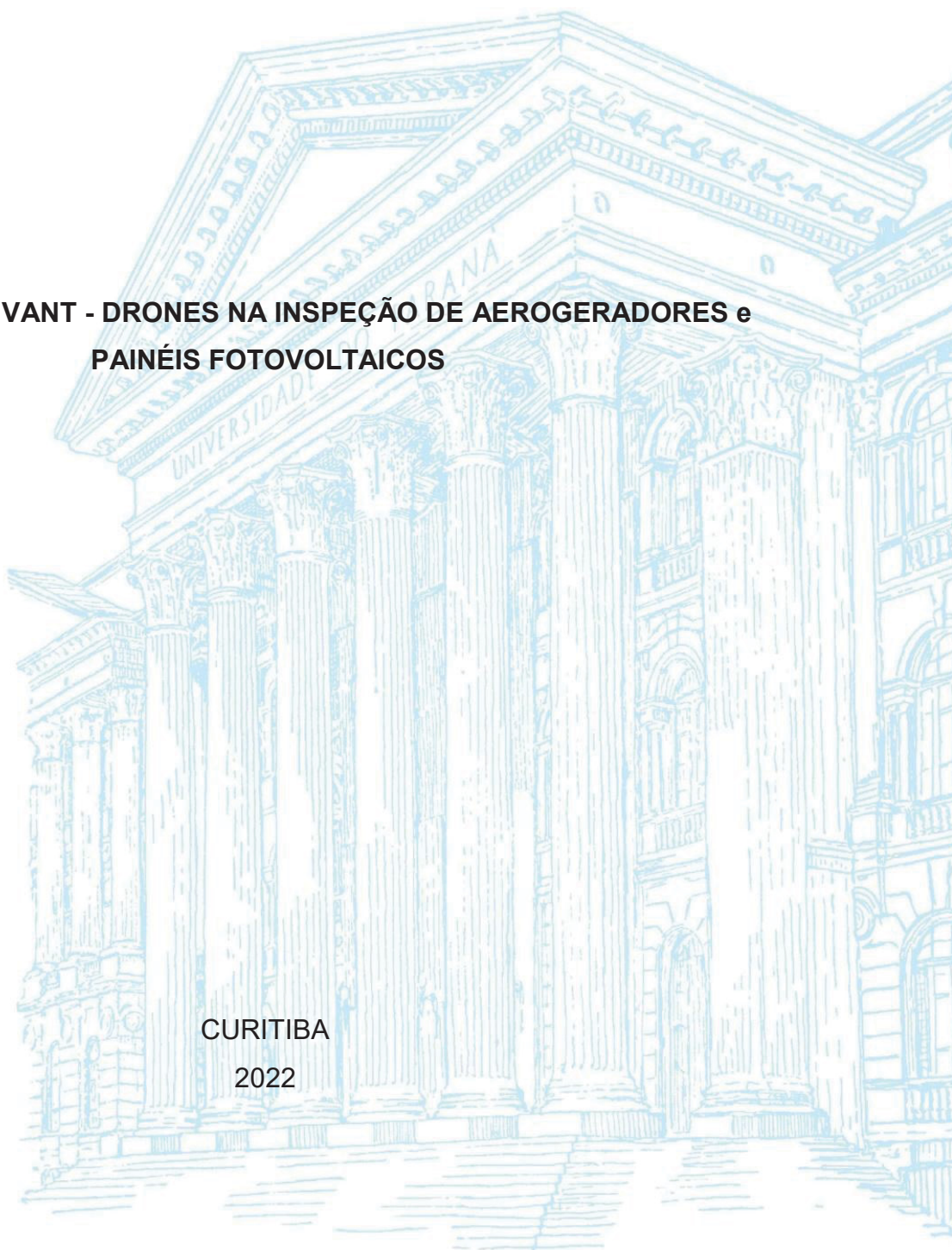


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL FORTES DE SÁ FRANCO  
GUILHERME DIAS GUIMARÃES  
MARCOS ESTEVAM DA COSTA

**APLICAÇÃO DE VANT - DRONES NA INSPEÇÃO DE AEROGERADORES e  
PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

CURITIBA  
2022



GABRIEL FORTES DE SÁ FRANCO  
GUILHERME DIAS GUIMARÃES  
MARCOS ESTEVAM DA COSTA

**APLICAÇÃO DE VANT - DRONES NA INSPEÇÃO DE AEROGERADORES e  
PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Projeto apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel.

CURITIBA  
2022

## RESUMO

No mundo vivemos uma constante revolução tecnológica. A principal demanda por integração tecnológica em processos industriais advém das questões da otimização do tempo, custo e aumento da segurança do trabalho. Como resultado, aeronaves pilotadas remotamente (RPA) ou veículos aéreos não tripulados (VANT) ou "drones" são o novo motor para aquisição de dados, inspeções visuais, mapeamento em meio urbano e rural e integração com a realidade virtual. O drone já é amplamente utilizado como meio de transporte e despejo de agrotóxicos na agricultura, para cartografia em geral, para fiscalizações civis e industriais. O presente trabalho compreende o estudo dos métodos para inspeção de usinas/parques eólicos/fotovoltaicos e, mais especificamente, de aerogeradores eólicas e placas fotovoltaicas, lançando mão do Drone como ferramenta com grande potencial, principalmente para análise de rendimento e falhas. A inspeção é de fundamental importância para permitir a continuidade e máximo rendimento da geração de energia elétrica. A degradação do sistema acarreta prejuízos e a presente pesquisa tem como objetivo apresentar uma revisão teórica acerca da aplicação de Veículos Aéreo Não Tripulado (VANT), para inspeção de aerogeradores e painéis/placas fotovoltaicas. Foi constatado que o método oferece maior segurança para os inspetores, já que nessa situação não haveria a necessidade de equipamentos para elevar o trabalhador até a altura da estrutura, conseqüentemente traria maior segurança para os inspetores, maior produtividade e excelência no acesso e avaliação dos aerogeradores e painéis fotovoltaicos, vez que proporciona informações técnicas suficientes, podendo identificar os pontos de deterioração e necessidade de manutenção. Deste modo, através da análise de referências percebeu-se que a utilização de drones para inspeção de parques eólicos e fotovoltaicos tem uso viável.

**Palavras-chave:** Inspeção. Manutenção. RPA. VANT. Drone. Energia. Eólica. Solar. Aerogerador. Painel. Placa. Fotovoltaico. Fotovoltaica.

## ABSTRACT

In the world we live in a constant technological revolution. The main demand for technological integration in industrial processes comes from the issues of time optimization, cost and increased safety at work. As a result, remotely piloted aircraft (RPA) or unmanned aerial vehicles (UAV) or "drones" are the new engine for data acquisition, visual inspections, urban and rural mapping and integration with virtual reality. The drone is already widely used as a means of transporting and dumping pesticides in agriculture, for cartography in general, for civil and industrial inspections. The present work comprises the study of methods for inspecting wind farms/photovoltaic plants and, more specifically, wind turbines and photovoltaic panels, using the Drone as a tool with great potential, mainly for performance and failure analysis. The inspection is of fundamental importance to allow the continuity and maximum efficiency of the electric energy generation. The degradation of the system causes losses and the present research aims to present a theoretical review about the application of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for the inspection of wind turbines and photovoltaic panels/plates. It was found that the method offers greater safety for inspectors, since in this situation there would be no need for equipment to lift the worker to the height of the structure, consequently bringing greater safety to inspectors, greater productivity and excellence in access and evaluation of wind turbines. and photovoltaic panels, since it provides sufficient technical information, being able to identify the points of deterioration and the need for maintenance. In this way, through the analysis of references it was realized that the use of drones for inspection of wind and photovoltaic parks has a viable use.

