figura 34 - Latitude, longitude e altitude do objeto de estudo



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2019)

4.2.2 Dados solares

Os dados solares foram retirados do portal CRESESB, utilizando a latitude e longitude encontradas no *Google Earth*, inseridos no site, a figura 35 mostra a inserção de dados no portal CRESESB.

Figura 35 - Inserção de dados no portal CRESESB

Coordenada Geográfica

Latitude	Longitude
<input type="text" value="2.5602961"/> <input type="text" value="Sul"/>	<input type="text" value="44.2291401"/> <input type="text" value="Oeste"/>

Norte:

graus decimais (00.00°)
 graus, minutos e segundos (00°00'00")

I. Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste. Em caso de dúvida entre em contato conosco.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
 Av. Horácio Macedo, 354 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - Brasil, CEP 21941-911
 Tel: 55 (21) 2598-6174 / 2598-6187 - Fax: 55 (21) 2280-3537 - E-mail: crese@cepel.br
 (Atendimento de segunda à sexta, das 8:00 às 16:30)
 Arte e Desenvolvimento Web: Bruno Montezano, 2014

Fonte: Adaptado de CRESESB (2019)

O portal fornece as horas de sol pico para as coordenadas ou região mais próxima, no caso em questão a região mais próxima está à 5 km de distância nas coordenadas 2,601° S; 44,249° W, estação localizada em São Luís, MA-Brasil, que deu como resultado 5,06 horas de média anual ao dia de irradiação solar em um plano horizontal. A figura 36 apresenta a irradiação ao dia para área do objeto de estudo.

Figura 36 - Irradiação ao dia para a área do objeto de estudo

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: São Luis
 Município: São Luis, MA - BRASIL
 Latitude: 2,601° S
 Longitude: 44,249° O
 Distância do ponto de ref. (2,560296° S; 44,22914° O): 5,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,64	4,73	4,60	4,56	4,57	4,78	5,03	5,53	5,93	5,68	5,53	5,10	5,06
<input type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	3° N	4,56	4,68	4,59	4,59	4,66	4,90	5,14	5,60	5,94	5,63	5,43	5,10	5,07
<input type="checkbox"/>	Maior média anual	3° N	4,56	4,68	4,59	4,59	4,66	4,90	5,14	5,60	5,94	5,63	5,43	5,10	5,07
<input type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	2° N	4,59	4,70	4,60	4,56	4,63	4,86	5,10	5,58	5,94	5,65	5,47	5,14	5,07

Fonte: Adaptado de CRESESB (2019)

4.2.3 Dados eólicos

Assim como os dados solares os eólicos foram retirados do portal CRESESB seguindo o mesmo processo, inserção das coordenadas, que foram retiradas do *Google Earth*, para obtenção da média anual de velocidade do vento na região de estudo, que como resultado foi de 5,05 m/s anualmente a 50m de altitude e a menor média mensal encontrada foi entre os meses de março e maio com velocidade de 3,18 m/s, como mostrado na figura 30.

Figura 37 - Inserção de dados e velocidade média anual em m/s da região de estudo para 50 metros

Coordenada Geográfica

Latitude: 2.5602961 Sul Longitude: 44.2291401 Oeste

Norte:
 graus decimais (00.00°)
 graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar Limpar

Em caso de dúvida entre em contato conosco.

Dados de Vento

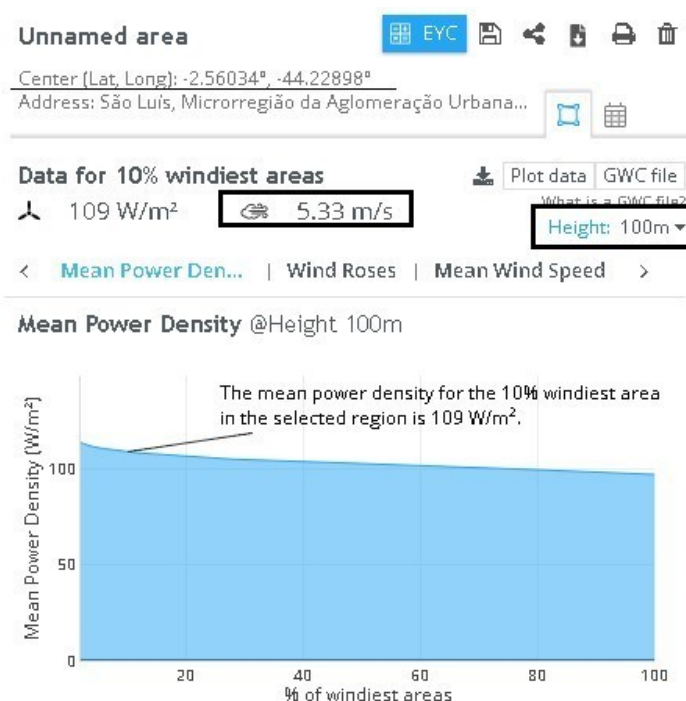
Latitude: 2,560296° S
 Longitude: 44,22914° O

Atlas do Potencial Eólico Brasileiro	Unidade	Dados de vento a 50 m de Altura					Anual
		Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Dez	
velocidade média do vento	m/s	4,9	3,18	4,95	7,91	5,7	5,05
fator c		5,53	3,68	5,68	7,91	5,7	5,05
fator k		2,31	1,86	2,52	3,91	2,16	2,16
densidade de potência	W/m ²	121	41	117	280	140	140

Fonte: Adaptado de CRESESB (2019)

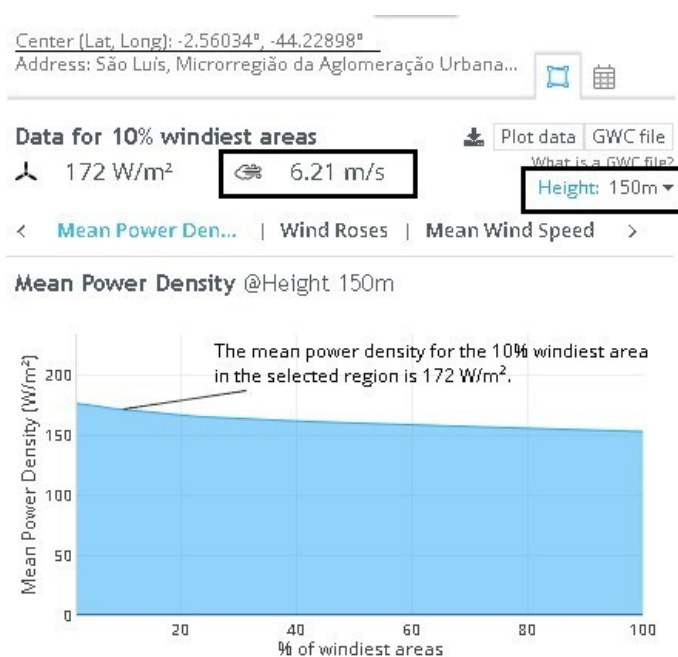
Para outras altitudes foi utilizado o *SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment)*, as altitudes verificadas foram 100 metros, 150 metros e 200 metros, para isso deve-se inserir o endereço no buscar e confirmar as coordenadas, se necessário usar um ponto escolhido manualmente para maior precisão. Os resultados encontrados da velocidade média do vento anual foram para: 100 metros, 5,33m/s; para 150 metros, 6,21m/s e para 200 metros, 6,8m/s. Nas figuras 38, 39 e 40 tem-se a velocidade média anual do vento para as alturas, respectivamente, de 100 metros, 150 metros e 200 metros.

