

MANUTENÇÃO PREDITIVA: ANÁLISE DE VIBRAÇÃO EM EQUIPAMENTOS ROTATIVOS DO AEROGERADOR

CLEITSON BARRETO SANTIAGO¹, FABRÍCIO J N CAVALCANTE², RÔMULO PIERRE B DOS REIS³, CARLOS AUGUSTO BEZERRA JUNIOR⁴

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido; cleitsonsan@gmail.com

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido; fabriciocavalcante@ufersa.edu.br

³Universidade Federal Rural do Semi-Árido; romulopierre@ufersa.edu.br

⁴Universidade Fderal da Paraíba; bezerrajr3@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: Este estudo apresenta um sistema de monitoramento e análise de vibração em componentes rotativos do aerogerador. Um sistema completo que permite a detecção precoce de falhas que é crucial para um trem de potência tão complexa instalada dentro da turbina eólica. Isso faz do monitoramento da condição uma ferramenta fundamental para o acompanhamento de estudos durante a operação e manutenção dos aerogeradores. O objetivo desse trabalho é descrever e relacionar as etapas de análise de vibração, reunindo dados essenciais - como características de vibração - que fornecem uma imagem precisa da integridade da máquina, utilizando um software computacional chamado SKF @ptitudeobserver. Vale destacar a confiabilidade do método de envelope de aceleração ou demodulador, técnica de diagnóstico avançado que potencializa a habilidade de um analista para determinar a condição do equipamento ao ponto de ter alternativa para estender o intervalo de manutenção.

PALAVRAS-CHAVE: Trem de potência; Aerogerador; Envelope de aceleração.

PREDICTIVE MAINTENANCE: VIBRATION ANALYSIS IN ROTARY AIR GENERATOR EQUIPMENT

ABSTRACT: This research presents a vibration monitoring and analysis system in rotating components of the wind turbine. A complete system that allows early fault detection that is crucial for such a complex drivetrain installed inside the wind turbine. This makes condition monitoring a fundamental tool for monitoring studies during the operation and maintenance of wind turbines. The purpose of this work is to describe and relate the stages of vibration analysis, gathering essential data - such as vibration characteristics - that provide an accurate image of the machine's integrity, using computational software called SKF @ptitude observer. It is worth highlighting the reliability of the acceleration envelope or demodulator method, an advanced diagnostic technique that enhances the ability of an analyst to determine the condition of the equipment to the point of having in the alternative to extend the maintenance interval.

KEYWORDS: Drivetrain; Wind turbine; Acceleration envelope.

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica está em plena expansão, de tal sorte que surge um novo mercado para o setor de manutenção preditiva, em especial o CMS - análise de vibrações. As características de operação de um aerogerador trazem peculiaridades já mais vistas em outra indústria, que é a variação da velocidade

de rotação, do trêm de potência da máquina, durante as 24 horas do dia, pois a turbina depende do vento para sua funcionalidade. Como todos sabem, o vento é variável ao longo do tempo. Essa característica associada a alguns componentes da máquina que giram em baixíssima rotação, como é o caso do eixo lento principal do trêm de potência da turbina, criam um enorme desafio para as empresas especializadas em CMS, que é detectar falhas em estágios iniciais. Apesar do pouco tempo de crescimento da energia eólica, já tem registros de sistemas ineficazes, para o monitoramento de vibrações no sistema eletromecânico dos aerogeradores. A cada ano, as empresas buscam por tecnologias que atendam os seus clientes.

A análise de vibrações em equipamentos rotativos tem por finalidade avaliar as condições dinâmicas com base na quantificação das vibrações captadas por sensores específicos devidamente instalados nos mancais ou partes fixas da máquina sem a necessidade de parar o equipamento (sem perdas no processo) (SANTANDER, 2014). Os sinais captados por estes sensores são processados e através de análise espectral e temporal é possível quantificar e qualificar a condição operacional dinâmica do equipamento, identificando, mesmo em fase inicial, falha de componentes nos quais podem afetar o funcionamento do mesmo colocando em risco a funcionalidade e confiabilidade do processo, além dos custos de manutenção desnecessários.

O monitoramento contínuo e cadenciado dos equipamentos é considerado “MANUTENÇÃO PREDITIVA”, sendo uma solução estratégica para a manutenção, pois através deste histórico é possível aumentar a vida útil de componentes e equipamentos, aperfeiçoar intervenções e paradas, reduzir estoques de componentes, criarem padrões de aceitação (pósparada), aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, melhorarem a qualidade da manutenção, culminando em redução de custos diretos e indiretos. Foi abordado no estudo, um caso de detecção de falha em um rolamento do aerogerador, em estágio final de vida útil, através de técnicas de envelope de aceleração.

MATERIAIS E MÉTODOS

CONCEITOS BÁSICOS DA TÉCNICA

Um corpo é dito estar vibrando quando descreve um movimento de oscilação em torno de uma posição de referência. Toda estrutura ou máquina está sujeita a forças internas variáveis no tempo e de diferentes naturezas: Forças impulsivas (choques); Forças transitórias (variações de carga); Forças periódicas (desbalanceamento); Forças aleatórias (roçamento)

As forças transmitidas pelos componentes da estrutura são dissipadas e induzem à deformação da superfície causando a vibração. Na Figura 1, pode-se observar o comportamento de uma onda senoidal, que representa a resposta de um movimento vibratório.