Keywords: Inspection. Maintenance. RPA. UDV. Drone. Wind power. Solar. Wind turbine. Panel. Board. Photovoltaic.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matrice 200 SERIES .....	8
Figura 2 - Tipos de Drones.....	13
Figura 3 - Vantagens e Desvantagens .....	14
Figura 4 - Modelo Célula Solar.....	16
Figura 5 - Sensor Termal.....	19
Figura 6 - Drone DJI Mavic Enterprise .....	20
Figura 7 - Drone DJI Matrice 300 .....	20
Figura 8 - Sensor Térmico.....	20
Figura 9 - Drone Spectral .....	21
Figura 10 -Ponto quente no sistema FV .....	23
Figura 11 - Paine solar danificado .....	24
Figura 12 - Gráfico do Projeto .....	27
Figura 13 - Tabela de dados .....	28
Figura 14 - Fluxograma Metodologia de Pesquisa .....	30

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	7
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	8
1.3. JUSTIFICATIVA	9
1.4. HIPÓTESE	9
1.5. OBJETIVO	10
1.6. OBJETIVO ESPECÍFICO	10
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
2.1.1. HISTÓRICO	11
2.1.2. TIPOS DE VANT - VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS OU DRONE	13
2.1.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS	14
2.2 . MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	15
2.3 . FUNCIONAMENTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	15
2.3.1. EFEITO FOTOVOLTAICO	15
2.3.2. EFICIÊNCIA DAS CÉLULAS SOLARES	17
2.4 . SENSORES TÉRMICOS	18
2.4.1. DRONES EMBARCADOS COM SENSORES TÉRMICOS	19
2.5 . MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SISTEMA FV	21
2.5.1. INSPEÇÃO VISUAL	21
2.5.2. TIPOS DE DEGRADAÇÃO DE PAINÉIS FV	22
2.6. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE OPERAÇÃO	22
2.7. INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS COM DRONE	23
<b>3. MÉTODO CONVENCIONAL DE MANUTENÇÃO DE AEROGERADORES</b>	<b>24</b>
3.1. DRONES NA MANUTENÇÃO DE AEROGERADORES	27
3.2. UTILIZAÇÃO DO DRONE NO PROJETO DE PARQUE EÓLICO	28
3.2.1. PROJETO DE PARQUE EÓLICO	28

3.2.2. DRONES NO PROJETO DE PARQUE EÓLICO	29
4. METODOLOGIA DE PESQUISA	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6. CONCLUSÕES	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Historicamente, os avanços tecnológicos são impulsionados por alguma disputa, seja econômica, social, poder ou até mesmo a guerra. Não é diferente para os drones, o início da tecnologia dos drones decorre dos primeiros veículos aéreos não tripulados- VANT's, produzidos com um intuito militar. Ainda de acordo com o'Donnell, as duas guerras mundiais resultaram em um significativo avanço nas tecnologias dos VANT's (O'Donnell, 2017, apud GOVERNO FEDERAL, 2018).

Com o passar dos anos os VANT's tiveram seu desenvolvimento no contexto militar, sendo utilizados em ataques, monitoramentos e guia de alvos em potencial. A utilização desses veículos não tripulados gerou visibilidade em diversas nações e uma série de investimentos tendo em vista o desenvolvimento da tecnologia e suas possíveis vantagens em sua utilização. A partir do início do século XX os VANT's começaram a ser conhecidos como drones e sua utilização deixou de ser apenas no contexto militar, possuindo características de mercado convencional. Atualmente sua utilização passa de uma simples brincadeira de pilotagem e utilização de filmagens para a indústria do cinema, até um contexto técnico como monitoramento e mapeamentos de grandes áreas, pulverização para agricultura e utilização de sensores térmicos e multiespectrais para gerar dados cada vez mais complexos.

A utilização de drones na inspeção de equipamentos e máquinas, atualmente está constantemente presente nas diversas tecnologias, como em trocadores de calor, painéis fotovoltaicos, inspeção de tanques, inspeção de revestimentos de fachadas, e aerogeradores.

Para exemplificar as situações citadas acima, existe o drone de inspeção, nesse caso produzido pela empresa DJI ENTERPRISE, o MATRICE 200 SERIES, o equipamento pode realizar inspeções variadas e é embarcado com diversos tipos de sensores, podendo ser RGB (red, blue, green), térmico e multiespectral. De acordo com a DJI, esse modelo já é bem utilizado em campo e traz grandes benefícios que serão discutidos dentro do presente trabalho.



Figura 1 - Matrice 200 SERIES



Fonte: <https://www.dji.com/br/matrice-200-series>

## 1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

As técnicas mais comumente utilizadas para inspeções em altura, tais como o rapel e a utilização de guindastes, frequentemente demandam tempo razoável de parada dos equipamentos, podendo implicar impactos significativos na geração de energia, representando perdas financeiras, e grande mobilização de mão de obra durante todo o período necessário.

Há ainda o “problema” do viés da segurança do trabalho, pois trata-se de atividades inseguras e com muitos riscos a serem neutralizados, além dos treinamentos adicionais para resgates e mais o tempo despendido em caso de real necessidade de salvamento no caso de algo sair errado, principalmente em razão das atividades realizadas a grandes alturas.

Não obstante, os aerogeradores e painéis fotovoltaicos possuem um ciclo de vida útil, que gira em torno de 25 anos, de modo que não podemos abrir mão das manutenções necessárias ao seu maior rendimento, disponibilidade, e custos não proibitivos.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

A utilização de drones para os mais variados tipos de serviço no mundo atual está se tornando algo cada vez mais comum, devido ao seu potencial e aplicabilidade. O tema é relativamente recente, e torna-se deveras relevante para empresas e para a sociedade em geral, à medida que sua aplicabilidade (drones) promove maior mobilidade, menor risco, menor custo e conseqüentemente maior desenvolvimento e eficiência energética. Sendo assim, essa pesquisa será mais uma contribuição para a literatura acadêmica relacionada.

### 1.4. HIPÓTESE

Inspeções visuais em ambientes que possuem aspectos inseguros, como por exemplo a atmosfera explosiva, espaços confinados e trabalho em altura, seja em ambiente de geração, ou mesmo parques industriais, podem ser facilitadas e representar maior segurança, com a utilização de drones, considerando que o funcionamento dos veículos não tripulados pode ser à distância da zona classificada como perigosa, além de possibilitar atingir lugares de difícil acesso e ainda pode melhorar a obtenção de informações necessárias. (Hegard, 2017).

Da mesma forma que ocorre em atmosferas explosivas, é possível uma melhoria na segurança e eficiência na inspeção em espaços confinados, onde os drones conseguem chegar a locais de difícil acesso, locais inseguros devido a falhas da região, possibilita imagens de oxidações, qualidade de soldas, desgastes corrosões, limpeza, entre outros. Além de possibilitar a inspeção em regiões quentes, tóxicas ou com pouco oxigênio. (Hegard, 2017).

Trabalhos em altura também são beneficiados com utilização de drones, como já citado, levando em consideração a inspeção em linhas de transmissão a utilização dos drones diminuiria os óbitos oriundos dos trabalhos diretos com a rede, segundo (Silva, 2014), *“As estatísticas sobre acidentes de trabalho nas etapas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no Brasil, entre 2004-2013, notificam 729 acidentes de trabalho fatais (128 com trabalhadores próprios e 601 com trabalhadores terceirizados)”*. Considerando que em aerogeradores o contato com energias mecânicas, elétricas e hidráulicas é também ocorre.

### **1.5. OBJETIVO**

Este trabalho tem como objetivo analisar a utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT, mais popularmente conhecido como drone, na inspeção de aerogeradores e painéis fotovoltaicos. A partir deste tema será elaborada uma pesquisa de característica exploratória e comparativa, onde com os dados coletados será possível analisar as vantagens e desvantagens da inspeção com drone em relação aos métodos tradicionais. O método utilizado será a pesquisa de literatura sistemática, buscando um acervo bibliográfico grande o suficiente para que seja possível embasar o artigo de forma coerente e bem explicativa.

### **1.6. OBJETIVO ESPECÍFICO**

O trabalho tem como objetivo principal apresentar um estudo comparativo e exploratório dos métodos para inspeção de aerogeradores e painéis fotovoltaicos, utilizando como ferramenta o Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1.1. HISTÓRICO**

Os ancestrais dos drones modernos apareceram no século 19. Os mais antigos registros de aeronaves não tripuladas eram denominados de “Balões Austríacos”, caso que ocorreu em 1849 com a Áustria. Também em outra ocasião militar torpedos aéreos controlados por rádio usados foram lançados na Segunda Guerra Mundial e também são encontrados na árvore genealógica dos drones. Durante a guerra Fria houve crescimento sobre a tecnologia, sempre buscando o reconhecimento militar. Na década de 1980 foi um grande passo à frente para os drones. Na década de 80 foi o maior passo para tecnologia dos VANT's, quando os militares sul-africanos empregaram drones israelenses em combate contra Angola.

O primeiro relato de um drone ocorreu em 1849, onde a Áustria utilizou balões para transportar bombas e executar os primeiros ataques aéreos sem nenhum tripulante (O'Donnell, 2017, apud GOVERNO FEDERAL, 2018). Os primeiros ataques não tiveram tanto sucesso, os balões eram lançados da terra ou até mesmo dos navios, porém alguns desses balões desviavam de sua rota e caíam no meio das matas, enquanto apenas um ou dois atingiam as cidades alvo.