Figura 38 - Velocidade média anual do vento para 100 metros



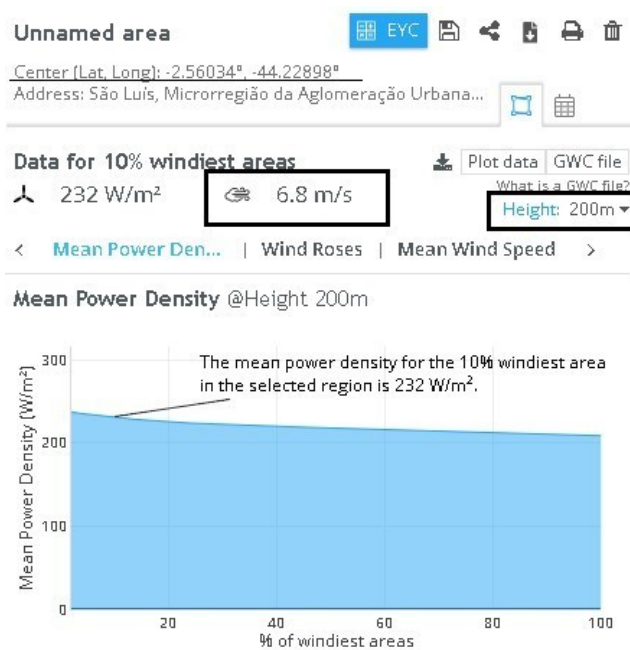
Fonte: Adaptado de *global wind atlas* (2019)

Figura 39 - Velocidade média anual do vento para 150 metros



Fonte: Adaptado de *global wind atlas* (2019)

Figura 40 - Velocidade anual média do vento para 200 metros



Fonte: Adaptado de *global wind atlas* (2019)

4.3 Dimensionamentos

4.3.1 Energia de geração

A média aritmética do consumo dos 12 meses fornecido pela CEMAR temos 749,9167 kWh/mês.

$$M_{\text{CONSUMO}} = \frac{\sum_{-1}^{12} C_{\text{MENSASIS}}}{12}$$

$$M_{\text{CONSUMO}} = \frac{926 + 808 + 878 + 799 + 697 + 712 + 649 + 713 + 613 + 705 + 714 + 785}{12}$$

$$M_{\text{CONSUMO}} = \frac{8999}{12}$$

$$M_{\text{CONSUMO}} = 749,916 \text{ kWh/mês}$$

4.3.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

Iniciando o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos usa-se a fórmula para descobrir a energia de geração para o sistema em um dia (kWh/dia).

$$E_{\text{GERAÇÃO/DIA}} = \frac{E_{\text{GERAÇÃO/MÊS}}}{30}$$

$$E_{\text{GERAÇÃO/DIA}} = \frac{759,916}{30}$$

$$E_{\text{GERAÇÃO/DIA}} = 24,9972 \text{ kWh/dia}$$

Com a energia de geração para o sistema em um dia definida e sabendo que são 5,06 horas de sol pico, usa-se a fórmula a seguir para encontrar a potência de pico necessária para os painéis.

$$W_{\text{pico}} = \frac{E_{\text{GERAÇÃO/DIA}}}{H_{\text{SOL PICO}}}$$

$$W_{\text{pico}} = \frac{24,9972}{5,06}$$

$$W_{\text{pico}} = 4,9401 \text{ kW}$$

Após definir a potência de pico, os módulos fotovoltaicos foram escolhidos foram os monocristalino Canadian Solar C56K 305W, devido a maior eficiência, que é de 75% de acordo com os fabricantes e suas perdas.

A tabela 1 mostra as especificações técnicas do módulo fotovoltaico escolhido.

Tabela 1 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico

C56K 305W	
Potência nominal	305 W
Tensão nominal de saída	32,7 V
Corrente de saída nominal	9,33 A
Vida útil	25 anos

Fonte: Adaptado de Merkasol (2019)

$$N_{\text{MÓDULOS}} = \frac{W_{\text{PICO}}}{W_{\text{MÓDULO FOTOVOLTAICO}}}$$

$$N_{\text{MÓDULOS}} = \frac{\left(\frac{4,9401}{0,75}\right)}{0,305}$$

$$N_{\text{MÓDULOS}} = 21,59$$

Serão utilizados 22 módulos fotovoltaicos para suprir a demanda.

Para confirmar a demanda utiliza-se as mesmas fórmulas substituindo o número de módulo para encontrar a energia de geração por mês que é 763,9335 kWh/mês ou 9167,202 kWh/ano, superando as requisições do sistema.

4.3.3 Dimensionamento sistema eólico

4.3.3.1 Para 50 metros de altitude

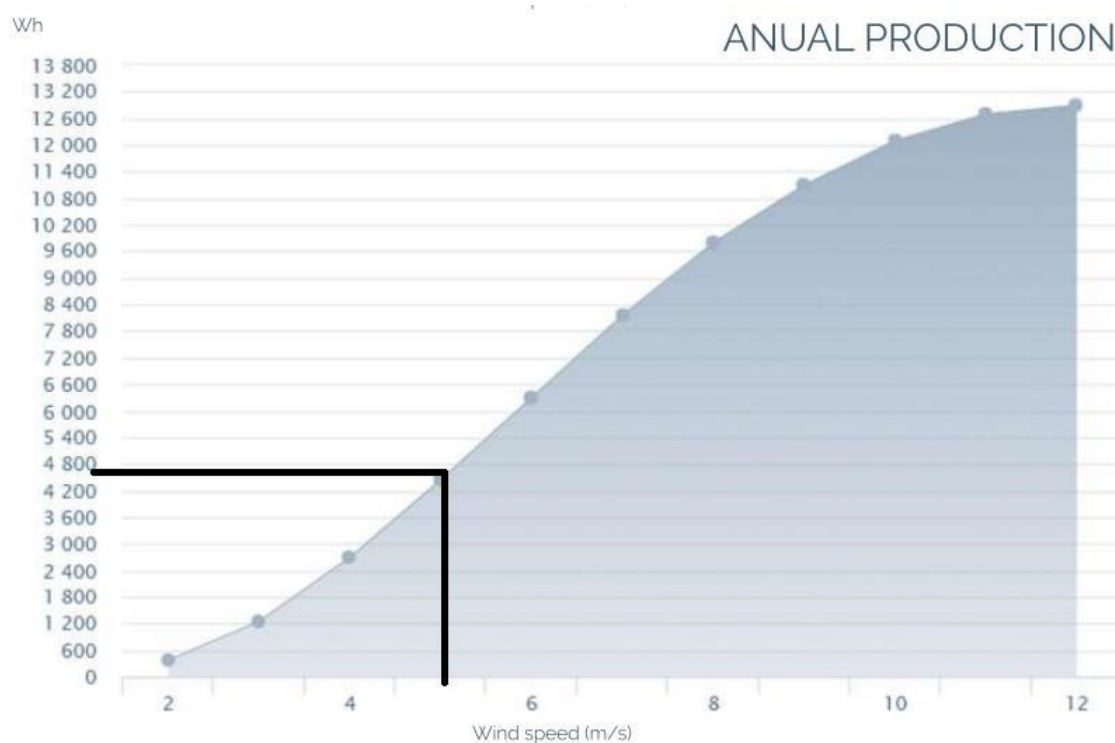
Para o dimensionamento do sistema eólico para 50 metros foi escolhido o Wind Turbine E30PRO, devido aos baixos ventos requeridos para arranque, funcionamento e atendimento à demanda. Na tabela 2 temos as suas especificações.

Tabela 2 - Especificações do aerogerador para 50 metros de altitude

Wind Turbine E30PRO	
Potência Nominal	3000
Voltagem	24 V/48V/220V
Vento de início	2 m/s
Vento máximo suportado	60m/s
Corrente Nominal	7,91 A

Fonte: Adaptado de ENAIR (2019)

Do ábaco fornecido retira-se a energia gerada pelo aerogerador à uma velocidade média anual com altitude de 50 metros que é 5,05 m/s. Na figura 41 tem-se o ábaco de geração de energia anual.

Figura 41 - Ábaco de geração de energia anual em kW de acordo com o vento m/s

Fonte: Adaptado de ENAIR (2019)

Temos então que para a velocidade de 5,05 m/s usando o Wind Turbine E30PRO a energia gerada em um ano por um gerador é de aproximadamente 4700 kWh.

O número de aerogeradores será dado por:

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{\sum^{12} C_{\text{MENS AIS}}}{E_{\text{AEROGERADOR}}}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{926 + 808 + 878 + 799 + 697 + 712 + 649 + 713 + 613 + 705 + 714 + 785}{4700}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{8999}{4700}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = 1,914681$$

Para suprir as demandas energéticas serão adotados 2 aerogeradores do modelo Wind Turbine E30PRO.

4.3.3.2 Para 100 metros de altitude

Para o dimensionamento do sistema eólico à 100 metros foi escolhido o Wind Turbine E30PRO, devido aos baixos ventos requeridos para arranque, funcionamento e capacidade de suprir a demanda, na tabela 3 temos as suas especificações.