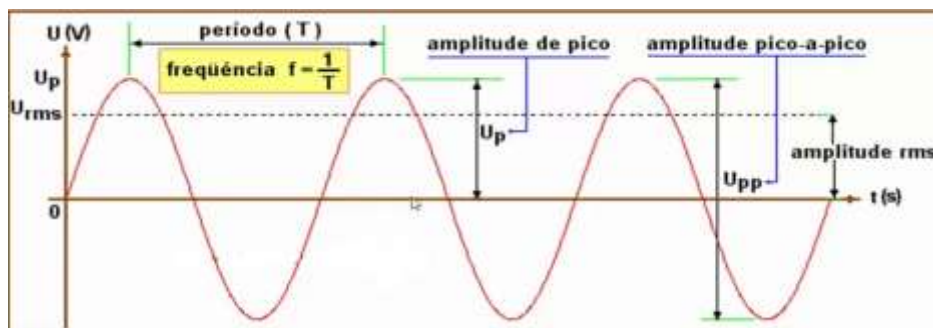


FIGURA 1. Sinal senoidal no domínio do tempo

- Amplitude - é a variável que quantifica o deslocamento efetuado em relação a uma referência. A amplitude rms é a medida mais importante, pois leva em consideração o histórico da onda no tempo e de um valor de vibração o qual é relacionada a energia contida.
- Ciclo - Movimento de um corpo entre dois extremos em relação a sua posição de equilíbrio
- Período - é o tempo que o pêndulo leva para oscilar de uma determinada posição máxima à outra e retornar à posição inicial, ou o tempo de um ciclo completo.
- Frequência - é o número de vezes que o pêndulo executa o percurso completo e retorna a ponto de partida dividido por segundo. Isto é, é o número de eventos por segundo.
- Velocidade angular - Conhecida como frequência circular para distinguirmos da frequência linear (f). f é medida em (Hz) enquanto (ω) é medida em radianos por segundo.
- Angulo de fase - Em um ponto de referência da máquina, temos a atuação da força em um instante t e, para toda ação corresponde uma reação igual e contrária. Contudo, em função do amortecimento, a força de reação é menor que a de ação. A força de ação é rotacional e, quando ocorrer a reação, o ponto forçante não mais estará no ponto de referência. Esta diferença angular é chamado de fase do movimento.

CONFIGURAÇÕES DE MEDIÇÃO

As medições realizadas em nível global nos fornecem a energia vibracional total do sinal coletado. Indicam-nos possíveis problemas no equipamento medido, porém são indicadores quantitativos e não qualitativos (DA SILVA, 2020). Mesmo indicando níveis de alarme, não nos fornecem a localização nem o tipo de problema encontrado. Geralmente são utilizados como “termômetros” para a análise espectral.

As aquisições espectrais são medições realizadas que nos fornecem a assinatura vibracional do equipamento em forma de um espectro de frequência. Permitem-nos localizar, identificar e quantificar o problema de forma a diagnosticar de forma precisa o tipo e gravidade dele. É a forma mais usual de análise.

PARAMÉTROS DE MEDIÇÃO

- Deslocamento (μm) - Quantifica a amplitude máxima de um sinal vibratório. Historicamente, esta grandeza era grandemente utilizada por falta de recursos tecnológicos à época. Tipicamente usado para medição de deslocamento de eixos de baixa rotação e em mancais de deslize, como turbinas.
- Velocidade (mm/s) – A velocidade de um corpo corresponde a variação de sua posição por unidade de tempo. Matematicamente, a velocidade se exprime como sendo a derivada primeira do deslocamento em função do tempo. Utilizado tipicamente para detecção de defeitos que excitam média frequências (até 1000 Hz), como desbalanceamentos, desalinhamentos, folgas, baixa rigidez, correias etc.
- Aceleração (m/s^2) - A aceleração de um corpo corresponde a variação de sua velocidade por unidade de tempo. Matematicamente, aceleração se exprime como sendo a derivada primeira da velocidade em função do tempo. Tipicamente utilizado para defeitos que excitam altas frequências (acima de 1000Hz), tais como ressonâncias, defeitos de rolamentos, engrenamentos, cavitações, falha de lubrificações, roçamentos e choques em geral.

DIREÇÕES DE MEDIÇÃO

As direções de medição são extremamente importantes para a qualidade da análise pois nos fornecem informações a respeito das linhas de força do conjunto (GARDIM, 2018).

A direção horizontal ou radial nos fornece as condições de balanceamento (mecânico e elétrico), desalinhamento paralelo, folgas de mancais, condições de acoplamento, rolamento etc.

A direção vertical é opcional de acordo com os níveis da direção radial, e tem como objetivo avaliar as condições de fixação do conjunto.

A direção axial normalmente é utilizada para avaliação de desalinhamento angular.

EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

O analisador de vibração utilizado para a medição foi o Multilog On-line System IMx-8 da SKF que é um sistema de oito canais para detecção precoce de falhas. Ele se conecta à SKF Cloud, fornecendo acesso a relatórios e recomendações de especialistas por meio dos serviços de diagnóstico remoto SKF. O mesmo também pode ser usado como dispositivo autônomo – medindo e armazenando dados continuamente para análises posteriores ou em conjunto com o software SKF @ptitude

Em termos práticos, o dispositivo possui oito canais analógicos e dois canais digitais (para velocidade de rotação). Uma memória interna de 4GB é suficiente para armazenar um ano de dados da máquina. Segue imagem do sistema na Figura 2.



FIGURA 2. Sistema IMx-8 da SKF

DADOS TÉCNICOS DO AEROGERADOR

O aerogerador em questão é o modelo WEG AGW 110/2.1, conforme é observado na Figura 3 (a). Esta turbina não possui caixa multiplicadora, logo o acoplamento é direto, o gerador é conectado diretamente ao cubo, como pode ser observado na terceira configuração da Figura 3 (b).