De acordo com O'Donnell (2017) o avanço desta tecnologia ocorreu mesmo a partir de 1900, principalmente durante a Primeira Guerra Mundial onde uma empresa de aviões criou um torpedo não tripulado. Esse torpedo poderia voar até o seu alvo e explodir quando havia sido programado. Outros avanços ocorreram durante a Primeira Guerra, mas foi durante a Segunda Guerra Mundial que tivemos a presença de uma bomba não tripulada que pudesse percorrer distâncias grandes, preservando seus pilotos. Logo após a Segunda Guerra, de acordo com O'Donnell (2017), a primeira produção em massa dos VANTs ocorreu com a criação do chamado Radio Plane OQ-2 e foi justamente a partir dele que se teve a explosão para produção e suprimento dos VANTs. A primeira utilização dessas tecnologias ocorreu na famosa Guerra do Vietnã. De acordo com o relatório apresentado pelo GOVERNO FEDERAL (2018), os VANTs começaram a chamar muita atenção da população quando foram utilizados pelos norte-americanos para o monitoramento de inimigos durante a Segunda Guerra do Golfo em 2003.

Os VANTs utilizados também possuíam outras funcionalidades além do monitoramento: eles serviam como designadores de alvos e até no lançamento de

armamentos guiados. A visibilidade gerada pela sua utilização chamou a atenção de diversas nações e assim foi iniciado um grande investimento nas pesquisas sobre os VANTs e as suas possíveis utilizações.

Os drones atualmente estão presentes em uma fatia significativa do mercado, desde a área de entretenimento como gravação para filmes até a área de trabalhos mais delicados, como inspeções, mapeamentos, agricultura, segurança patrimonial dentre outros.

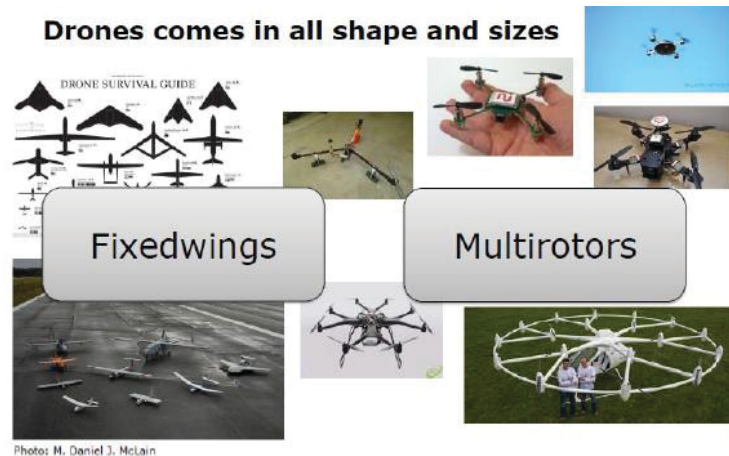
A utilização de drones em inspeções hoje já se tornou algo mais presente, e já existem drones que podem fazer inspeções de tanques, trocadores de calor, entre outros equipamentos e ambientes que necessitam do mesmo. Para os diversos tipos de inspeções que podem ser realizadas vão existir drones adaptados para levar os sensores necessários para o ambiente em que eles vão ser inseridos.

Um exemplo de drone utilizado na inspeção, mais especificamente de torres eólicas, também conhecidas como aerogeradores, é a linha DJI MATRICE SERIES produzido pela empresa DJI ENTERPRISE, que é uma empresa que produz drones para realizar inspeções variadas. De acordo com a empresa, esse modelo já é bem utilizado em campo e traz grandes benefícios à atividade.

## 2.1.2. TIPOS DE VANT - VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS OU DRONE

Os dois tipos de drones mais comuns são classificados como Asa Fixa e Multirotor. Abaixo temos a figura 2 que exemplifica com maiores detalhes.

*Figura 2 - Tipos de Drones*



Fonte: KNEIPP, 2018.

Os drones denominados como Asa Fixa são utilizados principalmente na indústria da aviação. São chamados, conforme KNEIPP (2018) assim pois utilizam asas fixas e estáticas em combinação com a velocidade de avanço para gerar elevação. Possuem o mesmo princípio dos aviões tradicionais. Realizam os movimentos de Roll (rotação em torno do eixo longitudinal), Pitch (rotação em torno do eixo transversal) e Yaw(rotação em torno do eixo vertical). Segundo KNEIPP (2018) o drone de asa fixa obtém mais sustentação com menor gasto de energia, pois possui um coeficiente aerodinâmico maior em relação aos multirotores. São equipamentos que suportam cobertura de grandes áreas e atingem grandes velocidades. Logo, tem maior economia de bateria e garantia de mais tempo no ar. O fator de atingir alta velocidade, varia conforme a câmera embarcada e luminosidade, podendo ser uma vantagem ou desvantagem. Para KNEIPP (2018) a aplicabilidade de drones de asa fixa são em mapeamentos aéreos de grandes extensões, vigilância e monitoramentos com exigências de carga maiores para voos maiores.

Segundo KNEIPP (2018) os drones denominados Multirotores são equipamentos que podem operar em velocidades menores e ficar parados no ar. Podem rotacionar em torno do próprio eixo, possuem uma maior facilidade para manobra, podem operar em espaços menores, possuem decolagem e pouso vertical. Eles podem gerar imagens artísticas e vídeos com facilidade, podem ser embarcados com diversos tipos

de sensores e assim tendo uma maior facilidade para focar em detalhes estruturais, operar em vigilâncias patrimoniais e serviços de segurança. Porém, mapeamentos aéreos com esse tipo de aeronaves possuem limitações de áreas, já que sua autonomia é menor.

Se tratando deste trabalho, os drones multirotores são melhores indicados para qualquer tipo de inspeção estrutural, seja na área da energia solar fotovoltaica ou para a Energia Eólica. São equipamentos mais versáteis e mais seguros para estes tipos de operações.

### 2.1.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Na figura 3, abaixo, ficam detalhados as vantagens e desvantagens entre as duas plataformas. Vale ressaltar, também, que os equipamentos asa fixa tendem a ter um custo maior, porém quando tem a necessidade de grandes autonomias de voo a plataforma asa fixa é a ideal. Os equipamentos multirotores tem a vantagem de ter uma operação mais simples e na maioria dos casos com um pequeno treinamento, qualquer pessoa pode operar o drone, seguindo as legislações vigentes.

*Figura 3 - Vantagens e Desvantagens*

Tipo	Prós	Contras	Usos
Drones de multi-rotor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acessibilidade</li> <li>- Simples utilização</li> <li>- Voo estático</li> <li>- Operação em lugares confinados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voos curtos</li> <li>- Baixa autonomia</li> <li>- Baixa capacidade de carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fotos aéreas</li> <li>- Filmagens</li> <li>- Entretenimento</li> <li>- Uso pessoal</li> </ul>
Drones de asa fixa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voos longos</li> <li>- Grande autonomia</li> <li>- Voos em alta velocidade</li> <li>- Grande área de cobertura</li> <li>- Uso de sensores e câmeras mais robustos</li> <li>- Suportam maior quantidade de carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior complexidade</li> <li>- Exigem treinamento</li> <li>- Alto custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mapeamento aéreo</li> <li>- Sensoriamento remoto</li> <li>- Monitoramento</li> <li>- Fotos aéreas</li> <li>- Inspeções</li> </ul>

Fonte: KNEIPP, 2018.

## **2.2. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Os módulos fotovoltaicos são componentes formados por um conjunto de células fotovoltaicas, ligadas eletricamente e tem como intuito a conversão de energia radiante solar para energia elétrica (NBR 10899, 2013). Os primeiros estudos sobre essa conversão de energia foram feitos no século XIX, porém somente no século seguinte os painéis fotovoltaicos ganharam notoriedade no mercado, considerando uma melhor qualidade dos materiais semicondutores de silício cristalino (SESA, 2013)

Na última década a energia fotovoltaica acabou sofrendo uma redução de custo na ordem de 75%, o que alavancou sua utilização pelo mercado global (ITRPV, 2018). Grande parte dessa crescente também veio da possibilidade do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), fato que possibilita a injeção de energia produzida por painéis diretamente na rede, ocasionando um crédito energia. A primeira iniciativa de execução do SFCR foi em 2012, impulsionado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e sua resolução normativa 482/2012.

A aplicação do uso de sistemas fotovoltaicos deve sempre ter em vista a viabilidade do projeto, considerando os fatores limitantes como a baixa intensidade de energia solar obtida com a área instalada e a comparação com a rede elétrica convencional, caso a eficiência do sistema for inferior à rede elétrica convencional. Fatores que evidenciam que para a execução de sistemas fotovoltaicos é necessária uma diminuição no custo de instalação e maximização na eficiência dos painéis instalados. (HAILLANT, 2010).

## **2.3. FUNCIONAMENTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

### **2.3.1. EFEITO FOTOVOLTAICO**

A conversão da radiação solar para energia elétrica se baseia nos processos físicos do efeito fotovoltaico o qual possibilita a geração de energia elétrica. Ele pode ser definido pelo surgimento de uma tensão ou diferença de potencial na junção entre dois materiais diferentes em reação a uma radiação eletromagnética, no caso a luz solar.