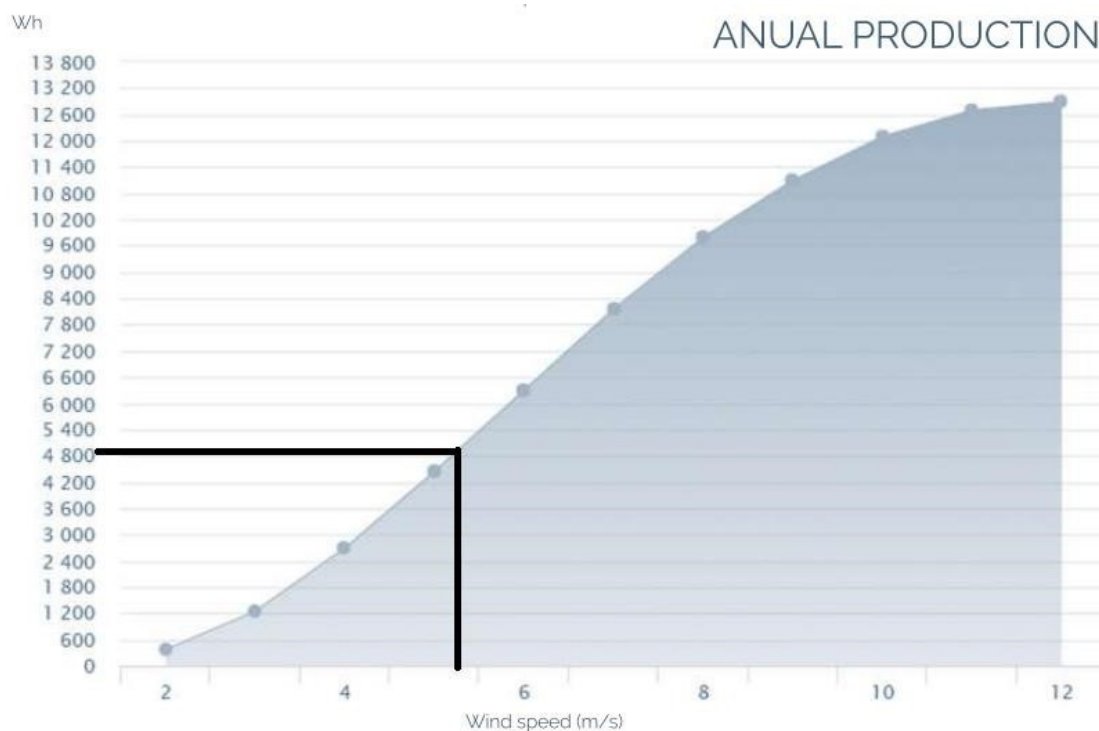
Tabela 3 - Especificações do aerogerador para 100 metros de altitude

Wind Turbine E30PRO	
Potência Nominal	3000
Voltagem	24 V/48V/220V
Vento de início	2 m/s
Vento máximo suportado	60m/s
Corrente Nominal	11,25 A

Fonte: Adaptado de ENAIR (2019)

Do ábaco fornecido retira-se a energia gerada pelo aerogerador utilizando a velocidade média anual à uma altitude de 100 metros que é 5,33 m/s. Na figura 42 tem-se o ábaco de geração de energia anual.

Figura 42 - Ábaco de geração de energia anual em kW de acordo com o vento m/s



Fonte: Adaptado de ENAIR (2019)

Temos então que para a velocidade de 5,33 m/s usando o Wind Turbine E30PRO a energia gerada em um ano por um gerador é de aproximadamente 4800 kWh.

O número de aerogeradores será dado por:

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{\sum_{12} C_{\text{MENS AIS}}}{E_{\text{AEROGERADOR}}}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{926 + 808 + 878 + 799 + 697 + 712 + 649 + 713 + 613 + 705 + 714 + 785}{4800}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{8999}{4800}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = 1,874792$$

Para suprir as demandas energéticas serão adotados 2 aerogeradores do modelo Wind Turbine E30PRO.

4.3.3.3 Para 150 metros de altitude

Para o dimensionamento do sistema eólico à 150 metros foi escolhida a Bornay 3000W, na tabela 4 temos as suas especificações.

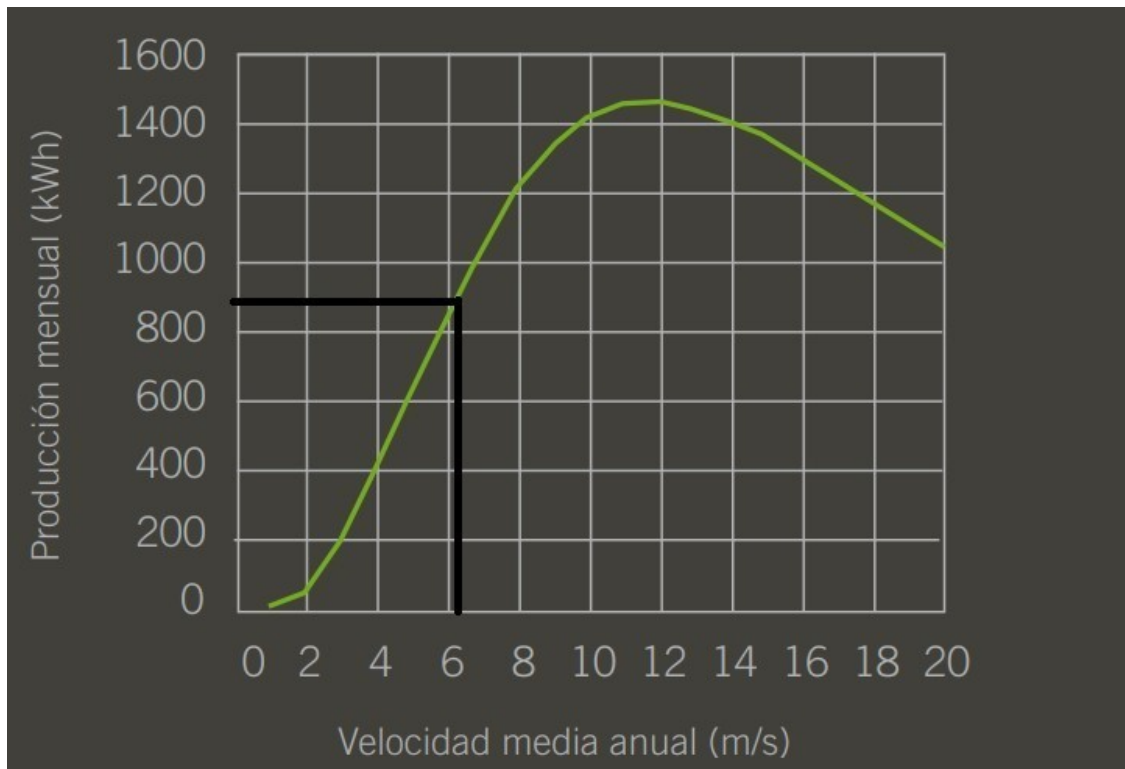
Tabela 4 - Especificações do aerogerador para 150 metros de altitude

Bornay 3000W	
Potência Nominal	3000 W
Voltagem	24V/48V/220V
Vento de início	3,5 m/s
Vento máximo suportado	60m/s
Corrente nominal	12,29 A

Fonte: Adaptado de Bornay (2019)

Do ábaco fornecido retira-se a energia gerada pelo aerogerador utilizando a velocidade média anual à uma altitude de 150m que é 6,21 m/s. Na figura 43 tem-se o ábaco de geração de energia anual.

Figura 43 - Ábaco de geração de energia anual em kW de acordo com o vento m/s



Fonte: Adaptado de Bornay (2019)

Temos então que para a velocidade de 6,21 m/s usando o Bornay 3000W 24v a energia gerada em um ano por um gerador é de aproximadamente 10200 kWh.

O número de aerogeradores será dado por:

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{\sum_{12} C_{\text{MENSAS}}}{E_{\text{AEROGERADOR}}}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{926 + 808 + 878 + 799 + 697 + 712 + 649 + 713 + 613 + 705 + 714 + 785}{10200}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{8999}{10200}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = 0,882255$$

Para suprir as demandas energéticas será adotado 1 aerogerador do modelo Bornay 3000W.

4.3.3.4 Para 200 metros de altitude

Para o dimensionamento do sistema eólico à 200 metros foi escolhida a Bornay 3000W, na tabela 5 temos as suas especificações.

