



**Pascual Gonçalves Felício**

**Análise de perdas de produção eólica associadas a trocas de  
rolamentos em aerogeradores**

Quantification of production losses associated to replacement in bearings in wind turbine



**Pascual Gonçalves Felício**

# **Análise de perdas de produção eólica associadas a trocas de rolamentos em aerogeradores**

Quantification of production losses associated to replacement in bearings in wind turbine

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica - Energia, Climatização e Refrigeração

Relatório efetuado sob orientação de:

Eng.<sup>a</sup> Cláudia Sequeira

2019

# Dissertação

## Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam na listagem de referências incluída.

Faro, 15 de Março de 2019

---

Nome do aluno

Copyright © [Pascual Gonçalves Felício]

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

# Agradecimentos

Com a entrega da presente dissertação, queria agradecer a todos aqueles que de forma direta e indireta, contribuíram para a sua realização.

À Professora Cláudia Sequeira pela disponibilidade, profissionalismo que demonstrou, conhecimentos e opiniões valiosas que me transmitiu ao longo da realização deste trabalho.

À empresa *Iberwind*, pela cedência dos dados necessários para realizar esta tese.

As pessoas mais importantes da minha vida — os meus pais e a minha irmã por acreditaram sempre em mim, respeitarem as minhas opiniões e escolhas e pelo enorme apoio durante este longo percurso da minha formação.

A todos os meus amigos próximos, agradeço o apoio, as palavras de motivação, o companheirismo e por me ajudarem sempre que necessitava.

## Resumo

O rápido crescimento do número das turbinas eólicas em termos de dimensão dos parques eólicos e da capacidade nominal tem um enorme impacto nas suas operações e custos associados à manutenção. Dificilmente se pode aceitar que um aerogerador esteja parado por falhas técnicas quando as condições ambientais são propícias para gerar energia. A rápida atuação perante as falhas existentes é a forma mais eficiente de reduzir custos, tentando compreender qual o problema e a melhor forma de o combater, assim, a monitorização do desempenho de turbinas eólicas e a previsão precoce de falhas é altamente desejável, de forma a maximizar o tempo de produção e diminuindo o tempo de paragem. Sendo o gerador e a caixa multiplicadora os componentes principais, e com maior taxa de falhas, da turbina eólica, e tendo em conta o constante funcionamento vibratório da máquina, os rolamentos presentes nesses componentes sofrem muito impacto, com o intuito de prever falhas precoces num rolamento, foram instalados sensores de vibração, que pela análise de dados colhidos, verificam alguma anormalidade na vibração progressiva dos próprios rolamentos. O objetivo principal deste estudo passou assim por fazer uma pesquisa acerca do número de substituições de rolamentos, antes e depois da instalação dos sensores de vibração nos componentes atrás mencionados, pertencentes à turbina, controlados através do sistema de monitorização de vibrações *on-line*, mais conhecido por CMS. No final pretende-se saber o quanto vantajoso será para empresas detentoras de parques eólicos investir em sistemas de monitorização *on-line*.

**Palavras-Chave:** capacidade nominal, CMS, análise de vibrações, taxa de falhas

# Abstract

The rapid growth in the number of wind turbines in terms of wind farm size and nominal capacity has a huge impact on their operations and maintenance costs. It can hardly be accepted that a wind turbine is stopped by a technical failure when the environmental conditions are propitious to generate energy. Fast performance towards existing failures is the most efficient way to reduce costs by trying to figure out what is the problem and how best to oppose to it, thus monitoring wind turbine performance and early failure prediction is highly desirable, to maximize production time and decrease downtime. Since the generator and the gearbox are the main components with the highest failure rate of a wind turbine, and with the machine constant vibratory operation, the bearings present in these components suffer a lot of impact, to predict an early failure in a bearing, sensors are installed, CMS, that by vibration analysis they can detect some abnormality in the progressive vibration of the bearings themselves. The main objective of this study was therefore to do research on the existing bearings replacements from gearbox and generators, before and after the installation of the vibration sensors in the components of a wind turbine, which controlled through condition monitoring system, known by CMS. In the end, the main goal is to know how advantageous it will be for companies holding wind farms to invest on CMS systems.

**Keywords:** nominal capacity, CMS, vibration analysis, failure rate

# Índice

<b>Índice</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>2</b>
1.1 Estado da arte . . . . .	3
1.2 Objetivo . . . . .	5
1.3 Motivação . . . . .	5
1.4 Organização do trabalho . . . . .	6
<b>2 Turbinas eólicas</b>	<b>8</b>
2.1 Principais componentes em estudo . . . . .	9
2.1.1 Gerador . . . . .	9
2.1.2 Caixa Multiplicadora . . . . .	10
2.1.3 Rolamentos . . . . .	11
2.2 Estratégias de Manutenção . . . . .	11
2.3 CMS - Condition Monitoring System . . . . .	14
2.3.1 Análise de Vibrações . . . . .	14
2.4 Avarias típicas das turbinas eólicas . . . . .	15
<b>3 Metodologia</b>	<b>18</b>
3.1 Datas . . . . .	18
3.2 Variáveis a analisar . . . . .	18
3.3 Potência teórica . . . . .	20
3.4 Potência real . . . . .	22
3.5 Modelo financeiro . . . . .	23
<b>4 Análise dos dados</b>	<b>24</b>

4.1	Parque Eólico Achada . . . . .	25
4.1.1	Gerador . . . . .	25
4.1.2	Caixa Multiplicadora . . . . .	27
4.1.3	Conclusão da análise do parque eólico da Achada . . . . .	28
4.2	Parque Eólico Arcela . . . . .	29
4.2.1	Gerador . . . . .	29
4.2.2	Caixa Multiplicadora . . . . .	30
4.2.3	Conclusão da análise do parque eólico da Arcela . . . . .	32
4.3	Parque Eólico Chão Falcão I . . . . .	32
4.3.1	Gerador . . . . .	32
4.3.2	Caixa Multiplicadora . . . . .	35
4.3.3	Conclusão da análise do parque eólico da Chão Falcão I . . . . .	39
4.4	Parque Eólico Freita . . . . .	40
4.4.1	Gerador . . . . .	40
4.4.2	Caixa Multiplicadora . . . . .	41
4.4.3	Conclusão da análise do parque eólico da Freita . . . . .	44
4.5	Parque Eólico Lousã I . . . . .	45
4.5.1	Gerador . . . . .	45
4.5.2	Caixa Multiplicadora . . . . .	46
4.5.3	Conclusão da análise do parque eólico da Lousã I . . . . .	49
4.6	Análise dos custos de paragem . . . . .	50
<b>5</b>	<b>Análise dos Resultados</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>62</b>
6.1	Trabalhos Futuros . . . . .	64
	<b>Referências</b>	<b>66</b>
<b>7</b>	<b>Anexos</b>	<b>68</b>
<b>A</b>	<b>Informação de cada parque eólicos estudado</b>	<b>68</b>

A.1	Informação acerca do parque eólico Achada . . . . .	68
A.2	Informação acerca do parque eólico Arcela . . . . .	69
A.3	Informação acerca do parque eólico Chão Falcão I . . . . .	70
A.4	Informação acerca do parque eólico Freita . . . . .	71
A.5	Informação acerca do parque eólico Lousã I . . . . .	72
<b>B</b>	<b>Anexos</b>	<b>73</b>
B.1	Trocas ocorridas no parque eólico Achada . . . . .	73
B.2	Trocas ocorridas no parque eólico Arcela . . . . .	74
B.3	Trocas ocorridas no parque eólico Chão Falcão I . . . . .	75
B.4	Trocas ocorridas no parque eólico Freita . . . . .	79
B.5	Trocas ocorridas no parque eólico Lousã I . . . . .	83
B.6	Dados de 10 em 10 minutos . . . . .	85
<b>C</b>	<b>Anexos</b>	<b>86</b>
C.1	Gráficos da potência perdida da Chão Falcão I - Gerador . . . . .	86
C.2	Gráficos da potência perdida da Chão Falcão I - Caixa Multiplicadora . . . . .	88
C.3	Gráficos da potência perdida da Freita - Gerador . . . . .	90
C.4	Gráficos da potência perdida da Freita - Caixa Multiplicadora . . . . .	91
<b>D</b>	<b>Anexos</b>	<b>94</b>
D.1	Horas de funcionamento para o mês de fevereiro no PE do Chão Falcão I . . . . .	94

## Lista de Tabelas

3.1	Estrutura da tabela do tipo de unidades . . . . .	19
3.2	Exemplo da apresentação dos dados ao longo do tempo . . . . .	20
3.3	Exemplo da determinação da potência real . . . . .	23
4.1	Trocas de Rolamentos por componente e por parque eólico . . . . .	24
4.2	Data da instalação dos CMS nos parques em estudo . . . . .	25
4.3	Data das trocas dos rolamentos no gerador da turbina nº1 do parque Achada . . . . .	25
4.4	Tempo de paragem das intervenções ocorridas no gerador da turbina nº1 da Achada após a instalação dos CMS . . . . .	26
4.5	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo das paragens da turbina nº1 da Achada . . . . .	26
4.6	Data das trocas dos rolamentos na caixa multiplicadora da turbina nº2 do parque Achada . . . . .	27
4.7	Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora da turbina nº2 após a instalação dos CMS . . . . .	27
4.8	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem da turbina nº2 da Achada . . . . .	28
4.9	Data das trocas dos rolamentos no gerador das turbinas do parque da Arcela . . . . .	29
4.10	Tempo de paragem das intervenções ocorridas no gerador das turbinas da Arcela . . . . .	29
4.11	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem da turbina nº5 antes da instalação dos CMS . . . . .	30
4.12	Data das trocas dos rolamentos na caixa multiplicadora da turbina nº4 do parque Arcela após a instalação dos CMS . . . . .	31
4.13	Tempo de paragem das intervenções ocorridas no gerador das turbinas no PE Arcela antes da instalação dos CMS . . . . .	31
4.14	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas . . . . .	31
4.15	Data das trocas dos rolamentos nos geradores das turbinas do parque Chão Falcão I . . . . .	33
4.16	Tempo de paragem das trocas ocorridas no gerador das turbinas na Chão Falcão I . . . . .	33
4.17	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas . . . . .	34

4.18	Data das trocas dos rolamentos nas caixas multiplicadoras das turbinas do parque Chão Falcão I . . . . .	36
4.19	Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas Chão Falcão I antes e depois da instalação dos CMS . . . . .	37
4.20	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas antes de depois a instalação dos CMS . . . . .	38
4.21	Data da troca do rolamento no gerador da turbina 4 do parque Freita . . . . .	40
4.22	Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas Freita antes da instalação dos CMS . . . . .	40
4.23	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas Freita após a instalação dos CMS . . . . .	40
4.24	Data das trocas dos rolamentos nas caixas multiplicadoras das turbinas do parque Freita . . . . .	41
4.25	Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas do parque Freita antes e depois da instalação dos CMS . . . . .	42
4.26	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas antes de depois a instalação dos CMS, no parque Freita . . . . .	43
4.27	Data das trocas dos rolamentos nas caixas multiplicadoras das turbinas do parque Lousã I . . . . .	45
4.28	Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas Lousã I antes da instalação dos CMS . . . . .	45
4.29	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas Lousã I após a instalação dos CMS . . . . .	46
4.30	Data das trocas dos rolamentos nas caixas multiplicadoras das turbinas do parque Lousã I . . . . .	46
4.31	Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas da Lousã I . . . . .	47
4.32	Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem no parque eólico Lousã I . . . . .	48
4.33	Tarifa por turbina eólica de cada parque por hora, em euros (€/TE.h) . . . . .	50

4.34	Tempo de paragem por mês, consoante o período de instalação de CMS, dos parques eólicos Achada, Arcela e Chão Falcão I [h:m:s] . . . . .	51
4.35	Tempo de paragem por mês, consoante o período de instalação de CMS, dos parques eólicos Freita e Lousã I [h:m:s] . . . . .	51
5.1	Total do tempo de paragem e da energia perdida, teórica e real . . . . .	53
5.2	Turbinas eólicas sujeitas a intervenção . . . . .	58
5.3	Comparação dos tempos de paragem consoante o número de TE intervencionadas .	59
5.4	Comparação das perdas financeiras consoante o número de TE intervencionadas . .	60

# Lista de Figuras

1.1	Curva da banheira [2]	2
1.2	Emissões de CO <sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida [3]	3
1.3	Evolução da potência eólica instalada em Portugal [5].	4
2.1	Curva de potência [14]	8
2.2	Principais componentes das turbinas eólicas [6]	9
2.3	Exemplo do tipo de gerador presente nas turbinas em estudo [7]	10
2.4	Exemplo da caixa multiplicadora alojada nas turbinas em estudo [8]	10
2.5	Exemplo do tipo de rolamentos presentes nas turbinas eólicas [9]	11
2.6	Tipos de manutenção	12
2.7	Níveis críticos na existência de uma falha [16]	13
2.8	Exemplo dos sensores, acelerómetros, instalados nas turbinas eólicas [19]	14
2.9	Desenvolvimento típico de uma falha mecânica [6]	15
2.10	Exemplo de um aviso de CMS [21]	15
2.11	Tempo de paragem de parques de Turbinas Eólicas [12]	16
2.12	Percentagem das falhas que ocorrem no gerador [24]	17
2.13	Percentagem das falhas que ocorrem na caixa multiplicadora [24]	17
3.1	Representação do <i>software SQL</i>	19
3.2	Curvas Características das Turbinas Eólicas em Estudo	21
4.1	Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem	27
4.2	Potência teórica da turbina nº2	28
4.3	Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem	30
4.4	Potência teórica da turbina nº4	32
4.5	Comparação entre o tempo de paragem e a potência perdida no gerador antes e depois da instalação CMS no parque Chão Falcão I	35
4.6	Comparação entre o tempo de paragem e a potência perdida na caixa multiplicadora antes e depois da instalação CMS no parque Chão Falcão I	39
4.7	Comparação entre o tempo de paragem e a potência perdida na caixa multiplicadora antes e depois da instalação CMS no parque Freita	44

4.8	Comparação entre o tempo de paragem e a potência perdida na caixa multiplicadora antes e depois da instalação CMS no parque Lousã I . . . . .	49
5.1	Trocas ocorridas entre 2007 e 2016 nos geradores das turbinas eólicas em estudo .	52
5.2	Trocas ocorridas entre 2007 e 2016 nas caixas multiplicadoras das turbinas eólicas em estudo . . . . .	53
5.3	Tempo total de paragem por componente e correspondente à instalação de CMS . .	54
5.4	Tempo médio de paragem por troca e por componente e correspondente à instalação de CMS . . . . .	54
5.5	Potência total perdida, teórica e real . . . . .	55
5.6	Potência total perdida, teórica e real, por rolamento substituído . . . . .	56
5.7	Quantidade de trocas para cada tipo de rolamento . . . . .	57
5.8	Tempo de paragem média para cada tipo de rolamento . . . . .	58

## Simbologia e Notações

<i>CMS</i>	Sistema de monitorização da condição
<i>d</i>	Dias
<i>h</i>	Horas
<i>HSS</i>	Veio de alta velocidade
<i>LSS</i>	Veio de baixa velocidade
<i>PE</i>	Parque eólico
<i>SCADA</i>	Supervisory Control and Data Acquisition (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados)
<i>tstamp</i>	Time Stamp
<i>TE</i>	Turbina eólica
<i>WTG</i>	Wind Turbine Generator



# 1 Introdução

“Análise de perdas de produção eólica associadas a trocas de rolamentos em aerogeradores” é o tema proposto e o trabalho será centrado sobre a avaliação de sistemas de controlo de condição após a sua implementação, Conditioning Monitoring System (CMS), em turbinas eólicas. Turbinas eólicas são sistemas bastante complexos e são compostos por uma quantidade elevada de componentes. A taxa de falhas das turbinas eólicas mantém-se aproximadamente constante durante a vida útil do sistema, contudo, é necessário ter bons sistemas de monitorização para evitar grandes custos operacionais e de manutenção. Outra questão que é igualmente importante perceber, é a evolução dessa mesma taxa de falha. A “curva da banheira” é aplicada em sistemas reparáveis como as turbinas eólicas. Na figura 1.1 são apresentadas as diferentes fases da vida de um objeto, associada à típica evolução da taxa de falhas de equipamentos. Segundo um estudo da NWCC (*National Wind Coordinating Committee*) estimou-se que 75% dos custos totais de manutenção da indústria eólica são relativos a intervenções não planeadas (manutenção corretiva), pelo que existem enormes oportunidades para reduzir os custos de manutenção não programada das turbinas eólicas, através do uso das técnicas da manutenção preditiva, com um potencial de redução nos custos totais. [1].

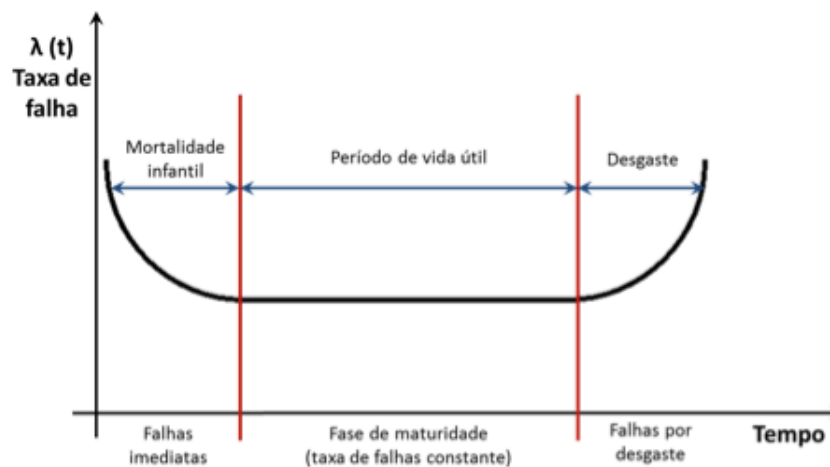


Figura 1.1: Curva da banheira [2]

A taxa de falhas é maior no início, normalmente devido a problemas com a instalação e defeitos de fabrico. Durante a sua vida útil a taxa de falhas é baixa e constante e no final tende a aumentar novamente, devido ao envelhecimento e degradação. A disponibilidade geral das turbinas eólicas

é aumentada se planearmos antecipadamente os intervalos de manutenção mais adequados, a logística, a necessidade de peças sobressalentes e as horas de trabalho necessárias para o serviço. [3]

## 1.1 Estado da arte

A energia eólica tem vindo a ter uma importância crescente como fonte de energias alternativas. Atualmente, a energia eólica é a fonte renovável mais bem-sucedida para a produção de eletricidade, apresentando uma segurança de abastecimento energético com sustentabilidade ambiental e viabilidade económica. As vantagens dos sistemas eólicos caracterizam-se por não produzirem emissões tóxicas ou poluentes (figura 1.2). Esta é de longe a fonte com menor impacto ambiental, principalmente em relação às emissões de efeito de estufa, responsáveis pelas alterações climáticas [4].

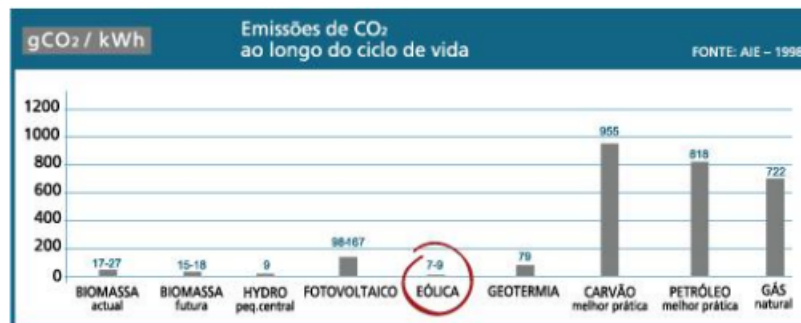


Figura 1.2: Emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida [3]

A energia eólica baseia-se na utilização do vento para mover grandes pás dos aerogeradores de forma a produzir energia elétrica, e devido às situações geográficas e geomorfológicas, Portugal consegue obter um aproveitamento energético regular em zonas montanhosas, graças à velocidade e regularidade do vento nesses locais. Aproveitando esses locais e de ser a energia renovável mais bem-sucedida, Portugal tem vindo a aumentar a potência eólica instalada de ano para ano, informação, figura 1.3.

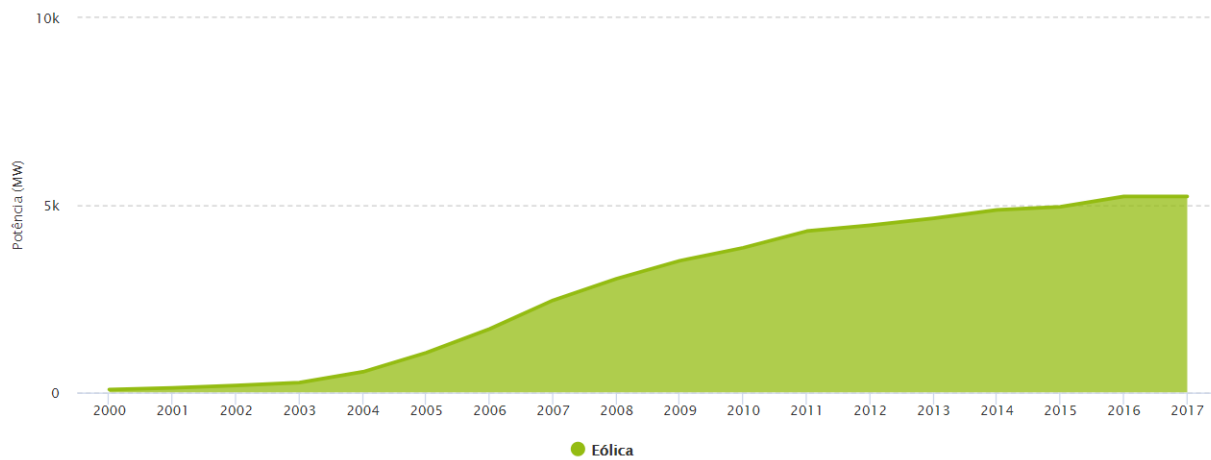


Figura 1.3: Evolução da potência eólica instalada em Portugal [5].

É imprescindível as turbinas eólicas terem uma grande fiabilidade durante o seu funcionamento, afirma-se que a sustentabilidade e a viabilidade dos parques eólicos estão altamente dependentes da redução de custos de operação e manutenção [10] e [11]. Além disso, estes custos, operação e manutenção, podem representar 10% a 20 % do custo de produção de energia, sendo que essa percentagem pode atingir 35% para uma turbina eólica no final da sua vida, o setor de seguros alemão estimou que o custo adicional de operação e manutenção para uma turbina eólica na ordem de *megawatts* (MW) pode ser de 125000\$ (aproximadamente 101000€) a cada cinco anos, [6] e [10].

Um estudo realizado consistiu na recolha de dados pelo WMEP (*Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm*), num total de 1500 turbinas eólicas, e pela LWK (*Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein*), com cerca de 650 turbinas eólicas, em que os resultados obtidos demonstraram que o sistema elétrico apresenta a taxa de falhas mais elevada; no entanto, a caixa multiplicadora é responsável pelos tempos de paragem mais longos. Este estudo concluiu que 75% das falhas representam 5% do tempo de paragem de um equipamento, devido a avarias, e os restantes 25% das falhas são responsáveis por 95% do tempo de paragem. Estas avarias serão abordadas futuramente no trabalho apresentado [12].

## 1.2 Objetivo

Neste trabalho serão analisados parques eólicos onde estão instaladas turbinas eólicas da marca Nordex, modelo N90 (2300 kW), nos mesmos será verificado o número de trocas dos rolamentos nos geradores e caixa multiplicadora, um dos parque eólicos tem outro tipo de turbina, sendo a turbina GEWE 120/2500kW, da *General Electric Wind Energy*. Após esse levantamento irá ser registado o número de dias dispendidos para essas substituições, depois com essa informação será possível avaliar o impacto da instalação de sistemas de monitorização *on-line*, que avaliam o estado de condição dos componentes mecânicos. Com o objetivo de perceber se após a instalação CMS, houve a presença de substituições precoces dos rolamentos, é também objetivo verificar em média quanto tempo esteve a turbina parada e a potência não aproveitada naqueles momentos, ou seja, as perdas de produção associadas à substituição dos mesmos. Com a média desses tempos é possível compreender o impacto real da instalação de CMS nos parques eólicos, quantificando também os custos associados a essas paragens.

## 1.3 Motivação

Tendo em conta as preocupações ambientais, e devido ao Choque do Petróleo, ocorrido em 1973, desenvolveu-se uma aposta significativa nas energias renováveis de modo a assegurar a diversidade e segurança no abastecimento de energia. As últimas evoluções no sector energético refletiram uma forte aposta na diversificação dos recursos, o que não se verificou em períodos anteriores muito marcados pela produção de energia através de combustíveis fósseis. As preocupações ambientais, os avanços tecnológicos e outras forças socioeconómicas conduziram à adoção de novos recursos energéticos. Sendo estas, as energias renováveis que são cada vez mais importantes no combate às alterações climáticas e à poluição ambiental. Destas energias renováveis, a energia eólica é uma das mais desenvolvidas e mais utilizadas no mundo. A exploração deste tipo de energia é cada vez maior e Portugal encontrava-se no fim de 2016 na décima quinta posição na lista dos maiores produtores de energia eólica do mundo e na nona posição na Europa. Para isso, são implementadas as turbinas eólicas, sistemas com preços elevados, e como já foi referido, bastante complexas, necessitando, desta forma, uma manutenção especializada [13].

Todos os equipamentos sofrem desgaste, quer com uma utilização normal ou mais intensiva. Para que o desempenho de qualquer equipamento se mantenha dentro de um nível de rendimento adequado, é necessário garantir que as suas condições de funcionamento sejam sempre as mais apropriadas. Para colocar os equipamentos dentro dos seus parâmetros adequados, é essencial intervir. A organização e gestão da manutenção tem uma relevância crucial para manter as instalações e os equipamentos nas condições adequadas de operacionalidade e fiabilidade. De modo a garantir as funcionalidades normais dos equipamentos, e reduzir os custos para assegurar essas funcionalidades, é crucial antecipar qualquer tipo de problema, focalizando a manutenção na antecipação de futuras falhas, ou seja, prever essas falhas, baseando-se, dessa forma, na monitorização dos equipamentos (Manutenção preventiva baseada na condição). A monitorização constante é realizada por sistemas instalados diretamente nos componentes das turbinas eólicas, e estes sistemas de diagnóstico precoce favorecem assim este tipo de manutenção.

Um dos principais objetivos de qualquer entidade é reduzir custos, logo, é fundamental perceber se os sistemas instalados, de fato, beneficiam a manutenção das turbinas eólicas.

## **1.4 Organização do trabalho**

Em termos de estrutura o trabalho realizado encontra-se organizado do seguinte modo:

### **Capítulo 1 — Introdução**

Inicialmente é explicado o desenvolvimento da taxa de falhas em turbinas, para perceber a importância da manutenção neste tipo de máquinas. É ainda apresentada a importância da energia eólica para a poluição ambiental, do crescimento da potência eólica instalada em Portugal, do objetivo definido, e das motivações que levaram à realização desta tese, bem como a organização da mesma.

### **Capítulo 2 — Turbinas eólicas**

Neste relatório, é necessário perceber o funcionamento e a constituição do equipamento em estudo, as turbinas eólicas. O objetivo deste capítulo é conhecer os vários componentes em estudo

neste trabalho. As avarias típicas e as estratégias de manutenção aplicadas para conseguir garantir um bom funcionamento dessas turbinas eólicas, também com a instalação dos sensores CMS, utilizando para tal a técnica de análise de vibrações.