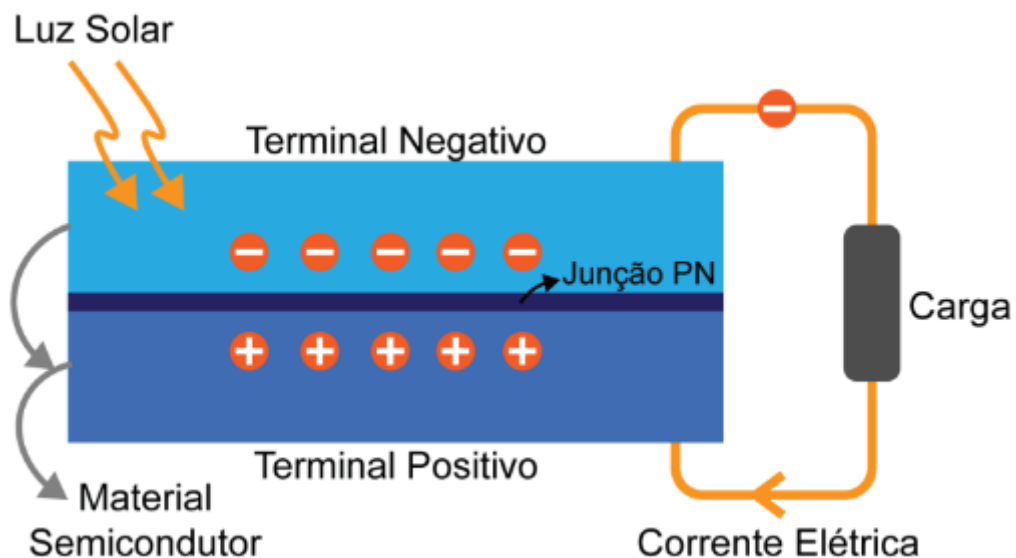
Para compreender os processos necessários para conversão da energia proposta deve-se ter em vista que a luz é constituída por feixes de energia, denominados de fótons. Conforme a quantidade de energia contida em um fóton que é absorvido por um material semicondutor é possível o salto de uma banda de valência, com menor



quantidade de energia, para uma banda de condução, com maior quantidade de energia. Esse fenômeno torna o elétron um carregador de energia e a lacuna deixada por ele também é um carregador de energia, porém tem carga positiva contida na banda de valência. Esse conceito evidencia que a absorção do fóton pelo material semiconductor é uma reação química, portanto a conversão de energia radiativa em energia química e pela composição dos módulos fotovoltaicos permite a mudança dessa energia química em energia elétrica. (FERREIRA, 2018)

Ocasionalmente existe uma tendência natural dos elétrons livres serem atraídos e capturados por uma lacuna, processo chamado de recombinação. Em se tratando da célula do material semiconductor o processo de recombinação é dificultado pela ação de um campo elétrico na região de contato semicondutora. Para exemplificar a figura 4 abaixo demonstra que o processo de recombinação acontecerá após a passagem dos elétrons por um circuito externo, assim gerando corrente elétrica, o terminal negativo corresponde a banda de valência e o terminal positivo a banda de condução.

*Figura 4 - Modelo Célula Solar*



Fonte: Célula Fotovoltaica: Tudo que Você Precisa Saber  
(eletronicadepotencia.com)

As células fotovoltaicas comerciais habitualmente são formadas por células de silício e para melhorar a condutividade de elétrons é adicionado impurezas na constituição das células. Usualmente são adicionados boro e fósforo, que devido às suas características aumentam a quantidade de elétrons na banda de condução,

nominado de silício tipo n, ou de lacunas na banda de valência, nomeado de silício tipo p, formação conhecida como junção p - n. Como já citado neste documento, o processo de recombinação do par elétron-lacuna é dificultado pela ação de um campo elétrico, o qual é gerado pelo potencial interno da junção p - n, assim promovendo a passagem dos elétrons no circuito externo (FERREIRA, 2018).

### 2.3.2. EFICIÊNCIA DAS CÉLULAS SOLARES

Como qualquer conversão de energia, a citada no presente artigo apresenta também perdas no processo. Condicionados em duas perdas. A primeira baseia-se em uma radiação incidente com energia contida nos fótons inferior a banda de absorção do material, percorrendo todo o material sem causar nenhuma interação. A segunda e mais importante baseia-se no excesso de energia contida nos fótons, portanto a energia provinda dos fótons está em um estado energético superior a capacidade de absorção da banda, fato que ocasiona aquecimento das células e perda da eficiência na conversão de energia solar em elétrica, aproximadamente 23%. (RABADY, 2017)

Para debater sobre a eficiência de energia solar em energia elétrica, um conceito é a eficiência de absorção da célula. Levando em conta que um módulo qualquer receba radiação proveniente do Sol a temperatura  $T_{sol}$ , e considerando que essa fonte funcione como um corpo negro, a teoria informa que:

$$G = \sigma \cdot T_{Sol}^4 \cdot \Omega_{in} \quad (2.1)$$

Sendo que  $\Omega_{in}$  é o ângulo de incidência da radiação solar. Agora considerando de forma semelhante a equação (2.1), a célula fotovoltaica também é considerada um corpo negro e tem a capacidade de emitir radiação na temperatura  $T_c$  de funcionamento da célula e também possui um ângulo de radiação, porém neste caso o módulo emite a radiação, como na equação abaixo:

$$E = \sigma \cdot T_c^4 \cdot \Omega_{em} \quad (2.2)$$

Agora considerando que a eficiência da absorção da célula é obtida através da diferença entre a irradiação incidente do sol e a capacidade emissiva para o ambiente do entorno, então é possível afirmar que a eficiência corresponde:

$$A = G - E \div G = 1 - \Omega_{em} T_c^4 \div \Omega_{in} T_{Sol}^4 \quad (2.3)$$

Analisando as informações citadas acima conclui-se que o aumento de temperatura de operação tem um efeito negativo sobre a eficiência na absorção,

portanto também na totalidade da eficiência da célula fotovoltaica. Outro ponto também extraído das equações é que a eficiência de absorção pode ser melhorada alterando o ângulo de radiação incidente a placa (FERREIRA, 2018).

## **2.4. SENSORES TÉRMICOS**

A termografia infravermelha é uma técnica baseada em testes não destrutivos para determinar a temperatura superficial de objetos. Em seu funcionamento, um termovisor com sensores térmicos (termográfico ou termovisor) coleta as radiações infravermelhas emitidas da superfície, convertendo-as em sinais elétricos que, por fim, permitem a criação de uma imagem térmica através de pontos (pixels) que mostram a superfície distribuição da temperatura corporal por meio de imagem visual detalhada em um perfil de temperatura (termograma) (BRIQUE, 2016).

A análise termográfica pode ser dividida em duas abordagens: passiva e ativa. Na termografia ativa, os objetos a serem examinados são expostos a uma fonte artificial de calor ou resfriamento a fim de causar o fluxo de calor necessário para produzir as notáveis diferenças de temperatura na imagem térmica que alguns fenômenos podem apresentar. Na termografia passiva, assume-se que os objetos-alvo contêm um armazenamento interno de energia térmica, portanto, é possível criar gradientes térmicos e, conseqüentemente, apresentar uma anomalia, como nos seres vivos, ou esses objetos são atingidos por uma fonte natural de calor como a energia solar. Em outras palavras, a termografia passiva analisa as diferenças de temperatura e o comportamento térmico das superfícies em condições normais de aplicação. Como exemplo de fontes artificiais; infravermelho, sopradores térmicos, aquecedores mecânicos, microondas, etc.

Surgem gradativamente diferentes tipos de sensores no mercado, cada vez mais compactos e mais eficientes. A escolha do sensor depende principalmente da finalidade, do tipo de trabalho a ser realizado, analisando as necessidades do projeto e qual o resultado deseja atingir.

Um exemplo de sensor térmico que é utilizado para diversas aplicações e que já foi validado pelo mercado a um bom tempo é o sensor Termal Flir - Câmera Multiespectral permitindo a captura da banda espectral do TERMAL. Abaixo temos a imagem que representa o sensor, propriamente dito, e a forma que o mesmo capta a imagem.

*Figura 5 - Sensor Termal*



Fonte: DJI,2022.

#### **2.4.1. DRONES EMBARCADOS COM SENSORES TÉRMICOS**

Com o advento de modelos de drones comerciais, portáteis e cada vez mais acessíveis a um grande segmento da população, o uso de câmeras térmicas montadas em veículos não tripuláveis tornou-se uma realidade universal, variável para muitos profissionais que trabalham com o mercado dos drones.

Além de desenvolver modelos de drones mais eficientes e tecnologicamente avançados, as empresas de VANT's trabalham constantemente para aprimorar sensores térmicos capazes de atender às necessidades industriais do mercado.