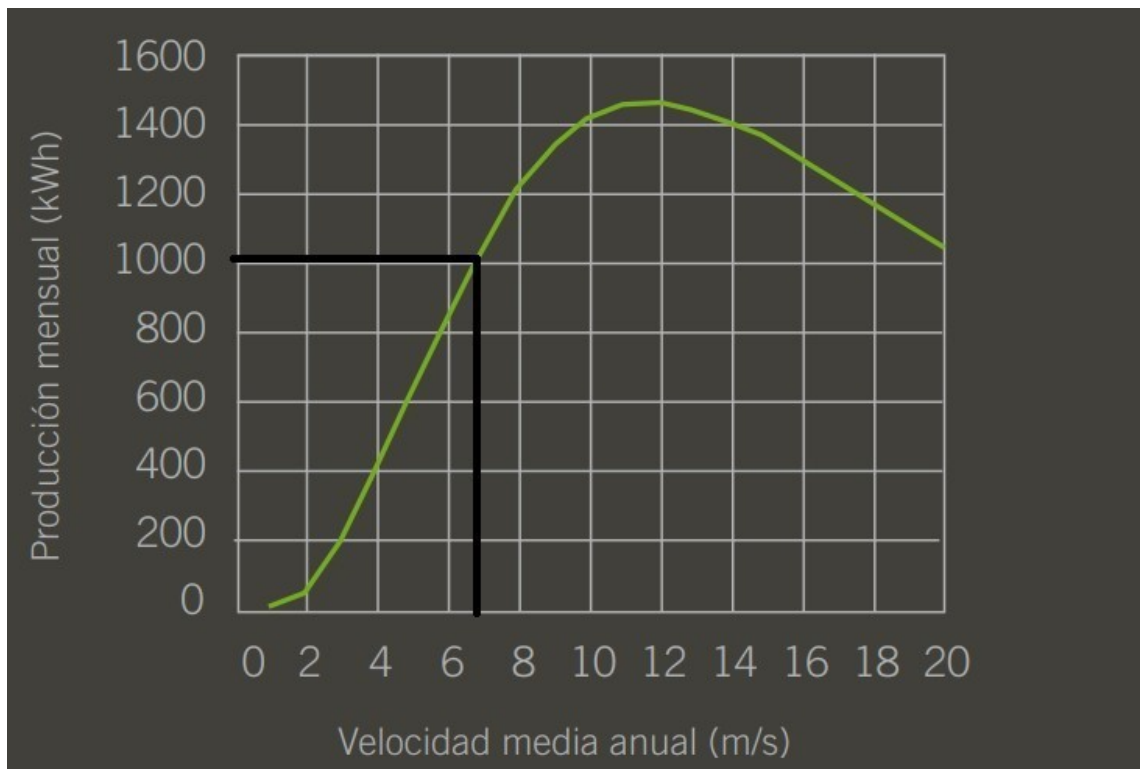
Tabela 5 - Especificações do aerogerador para 200 metros de altitude

Bornay 3000W	
Potência Nominal	3000 W
Voltagem	24V/48V/220V
Vento de início	3,5 m/s
Vento máximo suportado	60m/s
Corrente nominal	14,37 A

Fonte: Adaptado de Bornay (2019)

Do ábaco fornecido retira-se a energia gerada pelo aerogerador utilizando a velocidade média anual à uma altitude de 200 metros que é 6,8 m/s. Na figura 44 tem-se o ábaco de geração de energia anual.

Figura 44 - Ábaco de geração de energia anual em kW de acordo com o vento m/s



Fonte: Adaptado de Bornay (2019)

Temos então que para a velocidade de 6,8 m/s usando a Bornay 3000W a energia gerada em um ano por um gerador é de aproximadamente 12000 kWh.

O número de aerogeradores será dado por:

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{\sum_1^{12} C_{\text{MENSAIS}}}{E_{\text{AEROGERADOR}}}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{926 + 808 + 878 + 799 + 697 + 712 + 649 + 713 + 613 + 705 + 714 + 785}{12000}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = \frac{8999}{12000}$$

$$N_{\text{AEROGERADORES}} = 0,749917$$

Para suprir as demandas energéticas será adotado 1 aerogerador do modelo Bornay 3000W.

4.3.5 Dimensionamento dos inversores

Para todos os casos serão utilizados inversores de corrente senoidal pura, *on grid* e de tensão de entrada de 48v e 220V de saída, os dados de potência serão retirados dos manuais dos fabricantes dos produtos.

4.3.5.1 No sistema fotovoltaico

Primeiramente verificar a tensão máxima que deve aceitar o inversor, corrente individual de cada módulo 32,7V e um total de 22 módulos, utilizando a fórmula

$$\begin{aligned} V_{OC_{TOTAL}} &= V_{OC_{MÓDULOS}} \times N_{MÓDULOS} \\ V_{OC_{TOTAL}} &= 32,7 \times 22 \\ V_{OC_{TOTAL}} &= 719,4 \text{ V} \end{aligned}$$

Aplicando o fator de segurança de 1,1:

$$\begin{aligned} V_{OC'_{TOTAL}} &= V_{OC_{TOTAL}} \times 1,1 \\ V_{OC'_{TOTAL}} &= 719,4 \times 1,1 \\ V_{OC'_{TOTAL}} &= 791,34 \text{ V} \end{aligned}$$

A potência total é dada multiplicando o número de módulos pela potência de pico de cada um, como temos 22 módulos de 305W a potência total máxima:

$$\begin{aligned} P_{MAK_{TOTAL}} &= P_{MAK_{MÓDULO}} \times N_{MÓDULOS} \\ P_{MAK_{TOTAL}} &= 305 \times 22 \\ P_{MAK_{TOTAL}} &= 6710 \text{ W} \end{aligned}$$

O inversor escolhido é o Fronius 8.2-1 8200W. na tabela 6 temos as especificações técnicas do inversor escolhido e na figura 45 a ilustração do inversor.

Tabela 6 - Especificações técnicas do inversor para o sistema fotovoltaico

Inversor Fronius Primo 8.2-1 8200W	
Potência nominal	8200W
Voltagem entrada	80-800Vcc
Corrente máxima de entrada	18 A

Fonte: Adaptado de Neosolar (2019)

Figura 45 - Inversor Fronius 8200W

Fonte: NEOSOLAR (2019)

4.3.5.2 No sistema eólico

Os aerogeradores escolhidos já tem inversores inclusos, logo não será necessário o dimensionamento.

4.3.6 Sistema de fixação

Somente o sistema fotovoltaico precisa de um sistema de fixação, foram utilizados os seguintes itens baseados nas especificações de quantidade de módulos e tipo de telhado, respectivamente, 22 módulos e telhado de cerâmica, temos então, o suporte painel solar 2 módulos 240W-365W para telha cerâmica RS224, para fixação de todos os módulos são necessários 11 unidades, na figura 46 temos o suporte.

Figura 46 - Conjunto de fixação com módulos fixados



Fonte: MINHACASASOLAR (2019)

4.3.7 Dimensionamento proteção

Serão dimensionados os disjuntores e fusíveis para a string box somente para o sistema fotovoltaico, os sistemas eólicos tem inversor embutido e não será preciso uso de uma proteção.

4.3.7.1 Para o sistema fotovoltaico

4.3.7.1.1 Disjuntores

Temos que a corrente nominal do item protegido, inversor, é 18 A
A partir da fórmula temos que os disjuntores devem ser de:

$$D = C * 1,2$$

$$D = 18 * 1,2$$

$$D = 21,6 A$$

4.3.7.1.2 Fusíveis

Temos que a corrente nominal do item protegido, inversor, é 18 A
A partir da formula temos que os disjuntores devem ser de:

$$F = C * 0,8$$

$$F = 18 * 0,8$$

$$F = 16,2 \text{ A}$$

4.3.7.1.3 String box

A string box que se adequa aos parâmetros de disjuntor 21,6 A e fusíveis de 16,2 a escolhida é a string box Neosolar Pro 3x1 1000V/25 A IP 65 c/fusíveis, na figura 47 temos a string box escolhida e na tabela 7 as especificações técnicas da mesma.

Figura 47 - String box neosolar pro 3x1



Fonte: NEOSOLAR (2019)

Tabela 7 - Especificações técnicas da string box

String box Neosolar Pro 3x1 1000V/25 A IP65	
Chave seccionadora	25 A
Fusíveis	6x12A

Fonte: Adaptado de NEOSOLAR (2019)

4.3.8 Dimensionamento dos cabos condutores

4.3.8.1 Para o sistema fotovoltaico

Para o sistema solar fotovoltaico são necessários conectores MC4 e os cabos condutores, são 22 módulos para cada um é necessário um par de

conector, logo temos 22 conectores MC4(par), na figura 43 está o modelo de conector escolhido.