### **Capítulo 3 - Modelo de estudo**

Neste capítulo é apresentado o modelo de estudo aplicado de forma a obter os dados necessário para uma possível análise.

### **Capítulo 4 — Análise dos dados**

É de seguida realizada uma análise dos dados acerca das intervenções realizadas nos componentes em estudo, gerador e caixa multiplicadora, no período entre 2007-2016, tendo em vista a determinar o número de substituições efetuadas e a instalação dos sensores CMS. Bem como obter os tempos de paragem, a velocidade do vento, e a potência perdida, tanto real como teórica, durante essas mesmas substituições. É, juntamente calculada, a tarifa, em euros (€), por turbina eólica e por hora, de acordo com o (*budget*) mensal.

### **Capítulo 5 — Resultados**

A informação analisada é estudada e comparada de maneira a identificar a distinção acerca do tempo de paragem, e das perdas, tanto da energia produzida como monetária, para assim concluir o benefício, ou não, da instalação dos sensores CMS.

### **Capítulo 6 — Conclusões**

Por fim, apresenta-se uma conclusão global relativa ao trabalho, acerca da instalação dos sensores CMS, usados para constante monitorização nas turbinas eólicas, bem como a indicação de possíveis trabalhos futuros.

### **Anexos**

No final do relatório encontra-se o material informativo, como as referências acerca dos parques eólicos em estudo, a informação de cada uma das trocas ocorridas, bem como os gráficos da potência perdida em cada umas dessas mesmas trocas.

## 2 Turbinas eólicas

O princípio de funcionamento das turbinas eólicas é converter a energia cinética do escoamento do vento em energia mecânica. Esta energia mecânica origina um movimento giratório em geradores presentes nas turbinas e produzem desta forma eletricidade. Este processo de conversão (produção) de energia com diferentes velocidades de vento é descrita pela sua curva característica, denominada como curva de potência. As curvas de potências, sendo que, entre os vários fabricantes, não apresentam grandes diferenças no seu formato. Um exemplo de uma curva de potência é dada na figura 2.1.

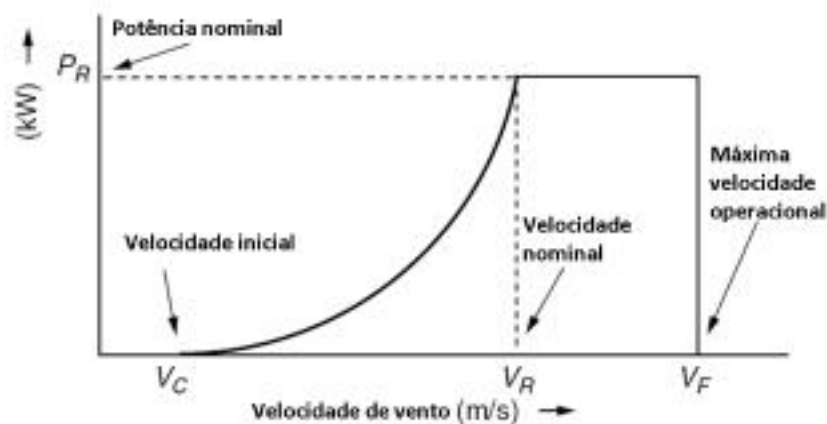


Figura 2.1: Curva de potência [14]

A curva de potência tem três pontos essenciais na escala da velocidade do vento:

1. **Cut-in wind speed:** Velocidade do vento a partir da qual a turbina eólica começa a produzir eletricidade.
2. **Rated wind speed:** Velocidade do vento a partir da qual a turbina produz energia na sua potência nominal.
3. **Cut-out wind speed:** Velocidade do vento em que a turbina é desligada, mantendo a máquina dentro dos limites de segurança, conservando a integridade física da turbina eólica.

Quando a velocidade do vento é menor que a *cut-in wind speed*, a turbina eólica permanece desligada porque a velocidade do vento é demasiado baixa para produzir qualquer tipo de energia

útil. Uma vez em funcionamento, verifica-se uma subida na produção de energia até ao valor de *rated wind speed*, acima dessa velocidade do vento a potência mecânica extraída é limitada, para assim reduzir cargas mecânicas sobre a turbina eólica. E assim que os valores da velocidade do vento foram demasiados altos, acima do *cut-out wind speed*, a turbina cessa de funcionar e desliga-se por motivos de segurança. Estes valores, *Cut-in wind speed*, *Rated wind speed* e *Cut-out wind speed* são definidos pelos fabricantes de turbinas eólicas.

## 2.1 Principais componentes em estudo

Como explicado nos objetivos, os geradores e as caixas multiplicadoras, são os componentes a serem estudados neste relatório, indicados na figura 2.2, mais concretamente os rolamentos presentes neles.

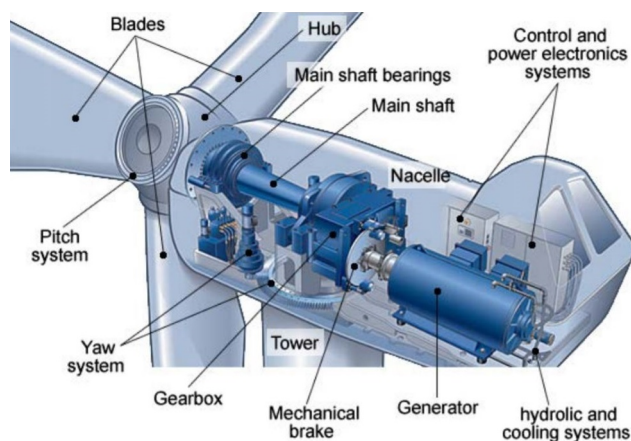


Figura 2.2: Principais componentes das turbinas eólicas [6]

### 2.1.1 Gerador

O gerador, como qualquer máquina elétrica rotativa, é submetido a forças mecânicas durante o seu funcionamento. A sua construção determina que a interação entre estas forças, em condições normais de funcionamento, tem um comportamento estável, com o mínimo de vibrações e ruído. Quando a falha ocorre, perde-se o equilíbrio entre estas forças, o que leva a um aumento considerável das vibrações e ruído, potencializando as falhas nos rolamentos, e assim ocorrendo a falha do

componente. O gerador presente nas turbinas eólicas em estudo, é da marca *VEM, Winergy*, figura 2.3, sendo um gerador do tipo assíncrono.



Figura 2.3: Exemplo do tipo de gerador presente nas turbinas em estudo [7]

### 2.1.2 Caixa Multiplicadora

A caixa multiplicadora é um componente puramente mecânico, com várias partes rotativas. As principais causas de avarias ocorrem, geralmente, devida à falta de lubrificação, desgaste dos materiais, falhas nos rolamentos e a dentes partidos nas engrenagens [15]. São consideradas como sendo das falhas mais graves durante a vida útil de uma turbina eólica, devido ao alto custo de reparação ou substituição da própria e, igualmente, devido ao tempo de inatividade resultante dessas falhas. O tipo de caixa multiplicadora usada nas turbinas em estudo são da marca *Eickhoff, Winergy*, figura 2.4, diretamente ligada ao gerador com uma relação de transmissão 1:77,44 e um peso de cerca de 18,5 toneladas.

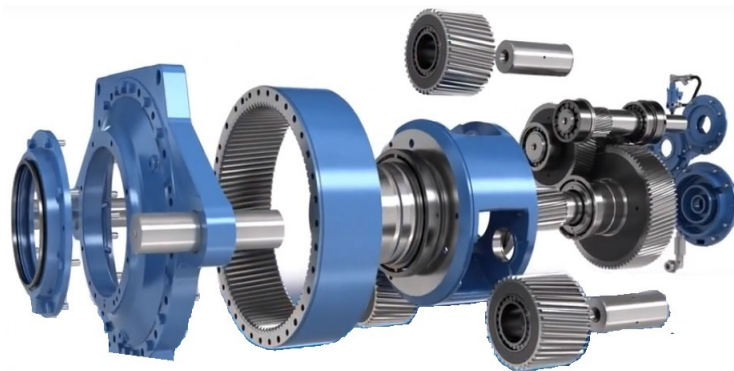


Figura 2.4: Exemplo da caixa multiplicadora alojada nas turbinas em estudo [8]

### 2.1.3 Rolamentos

Os rolamentos, exemplo na figura 2.5, são bastante sensíveis a vários efeitos, tais como, os desalinhamentos, os detritos, contaminantes, as deficiências na lubrificação e as vibrações (caso em estudo). E sendo um dos componentes mais importantes para um bom funcionamento das turbinas eólicas, sempre é necessário persistir no estudo deste assunto. Para o presente estudo analisaram-se 4 rolamentos localizados no gerador e na caixa multiplicadora. Sendo, os rolamentos DE (Drive End) e NDE (Non Drive End) para o gerador, e os rolamentos HSS( High Speed Shaft) e LSS (Low Speed Shaft) na caixa multiplicadora. Um exemplo do tipo de rolamentos usados nas turbinas eólicas, bem como os tamanhos médios, tanto no gerador como na caixa multiplicadora, está apresentado na figura 2.5.

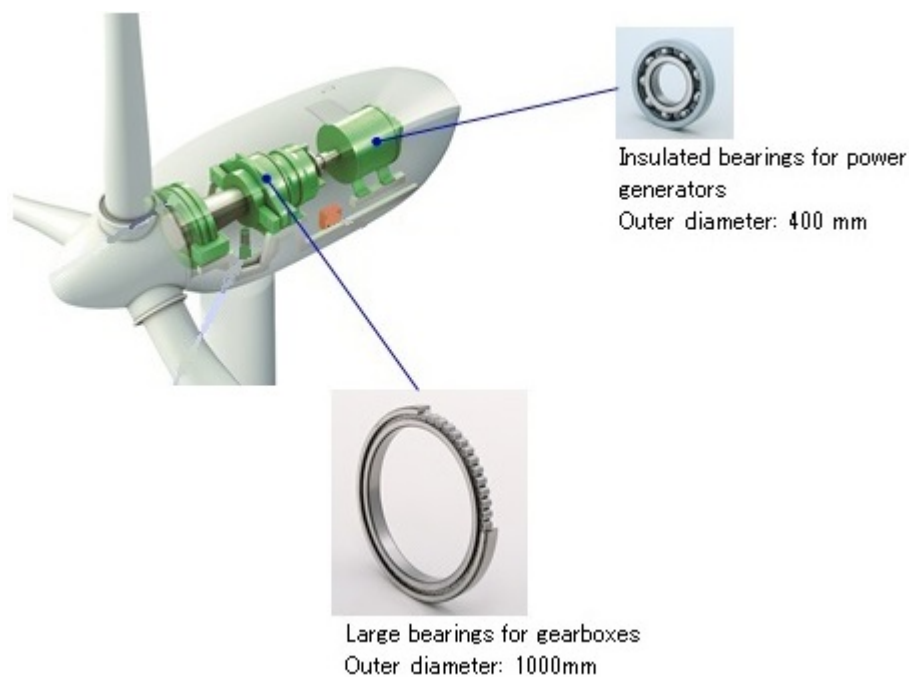


Figura 2.5: Exemplo do tipo de rolamentos presentes nas turbinas eólicas [9]

## 2.2 Estratégias de Manutenção

As atividades de manutenção são necessárias para manter ou restaurar um componente ou um sistema nas suas condições de operação e assim ter a possibilidade de prolongar a sua vida útil.

As estratégias de manutenção empregadas podem ser divididas em duas categorias, a manutenção corretiva e a manutenção preventiva, como representado na figura 2.6.

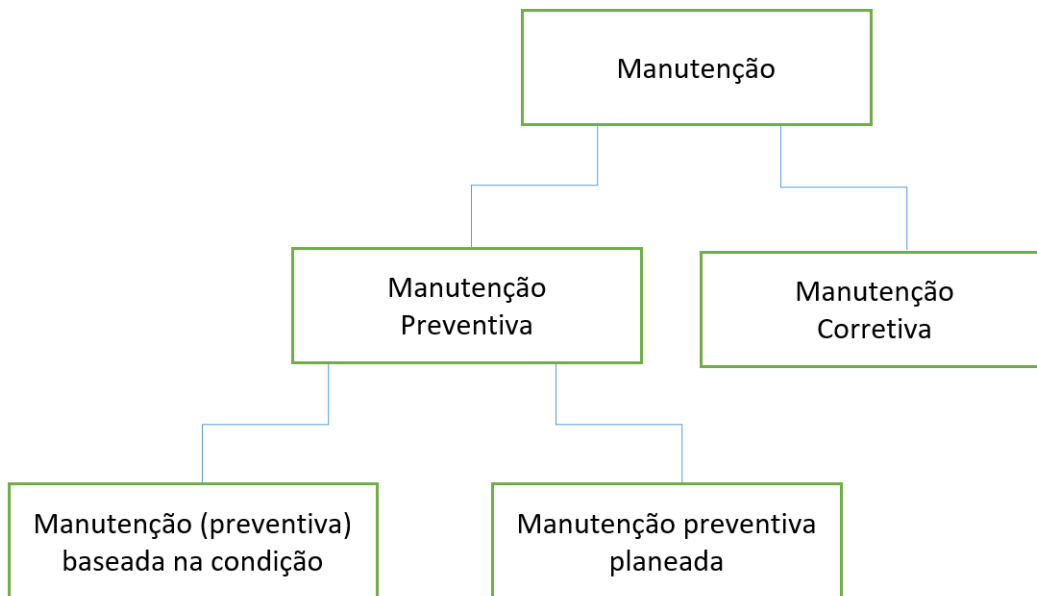


Figura 2.6: Tipos de manutenção

A principal diferença entre estes dois tipos de manutenção é que a manutenção corretiva consiste na substituição de peças ou componentes que se desgastaram ou falharam, levando a máquina ou equipamento à paragem. No caso da manutenção preventiva, ela é efetuada com a intenção de reduzir a probabilidade de falha do equipamento. A manutenção preditiva

A manutenção corretiva é realizada após uma quebra do sistema ou quando a falha é localizada. Para falhas em funções críticas, é necessário corrigi-las de imediato, e irá resultar num tempo de inatividade impremeditado. Por outro lado, para falhas que não têm, ou pouco têm, consequências na função do sistema, a manutenção pode ser adiada para uma melhor ocasião.

A manutenção preventiva é realizada para poder evitar falhas e podem ser subdivididas em manutenção preventiva planeada e manutenção (preventiva) baseada na condição.

- A manutenção preventiva sistemática é realizada em horários programados, independentemente do estado operacional do sistema entre as inspeções de manutenção.
- A manutenção baseada na condição é realizada com base no estado real do componente

e, portanto, requer sistemas de monitorização confiáveis, como monitorização *on-line* e/ou inspeções e limites de alarme que possam ser programados ou especificados. A análise aprofundada dos dados monitorizados fornece um diagnóstico e prognóstico de uma falha incipiente e fornece informações para decidir ações de futura manutenção. Isto envolve aquisição, processamento, análise e interpretação de vários dados e a decisão de ações de manutenção ótima, sendo alcançado com o recurso a sistemas de monitorização da condição nas turbinas.

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a capacidade de diagnóstico atempado destes sistemas, permitindo uma planificação das ações nos tempos de menor velocidade de vento, de forma a evitar tempos de paragem prolongados, sendo o pretendido ao ser aplicada uma manutenção preventiva planeada.

Uma aplicação bem sucedida de uma manutenção baseada na condição está esquematizada na figura 2.7: se uma mudança significativa na condição é observada, como se verifica em  $Time=6$ , uma operação necessita ser executada. Assim uma reparação deverá ser realizada no futuro para evitar uma falha mais grave no sistema. A monitorização da condição faz sentido se a progressão da falha for mais rápida do que o tempo entre duas inspeções.

A monitorização *on-line* faz sentido se a falha progredir mais rapidamente do que o tempo entre duas inspeções.

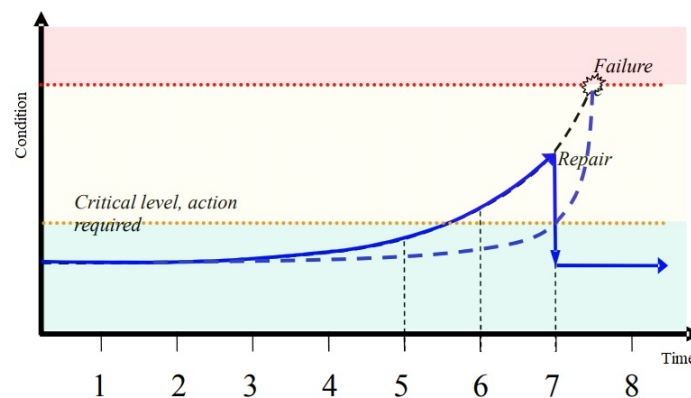


Figura 2.7: Níveis críticos na existência de uma falha [16]

## 2.3 CMS - Condition Monitoring System

Os sistema de monitorização CMS são sensores instalados nos principais componentes de uma turbina eólica, através dos quais é possível um acompanhamento do estado de condição. Esta é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de um programa de manutenção mais eficiente, resultando assim no aumento da disponibilidade de energia eólica produzida e reduz os gastos de operação e manutenção. Desta maneira é possível obter uma estratégia de manutenção ideal, o que significa que para estes trabalhos a instalação destes sistemas, CMS, aparentam ser de uma grande ajuda. Uma definição da monitorização da condição de sistema é “Um meio para evitar falhas catastróficas de máquinas em constante rotação” ,fornecendo uma vigilância constante da situação das turbinas eólicas [17]. Para se obter a vigilância desejada dos componentes é necessário instalar os sensores referidos anteriormente, denominados acelerómetros, figura 2.8. Para o caso da empresa *Nordex* os sensores estão colocados no gerador, com 3 pontos de medida, no “main bearing”, com 2 pontos de medida e na caixa multiplicadora, com 3 a 4 pontos de medida [18].



Figura 2.8: Exemplo dos sensores, acelerómetros, instalados nas turbinas eólicas [19]

### 2.3.1 Análise de Vibrações

A análise de vibrações é a técnica mais comum para equipamentos rotativos, e como a figura 2.9 o indica, a análise de vibrações é a técnica mais eficiente para uma deteção precoce de uma falha mecânica num equipamento. Desse modo, os CMS, aplicam esta técnica com base de sensores de vibração, instalados em diversos componentes, e detetando oscilações anormais [20].

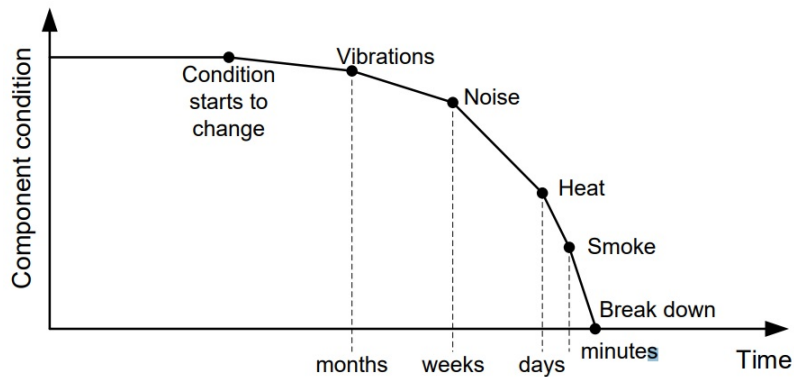


Figura 2.9: Desenvolvimento típico de uma falha mecânica [6]

Através da instalação dos CMS e da análise de vibrações, é possível antecipar o diagnóstico de falha dos rolamentos, componentes em estudo, com a identificação de desequilíbrios, desalinhamentos e desgastes, detetados pelos sensores de vibração. Um exemplo de um aviso por parte dos sensores CMS está representado na figura 2.10, através do gráfico de valores globais é possível observar pelos picos realçados, interpretados como o estímulo de uma vibração demasiado elevada, indicando uma possível falha, ou potencial falha num futuro próximo.



Figura 2.10: Exemplo de um aviso de CMS [21]

## 2.4 Avarias típicas das turbinas eólicas

Neste capítulo são aprofundadas várias informações acerca das avarias típicas nas turbinas eólicas. Devido aos ventos, as turbinas eólicas estão constantemente sujeitas a grandes esforços. Esses

esforços vibratórios fazem com que ocorram falhas, principalmente nos componentes rotativos, como a figura 2.11 o indica, os componentes em estudo fazem parte dos elementos que mais tempo de paragem registam [12].

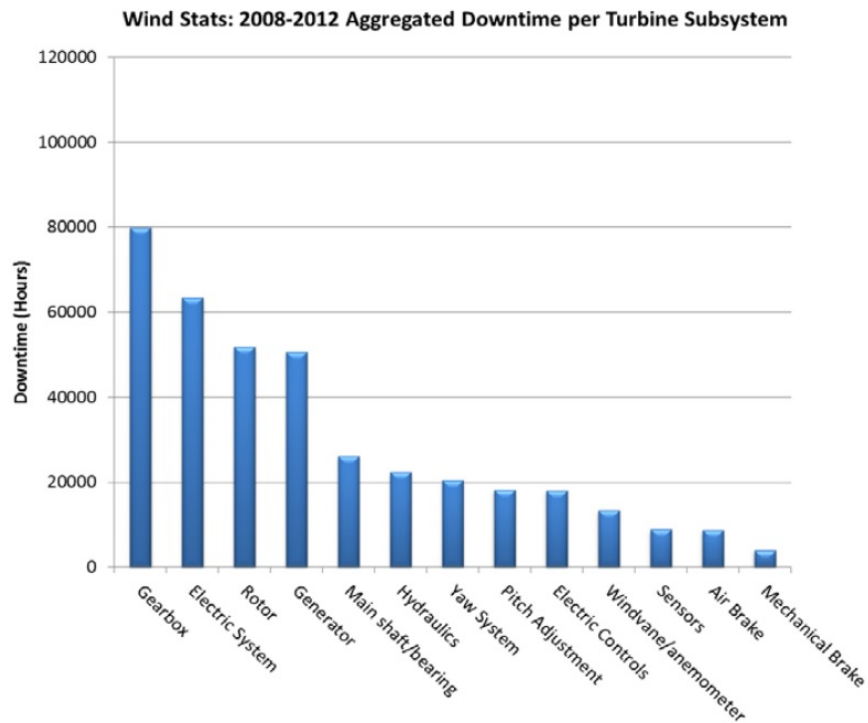


Figura 2.11: Tempo de paragem de parques de Turbinas Eólicas [12]

Os geradores presentes nas turbinas eólicas consistem em vários subcomponentes que falham e que se degradam ao longo tempo, através da figura 2.12 pode ser observado que os rolamentos do gerador fazem parte dos componentes com maior percentagem de falhas. No gerador estão presentes dois rolamentos, *Non Drive-End* (NDE) e *Drive-End* (DE).

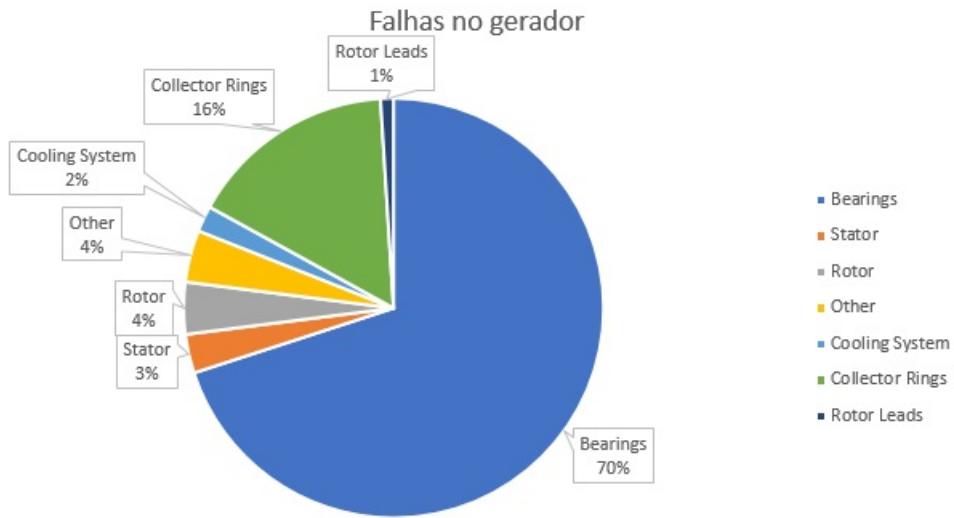


Figura 2.12: Percentagem das falhas que ocorrem no gerador [24]

Vários trabalhos indicam que as caixas multiplicadoras são dos componentes com mais tempo de inatividade devido a falhas ocorridas, verifica-se o mesmo, onde os componentes giratórios, os rolamentos, figura 2.13, sofrem mais danos com o rodar constante, sendo o subcomponente da caixa multiplicadora que sofre mais falhas, como no gerador, [22] e [23]. Na caixa multiplicadora existem vários rolamentos, om principal destaque o de baixa rotação e o de alta rotação, *Low Speed Shaft (LSS)* e *High Speed Shaft (HSS)*, sendo que o HSS tem muito mais rotações do que LSS, por isso, alguns estudos indicam que o rolamento HSS tem tendência a falhar mais vezes [26].

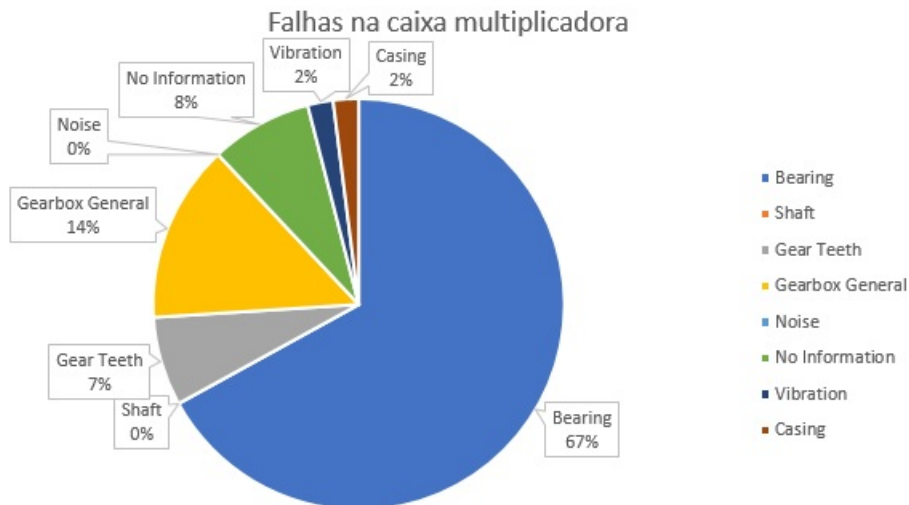


Figura 2.13: Percentagem das falhas que ocorrem na caixa multiplicadora [24]

## 3 Metodologia

Neste capítulo são explicados os métodos aplicados para analisar os dados e obter os resultados pretendidos.

### 3.1 Datas

Numa primeira parte é necessário recolher as datas das substituições dos rolamentos e do comissionamento dos sensores CMS. Para conseguir obter essas informações, foram recebidos vários ficheiros anuais, fornecidos pela empresa, no intervalo de 2007 a 2016, em formato *Microsoft Excel*, com todas as indicações de qualquer ação ou evento que tenha ocorrido, em cada uma das turbinas dos PE em estudo. Assim para cada um desses ficheiros, é feita uma análise nas ações realizadas pela realizadas nas turbinas eólicas e são retiradas as datas das trocas do rolamentos e do comissionamento dos CMS, representadas no anexo B.