Com o avanço dos sensores termais, juntamente com os drones, a gama de opções para acoplar um sensor termal em um drone tem crescido em grande velocidade. Temos opções como na linha DJI Mavic 2 Enterprise Advanced que é embarcado com sensor térmico e em termos de custo, é o drone comercial com preço mais acessível.

*Figura 6 - Drone DJI Mavic Enterprise*



Fonte: DJI,2022.

Outra opção da linha DJI, porém com uma robustez e autonomia maior, é a linha DJI Matrice que tem a opção de embarcar o sensor termal DJI Zenmuse H20T que utiliza componentes da Flir já mencionados anteriormente. Abaixo estão representados o drone e o sensor térmico ( figura 7 e figura 8).

*Figura 7 - Drone DJI Matrice 300*



*Figura 8 - Sensor Térmico*

Fonte: DJI,2022.

Outro exemplo que tem se tornado mais comum no mercado de inspeção com drones, pelo seu tamanho reduzido, autonomia de 1 hora de voo e a possibilidade de acoplar diversos tipos de sensores, é o Spectral 2 da empresa Nuvem UAV. Empresa nacional que tem se destacado no setor de pesquisa e desenvolvimento na área de

drones. Abaixo é apresentada a imagem do drone e dos sensores que podem ser acoplados ao mesmo.

*Figura 9 - Drone Spectral*



Fonte: Nuvem UAV, 2022.

## **2.5. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SISTEMA FV**

### **2.5.1. INSPEÇÃO VISUAL**

A inspeção visual é realizada através da observação do sistema como um todo. É realizada observando o sistema por visitas ao mesmo, detalhando qualquer dano visível a olho nu e identificando-o. Atualmente a inspeção é feita pelo homem, porém, o drone tem sido abordado, agilizando a análise do sistema. (MADUKANYA et al., 2018).

A técnica de inspeção visual permite a observação de diversas falhas como delaminação, rachaduras nas células, bolhas, sombreamento, delaminação, oxidação e quebras de vidro (KURTZ et al., 2014). Todos os defeitos visualizados devem ser registrados por fotografias, com a utilização de uma câmera com alta resolução, com diversos ângulos diferentes para garantir que as imagens não sofram influência de reflexos, de acordo com a norma internacional IEC 61215 (MUNOZ et al., 2011).

### **2.5.2. TIPOS DE DEGRADAÇÃO DE PAINÉIS FV**

Durante a vida útil dos painéis fotovoltaicos devido a fatores, sejam externos ou internos ele perdera a eficiência (NDIAYE, 2014). Os fatores passam por reações químicas indesejadas, falhas de fabricação e/ou montagem, sujeiras, etc. O conhecimento dos principais mecanismos de degradação possibilita a criação de ações preventivas visando uma melhor performance dos painéis (FERREIRA, 2018).

Vários fatores afetam o desempenho dos painéis, porém segundo a literatura o que se destaca é a temperatura de operação. Considerando que a temperatura é fundamental, pois atua como catalisador em outras reações químicas que afetam o painel. Levando como exemplo a reação química entre o boro e o oxigênio na rede cristalina de junção, nomeado como degradação induzida pela luz, também a migração de íons de sódio para a superfície do vidro de revestimento, denominada de degradação induzida pelo potencial. Ambas as reações citadas pioram a eficiência de operação do painel e são favorecidas pela temperatura de operação (FERREIRA, 2018).

A sujeira e resíduos que caem na fachada dos módulos podem causar uma perda de 10% de eficiência do equipamento. Ainda pode ser agravado quando os sistemas FV estavam instalados próximos a grandes produtores de poeira, como indústrias, praias e desertos (SANT'ANNA, 2015).

Ainda segundo Ferreira (2018), o revestimento dos módulos é feito de etileno, material que se desgasta com a exposição prolongada a radiação ultravioleta e a altas temperaturas, processo conhecido como degradação fototérmica. Fato que ocasiona desprendimento das camadas internas causando bolhas na interface vidro e as células solares.

Existem vários outros tipos de desgaste dos painéis, a literatura cita degradação do revestimento antirreflexo, algum caso de curto-circuito, porém como no presente trabalho o foco é a utilização de drones para a inspeção dos painéis não será aprofundado os tipos de degradação que um painel possa a ter.

### **2.6. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE OPERAÇÃO**

Atualmente a grande parte da parcela das células fotovoltaicas utilizadas e comercializadas são de silício monocristalino e silício policristalino, as quais acabam perdendo cerca de 75 % da conversão de energia solar para elétrica. Uma parte desta parcela perdida ocorre pela reflexão e outra grande parte vira calor, considerando uma

perda de 0,4% a 0,5% de eficiência perdida a cada 1 °C ganho, considerando a partir de 25°C (HERNÁNDEZ, 2013). Consequência no processo de *band gap* do material, que com o aumento de temperatura faz com que a parcela útil do espectro da radiação solar do material fique menor.

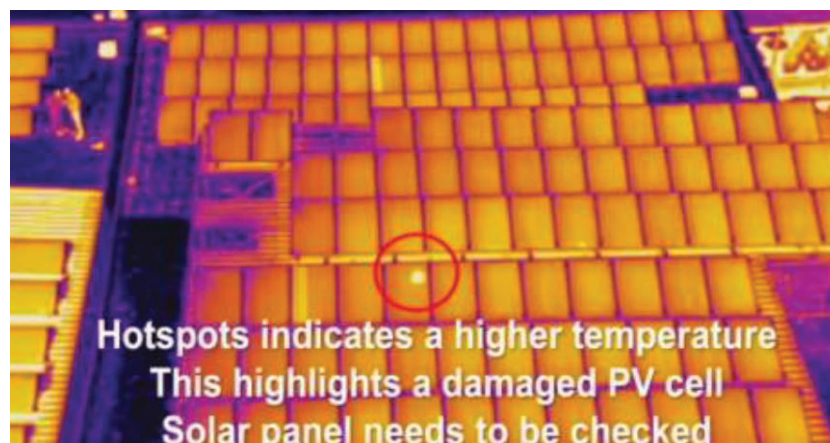
Existem ações mitigadoras a esse processo, atualmente no mercado já existem sistemas fotovoltaicos mistos, os quais utilizam água para refrigeração, atuando como um controlador de temperatura da placa, para diminuir as perdas do sistema.

Portando com a informações citadas acima a cada 1°C ganho a partir de 25 °C, conclui-se que essa perda de eficiência ocorre facilmente, considerando que estamos em um país majoritariamente tropical e as temperaturas facilmente ultrapassam 25 °C em várias localidades, evidenciando a essencialidade de câmeras com sensores térmicos acopladas a drones para avaliar a temperatura do painel, avaliando assim sua condição.

## 2.7. INSPEÇÕES TERMOGRÁFICAS COM DRONE

Segundo Santos (2017) qualquer inspeção com drone pode ser realizada em alguns minutos se comparada a métodos convencionais que podem durar horas ou até dias. Podemos comparar também com a utilização de helicópteros que pode ser um método rápido, porém com custo muito elevado, o que se torna inviável na maioria dos casos. Na figura X podemos observar um ponto quente no painel solar o que caracteriza, segundo Santos (2017), um possível comprometimento na estrutura do sistema fotovoltaico.

*Figura 10 -Ponto quente no sistema FV*

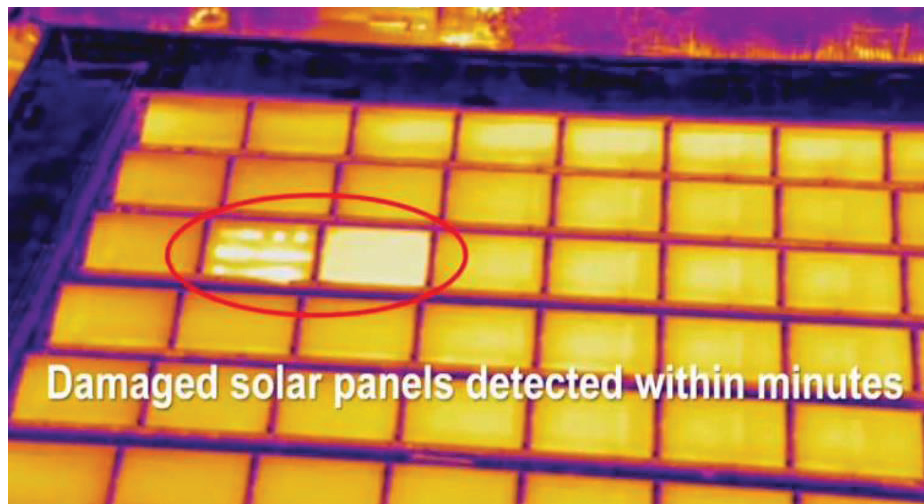


Fonte: Santos, 2017.