Figura 48 - Conectores MC4



Fonte: NEOSOLAR (2019)

Os cabos são dimensionados com base na distância adotada entre os módulos e inversor, amperagem (9,33 A) e voltagem dos módulos (32,7 V), utilizando a fórmula:

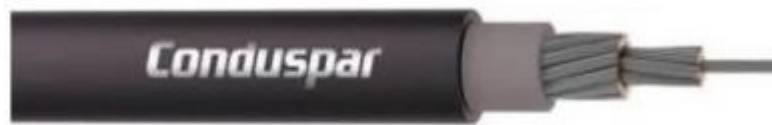
$$A = \frac{I \times L \times 2}{\sigma \times V}$$

$$A = \frac{9,33 \times 10 \times 2}{58 \times 32,7}$$

$$A = 3,279 \text{ mm}^2$$

Serão usados cabos de 4mm² conduspar prosolar 1kV, na figura 49 e figura 50 temos os modelos de cabos condutores escolhidos, foram escolhidas duas cores para facilitar a identificação de positivo e negativo durante a execução do projeto.

Figura 49 - Cabo condutor 4mm² preto



Fonte: NEOSOLAR (2019)

Figura 50 - Cabo condutor 4mm² vermelho



Fonte: NEOSOLAR (2019)

4.3.8.2 Para o sistema eólico

4.3.8.2.1 Para 50 metros de altitude

Os cabos são dimensionados com base na distância adotada entre os aerogeradores e inversor, amperagem (7,91 A) e voltagem dos aerogeradores (48 V), utilizando a fórmula:

$$A = \frac{I \times L \times 2}{\sigma \times V}$$

$$A = \frac{7,91 \times 10 \times 2}{58 \times 48}$$

$$A = 1,89 \text{ mm}^2$$

Serão usados cabos de 4mm² conduspar prosolar 1kV, mesmo modelo usado para o sistema fotovoltaico, foram escolhidas duas cores para facilitar a identificação de positivo e negativo durante a execução do projeto.

4.3.8.2.2 Para 100 metros de altitude

Os cabos são dimensionados com base na distância adotada entre os aerogeradores e inversor, amperagem (11,25 A) e voltagem dos aerogeradores (48 V), utilizando a fórmula:

$$A = \frac{I \times L \times 2}{\sigma \times V}$$

$$A = \frac{11,25 \times 10 \times 2}{58 \times 48}$$

$$A = 2,69 \text{ mm}^2$$

Serão usados cabos de 4mm² conduspar prosolar 1kV, mesmo modelo usado para o sistema fotovoltaico, foram escolhidas duas cores para facilitar a identificação de positivo e negativo durante a execução do projeto.

4.3.8.2.3 Para 150 metros de altitude

Os cabos são dimensionados com base na distância adotada entre o aerogerador e inversor, amperagem (12,29 A) e voltagem dos aerogerador (48 V), utilizando a fórmula:

$$A = \frac{I \times L \times 2}{\sigma \times V}$$

$$A = \frac{12,29 \times 10 \times 2}{58 \times 48}$$

$$A = 2,94 \text{ mm}^2$$

Serão usados cabos de 4mm² conduspar prosolar 1kV, mesmo modelo usado para o sistema fotovoltaico, foram escolhidas duas cores para facilitar a identificação de positivo e negativo durante a execução do projeto.

4.3.8.2.4 Para 200 metros de altitude

Os cabos são dimensionados com base na distância adotada entre o aerogerador e inversor, amperagem (14,37 A) e voltagem do aerogerador (48 V), utilizando a fórmula:

$$A = \frac{I \times L \times 2}{\sigma \times V}$$

$$A = \frac{14,37 \times 10 \times 2}{58 \times 48}$$

$$A = 3,44 \text{ mm}^2$$

Serão usados cabos de 4mm² conduspar prosolar 1kV, mesmo modelo usado para o sistema fotovoltaico, foram escolhidas duas cores para facilitar a identificação de positivo e negativo durante a execução do projeto.

4.3.9 Cálculo de retorno dos investimentos

Iniciando pela soma de todos os itens nos sistemas dimensionados tanto solar quanto eólico, os preços dos itens foram retirados de sites comercializadores.

O custo total por mês em reais será calculado pela média de consumo e tarifas aplicadas, de acordo com os dados da companhia distribuidora.

Considerando as taxas divulgadas pela distribuidora de energia o custo mensal é 0,9323 R\$/kWh.

Segundo Frisch (2018), “Entre os economistas que mais acertam as previsões, de médio prazo, a mediana para a inflação oficial de 2018 passou de 4,50% para 4,28% e de 3,97% para 3,82% em 2019”. Sendo assim, utilizaremos uma média das estimativas para os dois anos, logo, será utilizado uma taxa de 4% a.a. Através de estudos de Nakabayashi (2014), onde se percebe um aumento médio nos últimos vinte anos de 9,6% na tarifa de energia elétrica, pudemos adotar o mesmo valor para a planilha orçamentária. Outro dado de extrema importância é o valor fixo de disponibilidade da ligação monofásica na região.

A companhia energética do maranhão (CEMAR) segue a regulamentação da resolução ANEEL nº 414 onde estabelece o valor mínimo de entrega de energia de 100 kWh para sistema trifásico. Para as perdas de desempenho anuais, que ficam em torno de 0,5% e 1,0% nos módulos de silício e aerogeradores, onde vai diminuindo o desempenho da unidade fotovoltaica. (Pinho e Galdino, 2014) e de acordo com as fichas técnicas dos produtos. Logo será adotado um valor médio de 0,8%.

A tabela 8 apresenta as premissas gerais de viabilidade utilizadas no cálculo.

Tabela 8 - Premissas gerais da viabilidade

Premissas Gerais	
Consumo médio mensal (kWh)	749,916
Taxa de perda de eficiência anual (%)	0,80
Taxa de disponibilidade (kWh)	100
Taxa de inflação (% a.a.)	4,00
Reajuste médio anual (%a.a.)	9,60
Tarifa no ano-base (R\$/kWh)	0,896

Fonte: Autor (2019)

4.3.9.1 No sistema solar

A tabela 9 apresenta os itens, quantidade, preço unitário e preço total.

Tabela 9 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema fotovoltaico completo

Item	Modelo	Quantidade	Preço Unitário(R\$)	Preço Total(R\$)
Módulo Fotovoltaico	Painel solar monocristalino Canadian Solar C56K 305W	22	689,00	15.158,00
Inversor	Inversor Fronius Primo 8.2-1 8200W	1	14.190,00	14.190,00

Fixação	Suporte painel solar 2 módulos 240W- 365W p/ Telha cerâmica RS224	11	539,00	5.929,00
String Box	String Box Neosolar PRO 3x1	1	1.139,00	1.139,00
Conectores	MC4(par)	22	22,90	503,80
Condutores	Condu spar Prosolar 4 mm ² 1kV	20	4,59	91,80
Total				37.011,60

Fonte: Autor (2019)

A tabela 10 apresenta na coluna um, a ordem dos anos que foram utilizados para a avaliação, 25 anos pois é a média de vida útil dos equipamentos utilizados no dimensionamento.

Na coluna dois está a geração por ano do sistema, que foi calculada a partir do produto da potência do conjunto, horas de sol pleno e quantidade de dias no mês e quantidade de meses no ano.

A coluna três apresenta o consumo da residência que foi definido no estudo de caso de acordo com a média feita a partir do histórico dos últimos 12 meses obtido na fatura de energia disponibilizada pela CEMAR.

A coluna quatro está o consumo faturado, que consiste na diferença entre a energia consumida pelo residente e a fornecida pela concessionária.

A coluna cinco, seis e sete demonstram, respectivamente, a economia calculada, de acordo com o que é gerado e cobrado; a tarifa cobrada por kWh a partir do ano base e tendo considerado a taxa de reajuste para os anos posteriores e, o custo evitado, calculado a partir do produto entre a economia e a tarifa para cada ano. A coluna do fluxo de caixa fornece a variação econômica do proprietário, partindo do custo de investimento (negativo), que é o custo inicial, e seguindo com o ganho anual gerado pelo sistema, então, foi calculado

o fluxo de caixa acumulado, que é a soma das atividades geradas anualmente no fluxo de caixa.

Por fim, temos o fluxo de caixa descontado e o acumulado do fluxo de caixa descontado, que consiste na mesma lógica apresentada no fluxo de caixa simples, porém foi levada em consideração a taxa de inflação média anual adotada de 4% a.a..