Após a verificação das datas, foi fornecido, mais uma vez pela empresa *Iberwind*, um registo de numerosas variáveis, por ficheiros mensais, correspondente ao período das trocas de rolamentos identificadas nas turbinas de cada PE em estudo. Esse registo é feito pela empresa com um sistema SCADA, sistema essencial para supervisionar de maneira eficaz parques eólicos, no qual é utilizado nas turbinas eólicas para monitorizar e adquirir dados, medindo assim todos os parâmetros da turbina, fornecendo valores para diversas variáveis, incluindo quando a turbina está parada, indicando produção de energia nula, essas grandezas estão representadas por valores médios de 10 em 10 minutos [25].

### 3.2 Variáveis a analisar

Para reunir as variáveis fundamentais para este estudo, foi necessário recorrer à ferramenta *Microsoft SQL Server*, sendo um sistema de gestão de uma base de dados, que é usado para criar, ler, atualizar e excluir dados, composto por linhas e colunas em tabelas. Os dados dos parques eólicos usados neste relatório, incluindo as variáveis essenciais para obter resultados,

foram adquiridos e analisados com o uso do *Microsoft SQL Server 2008 R2*, com base no código representado na figura 3.1. E ao utilizar os dados obtidos do *SQL Server*, é criada uma base de dados, e sendo assim possível, transitar e copiar os dados para o *Microsoft Excel*.

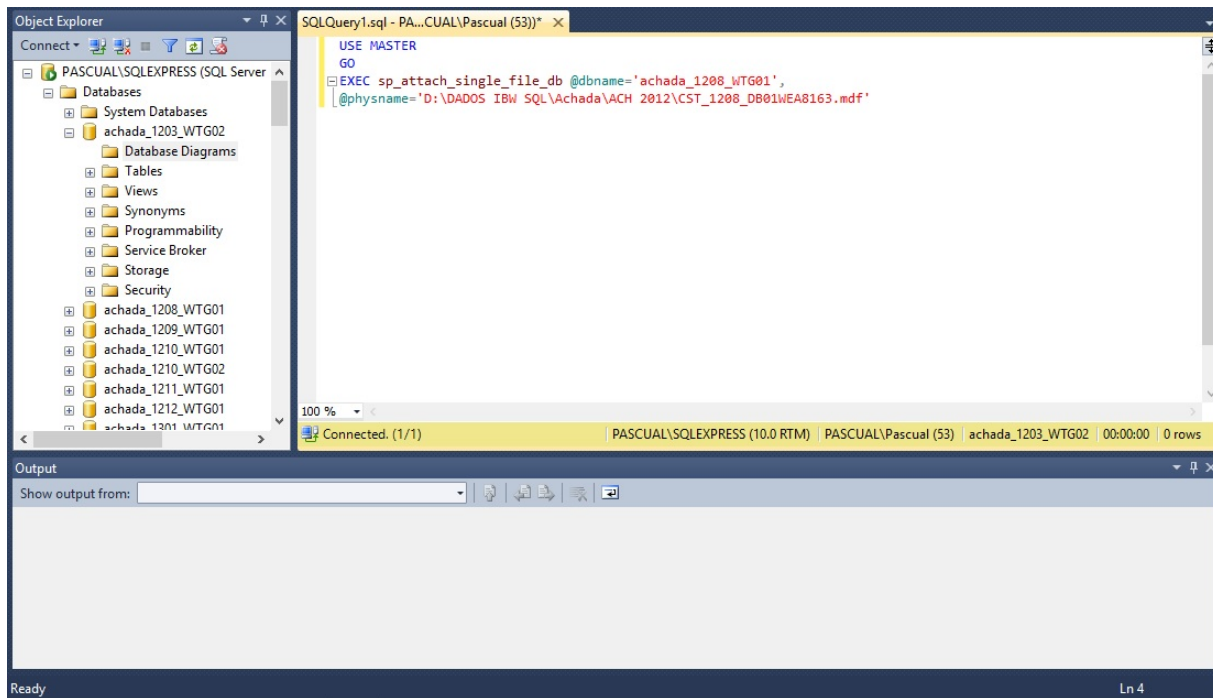


Figura 3.1: Representação do *software SQL*

Ao importar os dados, do *Microsoft SQL Server* para o *Microsoft Excel*, foi necessário fazer uma escolha acerca das variáveis fundamentais para este trabalho, pois estão presentes inúmeras variáveis acerca do estado e da condição em cada ficheiro. Portanto, a tabela 3.2 demonstra de que maneira as tabelas com os dados de 10 em 10 minutos são representados, sendo que em cada ficheiro o primeiro valor representado é o início de um certo mês e o último valor sendo o fim desse mesmo mês. O número de campos (n) dentro das tabelas é variável e depende do tipo de unidade, como representado na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Estrutura da tabela do tipo de unidades

tstamp	fld0	fld1	fld2	...	fldn
--------	------	------	------	-----	------

Tabela 3.2: Exemplo da apresentação dos dados ao longo do tempo

<b>tstamp</b>	<b>fld7 [kW]</b>	<b>fld14 [m/s]</b>	<b>Data</b>
1362096000	62,22	3,93	1-3-13 0:00
1362096600	161,67	4,86	1-3-13 0:10
:	:	:	:
:	:	:	:
1364773200	2163,44	11,58	31-3-13 23:40
1364773800	1834,60	10,36	31-3-13 23:50

Na tabela 3.2 estão representados apenas os tipos de valores relevantes para se obter informações acerca das paragens das turbinas, ou seja, todas as substituições, as três primeiras colunas foram importadas do *Microsoft SQL Server*, sendo o *tstamp*, indicador da data a que um dado foi registado, em segundos, desde o dia 01-01-1970 às 00:00:00. As colunas *fld7* e *fld14* indicam, respetivamente, a potência produzida [kW] e a velocidade do vento [m/s], a data foi calculada a partir do *Time Stamp*, ao converter para horas e somando a data de início da contagem, como representado na seguinte equação.

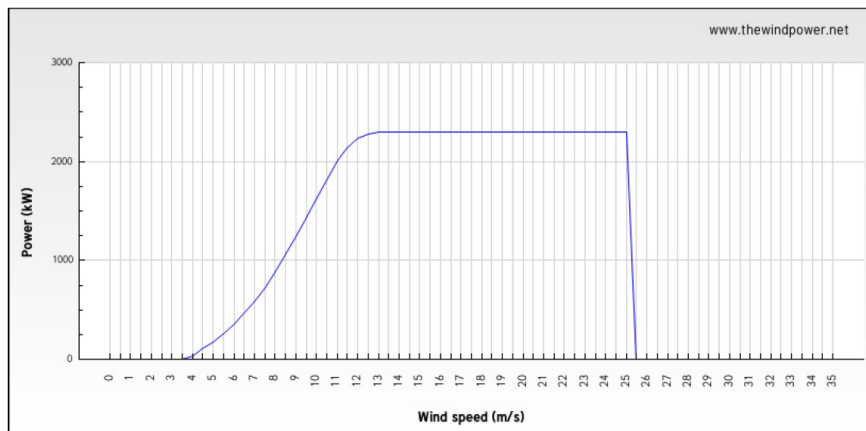
$$Data = \frac{tstamp}{(60 * 60 * 24)} + "01/01/1970"$$

Para cada substituição ocorrida, presencia-se um tempo de paragem, ou seja, a turbina nesses momentos não está operacional. A distinção entre a turbina estar operacional ou parada é feita pela potência produzida, ou não produzida, pela turbina na presença de velocidades de vento suficientes para, supostamente, produzir potência. Esses tempos de paragens podem ser apenas de algumas horas num só dia, como pode ser alargado para vários dias.

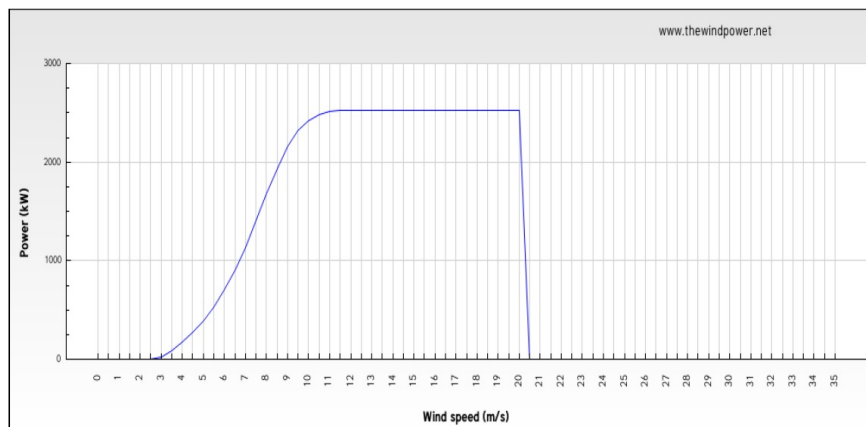
### 3.3 Potência teórica

Uma vez obtidas as informações devido às paragens das turbinas durante as intervenções, foi utilizado o *software MATLAB*, sendo um programa destinado para realizar cálculos com matrizes de várias dimensões, e de alto rendimento, logo, para elaborar este trabalho, foram aplicados os

dados obtidos anteriormente. Foram incluídos os valores da velocidade do vento para conseguir verificar a potência produzida, teórica, e para obter estes valores é necessário utilizar a curva de potência, curva característica explicada anteriormente, e retirar os valores a potência perdida, ou seja, a potência não produzida. Como estamos na presença de dois tipos de turbinas, foi necessário implementar no *software MATLAB* duas curvas de potência, e aplicar a curva de potência, figura 3.2a) e 3.2b) ao tipo de turbina eólica equivalente.



(a) Curva de Potência da Turbina N90/2.3MW



(b) Curva de Potência da Turbina GE120/2.5MW

Figura 3.2: Curvas Características das Turbinas Eólicas em Estudo

Após a conversão dos dados para um ficheiro Excel, foi inserido no *Matlab* a curva de potência das turbinas em estudo, e colocado os valores da potência produzida e da velocidade do vento nos dias em que foram identificadas as trocas de rolamentos, ou seja, a potência será sempre igual a zero nos momentos em que as trocas dos rolamentos foram realizadas.

Ao aplicar os valores, nos momentos em que foram realizadas as intervenções nas turbinas eólicas, no *software MATLAB* obtiveram-se vários valores, teóricos, da potência que supostamente deveria ter sido produzida durante essas paragens a partir dos valores da velocidade do vento, recolhidos por parte do sistema *SCADA*, nos instantes das substituições.

### 3.4 Potência real

As curvas características indicam teoricamente a potência, ou seja, não indica o comportamento real das turbinas no momento em que são estudadas. Duas turbinas do mesmo tipo têm a mesma curva característica, mas além de terem um funcionamento similar, e de serem da mesma marca/tipo, cada uma delas é única no seu comportamento. Por isso é necessário comparar o comportamento de cada turbina no próprio mês em que a substituição decorreu, para analisar se existe um desvio demasiado elevado entre as potências, teóricas e reais. Assim sendo, para cada substituição, recorreu-se às velocidades do vento no seu momento de paragem, e foram comparadas com as velocidades do vento no próprio mês da substituição durante o funcionamento da turbina. Esses valores são estudados da mesma maneira, ou seja, de 10 em 10 minutos. Na tabela 3.3 apresenta-se um exemplo do modo de determinação da potência real para cada ponto, 10 em 10 minutos, em que a turbina se encontra parada correspondente à troca de um rolamento. Os valores estão presentes em 3 colunas, tempo, potência produzida e velocidade do vento, tabela 3.2, e com a assistência do *Microsoft Excel*, foi criado um intervalo, ou condição, para cada valor da velocidade do vento ao longo do tempo de paragem, somando e subtraindo um valor de 0,1, de maneira a que de seguida é somado o número de células que possuem o intervalo de valores das velocidades do vento, e logo de seguida, é somada as potências incorporadas nas células, ou seja, as potências produzidas e recolhidas quando a turbina estava sujeita à velocidade correspondente. Para obter a potência perdida foi necessário saber quantos intervalos de 10 minutos ocorreram nos tempos de paragem para cada intervenção, dessa forma foi aplicada a regra de 3 simples,  $\frac{a}{b} = \frac{c}{x}$ , em que a letra 'a' equivale a 1 hora e a letra 'b' o intervalo de 10 minutos durante 1 horas, ou seja, 6. Para a letra 'c' é inserido o tempo de paragem, sendo assim possível calcular a incógnita 'x'. Assim o somatório da potência de cada paragem é dividido pela valor obtido da incógnita 'x'.

Tabela 3.3: Exemplo da determinação da potência real

Velocidade do Vento [m/s]	Valor Mínimo [m/s]	Valor Máximo [m/s]	Energia Real [kWh]
5,83	5,73	5,93	277
6,84	6,74	6,94	457,50
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
6,12	6,02	6,22	329,24
6,29	6,19	6,39	365,91

### 3.5 Modelo financeiro

A fim de se proceder ao cálculo das perdas associadas a tempos de paragem das turbinas em estudo, foi solicitado à empresa que explora os parque eólicos que nos fornecesse os valores das tarifas contratadas para venda de energia elétrica. Esses valores não têm sofrido alterações nos últimos 10 anos, por esse motivo foi possível utilizar sempre o mesmo valor para o período de estudo. A informação fornecida para estes valores de tarifa eram mensais, de forma que foi necessário dividir por dias do mês e ainda por hora, para obter o valor da energia vendida por hora aplicada a cada turbina eólica.

Para o caso do PE da Chão Falcão I, foi necessário descobrir os valores com base na tarifa média anual (neste caso 2016) de venda de energia elétrica, 103,45 €/TE.h), valor fornecido pela própria *Iberwind*, assim para determinar o valor anual, foi necessário multiplicar a tarifa média pelo número de horas no ano de 2016 e o número de turbinas eólica presentes no PE Chão Falcão I. Dessa forma pelas horas de funcionamento mensais do PE, presentes em ficheiros entregues pela *Iberwind*, representado no anexo E.1, foi possível calcular os valores das tarifas contratadas para venda de energia elétrica para cada mês.

## 4 Análise dos dados

Neste capítulo, serão tratados os casos de estudo relativos aos parques eólicos da Achada, da Arcela, do Chão Falcão I, da Freita, de Lomil, da Lousã, de São Macário e de São Mamede, possuindo, respetivamente, 3, 5, 15, 8, 14, 14, 5 e 3 aerogeradores, com manutenção em todos esses parques por parte da empresa *Iberwind*, que forneceram os dados necessários para a realização deste estudo, desses mesmos parques, dos quais serão analisados neste capítulo. Dois tipos de turbinas eólicas estão presentes nestes parques, sendo a primeira do tipo GEWE 120/2.5MW, da *General Electric Wind Energy*, presente no parque da Lousã, os restantes parques reúnem outro tipo de turbina, N90/2.3MW, pertencente à Nordex.

Tabela 4.1: Trocas de Rolamentos por componente e por parque eólico

<b>Parques</b>	<b>Gerador</b>	<b>Caixa Multiplicadora</b>
<b>Achada</b>	2	1
<b>Arcela</b>	2	1
<b>Chão Falcão I</b>	7	15
<b>Freita</b>	1	16
<b>Lomil</b>	//	//
<b>Lousã I</b>	4	7
<b>São Macário</b>	//	//
<b>São Mamede</b>	//	//
<b>Total de trocas de rolamentos</b>	16	40

Pela tabela 4.1 pode ser verificado que dos oito parques eólicos, três desses não tinham qualquer indicação de algum tipo de evento ou de ação que esteja relacionado com trocas de rolamentos, levando assim à exclusão desses três parques do caso de estudo.

Juntamente com a análise relacionada com as trocas ocorridas dos rolamentos nos componentes, gerador e caixa multiplicadora, das turbinas eólicas, foi analisado a instalação dos CMS nas várias turbinas. E como se trata de uma ação realizada, a informação é analisada da mesma maneira, anexo B, e na tabela 4.2 pode ser observado em que altura foram instalados os sensores.

Tabela 4.2: Data da instalação dos CMS nos parques em estudo

<b>Parque</b>	<b>Data Instalação CMS</b>
Achada	11-04-2011
Arcela	16-04-2011 até 20-04-2011
Chão Falcão	24-03-2011 até 04-11-2011
Freita	01-01-2010
Lousã I	21-04-2015

Os próximos subcapítulos tratam dos tempos de paragem, bem como a perda de potência, tanto real como teórica, para cada uma das trocas verificadas.

## 4.1 Parque Eólico Achada

O parque eólico Achada apenas sofreu trocas nas turbinas depois da instalação, tanto nos geradores como nas caixas multiplicadoras, assim o demonstrado, neste capítulo, será o tempo de paragem, como a média da potência perdida e da velocidade do vento durante o tempo de inatividade.

### 4.1.1 Gerador

Para o gerador as trocas existentes ocorreram na turbina número 1, com um intervalo de 3 anos entre as substituições, com as datas indicadas na tabela 4.3.

Tabela 4.3: Data das trocas dos rolamentos no gerador da turbina nº1 do parque Achada

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Início do Evento</b>		<b>Substituição dos Rolamentos</b>	
	<b>Antes da Instalação CMS</b>	<b>Depois da Instalação CMS</b>	<b>Início da Intervenção</b>	<b>Encerramento da Intervenção</b>
//	//			
WTG01 (DE)	//	10-08-2012	14-03-2013	14-03-2013
WTG01 (NDE)	//	08-09-2016	09-09-2016	12-09-2016

Os tempos de paragem têm uma média de 11 horas, com demonstrado na tabela 4.4, iniciando-se cada uma delas por volta das 4 da manhã, sendo que a empresa responsável pela troca parou a turbina, realizou a troca e fez alguns testes para verificar o bom funcionamento da turbina, será

verificado se o tempo em que a turbina esteve parada é considerada como tempo de inatividade alto ou dentro das médias comparando com as diversas trocas nos diferentes parques.

Tabela 4.4: Tempo de paragem das intervenções ocorridas no gerador da turbina <sup>o</sup>1 da Achada após a instalação dos CMS

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Início da Paragem</b>	<b>Fim da Paragem</b>	<b>Tempo de Paragem</b>
WTG01	14-03-13 04:10	14-03-13 14:40	10 horas e 40 minutos
WTG01	12-09-16 04:00	12-09-16 16:30	12 horas e 30 minutos

O tempo de paragem foi muito parecido entre as trocas, mas como, em 2013, foram registados ventos mais altos, causando assim mais perda de potência, mostrado na tabela 4.5.

Tabela 4.5: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo das paragens da turbina n<sup>o</sup>1 da Achada

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Velocidade Média Durante a Paragem [m/s]</b>	<b>Energia não produzida Teórica [kWh]</b>	<b>Energia não produzida Real [kWh]</b>
WTG01	7,68	9512,5	9149,5
WTG01	4,61	2915	2185

Nas figuras 4.1a) e 4.1b) podem ser verificadas as diferenças entre as duas trocas ocorridas, pode ser verificado que cada um dos gráficos indica os momentos, representados pelos quadrados, de 10 em 10 minutos, durante o tempo de paragem.

Através das tabelas 4.4 e 4.5 verifica-se que o tempo de paragem durante as duas substituições foram semelhantes, mas a energia perdida foi mais elevada durante substituição ocorrida em 2013, tal perda deve-se a velocidades de vento foram mais intensas durante essa mesma substituição. Pelo gráfico representado na figura 4.1a) são apresentados certos instantes em que a velocidade do vento foi maior que 10 m/s, e na maior parte do tempo de paragem a velocidade do vento manteve-se entre 5 m/s e 10 m/s, o que não se verificou na substituição no ano de 2016, figura 4.1b), sendo que a velocidade do vento permaneceu sempre abaixo dos 10 m/s. Dessa forma a potência perdida em 2013 foi muito maior do que a potência perdida em 2016.

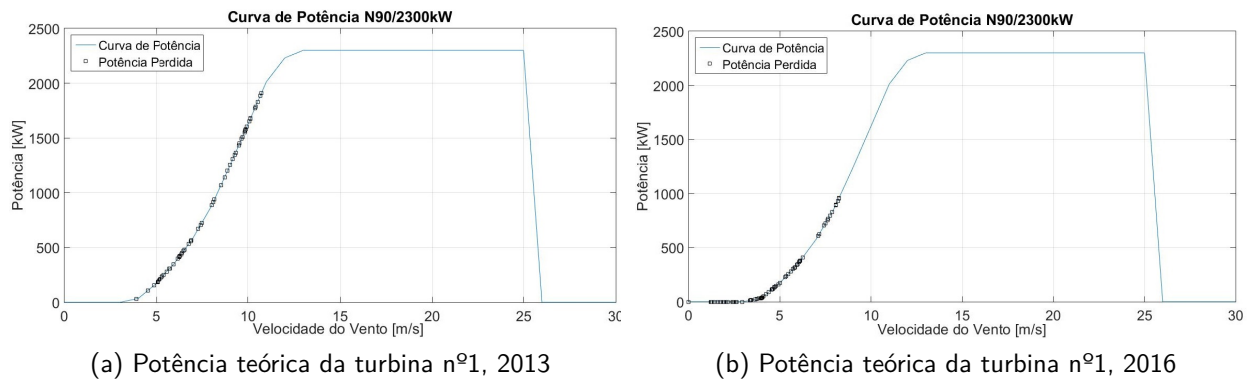


Figura 4.1: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem

### 4.1.2 Caixa Multiplicadora

No caso da caixa multiplicadora apenas ocorreu uma substituição, no rolamento, na turbina 2 da caixa multiplicadora, com as datas indicadas na tabela 4.6.

Tabela 4.6: Data das trocas dos rolamentos na caixa multiplicadora da turbina n°2 do parque Achada

Turbina Eólica	Início do Evento		Substituição dos Rolamentos	
	Antes da Instalação CMS	Depois da Instalação CMS	Início da Intervenção	Encerramento da Intervenção
WTG02 (HSS)	//	07-01-2013	18-03-2013	18-03-2013

Pelos ficheiros mensais foi retirado, com o auxílio do *Software Matlab*, com a indicação dos momentos em que houve perda de energia, ou seja, quando a turbina esteve parada. Pela tabela 4.7, verifica-se que a troca iniciou-se de madrugada, sendo que foi agendada devido ao aumento da amplitude por parte do rolamento em novembro do ano anterior.

Tabela 4.7: Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora da turbina n°2 após a instalação dos CMS

Turbina Eólica	Início da Paragem	Fim da Paragem	Tempo de Paragem
WTG02	18-03-13 04:20	18-03-13 16:00	11 horas e 50 minutos

Foi igualmente retirado do *Matlab*, a potência total, somado com o valor da potência para cada 10 minutos durante o tempo inativo da turbina, com o valor indicado na tabela 4.8.

Tabela 4.8: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem da turbina nº2 da Achada

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Velocidade Média Durante a Paragem [m/s]</b>	<b>Energia não produzida Teórica [kWh]</b>	<b>Energia não produzida Real [kWh]</b>
WTG02	7,68	2665,9	2857,5

Esta troca do rolamento ocorreu com um tempo de paragem de cerca de 11 horas, muito similar às trocas dos rolamentos no gerador da turbina nº1, discutido anteriormente. E pelo gráfico da figura 4.2 pode ser verificado que a velocidade do vento não foi muito elevada, mantendo-se por volta dos 5 a 7 metros por segundo, o que levou a uma perda de potência não muito elevada.

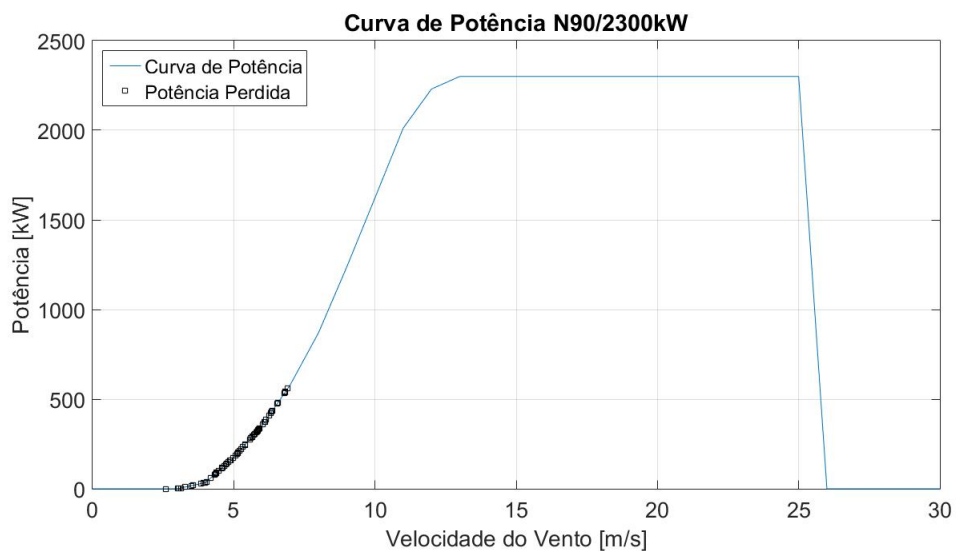


Figura 4.2: Potência teórica da turbina nº2

#### 4.1.3 Conclusão da análise do parque eólico da Achada

Para o parque eólico da Achada, com a presença de 3 turbinas, apenas se verificaram 3 trocas, 2 delas no gerador da turbina nº1, ocorrendo nos dois rolamentos (DE e NDE) do gerador com uma diferença de 3 anos, e 1 troca na caixa multiplicadora na turbina nº2, do rolamento de alta velocidade (HSS). Todas as trocas foram realizadas com base nos avisos por parte dos sensores, e com base na monitorização dos mesmos, foi possível verificar uma anormalidade por parte dos rolamentos. Mas para os 3 casos, foram substituídos os rolamentos, com agendamento antecipado,

no que foi possível realizar as trocas dentro de um tempo de cerca de 11 horas, o que inclui na troca, os testes e voltar a colocar as turbinas em funcionamento.

## 4.2 Parque Eólico Arcela

Para o parque eólico da Arcela, constituída por 5 turbinas, ocorreram 3 trocas, 2 no gerador e 1 na caixa multiplicadora.

### 4.2.1 Gerador

No caso do gerador as trocas foram realizadas nas turbinas nº2 e nº5, ambas no mesmo rolamento (DE), sendo que ambas as trocas ocorreram após a instalação dos CMS, tabela 4.9.

Tabela 4.9: Data das trocas dos rolamentos no gerador das turbinas do parque da Arcela

Turbina Eólica	Início do Evento		Substituição dos Rolamentos	
	Antes da Instalação CMS	Depois da Instalação CMS	Início da Intervenção	Encerramento da Intervenção
//	//			
WTG05 (DE)	//	25-01-2012	25-01-2012	25-01-2012
WTG02 (DE)	//	05-12-2013	05-12-2013	05-12-2013

Ao analisar os tempos de paragem, tabela 4.10, na turbina nº5 verificou-se que o tempo em que a turbina esteve inativa não difere muito dos tempos de paragem das trocas ocorridas à turbinas presente na Achada. No caso a turbina nº2 foi realizada a troca alguns meses após o aviso dos sensores CMS, com uma duração de aproximadamente 10 horas.