Na figura x é possível verificar, a partir do da imagem térmica capturada por um drone, um dos painéis danificados. Segundo Santos (2017) a utilização do drone gera uma otimização considerável no tempo de inspeção e nos esforços da equipe responsável pelo serviço.

*Figura 11 - Painel solar danificado*



Fonte: Santos, 2017.

### **3. MÉTODO CONVENCIONAL DE MANUTENÇÃO DE AEROGERADORES**

Algumas técnicas são mais comumente utilizadas para inspeções, tais como o rapel e a utilização de guindastes. Estas frequentemente demandam tempo razoável de parada do equipamento, com impactos significativos na geração de energia, representando perdas financeiras, durante todo o período necessário, inclusive, para a retirada das pás (guindaste) e inspeção visual do técnico suspenso (rapel).

O processo por guindaste tende a ser simples, um caminhão se desloca para o aerogerador escolhido, e então elevam-se as extensões para coletar as pás a serem removidas. Uma vez no solo, as pás podem ser inspecionadas. No método do rapel, os técnicos lançam mão de procedimentos típicos do alpinismo, com as pás em posição específica, de forma a possibilitar a realização da inspeção.

Em suma, ambas as técnicas demandam tempo inestimavelmente alto, e considerável número de trabalhadores.

Não obstante, os aerogeradores possuem um ciclo de vida útil, que gira em torno de 20 anos, de modo que não podemos renunciar às manutenções necessárias ao seu maior rendimento, disponibilidade, a custos não proibitivos.

O processo de manutenção, em si, pode ser dividido em 4 tipos: Preventiva; Curativa; Sistemática; Condicionada. (GRAÇOEIRO, 2008).

De acordo com GRAÇOEIRO (2008), manutenção curativa é a aplicada aos equipamentos julgados de menor importância para o funcionamento integral do aerogerador, com custos mais ou menos reduzidos, dentro do viável para cada empresa.

Na manutenção sistemática, as trocas de peças, equipamentos, e outros componentes, são realizadas em um intervalo fixo, trazendo como benefício real a programação da parada dos aerogeradores, bem como dos custos envolvidos (REIS, 2015).

A manutenção condicionada, é um procedimento que traz como grande benefício o aumento da vida útil dos equipamentos/componentes, devido ao acompanhamento de parâmetros captados por sensores, através dos quais os técnicos podem observar qualquer alteração nos parâmetros predefinidos, e a partir destes aplicar a manutenção necessária (REIS, 2015).

Por sua vez, tem-se a manutenção preventiva, que como a sistemática, ocorre em intervalos pré-fixados, porém é normalmente direcionada aos equipamentos considerados vitais, mais importantes, e que demandam maiores custos em casos de falhas frequentes (GRAÇOEIRO 2008).

Se compararmos, o que se tem como manutenção condicionada, podemos chamar de manutenção preditiva, que consiste justamente na realização da atividade a partir do acompanhamento de parâmetros. A manutenção preditiva realizada nos aerogeradores tem uma sistemática, de acordo com GIMENEZ (2018), que compreende os métodos:

- Monitoramento contínuo de todos os componentes;
- Exames de termografias;
- Análises de vibrações;
- Análises de óleo lubrificante;

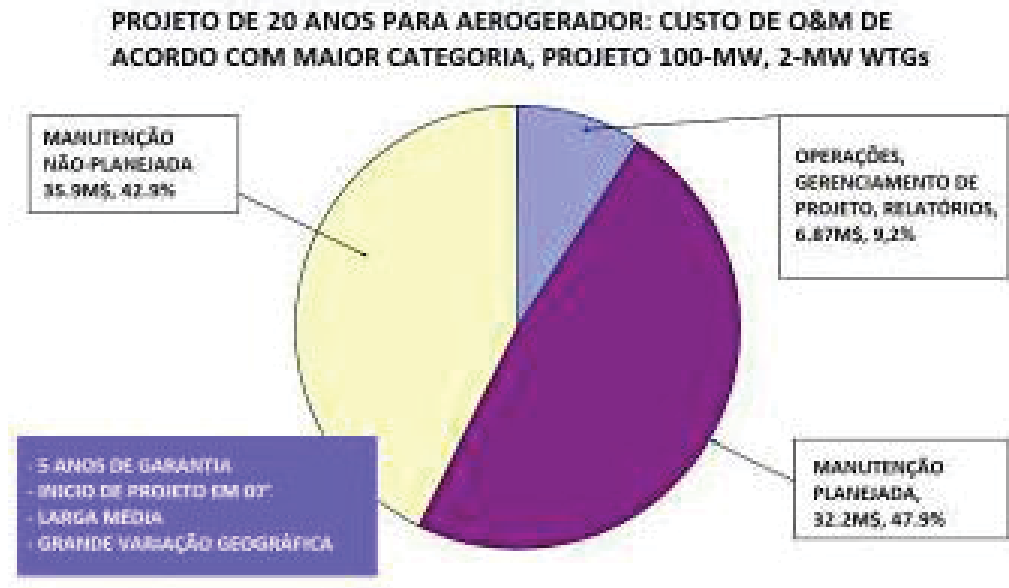
- Sensor para análises de temperatura em rolamento e sistema de lubrificante;
- Inspeção visual em engrenagens e hastes;
- Realização de medições com acelerômetro, e;
- Desenhos de ferramenta para análises de alarme e afirmação de intervenções (GIMENEZ, 2018 apud SCHULTZ, 2005).

Onde as técnicas preditivas principais presentes para a análise dos parâmetros, ainda de acordo com GIMENEZ (2018) são: Ultrassom; Partícula magnética; Líquido penetrante; Raios X; Termografia; Análises de vibrações; Emissões acústicas; Correntes parasitas; Ferrografias; Análises de lubrificantes; entre outras. Essas técnicas são consideradas como técnicas de ensaios não destrutivos, o que significa, técnicas que realizam ensaios no material ou peça, para detectar falhas sem que ocorra a quebra ou danos a peça teste em questão.

Outro tipo de manutenção que se encontra muito presente é a corretiva. Esse tipo é encontrado em qualquer sistema, pois tudo está sujeito a falha. De acordo com WALFORD (2006), todo planejamento de um sistema já coloca esse tipo de manutenção nos custos de operação e manutenção e do investimento que será necessário. Os custos dessa manutenção podem ser divididos em custo direto e indireto, onde o custo direto é o valor relacionado com o Homem Hora (HH) que será necessário e a compra dos equipamentos, enquanto os custos indiretos são a perda do retorno financeiro pela parada repentina da máquina para a sua manutenção.

De acordo com os dados apresentados por VACHON (2006), em 2006, apesar de as manutenções planejadas representar numericamente um menor percentual no planejamento de 20 anos de uso do aerogerador, o custo agregado às manutenções corretivas é maior que os das manutenções planejadas em 3.7 milhões de dólares. A figura abaixo mostra através de um gráfico pizza esses valores:

Figura 12 - Gráfico do Projeto



Fonte: VACHON, 2006

Custos associados à manutenção preventiva são esperados, podendo ser ligeiramente modificados devido aos preços locais do Homem Hora, mas esta modificação é mínima (WALFORD, 2006). Comparada à manutenção corretiva, esses valores são mais altos, porque não são esperados e são um valor adicional ao planejamento inicial, além da necessidade de deslocamento de um técnico para sua execução, e todos estes fatores acabam afetando o custo (WALFORD, 2006). Outro “detalhe” que pode alterar os valores de planejamento, é a altura do gerador. De acordo com WALFORD (2006), o custo de reparo para manutenção, reparo, substituição de equipamentos essenciais, em uma torre de 65 metros de altura atingiu 120 mil dólares americanos, e quando a altura aumenta para 80 metros, este valor pode se quadruplicar.

### 3.1. DRONES NA MANUTENÇÃO DE AEROGERADORES

A utilização dos drones no mercado de energia eólica já é realidade, de acordo com Pinheiro (2018) os drones que utilizam os sensores térmicos embarcados estão sendo usados por grandes empresas, como a Bureau Veritas, líder mundial em teste, inspeção e certificação. Segundo Pinheiro (2018) uma operação com drone tem uma equipe reduzida, variando entre duas a três profissionais, reduzindo consideravelmente o custo da operação e deixando de lado equipamentos de grandes escalas como guindastes.

O processo de inspeção por drones é bem simples, os técnicos colocam o equipamento no local de início e de acordo com o que foi solicitado, os sensores para detectar o que foi requerido são acoplados ao drone e assim é realizada a inspeção do aerogerador. Apesar dos grandes ventos, devido aos sensores como o acelerômetro, os drones têm a capacidade de se manter estável nessas regiões onde os ventos são mais fortes.

Os equipamentos utilizados para estes tipos de operação são os drones multirotores, que como já comentado neste trabalho tem uma maior facilidade de operação e podem parar o ar para capturar imagens, térmicas ou não, realizar vídeos e até mapear um aerogerador para gerar um modelo 3D, após processamento em software adequado.