Tabela 10 - Análise de viabilidade de retorno do investimento do sistema solar

ANO	GERAÇÃO (kWh/ano)	CONSUMO (kWh/ano)	CONSUMO FATURADO (kWh/ano)	ECONOMIA DE ENERGIA (kWh/ano)	TARIFA (R\$/kWh)	CUSTO EVITADO	INVESTIMENTO	FLUXO DE CAIXA	FLUXO DE CAIXA ACUMULADO	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO	FLUXO DE CAIXA DESCONTADO ACUMULADO
0							37.011,60	-R\$ 37.011,60	-R\$ 37.011,60	-R\$ 37.011,60	-R\$ 37.011,60
1	9167	8999	1200	7799	0,896	R\$ 6.987,90		R\$ 6.987,90	-R\$ 30.023,70	R\$ 6.719,14	-R\$ 30.292,46
2	9094	8999	1200	7799	0,98	R\$ 7.658,74		R\$ 7.658,74	-R\$ 22.364,95	R\$ 7.080,94	-R\$ 23.211,52
3	9021	8999	1200	7799	1,08	R\$ 8.393,98		R\$ 8.393,98	-R\$ 13.970,97	R\$ 7.462,22	-R\$ 15.749,30
4	8949	8999	1200	7799	1,18	R\$ 9.199,80		R\$ 9.199,80	-R\$ 4.771,17	R\$ 7.864,03	-R\$ 7.885,27
5	8877	8999	1200	7799	1,29	R\$ 10.082,99		R\$ 10.082,99	R\$ 5.311,82	R\$ 8.287,48	R\$ 402,21
6	8806	8999	1200	7799	1,42	R\$ 11.050,95		R\$ 11.050,95	R\$ 16.362,77	R\$ 8.733,73	R\$ 9.135,93
7	8736	8999	1200	7799	1,55	R\$ 12.111,84		R\$ 12.111,84	R\$ 28.474,61	R\$ 9.204,01	R\$ 18.339,94
8	8666	8999	1200	7799	1,70	R\$ 13.274,58		R\$ 13.274,58	R\$ 41.749,20	R\$ 9.699,61	R\$ 28.039,55
9	8596	8999	1200	7799	1,87	R\$ 14.548,94		R\$ 14.548,94	R\$ 56.298,14	R\$ 10.221,89	R\$ 38.261,44
10	8528	8999	1200	7799	2,04	R\$ 15.945,64		R\$ 15.945,64	R\$ 72.243,77	R\$ 10.772,30	R\$ 49.033,74
11	8459	8999	1200	7799	2,24	R\$ 17.476,42		R\$ 17.476,42	R\$ 89.720,19	R\$ 11.352,35	R\$ 60.386,09
12	8392	8999	1200	7799	2,46	R\$ 19.154,16		R\$ 19.154,16	R\$ 108.874,35	R\$ 11.963,63	R\$ 72.349,72
13	8325	8999	1200	7799	2,69	R\$ 20.992,96		R\$ 20.992,96	R\$ 129.867,31	R\$ 12.607,82	R\$ 84.957,54
14	8258	8999	1200	7799	2,95	R\$ 23.008,28		R\$ 23.008,28	R\$ 152.875,58	R\$ 13.286,71	R\$ 98.244,25
15	8192	8999	1200	7799	3,23	R\$ 25.217,07		R\$ 25.217,07	R\$ 178.092,66	R\$ 14.002,15	R\$ 112.246,40
16	8126	8999	1200	7799	3,54	R\$ 27.637,91		R\$ 27.637,91	R\$ 205.730,57	R\$ 14.756,11	R\$ 127.002,51
17	8061	8999	1200	7799	3,88	R\$ 30.291,15		R\$ 30.291,15	R\$ 236.021,72	R\$ 15.550,67	R\$ 142.553,17
18	7997	8999	1200	7799	4,26	R\$ 33.199,10		R\$ 33.199,10	R\$ 269.220,83	R\$ 16.388,01	R\$ 158.941,18
19	7933	8999	1200	7799	4,67	R\$ 36.386,22		R\$ 36.386,22	R\$ 305.607,04	R\$ 17.270,44	R\$ 176.211,63
20	7870	8999	1200	7799	5,11	R\$ 39.879,29		R\$ 39.879,29	R\$ 345.486,34	R\$ 18.200,39	R\$ 194.412,02
21	7807	8999	1200	7799	5,60	R\$ 43.707,71		R\$ 43.707,71	R\$ 389.194,04	R\$ 19.180,41	R\$ 213.592,43
22	7744	8999	1255	7744	6,14	R\$ 47.566,59		R\$ 47.566,59	R\$ 436.760,63	R\$ 20.070,98	R\$ 233.663,40
23	7682	8999	1317	7682	6,73	R\$ 51.715,92		R\$ 51.715,92	R\$ 488.476,55	R\$ 20.982,51	R\$ 254.645,91
24	7621	8999	1378	7621	7,38	R\$ 56.227,20		R\$ 56.227,20	R\$ 544.703,74	R\$ 21.935,44	R\$ 276.581,35
25	7560	8999	1439	7560	8,09	R\$ 61.132,01		R\$ 61.132,01	R\$ 605.835,75	R\$ 22.931,64	R\$ 299.512,99

Fonte: Autor (2019)

Na tabela 11 estão os tempos de retorno em ano e mês aproximadamente, tanto tempo de retorno descontado quanto acumulado.

Tabela 11 -Tempo de retorno para o sistema fotovoltaico

TEMPO DE RETORNO DESCONTADO	4 anos e 11 meses
TEMPO DE RETORNO ACUMULADO	4 anos e 5 meses

Fonte: Autor (2019)

4.3.9.2 No sistema eólico

Foi utilizada a mesma metodologia para os sistemas eólicos, utilizando a tabela para obter o tempo de retorno acumulado e descontado, substituindo apenas a energia de geração anual e o investimento, custo total.

4.3.9.2.1 Para 50 metros de altitude

A tabela 12 apresenta os itens, quantidade, preço unitário e preço total.

Tabela 12 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema eólico completo instalado à 50 metros de altitude

Item	Modelo	Quantidade	Preço Unitário(R\$)	Preço Total(R\$)
Módulo Fotovoltaico	Wind Turbine E30PRO	2	30.500,00	61.000,00
Condutores	Condu spar Prosolar 4 mm ² 1kV	40	4,59	183,60
Total				61.183,60

Fonte: Autor (2019)

A tabela 13 mostra o tempo de retorno:

Tabela 13 - Tempo de retorno para o sistema eólico de 50 metros de altitude

TEMPO DE RETORNO DESCONTADO	7 anos e 7 meses
TEMPO DE RETORNO ACUMULADO	6 anos e 7 meses

Fonte: Autor (2019)

4.3.9.2.2 Para 100 metros de altitude

A tabela 14 apresenta os itens, quantidade, preço unitário e preço total.

Tabela 14 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema eólico completo instalado à 100 metros de altitude

Item	Modelo	Quantidade	Preço Unitário(R\$)	Preço Total(R\$)
Módulo Fotovoltaico	Wind Turbine E30PRO	2	30.500,00	61.000,00
Condutores	Condu spar Prosolar 4 mm ² 1kV	40	4,59	183,60
Total				61.183,60

Fonte: Autor (2019)

A tabela 15 mostra o tempo de retorno:

Tabela 15 - Tempo de retorno para o sistema eólico de 100 metros de altitude

TEMPO DE RETORNO DESCONTADO	7 anos e 7 meses
TEMPO DE RETORNO ACUMULADO	6 anos e 7 meses

Fonte: Autor (2019)

4.3.9.2.3 Para 150 metros de altitude

A tabela 16 apresenta os itens, quantidade, preço unitário e preço total.

Tabela 16 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema eólico completo instalado à 150 metros de altitude

Item	Modelo	Quantidade	Preço Unitário(R\$)	Preço Total(R\$)
Módulo Fotovoltaico	Bornay 3000W	1	29.500,00	29.500,00
Condutores	Conduspar Prosolar 4 mm ² 1kV	20	4,59	91,80
Total				29.591,80

Fonte: Autor (2019)

A tabela 17 mostra o tempo de retorno:

Tabela 17 - Tempo de retorno para o sistema eólico de 150 metros de altitude

TEMPO DE RETORNO DESCONTADO	4 anos e 0 meses
TEMPO DE RETORNO ACUMULADO	3 anos e 8 meses

Fonte: Autor (2019)

4.3.9.2.4 Para 200 metros de altitude

A tabela 18 apresenta os itens, quantidade, preço unitário e preço total.