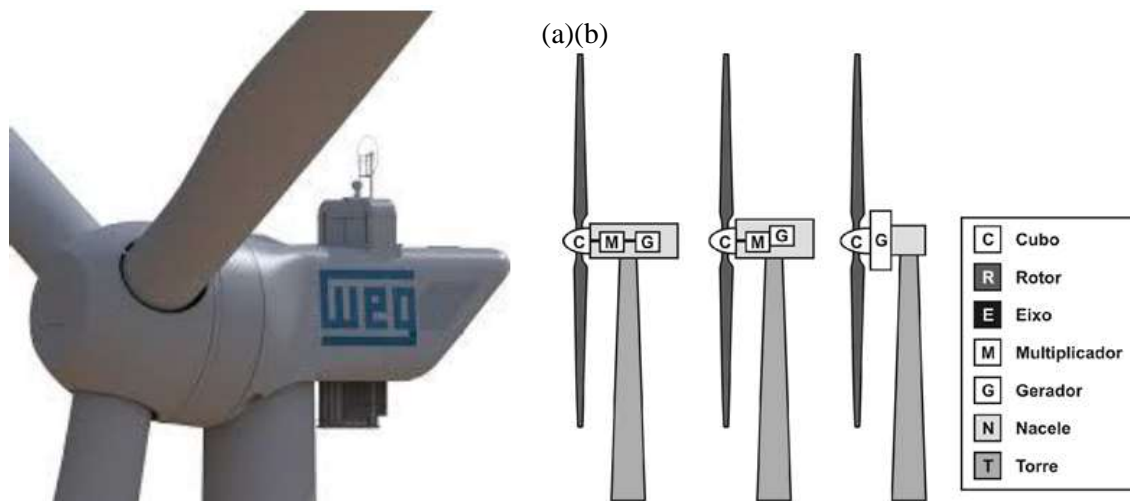


FIGURA 3.a) Modelo Weg AGW110/2.1 FIGURA 3. b) Configurações do aerogerador

Os rolamentos upwind e downwind inseridos no gerador, que está acoplado diretamente ao eixo das pás, serão os objetos de análise do CMS de vibração. A Figura 5 indica as curvas de potência do aerogerador WEG modelos AGW 110/2.1 e 110/2.2. A Tabela 1 as frequências fundamentais e a Tabela 2 referem-se às frequências fundamentais cinemáticas (frequências calculadas para a condição de operação). Como referência, as frequências cinemáticas foram calculadas para uma velocidade de rotação do gerador de 14 RPM, já que a turbina tem uma configuração direta, a faixa de operação é entre 0 e 14 RPM.

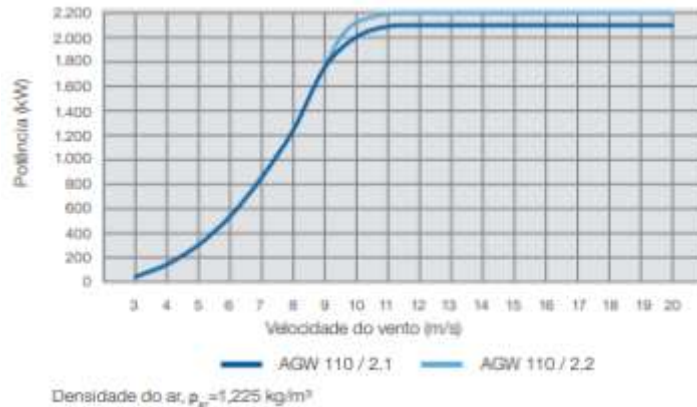


FIGURA 5. Curvas de potência do aerogerador Weg modelos AGW 110/2.1 e 110/2.2, torre de concreto de 120 m.

De acordo com a curva de potência da máquina, a potência nominal é de 2,1MW, essa condição é atingida quando o vento estiver em uma velocidade de 11m/s. O aerogerador sincroniza com a rede elétrica entre uma velocidade de vento de 3 e 4 m/s, isso já suficiente para a turbina entrar em operação. Por questão de segurança da turbina, quando o vento atingir uma velocidade de 20 m/s, automaticamente o aerogerador é desligado temporariamente, até que esta condição permaneça.

TABELA 1 – Frequências fundamentais dos rolamentos

<i>Frequência fundamental do rolamento</i>	<i>Upwind</i>	<i>Downwind</i>
BPFI- Freq. pista interna	24,392	30,354
BPFO- Freq. pista externa	21,608	27,646
BSF- Freq. spin elem. rol.	8,23	10,339
FTF- Freq. da gaiola	0,53	0,523
Elementos rolantes	46	58

Os termos rolamentos upwind e downwind correspondem respectivamente aos rolamentos dianteiro e traseiro do gerador. É de fundamental importância a obtenção dos dados de frequência de falha dos componentes. Durante a medição, os sensores captam excitações oriundas de diversos equipamentos que estão no mesmo ambiente dos rolamentos, de tal sorte que, esses dados servem de parâmetros de entrada para o software @ptitude simular um ambiente compatível com a condição operacional da turbina, colaborando assim, para identificar as falhas dos equipamentos de interesse.

TABELA 2. Frequência cinemática para gerador a 14 RPM

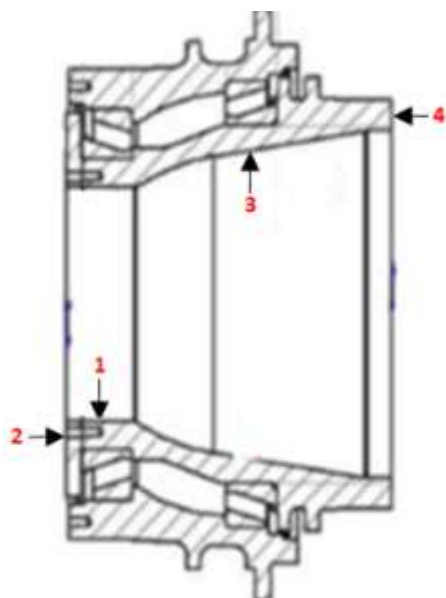
<i>Frequência cinemática</i>	<i>Upwind</i>	<i>Downwind</i>	<i>Outros componentes</i>
BPFI- Freq. pista interna rol	5,69	7,08	-
BPFO- Freq. pista externa rol	5,04	6,45	-
BSF- Freq. spin elem. rol.	1,92	2,41	-
FTF- Freq. da gaiola rol.	0,12	0,12	-
Pás	-	-	0,7
Pólos	-	-	28
Ranhuras	-	-	42
Espaçador	-	-	4,2

DISPOSIÇÃO DOS SENSORES NOS ROLAMENTOS DO GERADOR

Conforme a Figura 6 (a), vista de topo do gerador, foram utilizados 4 acelerômetros, são eles:

- 1 - ACC1: Direção radial no rolamento upwind
- 2 - ACC2: Direção axial no rolamento upwind
- 3 - ACC3: Direção radial no rolamento downwind
- 4 - ACC4: Direção axial no rolamento downwind

Foi instalado um sensor de velocidade para o acompanhamento da rotação no eixo do gerador, a fim de melhorar a eficácia da análise. Os rolamentos do gerador, são tidos como especiais, foram fabricados exclusivamente para esse tipo de gerador WEG. Dificilmente serão encontrados em catálogo, são rolamentos de rolos cônicos, tendo como referência o rol. Upwind: E-55832 principal e o rol. Downwind: E-55833 principal. Percebe-se pelas figuras 6 (a) e (b) que o rolamento upwind tem o diâmetro menor do que o rolamento downwind. A localização dos sensores obedeceu a zona de carga de cada um dos rolamentos, partindo da premissa que o eixo do gerador gira no sentido horário. A referência do sensor de velocidade é IG5565 enquanto que a do acelerômetro é CMSS780C.