Tabela 4.10: Tempo de paragem das intervenções ocorridas no gerador das turbinas da Arcela

Turbina Eólica	Início da Paragem	Fim da Paragem	Tempo de Paragem
WTG05	25-01-12 04:50	25-01-12 20:30	15 horas e 50 minutos
WTG02	05-12-13 04:50	05-12-13 14:00	10 horas e 10 minutos

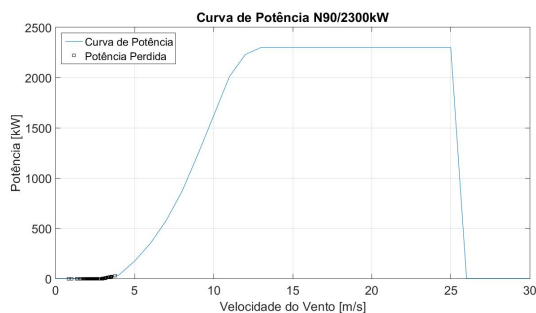
Durante a troca do rolamento na turbina nº5 não se presenciaram velocidades de vento elevados, logo, como se pode verificar na tabela 4.11, a potência perdida pela turbina nº5 foi mínima. Para

o caso da troca do rolamento na turbina nº2 as velocidades do vento foram mais elevadas do que durante a troca na turbina nº5, causando uma perda de potência mais elevada, como se pode verificar, mais uma vez, na tabela 4.11, além de o tempo de paragem ter sido menor.

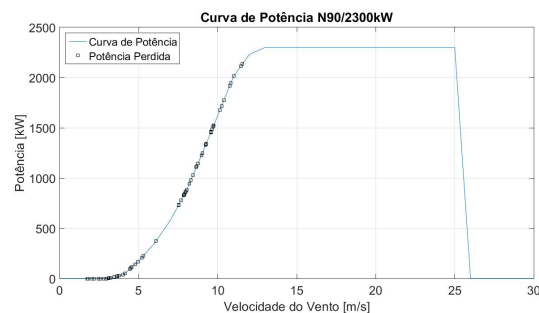
Tabela 4.11: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem da turbina nº5 antes da instalação dos CMS

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Velocidade Média Durante a Paragem [m/s]</b>	<b>Energia não produzida Teórica [kWh]</b>	<b>Energia não produzida Real [kWh]</b>
WTG05	1,9	31,7	101,7
WTG02	6,9	8159,66	7245,7

Os valores indicados na tabela acima podem ser confirmados nas figuras 4.3a) e 4.3b), em que a velocidade média do vento durante a paragem da turbina 5 foi baixa, logo, as perdas foram menores comparadas com as perdas na turbina 2.



(a) Potência teórica da turbina nº5, 2012



(b) Potência teórica da turbina nº2, 2013

Figura 4.3: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem

#### 4.2.2 Caixa Multiplicadora

No caso da caixa multiplicadora, apenas a turbina nº4 sofreu problemas com rolamentos, sendo o rolamento de alta velocidade (HSS), após a instalação dos CMS, como se pode presenciar na tabela 4.12.

Tabela 4.12: Data das trocas dos rolamentos na caixa multiplicadora da turbina nº4 do parque Arcela após a instalação dos CMS

Turbina Eólica	Início do Evento		Substituição dos Rolamentos	
	Antes da Instalação CMS	Depois da Instalação CMS	Início da Intervenção	Encerramento da Intervenção
//				
WTG04 (HSS)	//	15-03-2012	23-03-2013	23-03-2013

Pelo aviso dos sensores foi aconselhada a substituição dos rolamentos de alta velocidade (HSS) poucos meses depois do relatório CMS, atingindo assim um tempo de paragem perto de 19 horas, tabela 4.13.

Tabela 4.13: Tempo de paragem das intervenções ocorridas no gerador das turbinas no PE Arcela antes da instalação dos CMS

Turbina Eólica	Início da Paragem	Fim da Paragem	Tempo de Paragem
WTG04	22-03-12 04:20	22-03-12 23:00	18 horas e 50 minutos

Durante esta troca a velocidade média do vento estava levemente elevada, originando assim, perdas um pouco mais elevadas, comparadas com as trocas anteriores, como se pode observar na tabela 4.14.

Tabela 4.14: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas

Turbina Eólica	Velocidade Média Durante a Paragem [m/s]	Energia não produzida Teórica [kWh]	Energia não produzida Real [kWh]
WTG04	6,54	11504,6	8441,5

Na figura 4.4 pode ser verificado o aglomerado de pontos correspondentes às perdas na turbina 4, com alguns picos com velocidades acima de 10 m/s, mas a maior parte a velocidade manteve-se aproximadamente nos 6 m/s, como representam os valores na tabela 4.14.

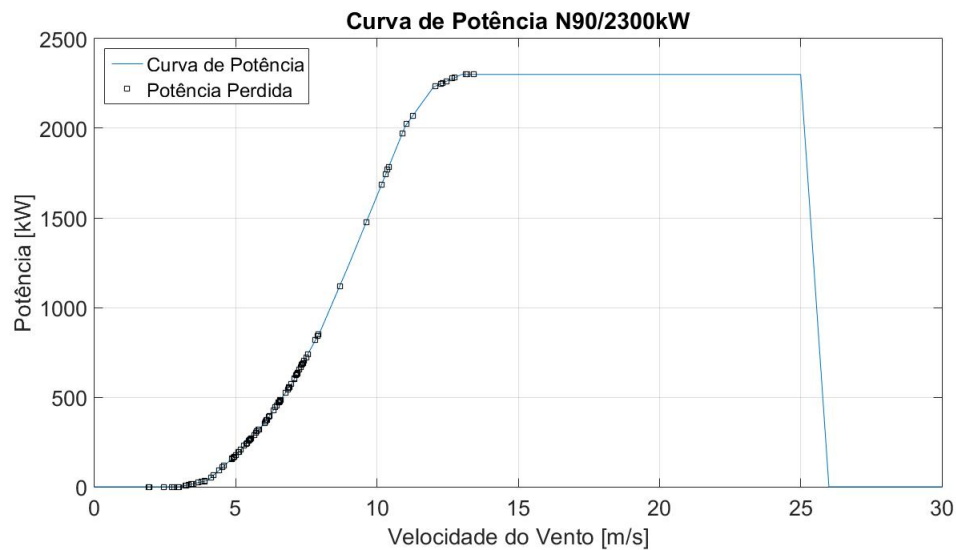


Figura 4.4: Potência teórica da turbina nº4

### 4.2.3 Conclusão da análise do parque eólico da Arcela

No PE da Arcela, na presença de 3 trocas, sendo que todas elas ocorreram após a instalação dos CMS, sendo que a troca do rolamento no gerador da turbina nº5 o tempo de paragem e a potência perdida devido a baixas velocidades do vento foi menor comparado com as restantes trocas.

## 4.3 Parque Eólico Chão Falcão I

Com a quantidade de substituições que ocorreram no PE Chão Falcão I, foi possível obter os valores necessários para efetuar uma comparação acerca das perdas durante as substituições tanto para os geradores como para as caixas multiplicadora.

### 4.3.1 Gerador

Com a presença de 15 turbinas eólicas, observou-se que, em 6 dessas turbinas ocorreram trocas de rolamentos nos geradores de 2007 até 2016, num total de 8 substituições de rolamentos. A tabela 4.15 a seguir demonstra em que dia ou dias ocorreram as trocas, informação retirada dos eventos e

das ações que se sucederam nas turbinas, a tabela indica quando foram realizadas as substituições e quando foi mencionado pela empresa ou por aviso por parte dos sensores CMS, a existência de um potencial problema, dando assim início ao evento acerca do componente em estudo.

Tabela 4.15: Data das trocas dos rolamentos nos geradores das turbinas do parque Chão Falcão I

Turbina Eólica	Início do Evento		Substituição dos Rolamentos	
	Antes da Instalação CMS	Depois da Instalação CMS	Início da Intervenção	Encerramento da Intervenção
//				
WTG04	20-02-2007	//	20-02-2007	26-02-2007
WTG05	30-03-2007	//	30-03-2007	30-03-2007
WTG14	07-02-2008	//	07-02-2008	08-02-2008
WTG12	17-11-2008	//	17-11-2008	17-11-2008
WTG13	//	21-09-2011	21-09-2011	24-09-2011
WTG12	//	29-10-2012	29-10-2012	29-10-2012
WTG04	//	12-03-2013	12-03-2013	12-03-2013

Com as datas da instalação dos CMS foi possível verificar se as intervenções ocorreram antes ou depois dessas instalações, as datas estão indicadas na tabela 4.2, colocadas anteriormente na tese. Assim, devido as essas mesmas datas foi verificado que 5 substituições foram realizadas antes, e 3 depois. A tabela 4.16 indica o momento da paragem para cada uma das turbinas que sofreram intervenções e o momento em que voltaram a funcionar, após terem sido trocados os rolamentos e terem sido realizados todos os testes de maneira que as turbinas voltem a funcionar em perfeitas condições. Das 5 substituições ocorridas antes da instalação podemos verificar, na tabela 4.16, que 2 trocas foram demoradas.

Tabela 4.16: Tempo de paragem das trocas ocorridas no gerador das turbinas na Chão Falcão I

Turbina Eólica	Início da Paragem	Fim da Paragem	Tempo de Paragem
WTG04	19-02-07 11:00	26-02-07 18:50	176 horas
WTG05	30-03-07 09:30	30-03-07 20:00	10 horas e 40 minutos
WTG14	07-02-08 10:20	08-02-08 19:30	30 horas
WTG12	17-11-08 10:20	17-11-08 18:10	8 horas e 10 minutos
WTG13	21-09-11 23:10	24-09-11 13:30	62 horas e 30 minutos
WTG12	29-10-12 04:20	29-10-12 15:30	11 horas e 20 minutos
WTG04	12-03-13 04:30	12-03-13 13:40	9 horas e 20 minutos

A energia não produzida é maior se a velocidade do vento for maior, até atingir a sua potência

nominal, como a curva de potência o indica, a tabela 4.17 representa o cálculo da média da potência não produzida durante a intervenção. As curvas de potência teórica, para este parque e os restantes, estão apresentadas em anexo.

Tabela 4.17: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Velocidade Média Durante a Paragem [m/s]</b>	<b>Energia não produzida Teórica [kWh]</b>	<b>Energia não produzida Real [kWh]</b>
WTG04	8,58	202110	191361,7
WTG05	8,23	10870,1	10303,2
WTG14	8,5	32660	29620
WTG12	4,15	1580,6	1580,6
WTG13	4,95	17008,3	12346,7
WTG12	6,71	6204,8	6231,5
WTG04	3,51	843	996,3

Para uma comparação mais simples, a figura 4.5 mostra a diferença entre as trocas dos rolamentos antes e depois da instalação dos CMS. Através da figura 4.5 podem ser observadas cada uma das substituições ocorridas no PE Chão Falcão I, e é possível identificar que quanto mais perto do ponto de origem (0,0) estiver localizada uma substituição, menor é a perda de energia. Sendo que no eixo do  $x$  encontra-se o tempo de paragem e no eixo do  $y$  foram multiplicados os valores das potências perdidas por hora (kWh) pelos tempos de paragem, e devido aos valores serem elevados ao kW foram convertidos para MW.

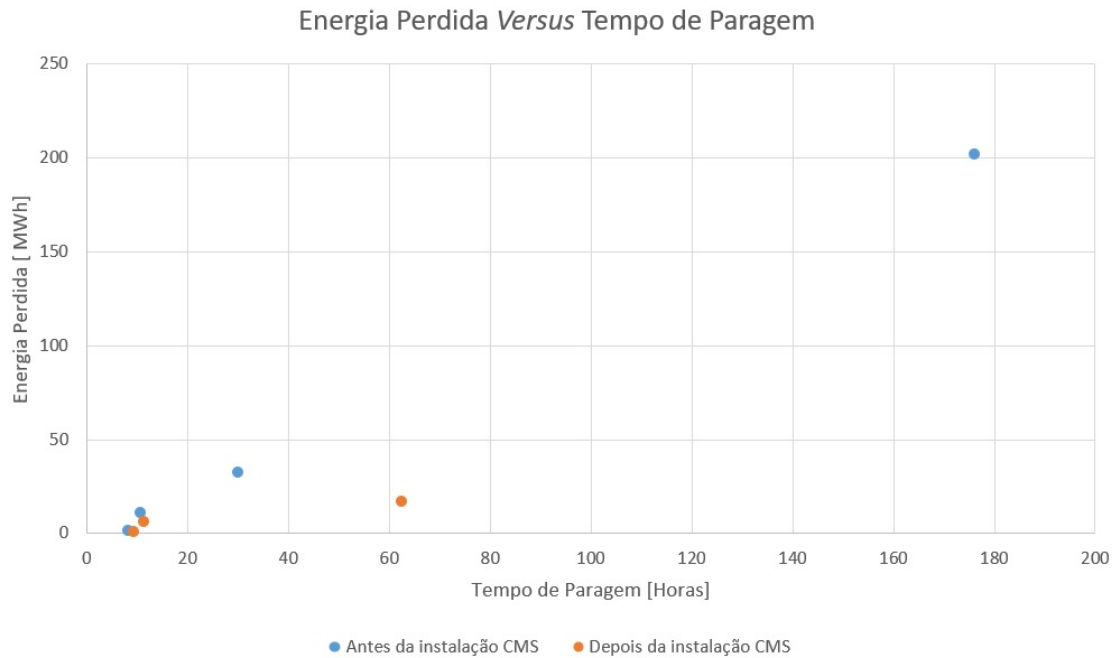


Figura 4.5: Comparação entre o tempo de paragem e a potência perdida no gerador antes e depois da instalação CMS no parque Chão Falcão I

A figura 4.5 mostra o gráfico de comparação da energia perdida *versus* tempo de paragem das trocas realizadas nos geradores das TE presentes no PE Chão Falcão I, sendo que duas das trocas destacam-se das restantes. Uma troca com um tempo de paragem de 176 horas, antes da instalação dos CMS, e a segunda com um tempo de paragem de 62 horas e 30 minutos, após a instalação dos CMS. Sendo que a troca após a instalação dos CMS representa uma perda de energia muito menor comparada com as perdas de energia da troca antes da instalação dos CMS. Isso deve-se às velocidades do vento terem sido mais altas na troca antes da instalação dos CMS.

### 4.3.2 Caixa Multiplicadora

No caso das caixas multiplicadoras, verificou-se que 11 das 15 turbinas registaram mais substituições de caixas do que geradores, no parque eólico Chão Falcão I. Apenas 2 delas ocorreram antes da instalação dos CMS. Serão feitas as comparações entre as trocas ocorridas antes e depois da instalação, como uma média da potência perdida durante as horas em que se presenciaram as intervenções.

Tabela 4.18: Data das trocas dos rolamentos nas caixas multiplicadoras das turbinas do parque Chão Falcão I

Turbina Eólica	Início do Evento		Substituição dos Rolamentos	
	Antes da Instalação CMS	Depois da Instalação CMS	Início da Intervenção	Encerramento da Intervenção
//	29-03-2007	//	29-03-2007	29-03-2007
WTG02	14-12-2010	//	14-12-2010	14-12-2010
WTG13	//	07-11-2011	07-11-2011	07-11-2011
WTG04	//	30-07-2012	30-07-2012	30-07-2012
WTG05	//	10-10-2012	19-12-2012	19-12-2012
WTG08	//	13-06-2012	13-06-2013	13-06-2013
WTG04	//	03-07-2013	03-07-2013	03-07-2013
WTG14	//	05-04-2013	03-09-2013	03-09-2013
WTG09	//	05-02-2013	04-09-2013	04-09-2013
WTG07	//	13-09-2013	17-09-2013	17-09-2013
WTG02	//	17-12-2013	24-02-2014	24-02-2014
WTG01	//	06-02-2014	25-02-2014	25-02-2014
WTG13	//	31-01-2014	24-06-2014	24-06-2014
WTG10	//	16-12-2014	29-04-2015	29-04-2015
WTG13	//	12-02-2015	24-09-2015	24-09-2015
WTG09	//			

A tabela 4.18 indicam as trocas nas 11 turbinas, totalizando 15 trocas dos rolamentos nas caixas multiplicadoras.

É realizado o mesmo processo para as intervenções antes e depois da instalação dos CMS. A tabela 4.19 indica o tempo sucedido durante as duas substituições existentes.

Tabela 4.19: Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas Chão Falcão I antes e depois da instalação dos CMS

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Início da Paragem</b>	<b>Fim da Paragem</b>	<b>Tempo de Paragem</b>
WTG02	29-03-07 07:40	29-03-07 22:10	14 horas e 40 minutos
WTG13	14-12-10 09:10	14-12-10 10:40	10 horas e 40 minutos
WTG04	07-11-11 05:30	09-11-11 20:30	63 horas e 10 minutos
WTG04	13-06-13 02:10	13-06-13 16:20	14 horas e 20 minutos
WTG14	12-07-13 22:10	13-07-13 16:00	18 horas
WTG05	30-07-12 03:00	30-07-12 12:40	9 horas e 50 minutos
WTG08	19-12-12 05:00	19-12-12 16:20	11 horas e 30 minutos
WTG09	03-09-13 03:10	03-09-13 12:20	9 horas e 20 minutos
WTG07	04-09-13 04:00	04-09-13 16:40	12 horas e 50 minutos
WTG02	17-09-13 03:00	17-09-13 16:50	14 horas
WTG01	24-02-14 03:30	24-02-14 13:00	9 horas e 40 minutos
WTG13	25-02-14 04:00	25-02-14 12:30	8 horas e 40 minutos
WTG10	24-06-15 03:00	24-06-14 12:00	9 horas e 10 minutos
WTG13	29-04-15 01:00	29-04-15 13:30	12 horas e 40 minutos
WTG09	24-09-15 00:50	24-09-15 12:30	11 horas e 50 minutos

Antes da instalação dos CMS os tempos de paragem não registaram tempos muito elevados. Para o caso das trocas ocorridas após a instalação, os tempos de paragem são de aproximadamente 10 horas, excluindo a primeira troca na turbina nº4, ocorrida em 2011, alargando-se a cerca de 63 horas, como indicado na tabela 4.19.

Tabela 4.20: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas antes e depois a instalação dos CMS

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Velocidade Média Durante a Paragem [m/s]</b>	<b>Energia não produzida Teórica [kWh]</b>	<b>Energia não produzida Real [kWh]</b>
WTG02	8,05	14394,9	12069,4
WTG13	2,3	48,3	153,4
WTG04	6,04	39385,4	39615,4
WTG04	6,62	7481,6	7360
WTG14	2,44	51,7	160
WTG05	4,8	1901	2332,5
WTG08	6,86	7166,7	6858,3
WTG09	2,75	113,3	226,6
WTG07	3,38	816,5	868,1
WTG02	3,63	910	823,3
WTG01	7,61	8124,5	7692,7
WTG13	5,73	2852,8	2539,3
WTG10	3,76	426,8	435,2
WTG13	3,98	900,2	731,9
WTG09	4,04	2132,7	2059,4

Na tabela 4.19 foi analisado que a turbina nº4, em 2011, contava com um tempo de paragem muito elevado, e pela tabela 4.20 apresenta grandes perdas de produção. Assim foi mais uma vez feita a comparação entre as horas de paragem e a potência perdida antes e depois da instalação dos CMS.

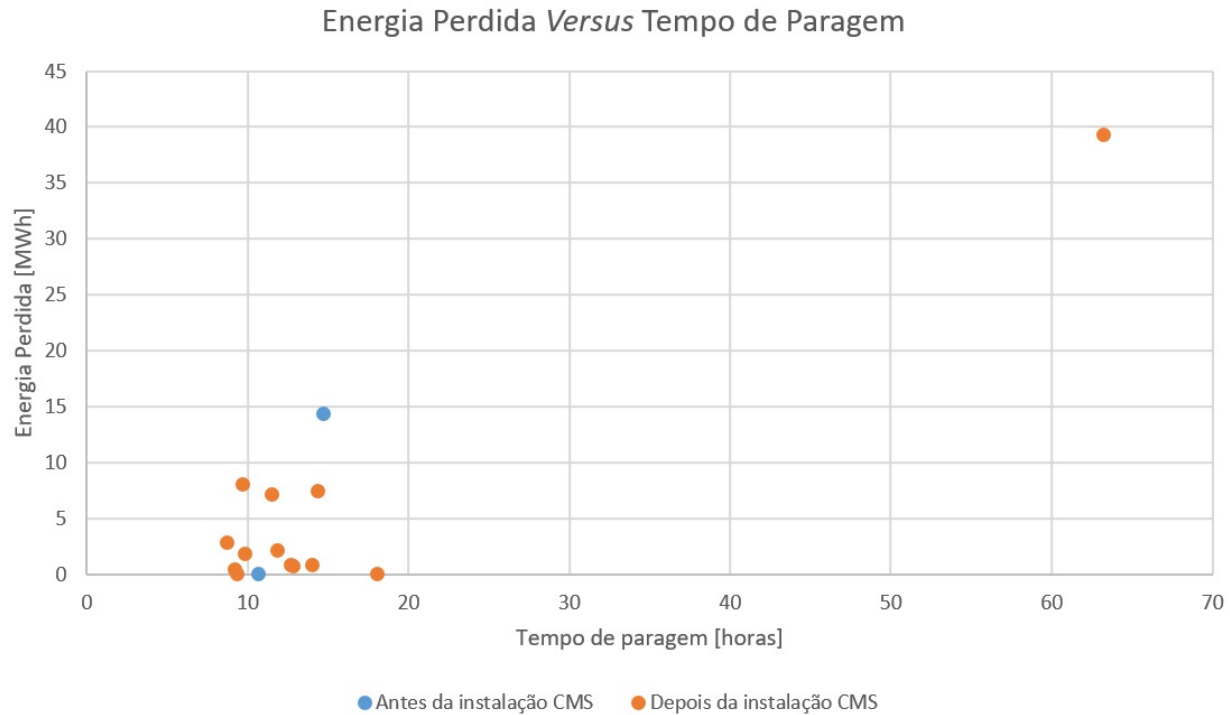


Figura 4.6: Comparação entre o tempo de paragem e a potência perdida na caixa multiplicadora antes e depois da instalação CMS no parque Chão Falcão I

Pela figura 4.6 pode ser observado que uma troca após a instalação dos CMS apresentou um tempo de paragem maior, comparada as restantes trocas.

### 4.3.3 Conclusão da análise do parque eólico da Chão Falcão I

No caso do PE da Chão Falcão I, pode ser verificado que a maior parte das trocas têm um tempo de paragem que ronda as 13 horas, exceto a primeira troca que ocorreu depois da instalação, na turbina nº4, totalizando um tempo de paragem de 63 horas e 10 minutos, mas pela tabela 4.20 pode ser observado que pela velocidade do vento houve uma perda de potência teórica menor, 623,5 kWh, em comparação com a potência perdida teórica na turbina nº2 antes da instalação dos CMS, sendo de 981,3 kWh, e com um tempo de paragem de 14 horas e 40 minutos.

## 4.4 Parque Eólico Freita

O PE da Freita apenas se presenciou uma troca no gerador, após a instalação dos CMS. Na caixa multiplicadora presenciaram-se 6 trocas antes da instalação dos CMS, e 10 trocas após a instalação dos mesmos.

### 4.4.1 Gerador

A única troca, representada na tabela 4.21, efetuada no parque Freita ocorreu na turbina nº4.

Tabela 4.21: Data da troca do rolamento no gerador da turbina 4 do parque Freita

Turbina Eólica	Início do Evento		Substituição dos Rolamentos	
	Antes da Instalação CMS	Depois da Instalação CMS	Início da Intervenção	Encerramento da Intervenção
//				
WTG04	//	18-06-2015	18-06-2015	19-06-2015

Tabela 4.22: Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas Freita antes da instalação dos CMS

Turbina Eólica	Início da Paragem	Fim da Paragem	Tempo de Paragem
WTG04	18-06-15	19-06-15	13 horas

O tempo de paragem durante a substituição, explícito na tabela 4.22, com um tempo de paragem de 13 horas, não é um valor muito acima, sendo considerado média, em comparação com os valores verificados anteriormente.

Tabela 4.23: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas Freita após a instalação dos CMS

Turbina Eólica	Velocidade Média Durante a Paragem [m/s]	Energia não produzida Teórica [kWh]	Energia não produzida Real [kWh]
WTG04	4,64	4118,4	2529,8

Durante o tempo em que a turbina esteve parada a média da velocidade do vento, durante as 13 horas de paragem, foi baixa, sendo que a potência perdida não foi elevada, como se pode verificar na tabela 4.23.

#### 4.4.2 Caixa Multiplicadora

Tabela 4.24: Data das trocas dos rolamentos nas caixas multiplicadoras das turbinas do parque Freita

Turbina Eólica	Início do Evento		Substituição dos Rolamentos	
	Antes da Instalação CMS	Depois da Instalação CMS	Início da Intervenção	Encerramento da Intervenção
//				
WTG01	05-03-2010	//	05-03-2010	05-03-2010
WTG06	03-03-2010	//	03-03-2010	03-03-2010
WTG07	04-03-2010	//	04-03-2010	04-03-2010
WTG04	01-03-2010	//	01-03-2010	01-03-2010
WTG01	18-02-2011	//	18-02-2011	18-02-2011
WTG03	19-02-2011	//	19-02-2011	19-02-2011
WTG04	//	22-02-2012	22-02-2012	22-02-2012
WTG07	//	23-02-2012	23-02-2012	23-02-2012
WTG03	//	14-05-2013	24-07-2013	25-07-2013
WTG07	//	10-10-2013	21-11-2013	21-11-2013
WTG01	//	21-02-2014	13-05-2014	13-05-2014
WTG06	//	17-02-2014	03-06-2014	03-06-2014
WTG02	//	14-10-2014	26-03-2015	26-03-2015
WTG06	//	16-02-2015	16-06-2015	16-06-2015
WTG01	//	26-03-2015	13-05-2015	13-05-2015
WTG07	//	16-04-2015	12-05-2015	12-05-2015

Tabela 4.25: Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas do parque Freita antes e depois da instalação dos CMS

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Início da Paragem</b>	<b>Fim da Paragem</b>	<b>Tempo de Paragem</b>
WTG01	05-03-10 09:00	05-03-10 16:50	8 horas
WTG06	03-03-10 08:30	03-03-10 18:00	9 horas e 40 minutos
WTG07	04-03-10 01:30	04-03-10 17:00	15 horas e 40 minutos
WTG04	01-03-10 09:20	01-03-10 18:50	9 horas e 40 minutos
WTG01	18-02-11 07:30	18-06-11 16:10	8 horas e 50 minutos
WTG03	19-02-11 07:20	20-02-11 02:20	19 horas e 10 minutos
WTG04	22-02-12 00:00	22-02-12 22:10	22 horas e 20 minutos
WTG07	23-02-12 07:10	23-02-12 17:00	10 horas
WTG03	24-07-13 01:00	25-07-13 14:10	37 horas e 30 minutos
WTG07	21-11-13 05:00	21-11-13 13:40	8 horas e 50 minutos
WTG01	13-05-14 02:50	13-02-12 13:50	11 horas e 10 minutos
WTG06	03-06-14 03:20	13-02-12 16:00	12 horas e 50 minutos
WTG02	26-03-14 04:10	26-03-14 12:40	8 horas e 40 minutos
WTG06	16-06-15 02:10	16-06-15 13:10	11 horas e 10 minutos
WTG01	13-05-15 02:10	13-05-15 12:50	10 horas e 50 minutos
WTG07	12-05-15 01:40	12-05-15 12:30	11 horas

Nas tabelas 4.24 e 4.25 verificam-se que as intervenções foram quase todas feitas num só dia, excluindo uma troca, na turbina nº3 em 2013, como se pode igualmente verificar com o tempo de paragem que sofreu.