## 3.2. UTILIZAÇÃO DO DRONE NO PROJETO DE PARQUE EÓLICO

### 3.2.1. PROJETO DE PARQUE EÓLICO

A energia eólica é uma das fontes renováveis mais utilizadas no mundo, devido à sua versatilidade e eficiência. Este exemplo de projeto tem por objetivo analisar a viabilidade da instalação de um parque eólico conforme parâmetros apresentados abaixo:

*Figura 13 - Tabela de dados*

NOME	EQUIPE	DADOS DE INSTALAÇÃO		
		Aerogerador	Localização	Altura torre /Diâmetro Rotor
Usina GMG	Gabriel Fortes	WEG AWG	Rio Grande	120m /
	Marcos	110 – 2,1 MW	RS	110m
	Guilherme Dias			

Fonte: Autores, 2022

Levando em conta a potência individual do gerador WEG, foi dimensionado o parque eólico com 9 aerogeradores, de forma a chegar o mais próximo possível da potência instalada de 20 MW. Para a avaliação e posterior comparação econômica, foram utilizados os cálculos de Payback, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Além disso, foi analisada a sensibilidade da variação do preço da energia e da participação de terceiros para o VPL e a TIR.

Após todos os cálculos dos parâmetros econômicos e análise da região em que o parque eólico pode ser implantado, foi considerado que o investimento neste parque eólico não é viável devido ao seu alto preço de comercialização para se tornar rentável

com as condições estabelecidas. O aerogerador da WEG AWG, portanto, para as condições apresentadas em Rio Grande/RS, não se apresenta como um bom investimento, visto que, para a velocidade de vento apresentada, sua potência não é bem aproveitada. Logo, recomenda-se o estudo de outros aerogeradores mais apropriados para o local de instalação do parque eólico.

### **3.2.2. DRONES NO PROJETO DE PARQUE EÓLICO**

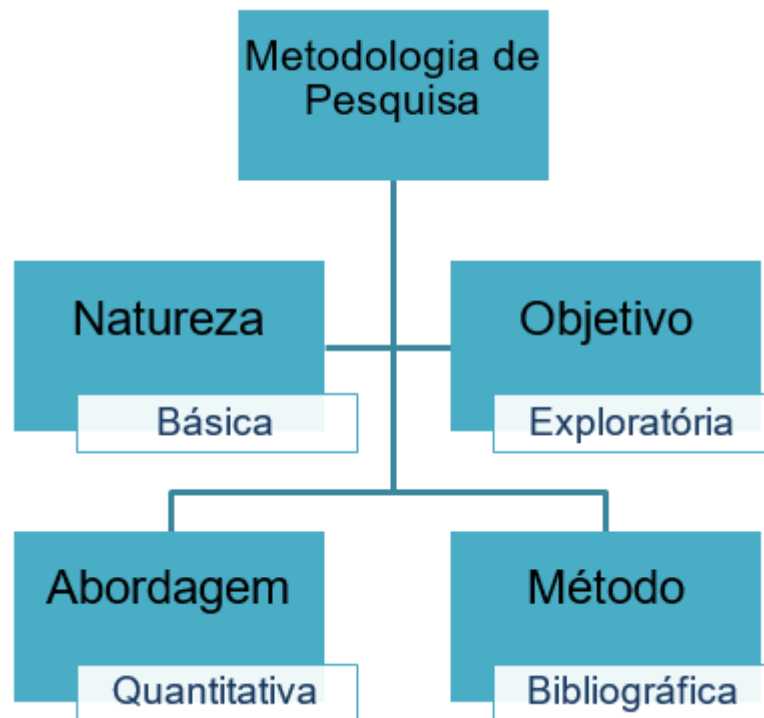
Tendo em vista todo o projeto de estudo e implementação de um parque eólico, os drones e seus componentes podem auxiliar em todas as fases do projeto. Podemos listar:

- Planejamento de área de implementação: utilização do drone asa fixa para mapeamentos de grandes áreas com o objetivo de buscar a região mais viável para a instalação do projeto. Um exemplo seria a geração das curvas de nível de toda a área de estudo para simular em qual região teria maior incidência de ventos e menor sombreamento pelo fato de uma região ser mais declivosa.
- Auxílio na instalação dos aerogeradores: utilização de drones multirotores para auxiliar na operação de instalação dos aerogeradores. A vista de cima pode ser preponderante para evitar algum tipo de manobra equivocada ou para evitar algum acidente.
- Manutenção e acompanhamento periódico: utilização de drones multirotores para manutenção e inspeção dos aerogeradores, assim como um acompanhamento periódico para evitar panes e acidentes dos equipamentos.

## **4. METODOLOGIA DE PESQUISA**

A metodologia trata dos procedimentos adotados para se desenvolver uma pesquisa (Barros & Lehfeld, 2008) e validar as etapas traçadas para atingir os objetivos propostos (Gerhardt & Silveira, 2009). Nesse sentido, a metodologia de pesquisa deste estudo está representada abaixo em forma de um fluxograma pela Figura 14. As suas etapas, assim como suas características, estão descritas na sequência.

Figura 14 - Fluxograma Metodologia de Pesquisa



Fonte: Autores, 2022

Dessa maneira, portanto, a metodologia aplicada para o presente trabalho, quanto à sua natureza, classifica-se como básica, visto que não terá aplicação prática concomitante (imediate), objetivando a promoção e ampliação de conhecimentos. Em relação aos objetivos, enquadrou-se como sendo uma pesquisa exploratória, envolvendo pesquisas bibliográficas, no intuito de proporcionar uma visão ampla do assunto pesquisado (Gil, 2008) e servindo de base para aprofundar o tema (Berto & Nakano, 2014).

Na abordagem quantitativa trata-se da mensuração das variáveis da pesquisa, não havendo interferência do pesquisador sobre elas (Miguel et al., 2010). É utilizada quando se pretende avaliar um entendimento acerca de um fenômeno (Berto & Nakano, 2014), transformando opiniões ou informações em números para posterior análise e interpretação (Moresi, 2003).

O método de pesquisa utilizado para atender ao objetivo foi a pesquisa bibliográfica, onde foi possível analisar os conceitos e publicações a respeito do tema proposto. Esta pesquisa foi realizada levando-se em consideração materiais já elaborados por outros pesquisadores, composto por livros, artigos científicos (Gil,

2008), jornais e redes eletrônicas (Moresi, 2003). Essa análise é importante para compreender os conceitos já publicados (Barros & Lehfeld, 2008).

O procedimento metodológico, que indica os passos a serem seguidos para o desenvolvimento do estudo e obtenção dos resultados, foi dividido em cinco etapas sequenciais, conforme segue:

Sequência dos Procedimentos Metodológicos

- 1. Definição do tema de pesquisa**
- 2. Definição das possíveis fontes**
- 3. Processo de mineração de obras, artigos, trabalhos acadêmicos, etc.**
- 4. Análise bibliográfica**
- 5. Conclusão**

Na primeira etapa do estudo definiu-se o tema a ser pesquisado – Aplicação de VANT - drones na inspeção de aerogeradores e painéis fotovoltaicos – escolhido por ser um assunto relativamente novo e com grande relevância técnica, seja no âmbito da segurança do trabalho e manutenção de usinas, ou mesmo economicamente falando, por poder representar redução de custos.

A segunda etapa compreendeu a escolha das fontes disponíveis para o levantamento bibliográfico, e para isso foi desenvolvida uma pesquisa com viés exploratório, onde com as informações coletadas foi possível explicar os fatores mostrados para exemplificar qual a melhor utilização do serviço, na relação econômica. O método utilizado foi a pesquisa de literatura sistemática, buscando um acervo bibliográfico grande o suficiente para que fosse possível embasar nosso trabalho de forma coerente e objetiva.

Para a terceira etapa, a mineração bibliográfica, definiu-se então os seguintes termos de busca, com obras, artigos, trabalhos acadêmicos, em meio físico ou virtual, lançando mão de pesquisas em variados acervos de bibliotecas, sites e empresas especializadas, universidades, principalmente através da plataforma global de pesquisas “Google”, fazendo uso, também, das bibliotecas pessoais dos integrantes da equipe, e com maiores detalhes apresentados nas REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.



Na quarta etapa, Análise bibliográfica, por se tratar de um tema recente, e a literatura em geral diretamente relacionada ao tema não ser abundante, direcionou-se a pesquisa que baseou-se principalmente (não estritamente) em artigos de estudantes universitários, tópicos de artigos (drones, inspeções e turbinas eólicas/placas solares), pesquisas de agências governamentais, de sites de empresas no campo Equipamento VANT, vídeos de atividades relacionadas e Revistas de técnicos que trabalham na área. Todas as fontes basearam-se na relevância e quantidade de informações sobre os tópicos discutidos.