(a) (b)

FIGURA 6(a) Posicionamento dos acelerômetros. FIGURA 6(b) Vista traseira do gerador

METODOLOGIA

O sistema - analisador de vibrações - tem um processamento de dados baseado em alguns princípios de análise de sinais, como a FFT – Transformada Rápida de Fourier, que faz a transposição do sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência. Assim como são utilizados filtros digitais, de tal sorte que os mesmos separam os sinais dinâmicos que se misturam. Ou seja, o sinal no tempo é tratado através da FFT onde é realizada a separação do mesmo, em várias bandas ou faixas de frequência.

A Figura 7 mostra os gráficos de sinais no domínio do tempo e frequência, assim como os valores globais, que é a soma de todos os espectros de frequência que foram medidos naquele ponto da máquina, no mesmo instante e que esteja dentro do intervalo ou banda de frequência.

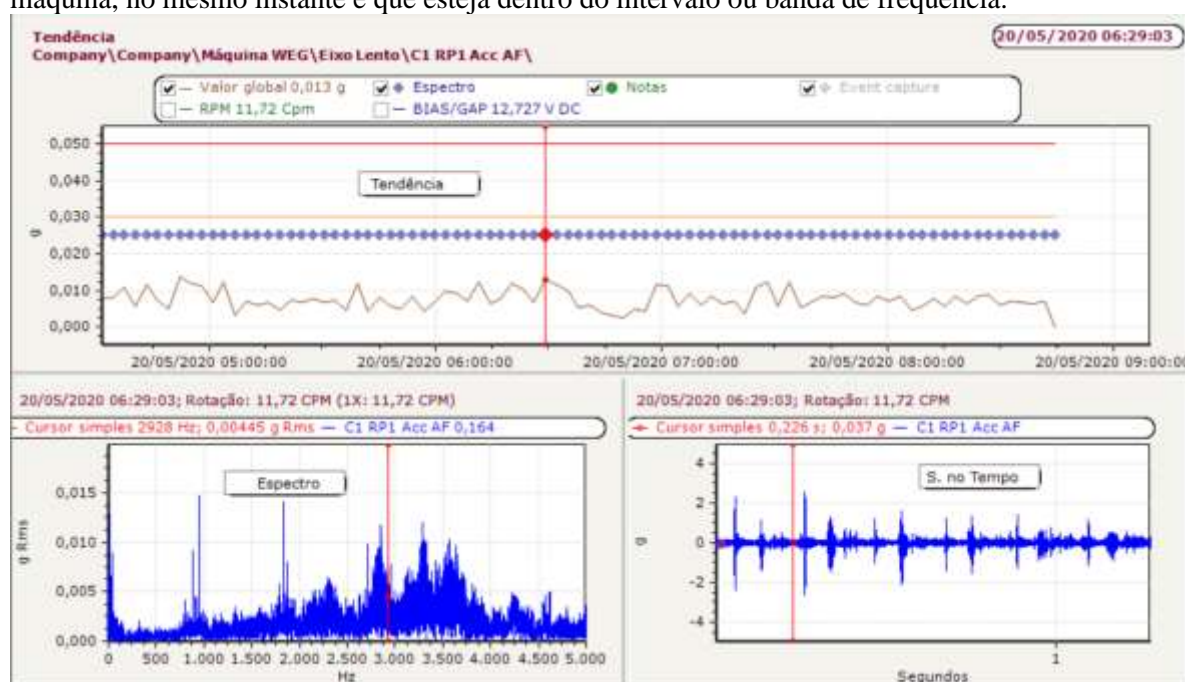


FIGURA 7. Ilustração dos níveis globais de vibração, assim como valores de vibração no domínio do tempo e da frequência (Autoria Própria).

A análise dos espectros é realizada através do software @ptitudeobserver (SKF, 2021). Igualmente, um drivetrain virtual é modelado dentro do programa para representar as relações entre os componentes, sendo ajustado ao cenário da máquina avaliada. Para construir o cenário, é necessário entrar com as especificações dos rolamentos, para deixar o modelo fiel as características e dados técnicos dos equipamentos que compõe o drivetrain do aerogerador. Colaborando assim, para identificar as falhas dos equipamentos de interesse.

Baseado nas condições operacionais do aerogerador, e nas características dos componentes girantes a serem monitorados, os parâmetros escolhidos para quantificar o movimento vibratório, a partir dos sinais dos acelerômetros, é:

- Velocidade de vibração – fornece um bom indicador das seguintes falhas: desbalanceamento, desalinhamento, folgas mecânicas, em casos críticos, registra avarias em rolamentos. O valor global é usado para avaliar a condição da máquina. A unidade do parâmetro é mm/s RMS.

- Aceleração – fornece uma boa indicação das fontes de vibração em alta frequência causadas por falhas em: barras e ranhuras do rotor / estator, lubrificação, engrenagens. A unidade do parâmetro é g RMS.
- Envelope de aceleração – tecnologia SKF que fornece um bom indicador de sinais em alta frequência com baixa amplitude, típicos de falha de rolamentos. O parâmetro é medido em gE pico a pico e são utilizados 4 filtros, conforme estabelecido na Tabela 3.