Tabela 4.26: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas antes de depois a instalação dos CMS, no parque Freita

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Velocidade Média Durante a Paragem [m/s]</b>	<b>Energia não produzida Teórica [kWh]</b>	<b>Energia não produzida Real [kWh]</b>
WTG01	18,59	18188,3	13371,7
WTG06	4,22	1990,7	1565,5
WTG07	3,57	716,8	671,8
WTG04	10,48	14516,7	12597,7
WTG01	13,65	20065,8	17999,9
WTG03	2,15	51,7	33,3
WTG04	2,64	1404,8	1133,2
WTG07	5,49	2960	2091,7
WTG03	1,6	49,8	28,2
WTG07	8,02	8845	7240,6
WTG01	4,3	1997,3	1755,5
WTG06	2,33	171,6	126,6
WTG02	13,78	17763,5	16456,3
WTG06	2,97	115	103,4
WTG01	8,54	13302,6	10291,8
WTG07	7,79	10531,7	7750

Na tabela 4.26, pode ser observado que foi possível realizar as trocas, tanto antes como após a instalação dos CMS, em situações com menos vento, o que originou perdas de potência menor. O mesmo pode ser observado no gráfico da figura 4.7, as trocas tiveram tempos de paragem muito similares entre elas, exceto 1 troca que ocorreu após a instalação dos CMS onde se verificou um tempos de paragem mais elevado.

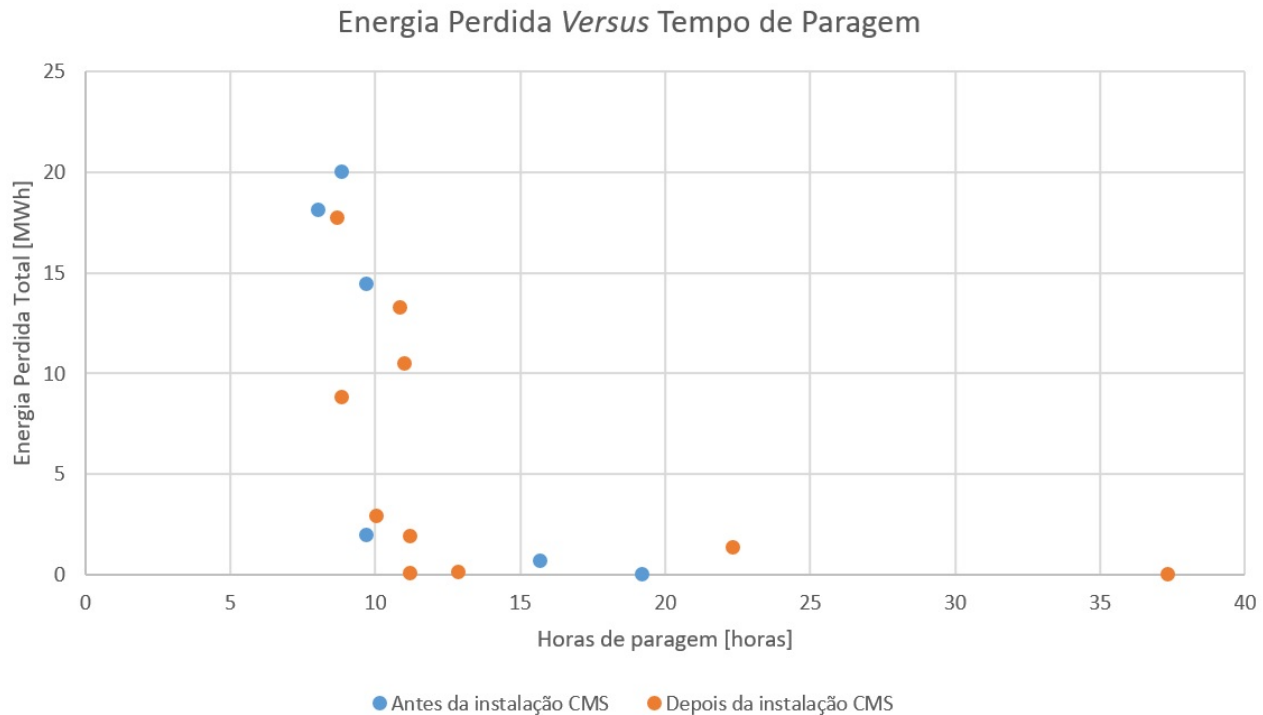


Figura 4.7: Comparação entre o tempo de paragem e a potência perdida na caixa multiplicadora antes e depois da instalação CMS no parque Freita

Na figura 4.7 uma troca sobressai das restantes, após a instalação dos CMS, com 37 horas e 30 minutos de inatividade durante a troca do rolamento, mas com uma perda de energia mínima, pois as velocidades do vento encontravam-se baixas durante o tempo de inatividade.

#### 4.4.3 Conclusão da análise do parque eólico da Freita

O tempo de paragem na única substituição ocorrida no gerador manteve-se nos valores médios dos últimos parques eólicos estudados. Mas no caso das trocas nas caixas multiplicadoras indica que tanto antes da instalação de CMS como depois não se verificaram muitas diferenças, sendo que os tempos de paragem têm-se mantidos similares, mesmo para o caso do ponto com cerca de 37 horas, troca após a instalação de CMS, em que decorreu a troca dos dois rolamentos (*LSS* e *HSS*) na caixa multiplicadora, obtendo, dessa maneira, um tempo de paragem mais elevado. No entanto, neste parque eólico, Freita, qualquer uma das trocas, antes da instalação de CMS, apresentaram tempos de paragem muito similares às trocas após a instalação dos mesmos.

## 4.5 Parque Eólico Lousã I

Para o PE da Lousã I, o único parque com turbinas de marcas e fornecedores diferentes, ocorreram trocas antes e depois da instalação dos CMS para ambos os componentes.

### 4.5.1 Gerador

No PE da Lousã I, das 14 turbinas, apenas 6 sofreram problemas e houve necessidade em realizar as trocas dos rolamentos. Para o caso deste parque, a informação foi logo retirada com a orientadora. Os primeiros dados estão explícitos na tabela 4.27.

Tabela 4.27: Data das trocas dos rolamentos nas caixas multiplicadoras das turbinas do parque Lousã I

Turbina Eólica	Início do Evento		Substituição dos Rolamentos	
	Antes da Instalação CMS	Depois da Instalação CMS	Início da Intervenção	Encerramento da Intervenção
//				
WTG04	05-12-2013	//	05-12-2013	06-12-2013
WTG14	07-12-2013	//	07-12-2013	07-12-2013
WTG01	//	18-05-2016	18-05-2016	18-05-2016
WTG01	//	19-05-2016	19-05-2016	19-05-2016

As quatro trocas presenciadas foram realizadas 2 antes da instalação dos CMS e 2 após. Foram, portanto, verificados os tempos de paragem das turbinas durante as intervenções, na tabela 4.28 são especificadas as datas em que as trocas ocorreram, e o tempo de paragem analisados.

Tabela 4.28: Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas Lousã I antes da instalação dos CMS

Turbina Eólica	Início da Paragem	Fim da Paragem	Tempo de Paragem
WTG04	05-12-13	06-12-13	32 horas e 40 minutos
WTG14	07-12-13	07-12-13	4 horas e 7 minutos
WTG01	18-05-16	18-05-16	8 horas e 40 minutos
WTG01	19-05-16	19-05-16	15 horas e 47 minutos

Foi analisado que a turbina 4 demorou mais algum tempo na troca, pouco mais de um dia, mas por outro lado, a turbina 14, teve um tempo de paragem muito baixo, sendo ótimo neste tipo de

situações.

Tabela 4.29: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem das turbinas Lousã I após a instalação dos CMS

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Velocidade Média Durante a Paragem [m/s]</b>	<b>Energia não produzida Teórica [kWh]</b>	<b>Energia não produzida Real [kWh]</b>
WTG04	1,9	0	0
WTG14	0,2	0	0
WTG14	5,4	4371,4	4371,4
WTG14	3,5	1404,4	1404,4

Na tabela 4.29 está demonstrada a média da potência perdida, como o tempo de inatividade sofrida pelas turbinas, as turbinas 4 e 14 estiveram inativas num durante uma duração em que se presenciaram ventos mínimos, que para estes casos podem ser considerados nulos, pois assim não decorreram perdas de produção de energia.

#### 4.5.2 Caixa Multiplicadora

Na tabela 4.30 estão representadas as trocas que ocorreram nas caixas multiplicadoras das várias turbinas do parque eólico Lousã I.

Tabela 4.30: Data das trocas dos rolamentos nas caixas multiplicadoras das turbinas do parque Lousã I

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Início do Evento</b>		<b>Substituição dos Rolamentos</b>	
	<b>Antes da Instalação CMS</b>	<b>Depois da Instalação CMS</b>	<b>Início da Intervenção</b>	<b>Encerramento da Intervenção</b>
//				
WTG06	20-01-2014	//	20-01-2014	24-01-2014
WTG09	19-11-2013	//	18-02-2014	20-02-2014
WTG01	27-05-2014	//	28-10-2014	04-11-2014
WTG07	//	14-07-2015	14-07-2015	16-07-2015
WTG04	//	15-01-2016	18-01-2016	21-01-2016
WTG10	//	20-08-2015	31-05-2016	02-06-2016
WTG11	//	02-11-2016	02-11-2016	03-11-2016

É feita, como para os casos anteriores, a distinção antes e depois da instalação dos CMS. Para antes da instalação verifica-se na tabela 4.31, que a turbina 6 esteve parada durante bastante tempo,

o que causou uma grande perda de oportunidade de produção de energia. Para a turbina 1, incluído nas 72 horas e 37 minutos está o alinhamento, sendo que a troca finalizou-se no dia 3 de novembro de 2014, mas devido aos ventos altos, não foi possível realizar o alinhamento, perdendo assim quase 1 dia com a turbina parada, causando grandes perdas de energia, observado na tabela 4.32, na presença de velocidades de vento altos. No caso das trocas após a instalação dos CMS, ocorreram num espaço de 2 a 4 dias, tabela 4.31, mas em compensação, durante essas intervenções, as médias das velocidades do vento foram baixas, originando assim, perdas de energia inferior, comparado com as trocas antes da instalação dos CMS, observado na tabela 4.32. Após a instalação de CMS ocorreram, igualmente, trocas num espaço de 2 a 4 dias, tabela 4.31, mas em compensação, para cada troca, a velocidade do vento foi baixa, causando uma perda de potência escassa.

Tabela 4.31: Tempo de paragem das intervenções ocorridas na caixa multiplicadora das turbinas da Lousã I

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Início da Paragem</b>	<b>Fim da Paragem</b>	<b>Tempo de Paragem</b>
WTG06	20-01-14	24-01-14	120 horas
WTG06 (Alinhamento)	24-01-14	24-01-14	4 horas
WTG09	18-01-14	20-02-14	51 horas e 48 minutos
WTG01 (10/14)	28-10-14	31-10-14	86 horas e 30 minutos
WTG01 (11/14)	01-11-14	04-11-14	72 horas e 37 minutos
WTG07	14-07-15	16-07-15	57 horas e 10 minutos
WTG04	18-01-16	21-01-16	80 horas e 50 minutos
WTG10 (05/16)	31-05-16	31-05-16	10 horas
WTG10 (06/16)	01-06-16	02-06-16	44 horas e 38 minutos
WTG11	02-11-16	04-11-16	55 horas

Tabela 4.32: Contabilização da potência perdida ao longo do tempo de paragem no parque eólico Lousã I

<b>Turbina Eólica</b>	<b>Velocidade Média Durante a Paragem[m/s]</b>	<b>Energia não produzida Teórica [kWh]</b>	<b>Energia não produzida Real[kWh]</b>
WTG06	7,9	194304	194304
WTG06	9,4	9139,2	9139,2
WTG09	9,3	116736,5	116736,5
WTG01	15	218845	218845
WTG01	9,6	169640,3	169640,3
WTG07	5,7	24068,6	24068,6
WTG04	4	13823,6	13823,6
WTG10	0,3	0	0
WTG10	3,1	1687	1687
WTG11	2,1	0	0

É novamente realizada após a análise dos tempos de paragens e das potências não produzidas durante essas mesmas paragens, a comparação entre as trocas ocorridas antes e depois da instalação dos CMS. O que se pode observar na figura 4.8 as paragens, em relação ao tempo de demora da intervenção, foram muito parecidas, mas a partir dos alarmes provocados pelas frequências anormais causadas pelos rolamentos, foi possível, pela empresa responsável, detetar de maneira precoce alguma futura falha nos rolamentos, ao detetar estas frequências foi possível planear uma troca futura, para alturas em que os ventos não tivessem velocidades elevadas, e evitar muitas perdas de energia, e igualmente, com o aviso do sensor CMS, evitar uma avaria pior do que as trocas dos rolamentos em si.

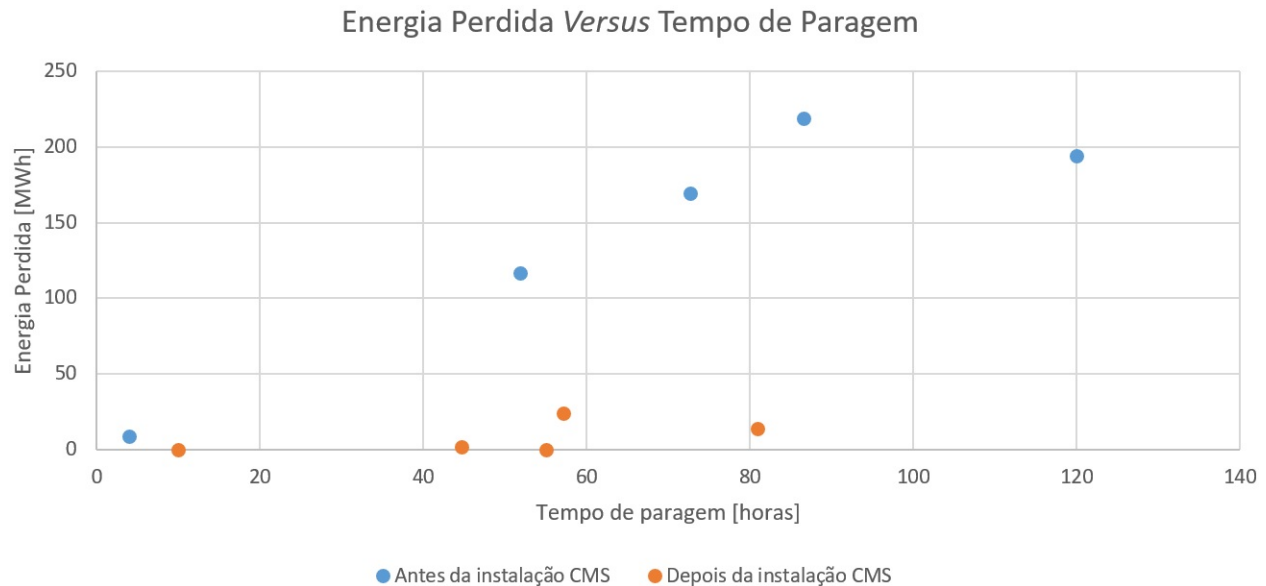


Figura 4.8: Comparação entre o tempo de paragem e a potência perdida na caixa multiplicadora antes e depois da instalação CMS no parque Lousã I

### 4.5.3 Conclusão da análise do parque eólico da Lousã I

Apenas os valores da potência teórica foram estudados para o parque eólico da Lousã I, dessa forma, foram considerados os mesmos valores para a potência real. Assim, para a Lousã I, umas das trocas no gerador foi de 4 horas, tempo de substituição mínimo comparado com qualquer outra troca, no gerador, indicada no trabalho. Sendo que para as restantes substituições, embora tendo mais tempos de substituição, as potências perdidas foram pequenas, pois não se verificaram altas velocidades do vento nessa altura. No caso da caixa multiplicadora, devido às substituições com tempos de paragem bastante elevados, o que causou uma grande perda de potência. Na turbina eólica nº6, em 2014, verificou-se um enorme tempo de paragem, pois no decorrer da substituição presenciaram-se ventos fortes, provocando uma suspensão nos trabalhos, levando assim ao prolongamento dessa mesma substituição.

## 4.6 Análise dos custos de paragem

Na tabela 4.33 estão representados os valores das tarifas contratadas para a venda de energia elétrica por horas aplicada a cada turbina eólica.

Tabela 4.33: Tarifa por turbina eólica de cada parque por hora, em euros (€/TE.h)

	Parque Eólico				
	Achada	Arcela	Chão Falcão I	Freita	Lousã I
<b>Janeiro</b>	84,47	76,87	87,74	95,20	83,23
<b>Fevereiro</b>	99,53	87,05	92,90	101,26	86,03
<b>Março</b>	95,12	79,62	82,45	92,90	81,62
<b>Abril</b>	76,11	64,00	83,91	65,53	63,15
<b>Mai</b>	89,06	64,18	88,99	56,32	43,26
<b>Junho</b>	92,05	61,95	88,22	39,11	26,14
<b>Julho</b>	114,37	81,45	87,04	30,03	25,82
<b>Agosto</b>	86,39	74,27	91,63	32,78	24,30
<b>Setembro</b>	43,52	48,16	85,06	40,81	30,13
<b>Outubro</b>	37,36	58,88	85,51	81,66	64,46
<b>Novembro</b>	44,11	64,76	86,93	84,30	81,91
<b>Dezembro</b>	50,38	68,57	104,56	70,78	88,64

Nas tabelas 4.34 e 4.35 estão representados os valores da duração do tempo de paragem, por mês e e pela altura da instalação dos sensores CMS, para cada um dos parques estudados. Cada um dos valores foram somados a partir das tabelas de cada um dos capítulos de cada um dos parques eólicos com os tempos de paragem, antes e depois da instalação de CMS, bem como o ano e o mês correspondente ao tempo de paragem das trocas verificadas. E uma vez os tempos somados num total, apenas para o PE da Lousã I verifica-se um tempo de paragem maior antes da instalação de CMS.

Tabela 4.34: Tempo de paragem por mês, consoante o período de instalação de CMS, dos parques eólicos Achada, Arcela e Chão Falcão I [h:m:s]

	Achada		Arcela		Chão Falcão I	
	Antes CMS	Depois CMS	Antes CMS	Depois CMS	Antes CMS	Depois CMS
<b>Janeiro</b>	//	//	//	15:49:48	//	//
<b>Fevereiro</b>	//	//	//	//	206:00:00	18:20:24
<b>Março</b>	//	22:30:00	//	18:49:48	25:20:24	09:19:48
<b>Abril</b>	//	//	//	//	//	12:40:12
<b>Mai</b>	//	//	//	//	//	//
<b>Junho</b>	//	//	//	//	//	23:30:00
<b>Julho</b>	//	//	//	//	//	27:49:48
<b>Agosto</b>	//	//	//	//	//	//
<b>Setembro</b>	//	12:30:00	//	//	//	110:29:24
<b>Outubro</b>	//	//	//	//	//	11:19:48
<b>Novembro</b>	//	//	//	//	08:10:12	63:10:12
<b>Dezembro</b>	//	//	//	10:10:12	10:40:12	11:30:00
<b>Total</b>	//	35:00:00	//	44:49:48	250:10:48	288:09:36

Tabela 4.35: Tempo de paragem por mês, consoante o período de instalação de CMS, dos parques eólicos Freita e Lousã I [h:m:s]

	Freita		Lousã I	
	Antes CMS	Depois CMS	Antes CMS	Depois CMS
<b>Janeiro</b>	//	//	124:00:00	80:50:24
<b>Fevereiro</b>	28:00:00	32:19:48	51:48:00	//
<b>Março</b>	43:00:36	08:40:12	//	//
<b>Abril</b>	//	//	//	//
<b>Mai</b>	//	33:00:00	24:27:00	34:27:00
<b>Junho</b>	//	37:00:00	//	44:37:48
<b>Julho</b>	//	37:19:48	//	57:10:12
<b>Agosto</b>	//	//	//	//
<b>Setembro</b>	//	//	//	//
<b>Outubro</b>	//	//	86:30:00	//
<b>Novembro</b>	//	08:49:48	72:37:12	55:00:00
<b>Dezembro</b>	//	//	36:47:24	//
<b>Total</b>	71:00:36	157:09:36	371:42:36	272:05:24

## 5 Análise dos Resultados

Uma vez a análise finalizada foram reunidas as variáveis pretendidas de forma a ser possível estabelecer uma relação entre as trocas dos rolamentos antes e após a instalação dos sensores CMS. Para cada uma das variáveis estudadas, tempo de paragem, potência teórica e potência real, será apresentado o total para cada componente e o correspondente à instalação de CMS. Inicialmente é necessário saber as substituições ocorridas, as mesmas foram apresentadas anteriormente no capítulo da análise de dados, serão igualmente apresentados neste ponto, indicadas nas figuras 5.1 e 5.2, com a representação de cada parque e bem como o total das trocas realizadas, para cada componente, antes e depois da instalação dos sensores CMS.

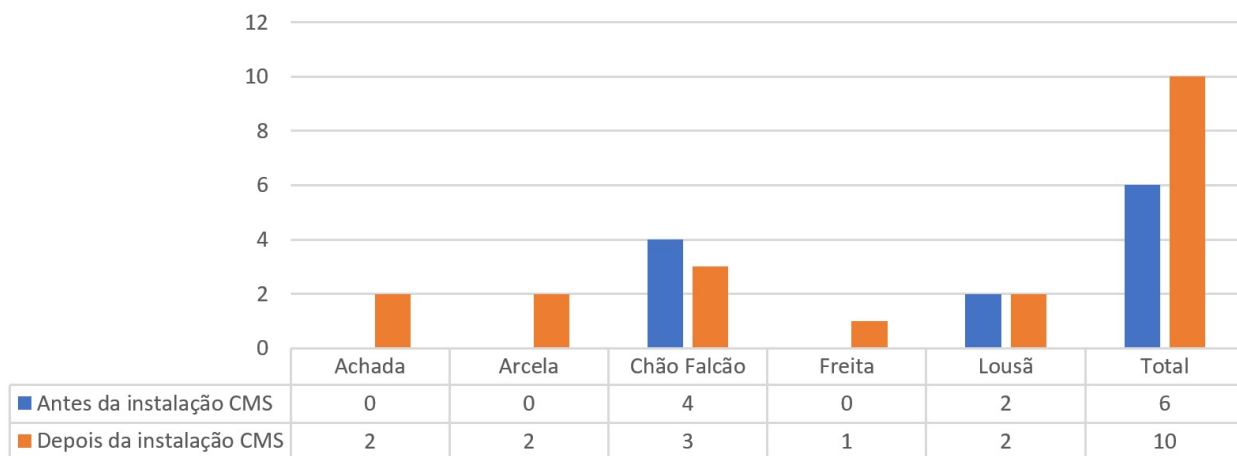


Figura 5.1: Trocas ocorridas entre 2007 e 2016 nos geradores das turbinas eólicas em estudo

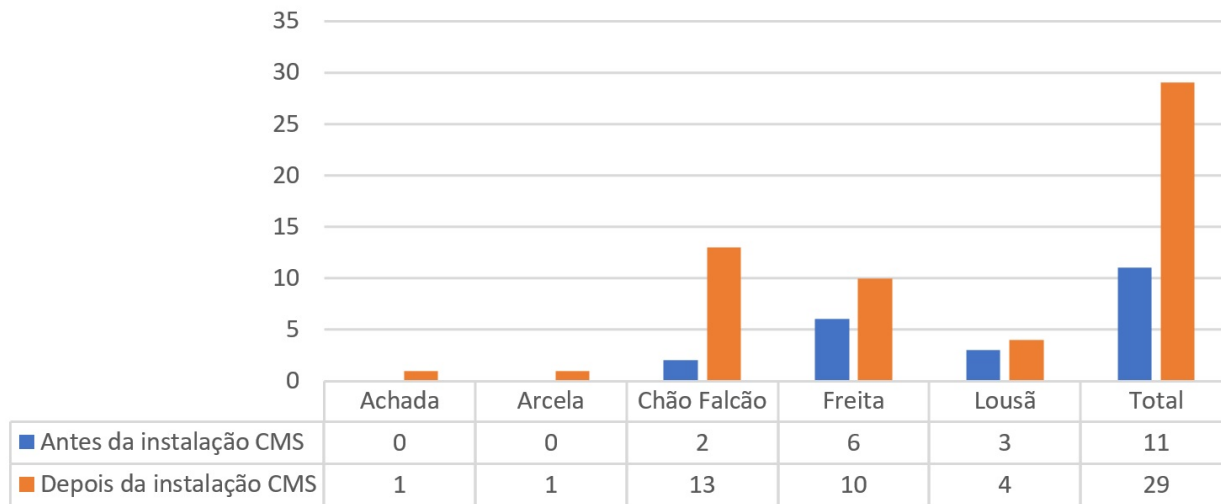


Figura 5.2: Trocas ocorridas entre 2007 e 2016 nas caixas multiplicadoras das turbinas eólicas em estudo

Na tabela 5.1 está indicado o total do tempo de paragem, como a energia perdida total, tanto teórica com real, durante as trocas na íntegra.

Tabela 5.1: Total do tempo de paragem e da energia perdida, teórica e real

Total		
Tempo de Paragem	1490:08:24	horas
Energia Perdida [Teórica]	1263,3	MWh
Energia Perdida [Real]	1216,1	MWh

Na figura 5.3 estão representados os tempos de paragem, para ambos os componentes, antes e depois da instalação dos CMS. Pode ser observado que para o gerador o tempo de paragem total foi maior antes da instalação dos CMS, mesmo tendo ocorrido menos substituições durante esse período. Para o caso da caixa multiplicadora o seu tempo de paragem é maior depois da instalação dos CMS, o que nas trocas dos rolamentos se verifica o mesmo, ocorreram mais após a instalação dos mesmos.

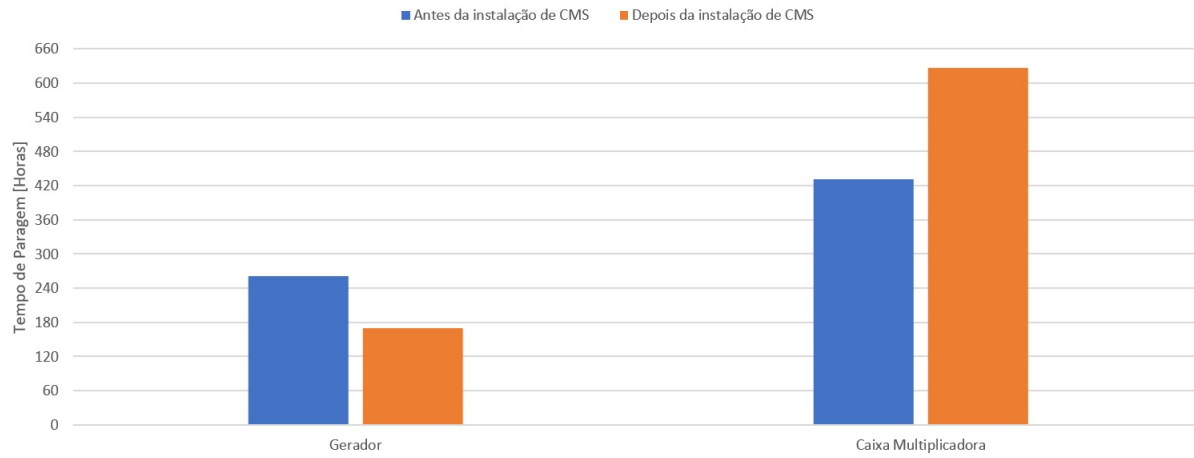


Figura 5.3: Tempo total de paragem por componente e correspondente à instalação de CMS

Para uma comparação do tempo de paragem foi determinado o tempo médio de paragem por substituição, figura 5.4, e foi verificado que os valores médios foram sempre maiores antes da instalação dos CMS.