Por fim, na quinta etapa abordamos as conclusões do trabalho. Nela fizemos um fechamento do estudo proposto, apontando as vantagens para as organizações e também expondo as considerações finais sobre a pesquisa realizada, as sugestões de trabalhos futuros para a sequência do estudo e, por fim, as limitações às quais o trabalho se restringe.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme depreendemos do presente trabalho, tendo em vista a dificuldade de se realizar a inspeção e manutenção em aerogeradores e painéis fotovoltaicos, atualmente a inserção de drones para tais processos se comporta de modo eficaz. Os principais benefícios são obtidos diretamente para os executores do serviço, onde o processo de inspeção sem drones passa por aptidão física, atendimento a normas de segurança e utilização de equipamentos extras:

- **Aptidão Física:** Como o trabalho exige considerável esforço físico, o trabalhador necessita estar apto fisicamente e mentalmente para executar o serviço, e caso ocorra algum erro de execução o trabalhador pode vir a sofrer algum dano ou até mesmo falecer;
- **Atendimento a normas de segurança:** Comumente o trabalho a ser executado em painéis fotovoltaicos e aerogeradores são em altura, sendo fundamental que o trabalhador atenda todas as normas de segurança para prevenir quaisquer danos leves e/ou pesados (NR- 35);
- **Utilização de equipamentos extras:** O executante necessita obrigatoriamente de equipamentos extras, como escadas, guindastes, andaimes, cordas, plataformas elevatórias etc. A utilização do drone facilita ou mesmo elimina a utilização de tais equipamentos.

Apesar da utilização dos drones desconsidera substancialmente processos e procedimentos citados acima, pois elimina a o esforço físico considerando que o drone fará todo o trabalho de ir até o local a ser analisado, a utilização dele dispensará a utilização de equipamentos extras como escadas, andaimes etc. Contudo ainda será necessário a utilização de certificações e autorização de voo para manuseio dos drones, não sendo a citada acima, NR - 35 sobre trabalhos em altura, porém será necessário autorização e certificação do equipamento na ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil, uma autorização de voo no DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo via SARPAS - Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas, mecanismo utilizado para obter a certificação. Certificações e liberações simples comparado com a NR -35.

## 6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste projeto permitiu obter diferentes conclusões em cada etapa. Foi possível constatar, a princípio, a capacidade dos VANTs para se tornarem ferramentas de trabalho valiosas em diferentes setores pertinentes à segurança da sociedade, processo este, acelerado pelo baixo custo dos componentes e constantes oportunidades de evolução. Entre os exemplos no cenário brasileiro, estão o combate a focos de reprodução do *aedes aegypti* e o aporte de baixo custo para segmentos de segurança patrimonial e segurança pública. Ao olhar o cenário nacional das empresas de VANTs, a empresa parceira estaria tomando a frente de um mercado sem domínio, oferecendo um produto que apresenta diferenciação estética, tanto dos modelos de hobby como de segurança, embarcado de tecnologias modernas com capacidade para operação nos diversos cenários do segmento de segurança. Do ponto de vista metodológico, o requisito de proporcionar uma solução cujo corpo seja composto em apenas duas peças não foi possível, e pode ser interpretado como um desafio para futuros projetos. A solução proposta, porém, atende a todos os demais requisitos, e apesar de conter mais elementos para compor o corpo do produto, demonstrou melhor conclusão estética que as demais alternativas que cumpriam com o requisito citado. Fica em aberto, porém, para etapas futuras do projeto, uma reavaliação das demandas de projeto, a fim de enriquecer o projeto, captando necessidades oriundas de clientes potenciais ou usuários, gerando novos requisitos a serem adicionados ao projeto, caso se considere necessário, tendo em vista que foi não possível obter respostas na tentativa de contato e questionamentos realizados às empresas de segurança privada. Ainda assim e por fim, o projeto atinge seu objetivo geral, concluindo num modelo de VANT de baixo custo, de poucas peças, passível de produção e manufatura pela empresa parceira, com os atributos desejados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. *In*: TEIXEIRA, Clever Marcos. Tarifas de Energia. WebSITE: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019. Disponível em: [https://www.gov.br/aneelsala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/tarifas-de-energia-de-otimizacao-de-servicos-ancilares-e-pld-sao-fixados-para-2021/656877/pop\\_up?\\_101\\_INSTANCE\\_zXQREz8EVIZ6\\_viewMode=print&\\_101\\_INSTANCE\\_zXQREz8EVIZ6\\_languageld=pt\\_BR#:~:text=Considerando%20a%20varia%C3%A7%C3%A3o%20do%20IPCA,%2C87%2FMWh%2C%20respectivamente.http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim\\_Eolica\\_mar%C3%A7o\\_%202019.pdf](https://www.gov.br/aneelsala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/tarifas-de-energia-de-otimizacao-de-servicos-ancilares-e-pld-sao-fixados-para-2021/656877/pop_up?_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_viewMode=print&_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_languageld=pt_BR#:~:text=Considerando%20a%20varia%C3%A7%C3%A3o%20do%20IPCA,%2C87%2FMWh%2C%20respectivamente.http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim_Eolica_mar%C3%A7o_%202019.pdf). Acesso em: 19 dez. 2021.

ATIVOS NO SETOR DE ENERGIA. Disponível em: <<https://www.bureauveritas.com.br/drones-revolucionam-o-monitoramento-de-ativos-no-setor-de-energia-0>>. Acesso em: 20 maio 2022.

BARROS NEIVA, Antonio Carlos *et al*, (ed.). ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO BRASIL. 1. ed. BRASIL: [s. n.], 2013. Atlas. Disponível em: [http://novoatlas.cepel.br/wp-content/uploads/2017/07/Novo-Atlas-do-Potencial-Eolico-Brasileiro-SIM\\_2013.pdf](http://novoatlas.cepel.br/wp-content/uploads/2017/07/Novo-Atlas-do-Potencial-Eolico-Brasileiro-SIM_2013.pdf). Acesso em: 1 fev. 2022.

BRIQUE, S. K. Emprego da Termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios. Florianópolis: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2016/

ESA, E. A novel electrical model for organic photovoltaic cells. Thesis (Doctor of Philosophy), University of Newcastle, Australia 2013

FERREIRA, Rafael Magalhães. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO UM MODELO ELÉTRICO-TÉRMICO E TERMOGRAFIA QUANTITATIVA. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2018

HAILLANT, O. Accelerated weathering testing principles to estimate the service life of organic PV modules. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, v.95, p.1284-1292, 2010

HERNÁNDEZ, R. M.; CASCALES J. R. G.; GARCÍA, F. V.; KÁISER, A. S.; ZAMORA, B. Improving the electrical parameters of a photovoltaic panel by means of an induced or forced air stream. *International Journal of Photoenergy*, v.2013, ID 830968, 2013.

ITRPV, International Technology Roadmap for Photovoltaic (2017 Results), 2018

KNEIPP, R. O estado da arte na utilização de drones para inspeção naval e offshore. TCC Curso de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

KURTZ, S. et al. Performance and Reliability of Photovoltaic Systems. [S.l.]: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS PROGRAMME, 2014.

KYLILI, A. et al. Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. *Applied Energy*, v. 134, p. 531–549, 2014.

MADUKANYA, U. E. et al. Fault Inspection by aerial infrared Thermography in a PV plant after a Metereological Tsunami. 2018.

MUNOZ, M. A. et al. Early degradation of silicon pv modules and guaranty conditions. Elsieve Ltd., 2011.

NDIAYE, A.; CHARKI, A.; KÉBÉ, C. M. F.; NDIAYE, P. A.; SAMBOU, V.; KOBİ, A. Degradation evaluation of crystalline-silicon photovoltaic modules after a few operation years in a tropical environment. *Solar Energy*, v.103, p.70-77, 2014.

O'Donnell, Shea. A SHORT HISTORY OF UNMANNED AERIAL VEHICLES. Disponível em: . Acesso em: 22 maio 2021.

PINHEIRO, Leonardo. DRONES REVOLUCIONAM O MONITORAMENTO DE RABADY, R.I. Optimized spectral splitting in thermo-photovoltaic system for maximum conversion efficiency. *Energy*, v.119, p.852-859, 2017.

SANT'ANNA, V. R. S. Análise de Sistemas Fotovoltaicos com Concentradores Fixos da Radiação Solar. Tese (doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

SANTOS, T. O estudo do estado da arte dos procedimentos de termografia na manutenção dos sistemas elétricos. TCC Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, 2017.

WEG. Aerogeradores AGW 110/2.2 AWG 110/2.2. *In: WEG. Aerogeradores AGW 110/2.2 AWG 110/2.2 : História.* [S. l.], 2013. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hee/hf1/WEG-aerogerador-agw-110-2.1-50030583-catalogo-portugues-br.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2021.