TABELA 3. Parâmetros para análise de vibração e suas bandas de frequência

<i>ACC1/ACC2/ACC3/ACC4</i>	<i>Pré- processamento</i>	<i>Faixa de frequência</i>
Velocidade	-	0 – 1k Hz
Aceleração baixa freq.	-	0 – 50 Hz
Aceleração média freq.	-	0 – 2k Hz
Aceleração alta freq.	-	0 – 5k Hz
Envelope filtro 01	5 – 100 Hz	0 – 50 Hz
Envelope filtro 02	50 – 1k Hz	0 – 50 Hz
Envelope filtro 03	500 – 10k Hz	0 – 50 Hz
Envelope filtro 04	5k – 40k Hz	0 – 50 Hz

A premissa para escolha dos intervalos de frequência foi definida tendo como base a faixa de operação do aerogerador (0 a 14 RPM – baixa rotação). É válido lembrar que 1 rpm = 1 cpm; 1Hz = 60*rpm. Cada ponto de medição foi definido os parâmetros, as bandas de frequência, e seus respectivos filtros, como se observa na Tabela 3.

NORMAS E RECOMENDAÇÕES

A norma utilizada para o monitoramento do rolamento do aerogerador é a VDI 3834 – Medição e avaliação das vibrações mecânicas em aerogeradores e seus componentes. Uma vez que esta norma é específica para aerogeradores com multiplicador, ela será usada como referência somente para o rolamento principal, já que o gerador para esse tipo de configuração de aerogerador se comporta como um eixo principal de baixa rotação. As Tabelas 4 e 5 ilustram os limites de vibração da VDI 3834.

TABELA 4. Guia de valores em velocidade de vibração (mm/s) de acordo com VDI 3834

<i>Frequência</i>	<i>10Hz – 1kHz</i>	<i>10Hz – 1kHz</i>	<i>10Hz – 1kHz</i>
<i>Componente</i>	<i>Rolamento principal</i>	<i>Multiplicador</i>	<i>Gerador</i>
Atenção	2,0	3,5	6,0
Perigo	3,2	5,6	10,0

TABELA 5. Guia de valores em aceleração(g) de acordo com VDI 3834

<i>Frequência</i>	<i>0,1Hz – 10Hz</i>	<i>0,1Hz – 10Hz</i>	<i>10Hz – 2kHz</i>	<i>10Hz – 5kHz</i>
-------------------	---------------------	---------------------	--------------------	--------------------

<i>Componente</i>	<i>Rolamento principal</i>	<i>Multiplicador (entrada)</i>	<i>multiplicador</i>	<i>Gerador</i>
Atenção	0,03	0,03	0,75	1,0
Perigo	0,05	0,05	1,2	1,6

A Tabela 6 indica a contextualização dos diagnósticos identificados para os aerogeradores. A condição é a forma resumida de expressar a análise dos sinais de vibração e das severidades das Tabelas 4 e 5.

TABELA 6. Contextualização da análise e diagnóstico	
<i>Condições</i>	<i>Comentários</i>
Perigo	Defeitos graves
Atenção	Defeitos leves
Normal	Sem defeitos

RESULTADOS

CURVA DE VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO GERADOR



FIGURA 8. Velocidade de rotação do gerador (Autoria Própria)

A velocidade de rotação é o parâmetro mais importante para correlacionar o comportamento dos níveis de vibração do aerogerador, servindo como um guia para um diagnóstico mais preciso.

Foi extraído um período de janela de vento alto, conforme mostra a Figura 8. Neste trecho, a máquina estava bem próxima da potência nominal, já que a faixa operacional do aerogerador, suficiente para gerar 2.1MW, é 14 RPM. Logo é possível observar vários pontos de medição com este valor de velocidade alcançado pelo o speed sensor.

Outro ponto importante, é dizer que o melhor cenário para realizar à análise de vibração é com a máquina a plena carga, pois os componentes girantes da mesma, estão sob excitação máxima, sofrendo ação de várias forças que surgem no ambiente, potencializando assim, a identificação de falhas.

ANÁLISES DE VIBRAÇÕES

VALORES GLOBAIS EM ACELERAÇÃO E VELOCIDADE DE VIBRAÇÃO

TABELA 7. Valores em velocidade de vibração medidos

<i>Turbina</i>	<i>ACC1 V</i> (mm/s)	<i>ACC2 V</i> (mm/s)	<i>ACC3 V</i> (mm/s)	<i>ACC4 V</i> (mm/s)
MAL-04	1,60	0,60	0,70	0,40

TABELA 8. Valores em aceleração medidos

<i>Turbina</i>	<i>ACC1 A (g)</i>	<i>ACC2 A (g)</i>	<i>ACC3 A (g)</i>	<i>ACC4 A (g)</i>
MAL-04	0,010	0,005	0,006	0,004

As Tabelas 7 e 8 resultam em uma análise prévia. Os limites globais de velocidade e aceleração apresentados de acordo com a norma VDI 3834 foram respeitados. Estes limites são resultados de uma média de vibrações de um determinado período. Ou seja, são valores médios obtidos através das curvas de tendência de aceleração e velocidade dos rolamentos upwind e downwind. Isto não significa dizer que não exista problema nos rolamentos. A seguir será evidenciada falha crítica no rolamento, através da técnica de envelope de aceleração, mesmo com os limites globais dos parâmetros de vibração dentro dos limites da norma VDI 3834.

LUBRIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS UPWIND E DOWNWIND

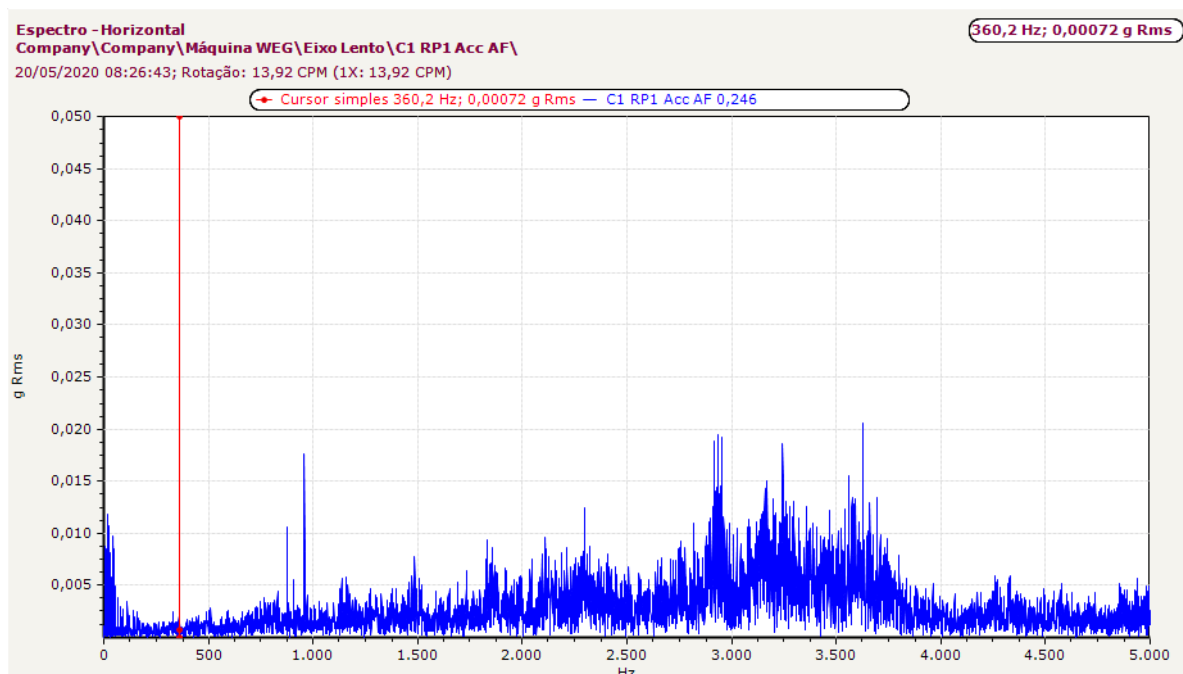


FIGURA 9 – Espectro de aceleração do rolamento upwind com deficiência de lubrificação (Autoria Própria)

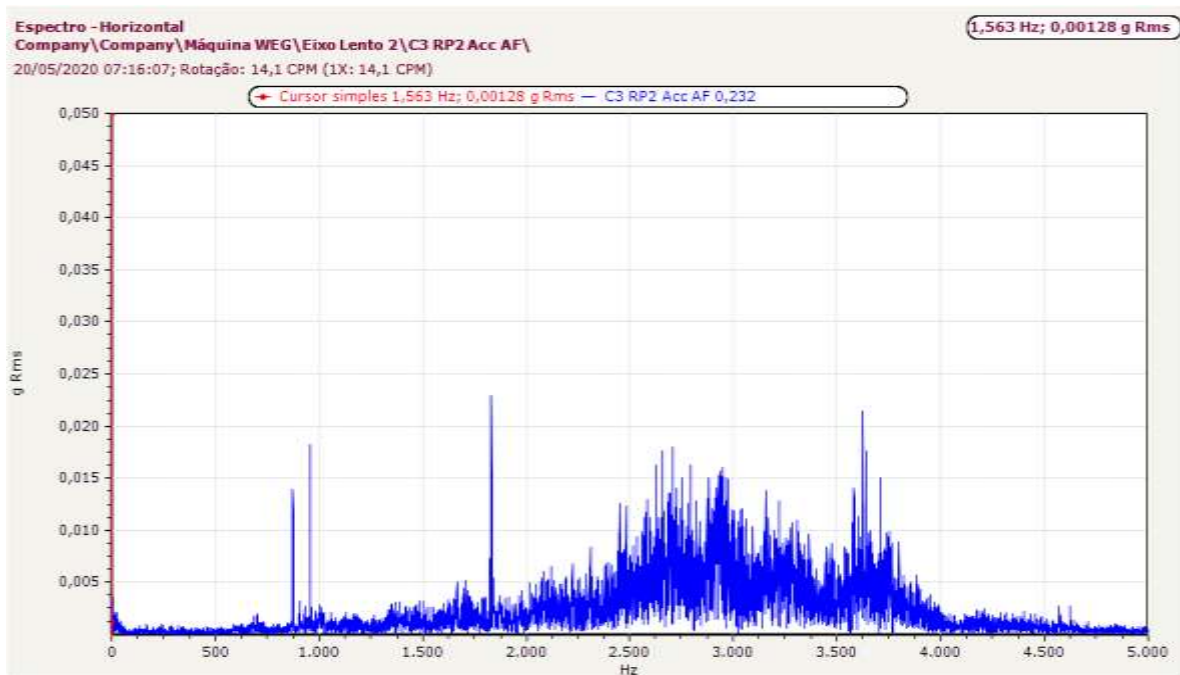


FIGURA 10. Espectro de aceleração do rolamento downwind com deficiência de lubrificação (Autoria Própria)

As Figuras: 9 e 10 resultam em uma análise de deficiência de lubrificação em ambos os rolamentos do gerador, geralmente essa falha é identificada no espectro de aceleração em alta frequência (range de 2000 Hz a 5000 Hz), de tal sorte que é observado um descolamento dos espectros em relação ao eixo x, formando uma espécie de carpete. Quanto maior a altura desse carpete, maior será a deficiência de lubrificação. É possível ouvir o ruído, captado pelo acelerômetro, ocasionado pela falta de lubrificação do rolamento, pois o software dispõe deste recurso, tornando o diagnóstico mais preciso.