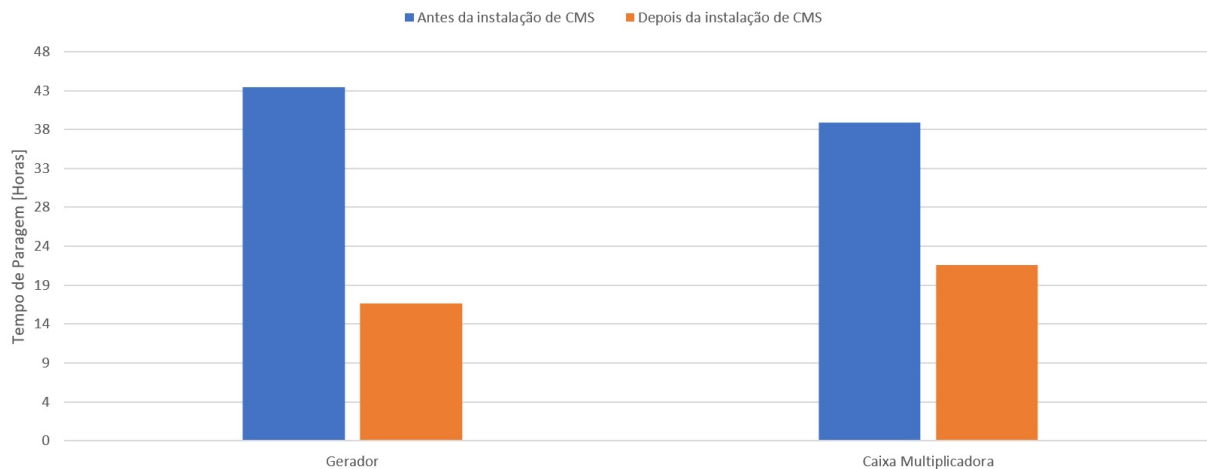
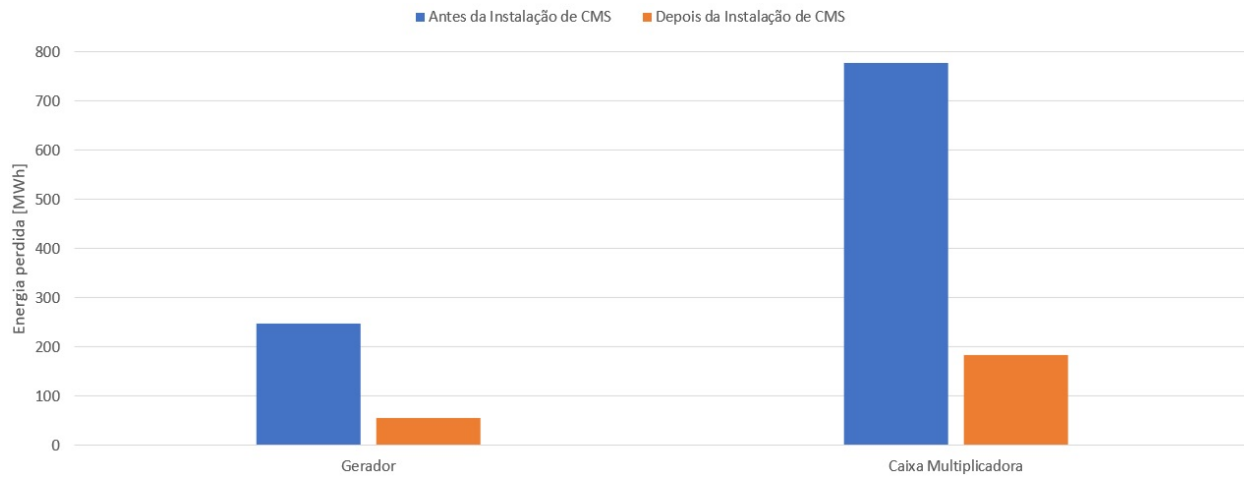
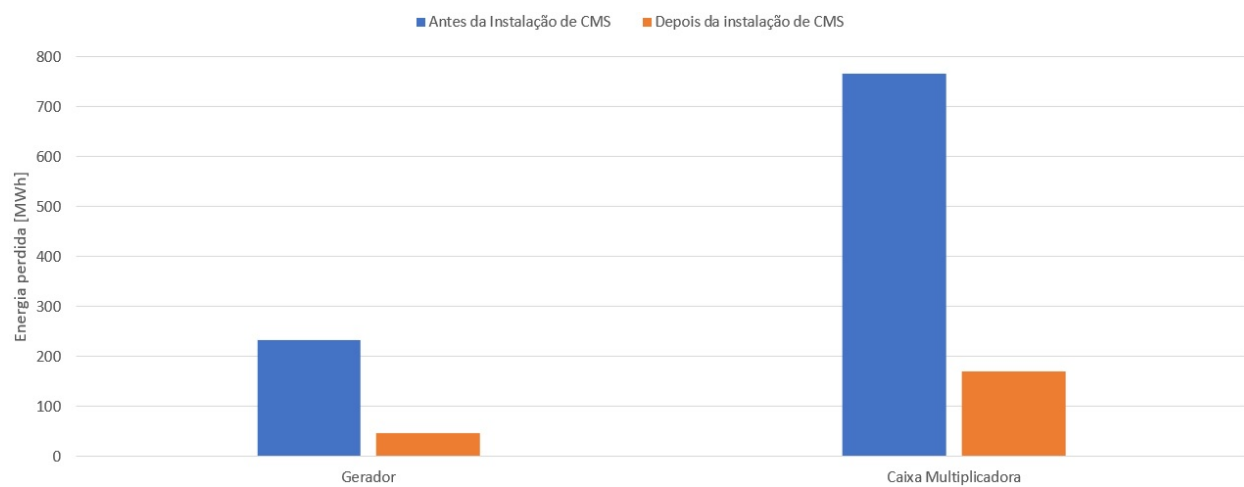


Figura 5.4: Tempo médio de paragem por troca e por componente e correspondente à instalação de CMS

Para cada substituição, as turbinas eólicas permanecem paradas até estarem totalmente funcionais, e durante esse período, como foi escrito previamente no relatório, as turbinas perdem a oportunidade de produzir energia.



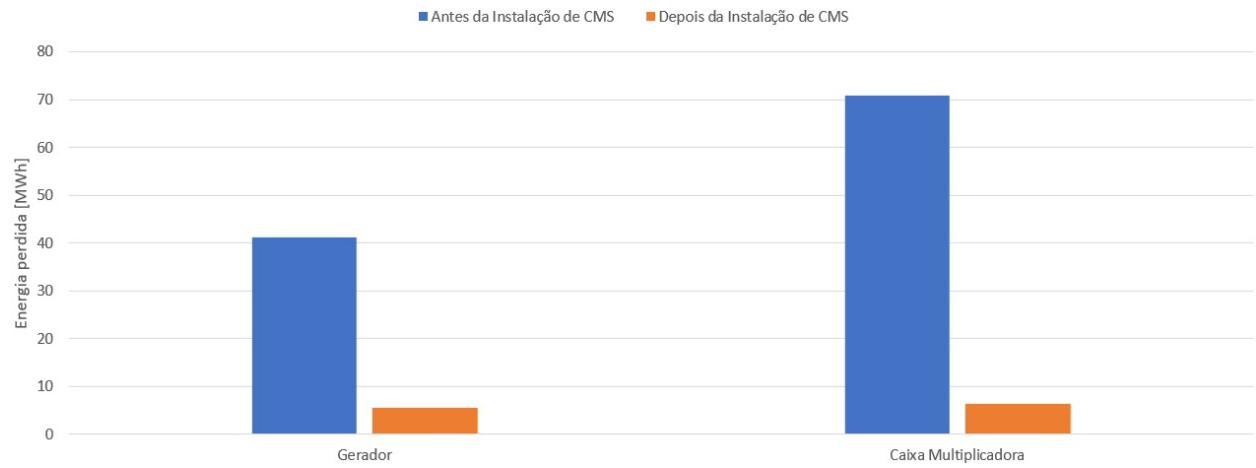
(a) Potência, teórica, total perdida para cada componente, antes e depois da instalação de CMS



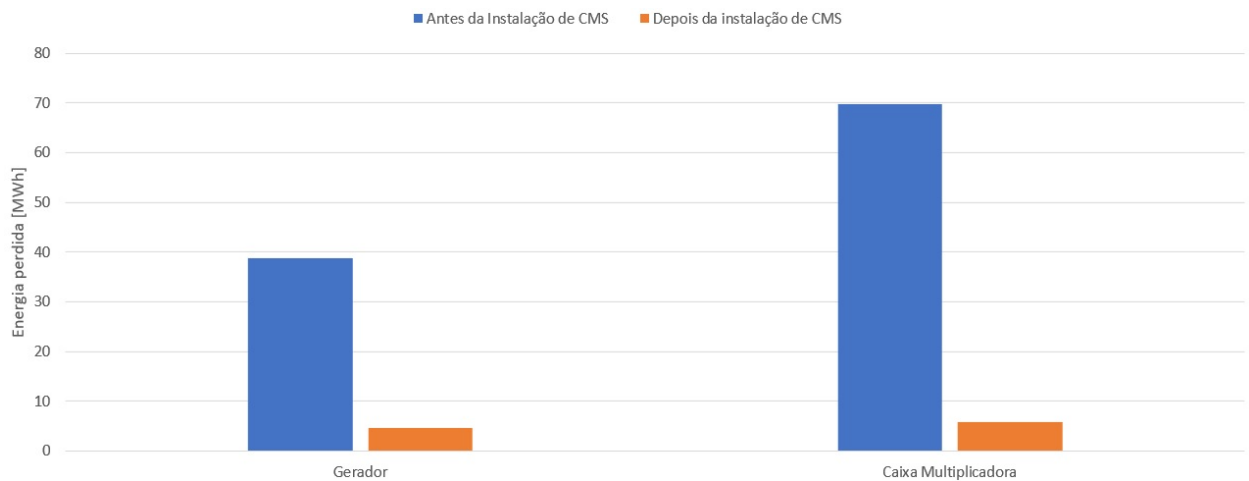
(b) Potência, real, total perdida para cada componente, antes e depois da instalação de CMS

Figura 5.5: Potência total perdida, teórica e real

Pelas figuras 5.5a e 5.5b constata-se que as potências perdidas teóricas e reais não diferem muito entre si. Pode ser observado que a potência perdida total foi maior antes da instalação dos CMS, tanto para o gerador como para a caixa multiplicadora, mesmo com menos substituições antes da instalação dos sensores. Nas figuras 5.6a e 5.6a estão representados os valores médios de potência perdida por troca de rolamento, e o mesmo caso se verifica com estes valores, a potência perdida média por troca é sempre maior antes da instalação dos CMS.



(a) Potência, teórica, total perdida para cada componente, antes e depois da instalação de CMS, por troca ocorrida



(b) Potência, real, total perdida para cada componente, antes e depois da instalação de CMS, por troca ocorrida

Figura 5.6: Potência total perdida, teórica e real, por rolamento substituído

Como foi referenciado anteriormente no relatório, o rolamento instalado na caixa multiplicadora, no veio de alta velocidade, por via de estudo, indica que tem tendência em falhar mais vezes comparado com os restantes rolamentos numa mesma turbina eólica [26], [23].

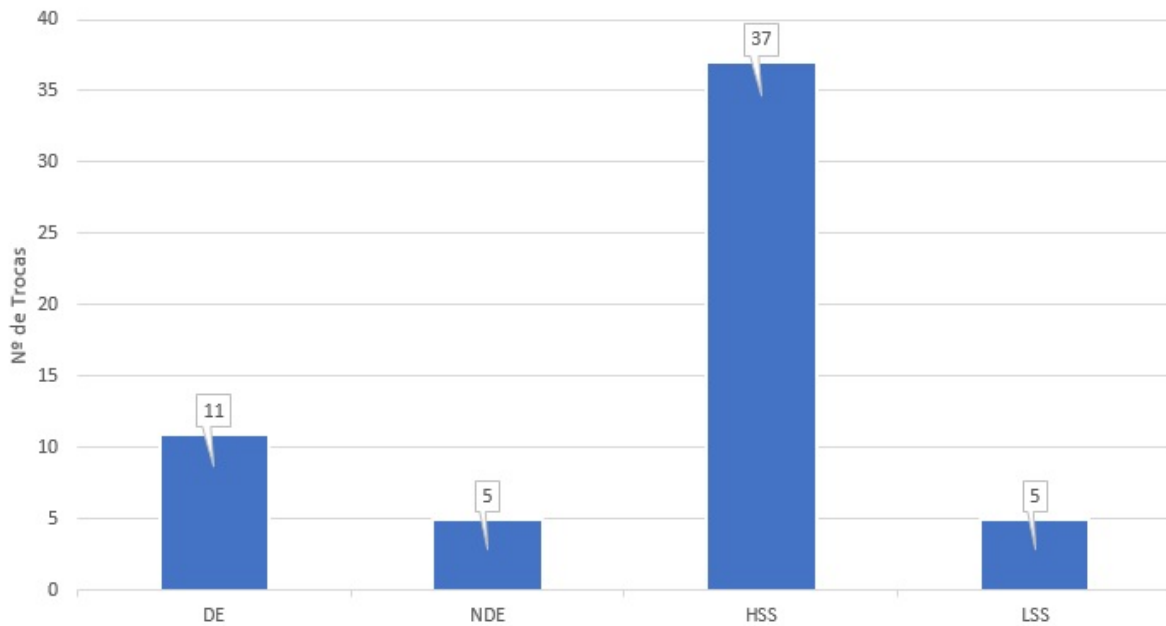


Figura 5.7: Quantidade de trocas para cada tipo de rolamento

A figura 5.7 confirma o que foi referido anteriormente no capítulo relativo às avarias típicas, e as suas respetivas trocas, que os rolamentos, *High Speed Shaft* (HSS), tiveram que ser trocados mais vezes, devido às suas rotações elevadas. E além do número de vezes em que os rolamentos foram trocados, foi registado uma média do tempo de paragem, figura 5.8, com valor mais elevado, comparado com os restantes, desta forma, devido a essas inatividades, a caixa multiplicadora é o componente com mais tempo de paragem.

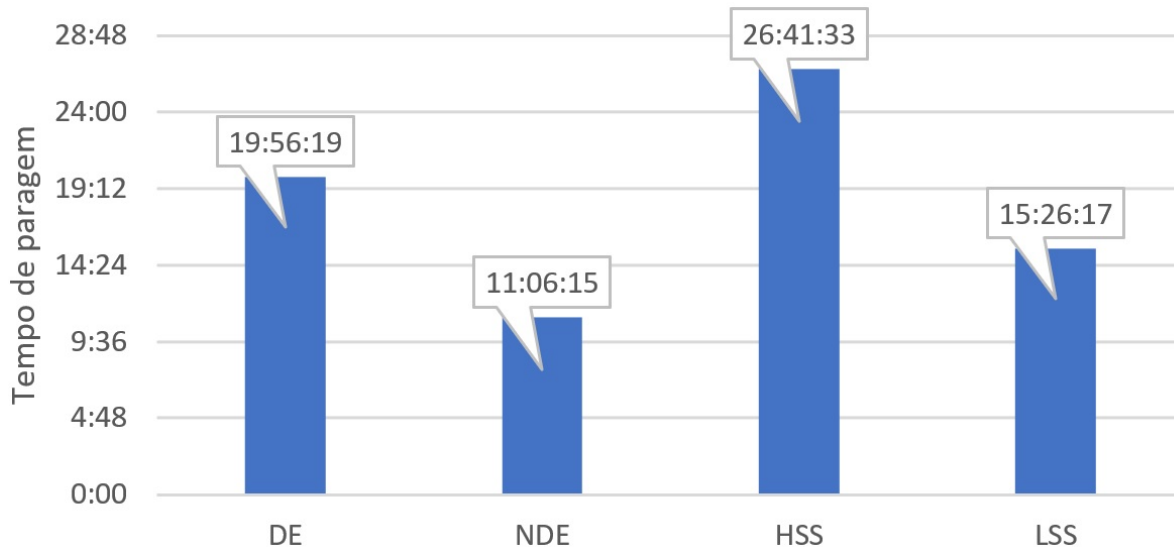


Figura 5.8: Tempo de paragem média para cada tipo de rolamento

Com as informações financeiras analisadas no capítulo referente à análise dos dados, foi possível calcular as perdas financeiras, em euros (€), a partir do tempo de paragem devido às substituições dos rolamentos, ou seja, para cada mês do ano, um orçamento é determinado, com a tabela 4.33, equivalente à tarifa por turbina eólica de cada parque por hora, em euros, e pelas tabelas 4.34 e 4.35, do capítulo anterior, indicadoras dos tempos de paragem no mês em que ocorreram as trocas, e o valor monetário correspondente a cada mês, por hora e por turbina na tabela 4.33. Para uma análise mais pormenorizada foi também verificado o número de turbinas eólicas que sofreram intervenções antes da instalação dos CMS e depois, tabela 5.2.

Tabela 5.2: Turbinas eólicas sujeitas a intervenção

PE	Antes da instalação dos CMS	Depois da instalação dos CMS
Achada	0	2
Arcela	0	3
Chão Falcão I	6	11
Freita	5	6
Lousã I	5	5
Total	16	27

Posteriormente encontram-se duas tabelas finais em relação aos tempos de paragem e das perdas financeiras por PE e por TE intervencionada. Na primeira tabela, tabela 5.3, encontram-

se as turbinas intervencionadas, os tempos de paragem para cada PE consoante a instalação dos sensores e bem como os tempos médios de paragem por TE intervencionadas. Pode ser verificado que apenas para o PE da Lousã I o tempo de paragem foi maior antes da instalação dos CMS. Mas o único PE com um tempo médio de paragem por TE intervencionada maior é da Freita. E na totalidade verifica-se cerca de 100 horas a mais após a instalação dos CMS.

Tabela 5.3: Comparação dos tempos de paragem consoante o número de TE intervencionadas

PE	Instalação dos CMS	TE Intervencionada	Tempos de paragem [h:m:s]	Paragem média por TE intervencionada [h:m:s]
Achada	Antes	0	0:00:00	0:00:00
	Depois	2	35:00:00	17:30:00
Arcela	Antes	0	0:00:00	0:00:00
	Depois	3	44:49:48	14:56:36
Chão Falcão I	Antes	6	250:10:48	41:41:48
	Depois	11	288:09:36	26:11:47
Freita	Antes	5	71:00:36	14:12:07
	Depois	6	157:09:36	26:11:36
Lousã I	Antes	5	371:42:36	74:20:31
	Depois	5	272:05:24	54:25:05
Total	Antes	16	692:54:00	43:18:23
	Depois	27	797:14:24	29:31:39

Na tabela 5.4 estão representados os valores da perda financeira por PE e a perda média por TE intervencionada desses mesmos valores. E pode ser verificado que o único PE eólico com maior perda financeira antes da instalação dos CMS é o da Lousã I, mas é no PE da Freita que se verifica uma perda média financeira por TE intervencionada maior depois da instalação dos CMS. Na íntegra a perda é maior antes da instalação dos CMS, e como se presenciaram menos turbinas intervencionadas antes da instalação dos CMS, a perda média por cada uma dessas turbinas eólicas é maior.

Tabela 5.4: Comparação das perdas financeiras consoante o número de TE intervencionadas

PE	Instalação dos CMS	TE Intervencionada	Perda Financeira [€]	Perda média por TE intervencionada [€]
Achada	Antes	0	0 €	0 €
	Depois	2	$2,7 \times 10^3$ €	$1,3 \times 10^3$ €
Arcela	Antes	0	0 €	0 €
	Depois	3	$3,4 \times 10^3$ €	$1,1 \times 10^3$ €
Chão Falcão I	Antes	6	$23,1 \times 10^3$ €	$4,0 \times 10^3$ €
	Depois	11	$25,1 \times 10^3$ €	$2,3 \times 10^3$ €
Freita	Antes	5	$6,8 \times 10^3$ €	$1,4 \times 10^3$ €
	Depois	6	$9,2 \times 10^3$ €	$1,5 \times 10^3$ €
Lousã I	Antes	5	$29,6 \times 10^3$ €	$5,9 \times 10^3$ €
	Depois	5	$15,4 \times 10^3$ €	$3,1 \times 10^3$ €
Total	Antes	16	$59,5 \times 10^3$ €	$3,8 \times 10^3$ €
	Depois	27	$55,9 \times 10^3$ €	$2,1 \times 10^3$ €

Além do o tempo de paragem total ser maior após a instalação dos CMS, foi verificado que a perda total financeira foi maior antes da instalação dos mesmos.



## 6 Conclusão

Inicialmente apenas as substituições dos rolamentos no gerador foram contabilizadas, mas como não ocorreram muitas trocas antes e depois da instalação para conseguir efetuar um estudo mais aprofundado, optou-se por fazer a mesma análise com as caixas multiplicadoras, obtendo assim mais substituições de rolamentos. Após analisadas as datas dos comissionamento foi constatado que ocorreram mais substituições depois da instalação dos sensores CMS do que antes da instalação dos mesmos, sendo o motivo o envelhecimento das turbinas eólicas, dando origem a mais substituições devido ao desgaste.

Para o parque eólico Achada, em que as 3 trocas foram realizadas consoante o alarme por parte dos sensores CMS, sendo assim, com agendamento antecipado, no que resultou num tempo de paragem médio de 11 horas, incluindo na troca, os testes e voltar a colocar as turbinas em funcionamento. Para o parque da Arcela, igualmente com 3 trocas após a instalação dos CMS, em que 2 trocas encontram-se com tempos de paragem ligeiramente acima das trocas do PE da Achada, para a turbina nº5 como as velocidades do vento foram baixas, as suas perdas de potência foram, da mesma forma, baixas.

Para o parque eólico da Chão Falcão I, as trocas apresentam tempos de paragem entre aproximadamente 8 horas a cerca de 15 horas, excluindo a primeira troca que ocorreu depois da instalação dos CMS, com valores de tempos de paragem e de energia perdida elevados. No parque da Freita a troca no gerador encontra-se com valores próximos dos restantes PE, na caixa multiplicadora encontra-se uma troca, após a instalação dos CMS, com um tempo de paragem maior, devido ao fato de aproveitarem o momento de paragem da turbina e trocaram logo os dois rolamentos. Para a Lousã I, que foi apenas estudado com valores teóricos, apresentou no gerador uma troca com um tempo de paragem elevado, devido à presença de ventos com velocidades muito elevadas, ou seja, originaram esforços violentos na turbina eólica, sendo assim impossível conseguir realizar dentro de tempos mais curtos. Nas restantes trocas verifica-se tempos de paragem maiores comparadas com os restantes parque eólicos, mas após a instalação dos CMS, com o estado de condição dos rolamentos, foi possível proceder-se às trocas com velocidades de ventos baixos.

Em relação ao gerador presenciou-se um tempo de paragem total próximo de 260 horas, para

um conjunto de 6 trocas, antes da instalação dos CMS, sendo que após a instalação dos mesmos, com um total de 10 trocas, o tempo de paragem foi de aproximadamente 170 horas. No entanto, para o caso da caixa multiplicadora, com 11 trocas, verificou-se um tempo de paragem de cerca de 430 horas antes da instalação dos CMS, e com 29 trocas, após a instalação, deu-se um tempo de paragem em torno de 67 horas. Quando estes valores totais por componente são divididos pelo número de trocas ocorridas, determinou-se que os tempos de paragens por troca são superiores antes da instalação. Nos valores da potência perdida, teórica e real, o somatório foi maior antes da instalação, tanto para o gerador com a caixa multiplicadora, bem como a potência perdida por substituição. Nisto, foi analisado que o rolamento *HSS* sofreu mais falhas, sendo assim o tipo de rolamento com mais substituições.

Com o orçamento de cada um dos parques eólicos obteve-se o valor da energia vendida por hora aplicada a cada uma das turbinas eólicas para cada mês num ano. Sendo que no PE da Chão Falcão foi obtido de forma diferente. Assim, apenas no PE da Freita os valores foram maiores após a instalação dos CMS, mas para o PE, onde houve turbinas intervencionadas após a instalação dos CMS, contudo os valores médios por TE intervencionada são superiores antes da instalação dos mesmos. Por conseguinte, nos valores totais, o somatório dos tempos de paragem e das perdas financeiras foram maiores após a instalação dos CMS, mas quando realizada a comparação por turbina intervencionada é analisado que os tempos de paragem e as perdas financeiras são superiores antes da colocação dos sensores CMS.

Os sensores CMS, permitem aos responsáveis de manutenção decidir qual o melhor momento para se proceder à substituição de componentes danificados. A informação enviada de um sistema CMS pode auxiliar para conseguir descobrir e localizar algum problema que não foi detetado anteriormente. Assim, além dos planos de manutenção elaborados pelos próprios fabricantes, e das equipas de manutenção de parques eólicos estarem providas de informações atempadas para a realização de uma manutenção mais eficiente, certas inspeções são baseadas na monitorização constante nas turbinas, sendo possível realizar numerosas substituições com preparação prévia, e desta maneira é possível concluir, com a aplicação prática deste estudo, permite assim assegurar à *Iberwind*, a instalação de mais sensores CMS.

## 6.1 Trabalhos Futuros

Para acentuar a certeza da vantagem dos sistemas CMS é fundamental aprofundar alguns tópicos, como a necessidade de pesquisas adicionais para determinar se as tendências são semelhantes noutros parques eólicos, com turbinas eólicas de marcas diferentes, com as mesmas variáveis estudadas neste próprio trabalho. Outra questão será de aplicar o mesmo modelo de análise de dados no caso da monitorização da condição do óleo, diretamente aplicada nas caixas multiplicadoras.



## Referências


- [1] ISUU:  
<https://issuu.com/wwindea/docs/wwbulletinissue3>. Consultado em Novembro 20, 2017.
- [2] APREN:  
<http://www.revistaespacios.com/a15v36n08/15360801.html>. Consultado em Junho 18, 2018.
- [3] Araújo, E. "*Avaliação de Parques Eólicos Portugueses*". Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança, 2013.
- [4] Mesquita Brandão, R. F, Beleza Carvalho, J. A. "*The Importance of Control Monitoring in Wind Parks Maintenance*". *British Journal of Applied Science & Technology*, pp. 1461–1471, 2014, Vol.:4, Issue 4.
- [5] APREN:  
<https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/potencia>. Consultado em Janeiro 12, 2018.
- [6] Takoutsing P, Wamkeue R, Ouhrouche M, Slaoui-Hasnaoui F, Tameghe T, Ekemb G, "*Wind Turbine Condition Monitoring: State-of-the-Art Review, New Trends, and Future Challenges*". *Energies* 2014.
- [7] Spare in Motion:  
<https://www.sparesinmotion.com/wind-turbine-parts/generators/elin-505506e>. Consultado em Dezembro 15, 2017.
- [8] Winergy Group:  
<https://www.winergy-group.com/en/videos>. Consultado em Dezembro 15, 2017.
- [9] NTNGlobal: <https://www.ntnglobal.com/en/news/press/news201400061.html>. Consultado em Janeiro 26, 2018.
- [10] Christopher A, W. "*Wind Turbine Reliability: Understanding and Minimizing Wind Turbine Operation and Maintenance Costs*". Sandia National Laboratories, March 2006.
- [11] Krueger M, Haghani A, Ding S. X, Jeinsch T, Engel P. "*A Data-Driven Maintenance Support System for Wind Energy Conversion Systems*". *Proceedings of the 19th World Congress, The International Federation of Automatic Control*, Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014.
- [12] "*Report on Wind Turbine Subsystem Reliability - A Survey of Various Databases*". Shuangwen (Shawn) Sheng, National Renewable Energy Laboratory, June 2013.
- [13] "*Global Wind Report - Annual Market Update 2016*". GWEC (Global Wind Energy Council)
- [14] Selênia R, S. "*Tecnologia em Aerogeradores*". Curso de Especialização em Energia Eólica, Belo Horizonte, 19 de junho de 2013.
- [15] R. F. M. Brandão, J. A. Beleza Carvalho, F. P. Marciel Barbosa, "*Forecast of faults in a wind turbine gearbox*". *Elektro*, 2012.