Tabela 18 - Tabela com itens, quantidades e preços referentes ao sistema eólico completo instalado à 200 metros de altitude

Item	Modelo	Quantidade	Preço Unitário(R\$)	Preço Total(R\$)
Módulo Fotovoltaico	Bornay 3000W 24V	1	29.500,00	29.500,00

Condutores	Condu spar Prosolar 4 mm ² 1kV	20	4,59	91,80
Total				29.591,80

Fonte: Autor (2019)

A tabela 19 mostra o tempo de retorno:

Tabela 19 - Tempo de retorno para o sistema eólico de 200 metros de altitude

TEMPO DE RETORNO DESCONTADO	4 anos e 0 meses
TEMPO DE RETORNO ACUMULADO	3 anos e 8 meses

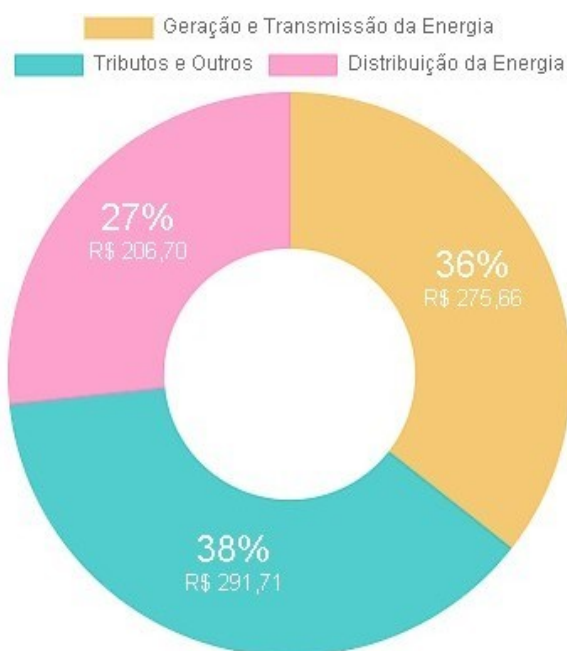
Fonte: Autor (2019)

5. CONCLUSÃO

A necessidade por mais energia, o baixo ou quase nenhum impacto ambiental em suas instalações e durante o uso e o fato do petróleo ser uma fonte de energia poluente e esgotável, são os principais motivos que fazem o uso de energias renováveis como as provenientes por mares, geotermal, hidro energia e claro as duas mais destacadas e estudadas nesse trabalho, a solar e a eólica, os avanços tecnológicos e estudos aplicados tem feito com que a viabilidade aumentasse gradativamente ano após ano, aumentando também de maneira diretamente proporcional o uso das mesmas, impulsionando maior sustentabilidade energética.

A energia solar e eólica que foram estudadas nesse trabalho apresentam viabilidade baseada no local em que serão aplicadas, devido aos dados tarifários da companhia de distribuição energética e do potencial energético, tanto solar quanto eólico. Com os cálculos de tempo de retorno é possível analisar que o sistema solar fotovoltaico teria seu retorno financeiro alcançável em aproximadamente 4 anos e 11 meses se considerado o tempo de retorno descontado, já para os sistemas eólicos a variação e tempo de retorno varia de acordo com as alturas e suas respectivas velocidades do vento, para 50 m de altura tem-se um tempo de retorno descontado de aproximadamente 7 anos e 7 meses, para 100 m tem-se o mesmo tempo de retorno, isso se deve a baixa variedade de equipamentos para utilizar no sistema, tanto aerogeradores, como inversores e controladores. Essa situação se repete para 150m e 200m onde o tempo de retorno é igual e equivalente a aproximadamente 4 anos. Os tempos de retorno poderiam ter sido menores para os sistemas eólicos se houvesse uma variedade maior de equipamentos. A figura 51 apresenta o gráfico com porcentagem dos valores da fatura do mês 10/2019 do imóvel em estudo, mostrando que é a viabilidade desses sistemas de energia renováveis é grande, pois há uma tributação alta no cálculo de faturamento de energia.

Figura 51 - Gráfico com porcentagem dos valores da fatura do mês 10/2019 do imóvel em estudo



Fonte: Equatorial Energia (2019)

No caso da fatura referente ao mês 10/2019 a tributação é o maior componente, mostrando assim que a alta viabilidade ao usar sistemas de energia eólica e fotovoltaico se deve ao fato de que as distribuidoras de energia estão cobrando mais por impostos do que pela energia que é consumida, elevando os gastos.

Analisando os sistemas entre si os mais rentáveis (menor tempo de retorno) são os dois eólicos, de 150 metros e 200 metros, que apresentam o mesmo tempo de retorno, e que ainda poderiam ter mais rentabilidade se tivessem aerogeradores mais adequados.

Tabela 20 - Tipo de sistema e seus respectivos retornos acumulado e descontado

Tipo de Sistema	Tempo de retorno acumulado	Tempo de retorno descontado
Solar	4 anos e 11 meses	4 anos e 5 meses
Eólico 50 m	7 anos e 7 meses	6 anos e 7 meses
Eólico 100 m	7 anos e 7 meses	6 anos e 7 meses
Eólico 150 m	4 anos	3 anos e 8 meses
Eólico 200 m	4 anos	3 anos e 8 meses

Fonte: Autor (2019)

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 1 ed. Brasília, 2002.

ALVES, Geraldo Alves de Sousa Júnior. **Energia renovável: o potencial eólico como alternativa na matriz energética no Rio Grande do Norte**. 2015. 50f. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2015.

ALVES, João Paulo de Carvalho. **Estudos foto físicos e fotovoltaicos de sistemas polímero-fulereno e nanopartículas de CdSe**. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Curso de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução ANEEL nº 414 de 9 de setembro de 2010. **Condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: 15 de nov. 2018.

ATLÂNTICA ENERGIAS. **Conheça as partes do aerogerador**. Disponível em: <http://atlanticenergias.com.br/conheca-as-partes-do-aerogerador/>. Acesso em: 15 out.2019.

BLUE SOL. **Célula fotovoltaica guia completo**. 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>. Acesso em: 04 out.2019.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. 2008. 80f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

BREITENBACH, Guilherme. **Análise do potencial eólico para geração de energia elétrica em São Francisco de Paula, RS, utilizando método computacional WASP**. 2016. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.

CONSULTREVISOLAR. 2019. Disponível em: <https://consultrevisolar.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid/>. Acesso em: 07 nov. 2019.

COSBEY, A. Trade, **Sustainable development and a green economy: Benefits, challenges and risks**. The Transition to a Green Economy: Benefits, Challenges and Risks from a Sustainable Development Perspective, p. 40, 2011.

CRESESB. 2019. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=atlas_eolico>. Acesso em: 20 out. 2019.

CRESESB. 2019. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 20 out. 2019.

CRESESB. 2019. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 20 out. 2019.

CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014. CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014. Disponível online em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_F_V_20_14.pdf>. Acesso em: 30 out. 2019.

CUSTÓDIO, Ronaldo dos Santos. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009.

DAMIASOLAR. 2019. Disponível em: <https://www.damiasolar.com/produtos/iluminacion/turbina-de-vento-bornay-3000w-24v-energia-eolica_da2007_110>. Acesso em: 20 out. 2019.

DAMIASOLAR. **Comparações: painel solar poli, painel mono, painel cuasi-mono e painel amorfo**. Disponível em: <https://www.damiasolar.com/apresentar/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/comparacao-painel-solar-poli-mono-cuasimono-amorfo_1>. Acesso em 04 out. 2019.

DAMIASOLAR. **Escolher um inversor de onda pura ou modificada**. Disponível em: <<https://www.damiasolar.com/apresentar/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/escolher-um-inversor-de-onda-pura-ou-modificada>>. Acesso em: 17 out. 2019.

DUARTE, Jorge. **O que é estudo de viabilidade econômica financeira?**. 201?. Disponível em: <http://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/gestao-empresarial/estudo-viabilidadeeconomica-financeira/?utm_expid=12601351969.8mt6UMulSmO1ejvJYqmyNg.0&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com.br%2F>. Acesso em: 11 nov. 2019.

ECOMAIIS. 2019. Disponível em: <<http://www.ecomais.ind.br/energia-solar>>. Acesso em 06 nov.2019.

ECOPLANETENERGY. 2019. Disponível em: <<http://www.ecoplanetenergy.com/pt-br/sobre-eco-energia/visao-geral/energia-hibrida/>>. Acesso em: 07 nov.2019.

ENAIR. 2019. Disponível em: <https://www.enair.es/descargas/Ficha_Tecnica/Ficha_Tecnica_E30_en.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

ENAIR. 2019. Disponível em: <<https://www.enair.es/en/small-wind-turbines/prices>>. Acesso em: 20 out. 2019.

ENERGIA LIVRE. 2019. Disponível em: <<https://www.lojaenergialivre.com.br/kit-string-box-solar-ca-p-microinversor>>. Acesso em: 07 nov.2019.