ROLAMENTO UPWIND DO GERADOR

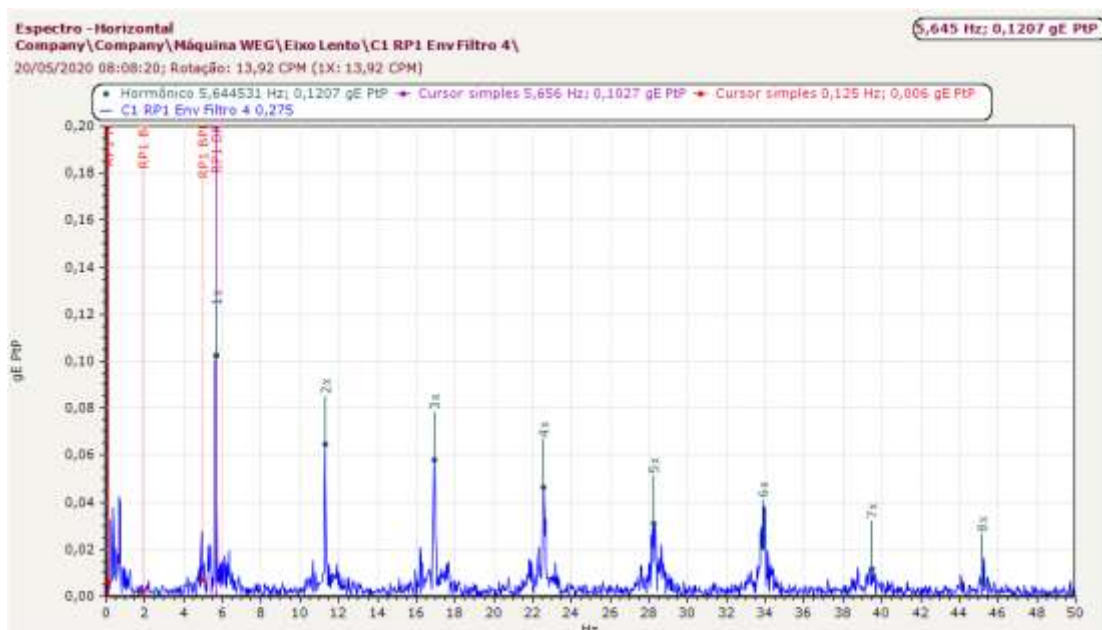


FIGURA 11. Espectrode envelope de aceleração do rolamento upwind (Autoria Própria)

A Figura 11 mostra o espectro de envelope de aceleração do rolamento com o pico na frequência de falha da pista interna do rolamento (BPFI) e na harmônica de 1ª ordem, caracterizando o defeito na pista interna do rolamento.

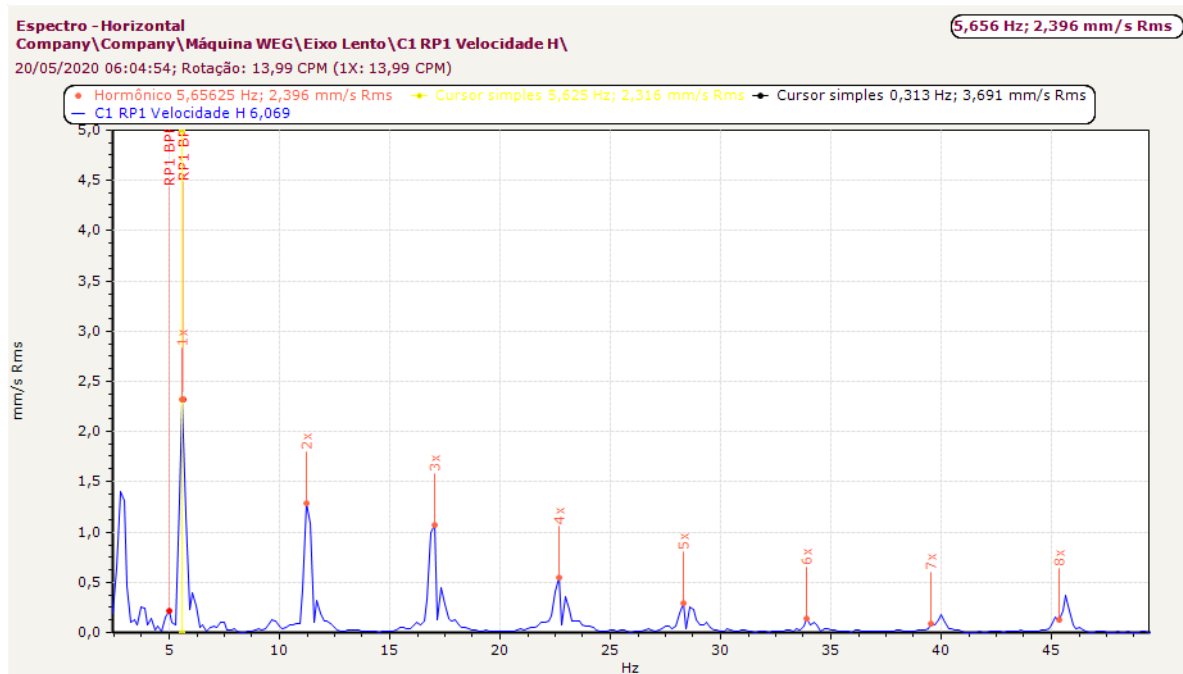


FIGURA 12. Espectrode velocidade de vibração do rolamento upwind(Autoria Própria)

A Figura 12 mostra o espectro de velocidade do rolamento com o pico na frequência de falha da pista interna do rolamento (BPFI) e na harmônica de 1ª ordem, caracterizando o defeito na pista interna do rolamento. Quando o parâmetro de velocidade detecta uma falha de rolamento, é porque esta falha está em estágio avançado. Existem 4 faixas de frequência para os envelopes, os mesmos possibilitam a detecção de impulsos de sinais de defeito muito mais cedo de que outras técnicas de análise tradicionais, a falha em estágio inicial começa a ser identificada no envelope de filtro 4, a medida que o defeito vai evoluindo a avaria já começa a aparecer no envelope de filtro 3, e assim por diante até chegar no filtro 1. Logo quando a falha já está visível nos 4 filtros e em velocidade, como pode ser observado na Figura 12, é indicativo de que o componente já está no final do seu ciclo de vida útil.