- [16] Wiggelinkhuizen, E. J.; Verbruggen, T. W.; Braam, H.; Rademakers, L. W. M. M.; Xiang, J.; Watson, S.; Giebel, G.; Norton, E.; Tipluica, M. S.; MacLean, A.; et al. "*CONMOW: Condition Monitoring for Offshore Wind Farms*". In Proceedings of the European Wind Energy Conference (EWEC2007), Milan, Italy, 7-10 May 2007.
- [17] Plant Maintenance:  
<http://www.plant-maintenance.com/articles/ConMon21stCentury.shtml>.
- [18] Nordex:  
<http://www.nordex-online.com/en>.
- [19] "*Accelerometer's for Wind Turbines*". Connection Technology Center, Inc.
- [20] Daneshi-Far, Z, Capolino, G. A, Henao, H. "*Review of failures and condition monitoring in wind turbine generators*". Electrical Machines (ICEM), International Conference, 2010.
- [21] Brüel & Kjaer:  
<https://www.bksv.com/en/>. Consultado em Dezembro 23, 2018.
- [22] Ribrant, J. Bertling, L. "*Survey of failures in wind power systems with focus on Swedish wind power plants during 1997-2005*". IEEE Transactions on Energy Conversion, March 2007.
- [23] Ribrant, J "*Reliability performance and maintenance- a survey of failure in wind power systems*". Dept. Elec. Eng., Univ., KTH, Sweden, 2006.
- [24] Nivedh, B. S. "*Major Failures in the Wind Turbine Componentes and the Importance of Periodic Inspections*". Pojecto Engineer, Wind Services, Wind Insider, November 2014.
- [25] Wind Energy The Facts:  
<https://www.wind-energy-the-facts.org/scada-and-instruments.html>. Consultado em Novembro 14, 2017.
- [26] Sethuraman, L. Keller, J. Guo, Y, McNiff, B. "*Gearbox 2 High-Speed Shaft Loads Analysis*", National Renewable Energy Laboratory, Gearbox Reliability Collaborative All-Members Meeting, Feb 17-18, 2015.

# 7 Anexos

## A Informação de cada parque eólicos estudado

### A.1 Informação acerca do parque eólico Achada





## Parque Eólico Achada

#### Enquadramento

O Parque Eólico da Achada, com 6,9 MW, entrou em produção em 2005. Está situado em Torres Vedras e é detido pela empresa Parque Eólico da Serra das Meadas, S.A





#### Principais Factos

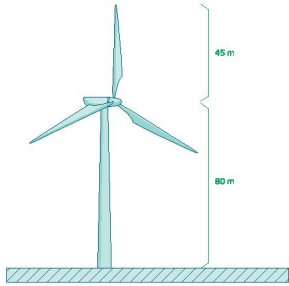
Empresa	PESM, S. A.
Localização	Torres Vedras
Desenvolvimento	Greenfield
Data de Arranque	2005
Potência Instalada	6,9 MW

#### Características Técnicas

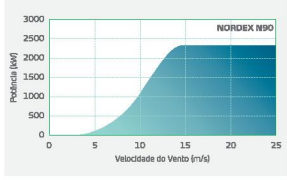
<b>Parque Eólico</b>	
N.º de Turbinas Eólicas	3
Tensão de Ligação à Rede	30 kV
Emissões de CO2 Evitadas	13.301 ton
Produção Anual Estimada (P50 Lahmeyer)	23 GWh
<b>Turbinas Eólicas</b>	
Fabricantes	NORDEX
Modelo	N90 - R80
N.º de Turbinas Eólicas	3
Potência de cada Turbina Eólica	2.300 kW
Altura da Torre	80 m
Díâmetro do Rotor	90 m
Velocidade de Rotação da Turbina	9,6-16,9 rpm
<b>Pesos</b>	
Nacelle	97 t
Rotor	52 t
Torre	179 t


#### Medidas da Turbina Eólica



#### Curva de Potência





Lagos Park, Edifício 5A, 4ª 2740-298 Porto Salvo Portugal  
T (+351) 21.497 67 00 F (+351) 21.487 67 01  
www.iberwind.pt

Figura A.1: Parque eólica Achada

## A.2 Informação acerca do parque eólico Arcela

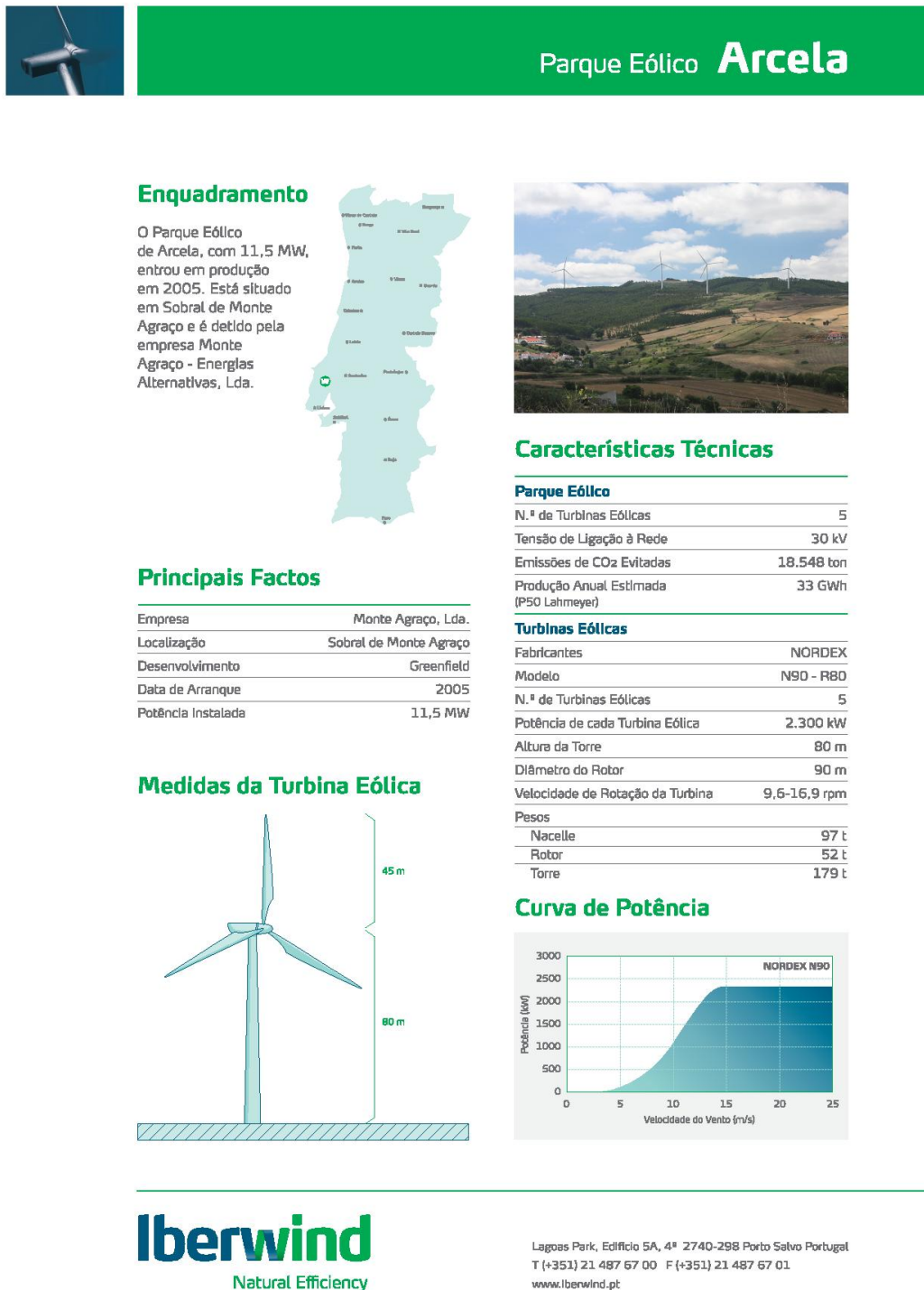



Figura A.2: Parque eólica Arcela

### A.3 Informação acerca do parque eólico Chão Falcão I





## Parque Eólico Chão Falcão

#### Enquadramento

O Parque Eólico de Chão Falcão, com 80,5 MW, entrou em produção faseadamente. A primeira fase, com 34,5 MW, iniciou-se em 2005 e os restantes 46 MW em 2009. Está situado em Porto de Mós / Alcanena e é detido pela empresa Parque Eólico de Chão Falcão, Lda.





#### Principais Factos

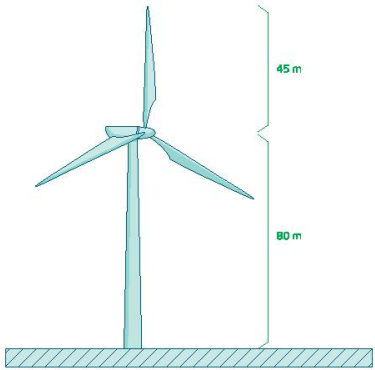
Empresa	PECF, Lda.
Localização	Porto de Mós
Desenvolvimento	Greenfield
Data de Arranque	2005
Potência Instalada	80,5 MW

#### Características Técnicas

Parque Eólico	
N.º de Turbinas Eólicas	35
Tensão de Ligação à Rede	60 kV
Emissões de CO <sub>2</sub> Evitadas	103.991 ton
Produção Anual Estimada (P50 Lahmeyer)	182 GWh
Turbinas Eólicas	
Fabricantes	NORDEX
Modelo	N90 - R80
N.º de Turbinas Eólicas	35
Potência de cada Turbina Eólica	2.300 kW
Altura da Torre	80 m
Diâmetro do Rotor	90 m
Velocidade de Rotação da Turbina	9,6-16,9 rpm
Pesos	
Nacelle	97 t
Rotor	52 t
Torre	179 t

#### Medidas da Turbina Eólica



#### Curva de Potência

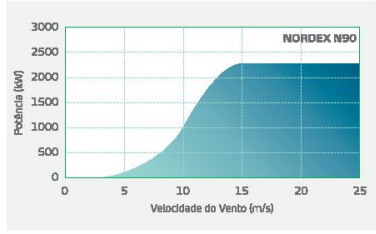


Figura A.3: Parque eólica Chão Falcão I

## A.4 Informação acerca do parque eólico Freita



### Enquadramento

O Parque Eólico da Freita, com 18,4 MW, entrou em produção em 2006. Está situado em Arouca e é detido pela empresa Iberwind II Produção - Sociedade Unipessoal, Lda.



### Principais Factos

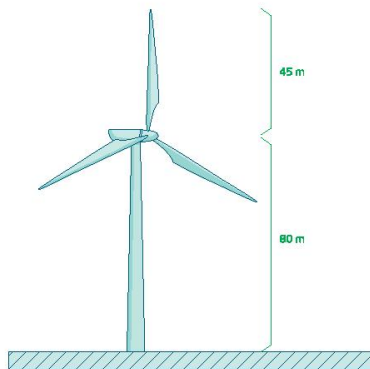
Empresa	Iberwind II Produção, Lda.
Localização	Arouca
Desenvolvimento	Greenfield
Data de Arranque	2006
Potência Instalada	18,4 MW

### Características Técnicas

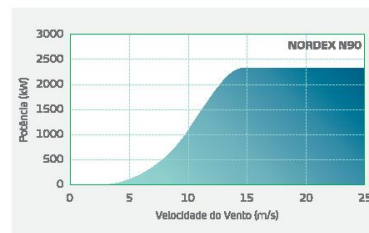
Parque Eólico	
N.º de Turbinas Eólicas	8
Tensão de Ligação à Rede	60 kV
Emissões de CO <sub>2</sub> Evitadas	22.662 ton
Produção Anual Estimada (P50 Lehmeyer)	40 GWh

Turbinas Eólicas	
Fabricantes	NORDEX
Modelo	N90 - R80
N.º de Turbinas Eólicas	8
Potência de cada Turbina Eólica	2.300 kW
Altura da Torre	80 m
Diâmetro do Rotor	90 m
Velocidade de Rotação da Turbina	9,6-16,9 rpm
Pesos	
Nacelle	97 t
Rotor	52 t
Torre	179 t

### Medidas da Turbina Eólica




### Curva de Potência



Lagoas Park, Edifício 5A, 4ª 2740-298 Porto Salvo Portugal  
 T (+351) 21 487 67 00 F (+351) 21 487 67 01  
 www.iberwind.pt

Figura A.4: Parque eólica Freita

## A.5 Informação acerca do parque eólico Lousã I





### Parque Eólico Lousã I

#### Enquadramento

O Parque Eólico da Lousã I, com 35 MW, entrou em produção em 2006. Está situado na Lousã e é detido pela empresa Parque Eólico de Trevim, Lda.





#### Principais Factos

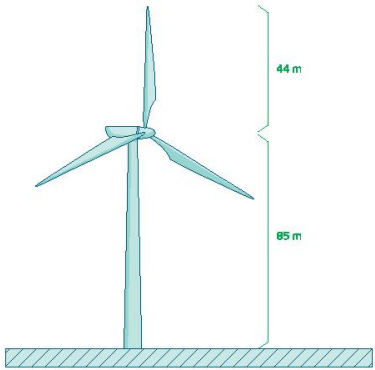
Empresa	PET, Lda.
Localização	Lousã
Desenvolvimento	Greenfield
Data de Arranque	2006
Potência Instalada	35 MW

#### Características Técnicas

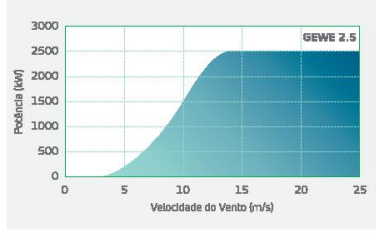
Parque Eólico	
N.º de Turbinas Eólicas	14
Tensão de Ligação à Rede	60 kV
Emissões de CO <sub>2</sub> Evitadas	57.231 ton
Produção Anual Estimada (P50 Lahmeyer)	100 GWh
Turbinas Eólicas	
Fabricantes	GE
Modelo	GEWE 2.5
N.º de Turbinas Eólicas	14
Potência de cada Turbina Eólica	2.500 kW
Altura da Torre	85 m
Diâmetro do Rotor	88 m
Velocidade de Rotação da Turbina	5,5-16,5 rpm
Pesos	
Nacelle	55 t
Rotor	27 t
Torre	209 t


#### Medidas da Turbina Eólica



#### Curva de Potência





Lagoas Park, Edifício 5A, 4ª 2740-298 Porto Salvo Portugal  
 T (+351) 21 487 67 00 F (+351) 21 487 67 01  
 www.iberwind.pt

Figura A.5: Parque eólica Lousã I

## B Anexos

### B.1 Trocas ocorridas no parque eólico Achada

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type	Status	Foreseen Conclusion
WTG01	Generator - DE Bearing	CMS Report	Achada-NX8163-N90 error report_001, generator bearing (Gn_DE), roller SKF 6334	The amplitude is still in low level. The generator was re-lubricated on 05-06-2012! 10-08-2012: The amplitude is still very low 10-10-2012 There are no changes in the behaviour and the amplitude is very low. 13-12-201 There is no changes in the behaviour Action: Monitor	217		10-08-2012	Nordex	Action	ALARM	Finished
WTG01	Generator - DE Bearing	Replacement	Substituição do rolamento DE do gerador - Aguarda-se envio de fotografias de análise do rolamento.	Achada-NX8163-N90 error report_001, generator bearing (Gn_DE), roller SKF 6334	216	14-03-2013	14-03-2013	Nordex	Action		Finished
WTG01	CMS - WTG	CMS Report	NX8163-N90-Achada Iberwind event report generator bearing NDE-side 6334 roller	29-2-2016: There aren't significant changes in the amplitude. The local team informed about abnormal noise in that generator, it will be evaluated more time 19-04-2016: The amplitude had a light increase Action: Monitoring 23-6-16: The amplitude had a light increase Action: Monitoring	1		08-01-2016	Nordex	Task supplier	ALARM	08-01-2016
WTG01	Generator	Repair	Gerador	12-9-16: Substituição do slip ring do gerador e do rolamento NDE do gerador	4	09-09-2016	12-09-2016	Nordex	Action		

Figura B.1: Trocas realizadas na turbina 1, no gerador, no parque Achada

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type	Status	Foreseen Conclusion
WTG02	High Speed Shaft - Acoplamento	CMS Report	High frequency amplitude of the inner ring (ipulse) of the gearbox bearing QJ238 on the high speed shaft.	13-10-2012: The amplitude increased drastically at end of November- 12. The gearbox is under warranty so we are discussing with Eickhoff the resolution method Action: Monitoring and claim the warranty. O rolamento HSS foi substituído em 17-03-2013.	2127			Nordex	Action	ALARM	Finished
WTG02	High Speed Shaft - Acoplamento	Replacement	Substituição do rolamento HSS da caixa de velocidades	Eickhoff	70	15-03-2013	18-03-2013	Nordex	Action		Finished

Figura B.2: Troca realizada na turbina 2, na caixa multiplicadora, no parque Achada

## B.2 Trocas ocorridas no parque eólico Arcela

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type	Status	Remarks	Foreseen Conclusion
WTG05	Generator - DE Bearing	Replacement	Substituição do rolamento frontal	Nordex	0	25-01-2012	25-01-2012	Nordex	Action			
WTG02	Generator - DE Bearing	CMS Report	Generator bearing opulse 2 8165 22-Aug-13 10-10-2013: There has been an amplitude increase 25-10-2013 recomendação bachmann "The manufacturer has used the same bearing type at both ends of the generator. Please check the noise patterns of both of these bearings. - Check the condition of the inner ring of the generator bearing 6334 DE"	A Aguardar substituição do rolamento	53	05-12-2013	05-12-2013	Nordex	Action	ALARM	Trabalho realizado no dia 05.12.2013	

Figura B.3: Trocas realizadas nas turbinas, nos geradores, no parque Arcela

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type	Status	Foreseen Conclusion
WTG04	Gearbox	CMS Report	Foi aconselhada a substituição dos rolamentos HSS (high speed shaft)	Substituição foi agendada para dia 23/03/12	86	20-12-2011	15-03-2012	Nordex	Action	NOT OK	
WTG04	Gearbox	Replacement	Substituição dos rolamentos HSS (high speed shaft)	Service Nordex - Winergy	8	23-03-2012	23-03-2012	Nordex	Action		

Figura B.4: Troca realizada na turbina, na caixa multiplicadora, no parque Arcela

### B.3 Trocas ocorridas no parque eólico Chão Falcão I

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG 4		Repair	Generator bearings replacement			20-02-2007	26-02-2007	VEM	
WTG 5		Repair	Generator bearings replacement			30-03-2007	30-03-2007	VEM	
WTG 14		Repair	Generator A bearing replacement			07-02-2008	08-02-2008	VEM	
WTG 12		Repair	Generator A bearing replacement			17-11-2008	17-11-2008	VEM	

Figura B.5: Trocas realizadas nas turbina, nos geradores, no parque Chão Falcão I, parte 1

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG12	Generator	Inspection	The manufacturer has used the same bearing type at both ends of the generator. Please check the noise patterns of both of these bearings. Check the condition of the outer ring of the generator bearing 6334 NDE.	Report CMS ID 2012/361	2	11-04-2012	11-04-2012	Nordex	Action
WTG12	Generator - DE Bearing	Repair	Replacement of DE bearing in the generator	Nº horas funcionamento: 15827,62 h / Produção: 9316 MWh	0	29-10-2012	29-10-2012	Nordex	Action
WTG04	Generator - DE Bearing	Repair	Replacement of DE bearing in the generator	Nº horas funcionamento: 41951,78 h / Produção: 32474 MWh	0	12-03-2013	12-03-2013	Nordex	Action

Figura B.6: Trocas realizadas nas turbina, nos geradores, no parque Chão Falcão, parte 2

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG 2		Repair	Gear box bearing replacement			29-03-2007	29-03-2007	Nordex	
WTG 13	Gearbox	Repair	Replacement of the shaft bearings of high speed			14-12-2010	14-12-2010	Eickhoff	Action
WTG 4	Gearbox	Repair	Repair of gearbox	Replacing the high-speed bearing	0,1	07-11-2011	09-11-2011	Nordex	Action
WTG04	Gearbox	Repair	LSS bearing replacement	13-06-13: Substituição do rolamento QJ238 e NU238 por uma equipa da Nordex.	0	13-06-2013	13-06-2013	Nordex	Action
WTG14	Gearbox	Repair	LSS bearing replacement	03-07-13: Substituição do rolamento QJ238 e NU238 por uma equipa da Nordex. (Nº horas funcionamento: 33449,90 h / Produção: 26451 MWh)	0	03-07-2013	03-07-2013	Nordex	Action

Figura B.7: Trocas realizadas nas turbina, na caixa multiplicadora, no parque Chão Falcão, parte 1

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG05	CMS - WTG	CMS Report	High frequency amplitude of the outer ring (opulse) of the gearbox bearing QJ238 on the high speed shaft.	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the outer ring of the hss bearing QJ238.	13	01-06-2012	14-06-2012	Nordex	Action
WTG05	Gearbox	Repair	HSS bearings replaced	Nº horas funcionamento: 51839,56 h / Produção: 39210 MWh	0	30-07-2012	30-07-2012	Nordex	Action
WTG08	CMS - WTG	CMS Report	High frequency amplitude of the inner ring (ipulse) of the gearbox bearing QJ238 on the high speed shaft.	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the outer ring of the hss bearing QJ238.	10	24-09-2012	04-10-2012	Nordex	Action
WTG08	Gearbox	Repair	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the outer ring of the hss bearing QJ238.	Report CMS ID 2012/702; 17-12-12: Nordex agendou substituição dos rolamentos do HSS para o dia 19-12-12; (Nº horas funcionamento: 26241 h / Produção: 16120 MWh)	1	19-12-2012	19-12-2012	Nordex	Action

Figura B.8: Trocas realizadas nas turbina, na caixa multiplicadora, no parque Chão Falcão, parte 2

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG12	Generator	Inspection	The manufacturer has used the same bearing type at both ends of the generator. Please check the noise patterns of both of these bearings. Check the condition of the outer ring of the generator bearing 6334 NDE.	Report CMS ID 2012/361	2	11-04-2012	11-04-2012	Nordex	Action
WTG12	Generator - DE Bearing	Repair	Replacement of DE bearing in the generator	Nº horas funcionamento: 15827,62 h / Produção: 9316 MWh	0	29-10-2012	29-10-2012	Nordex	Action
WTG04	Generator - DE Bearing	Repair	Replacement of DE bearing in the generator	Nº horas funcionamento: 41951,78 h / Produção: 32474 MWh	0	12-03-2013	12-03-2013	Nordex	Action
WTG07	Gearbox	Inspection	Check the temperature and noise behavior of the gearbox; Check the condition of the inner ring of the hss bearing QJ238.	Report CMS ID 2013/89; 04-09-13: Substituição do rolamento QJ238 realizado por uma equipa da Nordex. (Inicio:08:00h   Fim:15:00h   Nº. h. produção: 42296 MWh   Nº. H. funcionamento: 60591,88h)	6	04-09-2013	04-09-2013	Nordex	Action
WTG09	Gearbox	Inspection	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the outer ring of the hss bearing QJ238.	03-09-13: Substituição do rolamento QJ238 realizado por uma equipa da Nordex. (Inicio:08:00h   Fim:13:41h   Nº. h. produção: 31138 MWh   Nº. H. funcionamento: 55501,28h)	0	03-09-2013	03-09-2013	Nordex	Action

Figura B.9: Trocas realizadas nas turbina, na caixa multiplicadora, no parque Chão Falcão, parte 3

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG02	Gearbox	Repair	Check / repair bearing of the HSS	13-09-13: CMS Monthly report_Jun-Jul 2013_Iberwind 14082013; 17-09-13: Intervenção de uma equipa da Nordex para realizar a substituição do rolamento QJ238 do HSS da gearbox. (Caixa: Eickhoff   Nº. h. funcionamento: 28554,93h   Nº. h. produção: 24181 MWh)	0	17-09-2013	17-09-2013	Nordex	Action
WTG01	Gearbox	Repair	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the inner ring of the hss bearing QJ238	Report CMS ID 2013/778; <b>21-02-2014</b> - Nordex agendou intervenção para substituição do rolamento do HSS da caixa multiplicadora; <b>24-02-2014</b> - Substituição do rolamento do HSS da caixa multiplicadora realizado por uma equipa da Nordex. (Rolamento: QJ238   Marca: FAG   Nº. h. funcionamento: 5513,18h   Produção: 4693 MWh)	69	24-02-2014	24-02-2014	Nordex	Action

Figura B.10: Trocas realizadas nas turbina, na caixa multiplicadora, no parque Chão Falcão, parte 4

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG10	Gearbox	Repair	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the outer ring of the hss bearing QJ238.	Report CMS ID 2014/29; <b>17-02-2014</b> - The amplitude was high in January, now it decreased to low level; (CMS Monthly report_Dec-Jan 14_Iberwind 18022014v1) <b>21-04-2014</b> - There are no significant changes in the vibration behaviour; (CMS Monthly report_Fev-Mach 14_Iberwind 11042014) <b>20-06-2014</b> - Nordex agendou substituição do rolamento do HSS da caixa multiplicadora; <b>24-06-2014</b> - Substituição do rolamento do HSS da caixa multiplicadora realizado por uma equipa da Nordex. (Nº h. de funcionamento: 23067   Produção: 12992 MWh   Rolamento: QJ238   Marca da caixa: Eickhoff)	24	24-06-2014	24-06-2014	Nordex	Action
WTG13	Gearbox	Repair	Check the noise behavior of the gearbox Check the condition of the inner ring of the Lss bearing QJ238	Report CMS ID 2014/100; <b>21-02-2014</b> - Nordex agendou intervenção para substituição do rolamento do HSS da caixa multiplicadora; <b>25-02-2014</b> - Substituição do rolamento do HSS da caixa multiplicadora realizado por uma equipa da Nordex. (Rolamento: QJ238   Marca: FAG   Nº. h. funcionamento: 54008,36h   Produção: 35181 MWh)	#REF!	25-02-2014	25-02-2014	Nordex	Action

Figura B.11: Trocas realizadas nas turbina, na caixa multiplicadora, no parque Chão Falcão, parte 5

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG09	Gearbox	Repair	ChaoFalcao1-NX8153-N90 Iberwind event report_005, Hss FAG QJ238 opulse	12-02-2015: (CMS Monthly report_Dec-Jan 15_Iberwind 16.2.2015) 16-4-2015: Amplitude has been increasing; 16-06-2015: The amplitude has been dynamic; 14-08-2015: The amplitude has been dynamic; <b>Action: Repair the HSS</b> 24-09-2015: Substituição do rolamento de esferas do HSS da caixa multiplicadora realizado por uma equipa da Nordex. (Nº.h.funcionamento: 69383,14h   Produção: 39066MWh)	113	24-09-2015	24-09-2015	Nordex	Action
WTG13	Gearbox	Repair	ChaoFalcao1-NX8149-N90 Iberwind error report_002, Lss Brg QJ238 ipulse	16-12-2014: (CMS Monthly report_Oct- Nov 14_Iberwind 16.12.2014) The amplitude remains stable nevertheless the repair will be performed. 12-02-2015: The repair was postponed to March. The amplitude has been stable; 16-4-2016: The amplitude has been stable. The repair should be reschedule. <b>Action: Repair the LSS</b> 29-04-2015: Substituição do rolamento de rolos e esferas do LSS da caixa multiplicadora realizado por uma equipa da Nordex. (Nº. h. funcionamento: 62448.95h   Produção: 40705 MWh)	134	29-04-2015	29-04-2015	Nordex	Action