ENERGIA TOTAL. 2019. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwivuMDkn-rIAhVVlBkGHeKDCiEQjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.energiatotal.com.br%2Fcontrolador-de-carga-vs4524au-45a-12-24v-com-display&psig=AOvVaw3il8yLGMOH_JAMNkB1AytO&ust=1573839646203119>. Acesso em: 06 nov.2019.

EPALANGA, Oteniel Â. Siliveli. **Energia eólica – viabilidade técnica de projeto eólico na região de Urubici**. 2013. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

EQUATORIAL ENERGIA. 2019. Disponível em: <<https://ma.equatorialenergia.com.br/sua-conta/grafico-sua-conta/>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

EQUATORIAL ENERGIA. 2019. Disponível em: <<https://ma.equatorialenergia.com.br/sua-conta/grafico-sua-conta/composicao-de-consumo/>>. Acesso em: 6 nov.2019.

FLANDOLI, Fábio. **Planejamento do sistema solar e dimensionamento**. 2018. Disponível em: <<http://www.eletricistaconsciente.com.br/pontue/fasciculos/6-sistemas-conectados-a-rede-da-concessionaria/planejamento-do-sistema-solar-e-dimensionamento/>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

FRANÇA, Vitor Correia Lima França. **Inserção da energia fotovoltaica no Brasil: uma avaliação de incentivos**. 2016. 108f. Dissertação (Mestrado em Economia). Brasília. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Brasília, 2016.

FRISCH, Felipe. **Projeção para inflação em 2018 cai para 4,40%**. 2018. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/brasil/5967811/projecao-para-inflacao-em-2018-cai-para-440aponta-focus>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

GALDINO, Marco A. E. **O Contexto das Energias Renováveis no Brasil**. 2010. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2019.

GLOBAL WIND ATLAS. 2019. Disponível em: <<https://globalwindatlas.info/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energias renováveis: um futuro sustentável**. Revista USP, n. 72, p. 6-15, 1 fev. 2007.

GOOGLE EARTH. 2019. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-2.5602961,-44.2291401,48.64504544a,234.69801547d,35y,0h,0t,0r>>. Acesso em: 20 out. 2019.

GRUBB, M. J; MEYER, N. I. **Wind energy: resources, systems and regional strategies**. 1993. Washington, D.C.: Island Press, 1993.

HELIAR. 2019. Disponível em: <<https://www.heliar.com.br/pt-br/produtos/estacionaria/heliar-freedom>>. Acesso em: 07 nov. 2019.

HowStuffWorks. 2016. Disponível em: <<https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power1.htm>>. Acesso em: 29 nov, 2019.

IMHOFF, Johninon. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MARTIN, A. G. et al. **Solar cell efficiency tables (version 49)**. New South Wales, 20015. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/1339237>>. Acesso em: 27 out. 2019.

MARTINS, F. R. et al. **O aproveitamento da energia eólica**. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1. São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/301304.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2019.

MATTOS, L. P. et al. **Uma visão do estado da arte da geração de energia elétrica Offshore**. CONEM 2010. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Campina Grande, 2010. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0930.pdf>>. Acesso em: 29 de out. 2019.

MERKASOL. 2019. Disponível em: <<https://www.merkasol.com/WebRoot/StoreLES/Shops/62387086/51B4/C67A/6>>

4E3/1879/7AC5/C0A8/28BD/1DB3/Manual_completo_Bornay_Aerogeneradores.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

MINHACASASOLAR. 2019. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-305w-monocristalino-canadian-solar-cs6k-305m-79324>>. Acesso em: 20 out.2019.

MINHACASASOLAR. 2019. Disponível em: <https://recursos.minhacasasolar.com.br/MediaCenter/Canadian_Solar-Datasheet-SuperPower_CS6K-MS_en.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

MINHACASASOLAR. 2019. Disponível em: <<https://recursos.minhacasasolar.com.br/MediaCenter/Datasheet-StringBox-Ecosolys-ecostring-n.pdf>>. Acesso em: 02 nov.2019.

MINHACASASOLAR. 2019. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/suporte-painel-solar-2-modulos-de-240w-a-365w-telha-ceramica-rs224-79176>>. Acesso em: 02 nov.2019.

MINHACASASOLAR.2019. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/string-box-01-saida-01-entrada-ecosolys-ecostring-n-79442>>. Acesso em: 02 nov.2019.

MME- Ministério de Minas e Energia. **Energia solar no Brasil e mundo**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>. Acesso em: 27 de out. 2019.

NAKABAYASHI, R. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 107f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação Lato-sensu em Fontes Alternativas de Energia, Departamento de Engenharia, Universidade de Federal de Lavras, Lavras, 2004.

NASCIMENTO, Raphael Santos do; ALVES, Geziele Mucio. **Fontes alternativas e renováveis de energia no brasil: métodos e benefícios ambientais**. Revista Univap, [s.l.], v. 22, n. 40, p.274-280, 11 jan. 2017. UNIVAP Universidade de Vale do Paraiba. <http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.713>.

NEOSOLAR. 2019. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/cabo-solar-conduspar-4mm-preto-1kv.html>>. Acesso em: 02 nov.2019.

NEOSOLAR. 2019. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/cabo-solar-conduspar-4mm-vermelho-1kv.html>> Acesso em: 02 nov.2019.

NEOSOLAR. 2019. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-primo-6-0-1-6000w.html>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

NEOSOLAR. 2019. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/stringbox-neosolar-quadro-eletrico-3x1-string-ip65-25a-800v.html>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

NEOSOLAR. 2019. Disponível em:<<https://www.neosolar.com.br/loja/conector-mc4-par.html>>. Acesso em: 02 nov.2019.

NEOSOLAR.2019. Disponível em:<<https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-primo-8-2-1-8200w.html>>. Acesso em: 02 nov.2019.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011

PEREIRA, Marcello Monticelli. **Um Estudo do Aerogerador de Velocidade Variável e Sua Aplicação para Fornecimento de Potência Elétrica Constante**. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2004.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013

Prospecção energias renováveis. **Energia renovável bate recordes mundiais em 2015, mostra relatório**. 2016. Disponível em: <<https://prospeccaoenergiasrenovaveis.wordpress.com/2016/06/15/energia-renovavel-bate-recordes-mundiais-em-2015-mostra-relatorio/>> . Acesso em: 28 out. 2019.

REIS, Mônica Magalhães. **SISTEMA EÓLICO DE PEQUENO PORTE PARA INTERLIGAÇÃO À REDE ELÉTRICA**. 2008. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

REIS, Pedro. **Como construir um controlador de carga de baterias**. 2014. Disponível em:<<https://www.portal-energia.com/controlador-carga-para-geradores-de-energia-eolica-e-solar/>>. Acesso em: 17 out. 2019.

SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M. **Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas**. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

SILVA, Gustavo Teixeira Ferreira da; WEISS, Mauricio Andrade; FREITAS, Alessandro. 20-?. **Energias renováveis e potenciais efeitos para o desenvolvimento regional no Brasil**. Disponível em:<<http://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/rce/article/viewArticle/118>>. Acesso em: 28 out. 2019.

SINTRA, Hélder L. **Modelação de Torre Eólica: Controlo e Desempenho**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2013. Disponível em: <

<http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/3210/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2016.

SOLAR ENERGIA. **Tipos de células fotovoltaicas**. 2019. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/tipos-celulas-fotovoltaicas>>. Acesso em: 04 out. 2019.

SOLARVOLTENERGIA. **String box o que é e como funciona**. 2019. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/string-box-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

SOLENERGIA. **Conheça os tipos de células fotovoltaicas**. 2019. Disponível em: <<http://www.solenenergia.com.br/blog/celulas-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 04 out.2019.

SOLETROL. 2019. Disponível em:<www.soletrol.com.br> Acesso em: 3 out. 2019.

SUBMARINO. 2019. Disponível em: <<https://www.submarino.com.br/produto/67456007/inversor-solar-ecos-on-grid-3k-wifi-3000w-mono-bifasico?WT.srch=1&epar=314766&opn=XMLGOOGLE&sellerId=9473928000168>>. Acesso em: 01 nov.2019.

SUNLAB. **Dimensionamento solar fotovoltaico**. Disponível em: <http://www.sunlab.com.br/Dimensionamento_solar_fotovoltaico.htm>. Acesso em: 17 out.2019.

TOLMASQUIM, Mauricio T. et al. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Termel%C3%A9trica%20%20Online%2013maio2016.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2019.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no Século XXI**, São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª ed. Editora Érica, São Paulo, 2012.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. – 2. Ed rev. e atual. – São Paulo: Érica, 2015.