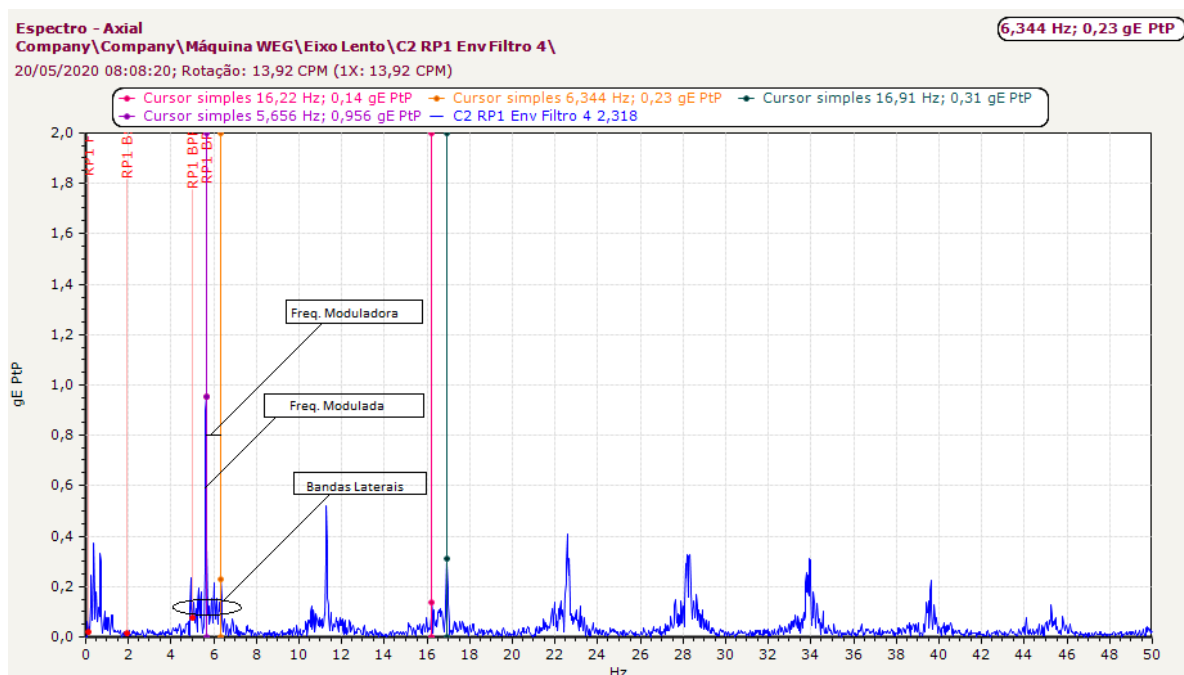


FIGURA 13. Espectrode envelope de aceleração do rolamento upwind(Autoria Própria)

Outro fator importante que caracteriza uma falha em estágio avançado é o surgimento de bandas laterais em torno da amplitude central, conforme a figura 13. Ao analisar a harmônica de 1ª ordem da BPF1, conclui-se que o sinal da frequência de passagem de pás (0,7Hz -Tabela 02 – freq. cinemáticas) está modulando o sinal da frequência da BPF1. Logo a frequência de pás é a frequência moduladora, enquanto a BPF1 é a frequência modulada. Quantitativamente para calcular a frequência moduladora, basta subtrair a frequência BPF1 (5,65 Hz) pela a frequência da banda lateral de maior amplitude (6,34 Hz).

Baseado nessa análise existe uma possibilidade de alguma pá está desbalanceada, porém não há evidência suficiente para tal afirmação, em virtude de não existir um histórico de monitoramento de longo período. Possa ser que a frequência de passagem de pás seja uma característica operacional desse modelo de turbina.

CONCLUSÃO

Conforme apresentado, as medições em níveis globais, por ordem de aceleração e velocidade, encontram-se dentro do limite tolerável, em todos os pontos medidos. Porém ao realizar uma análise mais detalhada através do espectro de aceleração e a técnica de envelope, ficaram evidenciadas falhas determinísticas nos componentes do gerador, como a deficiência de lubrificação em ambos os rolamentos. Recomenda-se uma inspeção no sistema de lubrificação, caso o sistema de lubrificação seja automático, avaliar se a programação do ciclo está correta, assim como checar se tem alguma tubulação obstruída, e observar a qualidade e cor da graxa.

Caso o sistema de engraxe seja manual, rever o procedimento de lubrificação para não injetar graxa em excesso. Portanto deve-se realizar o processo de engraxe, nos dois rolamentos, o mais breve possível.

Outro aspecto importante que ficou evidenciado foi uma falha crítica na pista interna no rolamento upwind. Recomenda-se uma análise ferrográfica na graxa do rolamento, para correlacionar com o resultado da análise de vibração. Caso sejam identificadas limalhas, na amostra, promover a substituição do rolamento upwind. Se não for identificada uma quantidade de ferro que ultrapasse os limites aceitáveis, realizar uma medição de vibração mensal, para acompanhamentoda curva de tendência e evolução da falha.

Um aspecto importante a ser destacado é que através da técnica de envelope, foi observado, durante as análises, que o sinal da frequência de passagem de pás está modulando o sinal da frequência de falha da pista interna do rolamento upwind. Porém para comprovar quem está causando esse problema na pista interna do rolamento, seria interessante uma realização de inspeção por boroscopia na pista interna do equipamento, para observar o nível de desgaste da pista, os tipos de marcas, e tendo como base essas marcas, realizar uma análise da falha para encontrar a causa raiz do problema.

No dia a dia da manutenção preditiva, em se tratando de análise de vibrações, o que se encontra é uma preocupação muito grande em se cumprir uma rota de medição, no sentido de se medir os equipamentos, ou a exigência para que se proceda a um diagnóstico preciso de um equipamento com base apenas em uma medição. Embora isso às vezes seja possível, o ideal é construir um histórico de medições, curvas de tendência, de várias máquinas do mesmo modelo, para se ter um embasamento de uma série de informações a respeito do equipamento, durante seu estado de funcionamento. Desta forma, entende-se que neste trabalho, foi tomada uma base, com o histórico e status dos componentes do trem de potência para o acompanhamento num próximo ciclo de manutenção preditiva.

REFERÊNCIAS

- SANTANDER, Elvis Jhoarsy. Aplicação de Curtose Espectral na Identificação de falhas em Mancais de Rolamentos. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do rio de Janeiro, 2014.
- DA SILVA, Luiz Augusto. Análise de Vibrações Nível I e II . Curso de Manutenção Preditiva – Tecnolass, 2020.
- GARDIM, Roberto. Desenvolvimento de Bancada Didática de Análise de Vibrações. Trabalho Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.
- SKF. Apresentação sobre o SKF Multilog On-line System IMx-8 e IMx-16 Plus. Disponível em <<https://www.skf.com/br/industries/wind-energy/operation-and-maintenance/multilog-on-line-system-imx-8-and-imx-16>> Acesso em 30 de Abril de 2021.
- DMC. Análise de Vibrações e Envelope. Disponível em <<https://www.dmc.pt/analise-de-vibracoes-e-envelope/>> Acesso em 04 de Maio de 2021.