Figura B.12: Trocas realizadas nas turbinas, na caixa multiplicadora, no parque Chão Falcão, parte 6

## B.4 Trocas ocorridas no parque eólico Freita

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG04	Generator - DE Bearing	Replacement	Temperatura alta no rolamento	<b>18/06/2015:</b> Medição da vibração em funcionamento; <b>19/06/2015:</b> Substituição do rolamento DE;	1	18-06-2015	19-06-2015	Nordex	Action

Figura B.13: Trocas realizadas nas turbinas, nos geradores, no parque Freita

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG 1	Gearbox	Repair	Gearbox high speed bearing replacement		0	05/03/2010	05/03/2010	Eickhoff	Action
WTG 4	Gearbox	Repair	Gearbox high speed bearing replacement		0	01/03/2010	01/03/2010	Eickhoff	Action
WTG 6	Gearbox	Repair	Gearbox high speed bearing replacement		0	03/03/2010	03/03/2010	Eickhoff	Action
WTG 7	Gearbox	Repair	Gearbox high speed bearing replacement		0	04/03/2010	04/03/2010	Eickhoff	Action
WTG 1	Gearbox	Repair	Substituição dos rolamentos de alta velocidade		0	18/02/2011	18/02/2011	Eickhoff	Action
WTG 3	Gearbox	Repair	Substituição dos rolamentos de alta velocidade		0	19/02/2011	19/02/2011	Eickhoff	Action

Figura B.14: Trocas realizadas nas turbinas, na caixa multiplicadora, no parque Freita, parte 1

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG04		CMS - WTG	Relatório CMS: Increased vibration level at the sun 2 (report-ID 002)	Check the noise behavior of the gearbox; Check the condition of the inner ring of the sun2 bearing. 22/02/2012: Rolamentos trocados (Event ID2012/38).		Report Date 01/02/2012		Nordex	ALARM
WTG04	Gearbox	Repair	Substituição de rolamentos	Em conjunto com a Eickhoff; Rolamentos da zona de baixa rotação - sun2 (Iss)	0	22/02/2012	22/02/2012	Nordex	Action
WTG07		CMS - WTG	Relatório CMS: Increased vibration level at the spur gear (report-ID 002)	Check the noise behavior of the gearbox; Check the condition of the inner ring of the Sun2 bearing QJ238.K1016 23/02/2012: Rolamentos trocados (Event ID2012/39).	0	Report Date 01/02/2012		Nordex	ALARM
WTG07	Gearbox	Repair	Substituição de rolamentos	Rolamentos da zona de baixa rotação - sun2 (Iss)	0	23/02/2012	23/02/2012	Nordex	Action
WTG03	Gearbox	Inspection	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the outer ring of the hss bearing QJ238.K234	Baseado em relatório CMS (ID 2013/172). <b>2/07/2013:</b> Nordex irá substituir o rolamento. <b>24/07/2013:</b> Foram substituídos os 3 rolamentos do HSS e o próprio veio.	1	24/07/2013	25/07/2013	Nordex	Action

Figura B.15: Trocas realizadas nas turbinas, na caixa multiplicadora, no parque Freita, parte 2

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG01	Gearbox	Inspection	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the inner ring of the hss bearing QJ238E.	<b>11/04/2014:</b> The amplitude has been increasing Action: Repair <b>13/05/2014:</b> Foi substituído o rolamento QJ238E.	81	13/05/2014	13/05/2014	Nordex	Action
WTG07	Gearbox	Repair	Reparar anel exterior do "hss bearing QJ238"	Recomendação da Bachmann; <b>21/11/2013:</b> Foi substituído o rolamento.	0	21/11/2013	21/11/2013	Nordex	Action
WTG06	Gearbox	Inspection	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the outer ring of the hss bearing QJ238.	Baseado em relatório CMS (ID 2013/192); <b>14/06/2013:</b> Action: Monitoring; <b>12/08/2013:</b> Sem alterações no comportamento das vibrações. Continua em monitorização; <b>10/10/2013:</b> Houve um ligeiro aumento da amplitude da vibração. Ação: monitorizar; <b>16/12/2013:</b> Houve uma ligeira diminuição na amplitude da vibração; <b>17/02/2014:</b> The amplitude has been increasing. Action: Repair after an inspection of whole gearbox; <b>11/04/2014:</b> The amplitude has been increasing Action: Repair after an inspection of whole gearbox; <b>03/06/2014:</b> Foram substituídos os rolamentos do HSS;	208	14/06/2013	03/06/2014	Nordex	Action

Figura B.16: Trocas realizadas nas turbinas, na caixa multiplicadora, no parque Freita, parte 3

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG02	Gearbox	Inspection	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the inner rings of the Hss bearings.	<b>16/12/2014:</b> The amplitude has been increasing, nevertheless this problem is known and the repair will not be carryout right now. Action: Monitoring; <b>12/02/2015:</b> The amplitude ah been increasing, the repair is needed. Action: Repair; <b>26/03/2015:</b> Foi substituído; <b>16/04/2015:</b> The gearbox was repaired on 26.3.2015	163	26/03/2015	26/03/2015	Nordex	Action
WTG06	Gearbox	Repair	Substituição do "Lss bearing GS QJ238 inner ring"	Baseado no relatório bi-mensal Dez/Jan. <b>16/06/2015:</b> Foram substituídos os 2 rolamentos.	120	16/06/2015	16/06/2015	Nordex	Action
WTG01	High Speed Shaft - Acoplamento	Repair	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the inner ring of the hss bearing QJ238E.	<b>16/04/2015:</b> The amplitude has been increasing Action: Repair hss; Baseado no relatório bimensal Fevereiro-Março de 2015; <b>13/05/2015:</b> Foram substituídos os 3 rolamentos do HSS.	27	13/05/2015	13/05/2015	Nordex	Action
WTG07	High Speed Shaft - Acoplamento	Repair	Check the temperature and noise behavior of the gearbox. Check the condition of the outer rings of the Hss bearings.	<b>12/02/2015:</b> The amplitude has been increasing Action: Monitoring; <b>03/03/2015:</b> Foi feita inspeção endoscópica à gearbox; <b>16/04/2015:</b> The gearbox was inspected on 3.3.2015 and nothing relevant was detected, the hss should be repaired Action: Repair; <b>12/05/2015:</b> Foram substituídos os 3 rolamentos do HSS.	113	12/05/2015	12/05/2015	Nordex	Action

Figura B.17: Trocas realizadas nas turbinas, na caixa multiplicadora, no parque Freita, parte 4

## B.5 Trocas ocorridas no parque eólico Lousã I

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG04	Generator - DE Bearing	Replacement	Substituição do rolamento		1	05-12-2013	06-12-2013	GEWE	Action
WTG04	Generator - NDE Bearing	Replacement	Substituição do rolamento		1	05-12-2013	06-12-2013	GEWE	Action
WTG14	Generator - NDE Bearing	Replacement	Substituição do rolamento		0	07-12-2013	07-12-2013	GEWE	Action
WTG01	Generator - NDE Bearing	Replacement	Substituição do rolamento		0	18-05-2016	18-05-2016	Availon	Action
WTG01	Generator - DE Bearing	Replacement	Substituição do rolamento		0	19-05-2016	19-05-2016	Availon	Action

Figura B.18: Trocas realizadas nas turbina, nos geradores, no parque Lousã I

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG09	Gearbox	Repair	Substituição do rolamento HSS - lado do gerador	Turbina limitada a 1.250Kw desde 18-11-2013 18-02-2014: Início dos trabalhos de substituição. Rolamento NSK WG-15A	87	18-02-2014	20-02-2014	GEWE	Action
WTG06	Gearbox	Repair	Substituição do rolamento HSS - lado do rotor	Rolamento NSK WB-38	4	20-01-2014	24-01-2014	GEWE	Action
WTG06	Gearbox	Repair	Substituição do rolamento HSS - lado do gerador	Rolamento NSK WG-20A		20-01-2014	24-01-2014	GEWE	Action
WTG01	Gearbox	Repair	Substituição do rolamento HSS - lado do gerador	28-10-2014: Início dos trabalhos de substituição. Rolamento NSK R170-13A 03-11-2014: Turbina ainda não arrancou devido aos ventos altos não permitirem fazer o alinhamento do gerador.	161	28-10-2014	04-11-2014	GEWE	Action

Figura B.19: Trocas realizadas nas turbina, nas caixa multiplicadora, no parque Lousã I, parte 1

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG07	High Speed Shaft - Acoplamento	Repair	Substituição do rolamento			14-07-2015	16-07-2015	Weartech	Action
WTG04	CMS - WTG	CMS Report	Nível elevado de frequência no rolamento do eixo de alta velocidade.	Acompanhar o comportamento do rolamento (temperatura/ruído), verificar o aumento de partículas do óleo e avaliar a necessidade de realização de endoscopia em especial à pista interna.	0	18-12-2015	18-12-2015	Bachmann	Action
WTG04	High Speed Shaft - Acoplamento	Repair	Substituição do rolamento (lado gerador)	15-01-2016: Em virtude dos danos no rolamento, a TE foi limitada a 1.5MW 18-01-2016: Início dos trabalhos.	6	18-01-2016	21-01-2016	Weartech	Action
WTG11	High Speed Shaft - Acoplamento	Repair	Substituição do rolamento (lado gerador)	NSK HR30234JA e NSK R170-13A01	1	02-11-2016	03-11-2016	Weartech	Action

Figura B.20: Trocas realizadas nas turbina, nas caixa multiplicadora, no parque Lousã I, parte 2

Place	Major Part	Event	Description	Remarks	Open issue day count	Intervention Start	Effective Conclusion	Entity	Event type
WTG10	CMS - WTG	CMS Report	Nível elevado de frequência no rolamento do eixo de alta velocidade.	Acompanhar o comportamento do rolamento (temperatura/ruído), verificar o aumento de partículas do óleo e avaliar a necessidade de realização de endoscopia em especial à pista interna.	0	20-08-2015	20-08-2015	Bachmann	Action
WTG10	High Speed Shaft - Acoplamento	Inspection	Acompanhar o comportamento do rolamento (temperatura/ruído), verificar o aumento de partículas do óleo e avaliar a necessidade de realização de endoscopia em especial à pista interna.	ID 2015/98 25-04-2016: Novo relatório enviado pela Bachmann, com o mesmo alarme. 01-06-2016: Foram substituídos os rolamentos (lado gerador).		31-05-2016		Availon	Action

Figura B.21: Trocas realizadas nas turbina, nas caixa multiplicadora, no parque Lousã I, parte 3

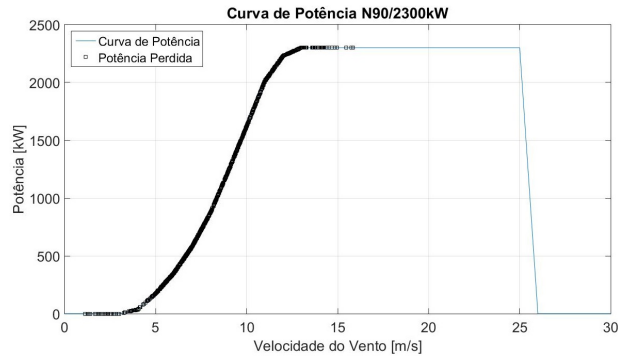
## B.6 Dados de 10 em 10 minutos

tstamp	fld7	fld14	Data
1362096000	743,0811768	7,041524887	1-3-13 0:00
1362096600	585,8164673	6,363519669	1-3-13 0:10
1362097200	557,2112427	6,340750694	1-3-13 0:20
1362097800	565,3581543	6,624874592	1-3-13 0:30
1362098400	420,2389221	6,892561436	1-3-13 0:40
1362099000	380,4584961	6,16415596	1-3-13 0:50
1362099600	382,256012	5,927244186	1-3-13 1:00
1362100200	510,6414185	6,547978401	1-3-13 1:10
1362100800	621,0580444	6,995677948	1-3-13 1:20
1362101400	611,4998169	7,087691307	1-3-13 1:30
1362102000	616,4328003	6,866970062	1-3-13 1:40
1362102600	735,203125	7,172626972	1-3-13 1:50
1362103200	660,9502563	6,748995781	1-3-13 2:00
1362103800	413,0341797	5,913757324	1-3-13 2:10
1362104400	310,7370605	5,921715736	1-3-13 2:20
1362105000	467,6863403	6,683904171	1-3-13 2:30
1362105600	334,2896118	6,355360508	1-3-13 2:40
1362106200	236,7074738	5,626432419	1-3-13 2:50
1362106800	310,8139954	6,11209774	1-3-13 3:00
1362107400	390,9780579	6,546023846	1-3-13 3:10
1362108000	613,4122925	7,277292252	1-3-13 3:20
1362108600	833,315979	8,50729084	1-3-13 3:30
1362109200	724,9832764	8,108495712	1-3-13 3:40
1362109800	812,9076538	8,569442749	1-3-13 3:50
1362110400	854,1428833	8,992985725	1-3-13 4:00
1362111000	943,3751221	9,119340897	1-3-13 4:10
1362111600	995,0675049	8,950392723	1-3-13 4:20
1362112200	1087,011475	9,122906685	1-3-13 4:30

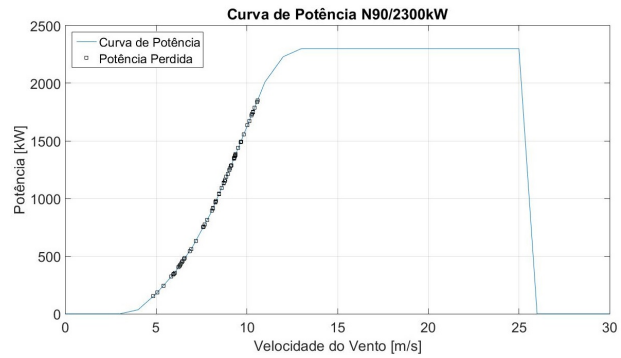
Figura B.22: Exemplo dos dados em ficheiros excel de 10 em 10 minutos

# C Anexos

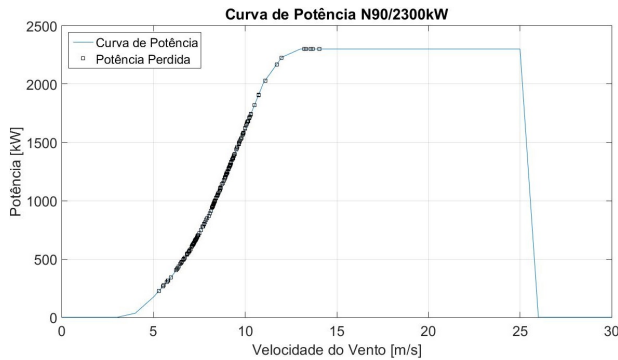
## C.1 Gráficos da potência perdida da Chão Falcão I - Gerador



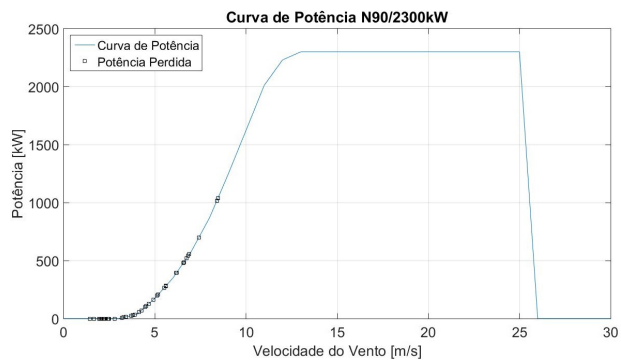
(a) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº4 (2007)



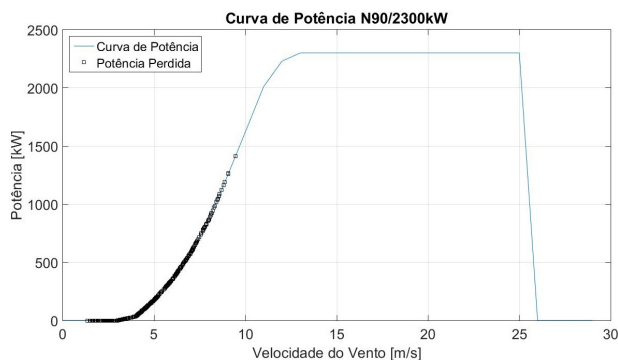
(b) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº5 (2007)



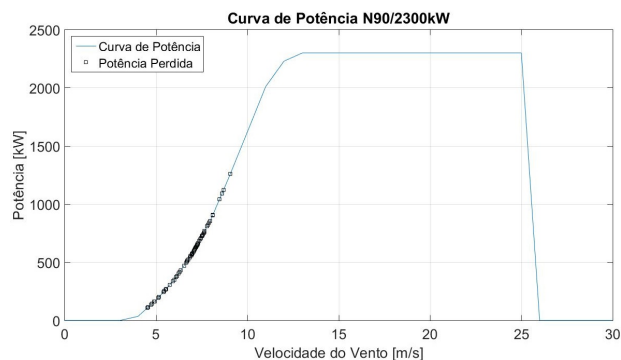
(c) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº14 (2008)



(d) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº12 (2008)

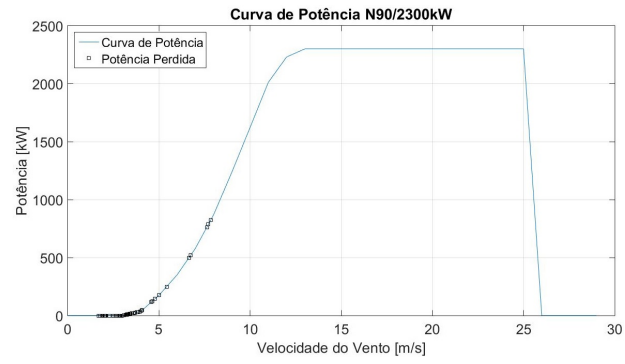


(e) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº13 (2011)



(f) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº12 (2012)

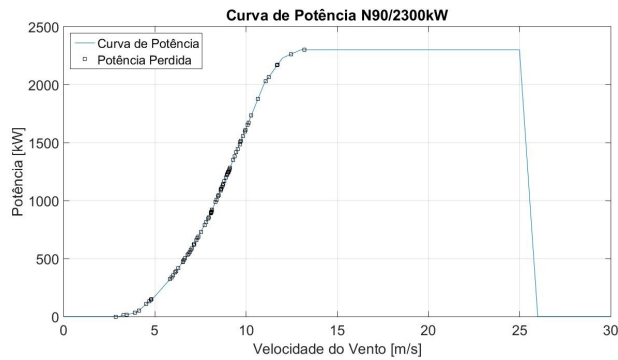
Figura C.1: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem, no gerador, do parque eólico Chão Falcão I - Parte 1



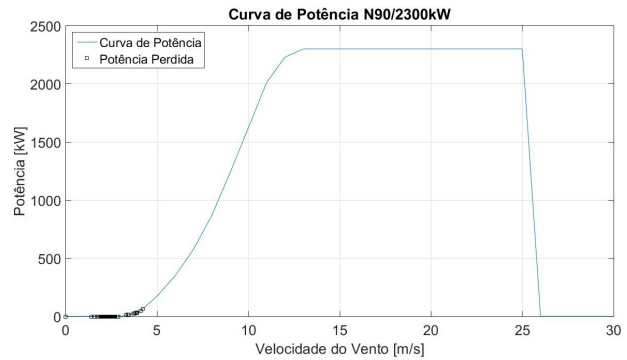
(a) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº04 (2013)

Figura C.2: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem, no gerador, do parque eólico Chão Falcão I - Parte 2

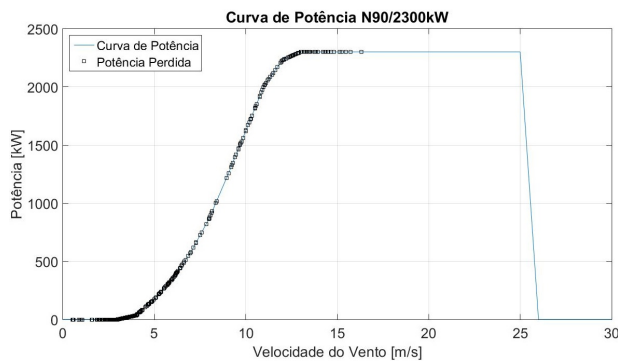
## C.2 Gráficos da potência perdida da Chão Falcão I - Caixa Multiplicadora



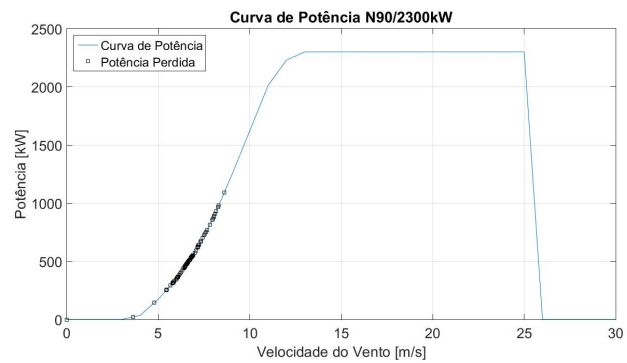
(a) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº2 (2007)



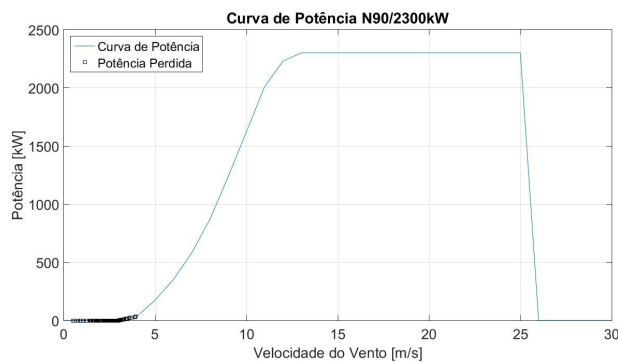
(b) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº13 (2010)



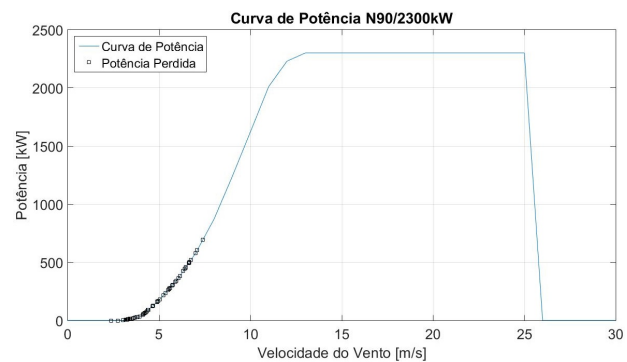
(c) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº4 (2011)



(d) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº4 (2013)

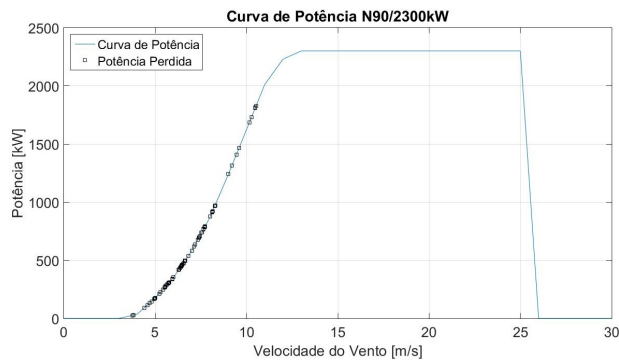


(e) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº14 (2013)

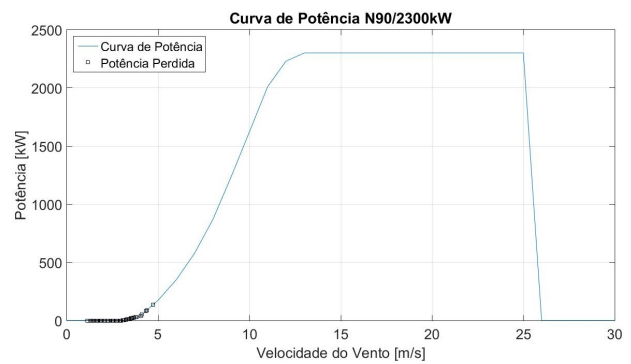


(f) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº5 (2012)

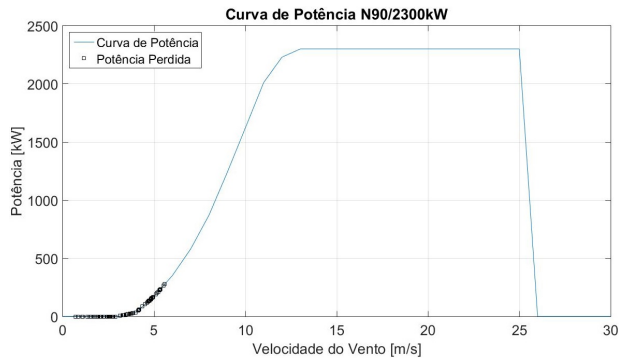
Figura C.3: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem, na caixa multiplicadora, do parque eólico Chão Falcão I - Parte 1



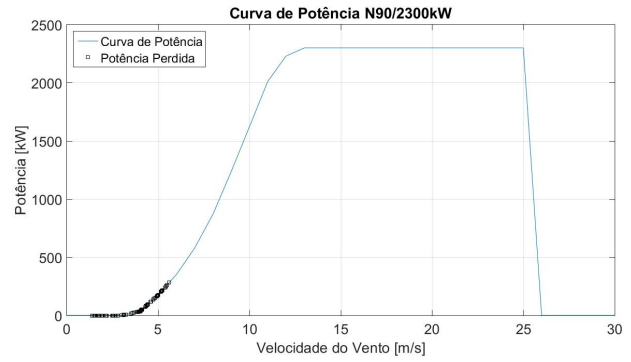
(a) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº8 (2012)



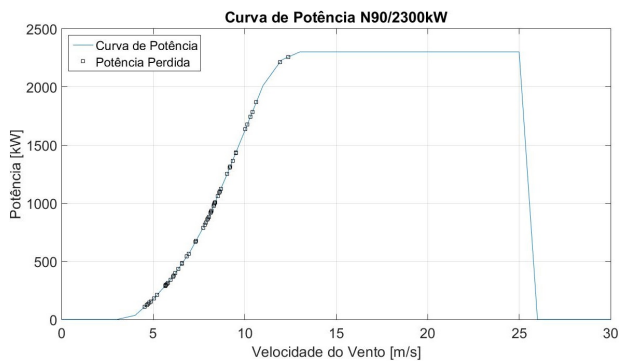
(b) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº9 (2013)



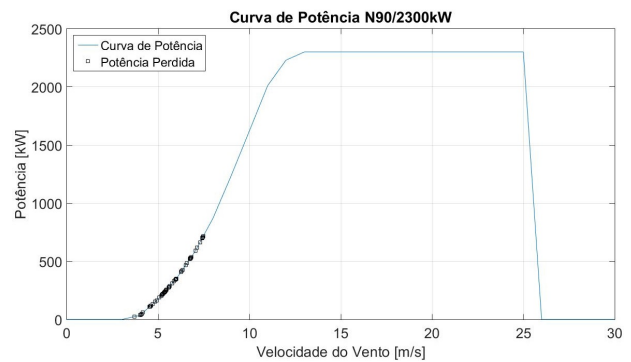
(c) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº7 (2013)



(d) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº2 (2013)

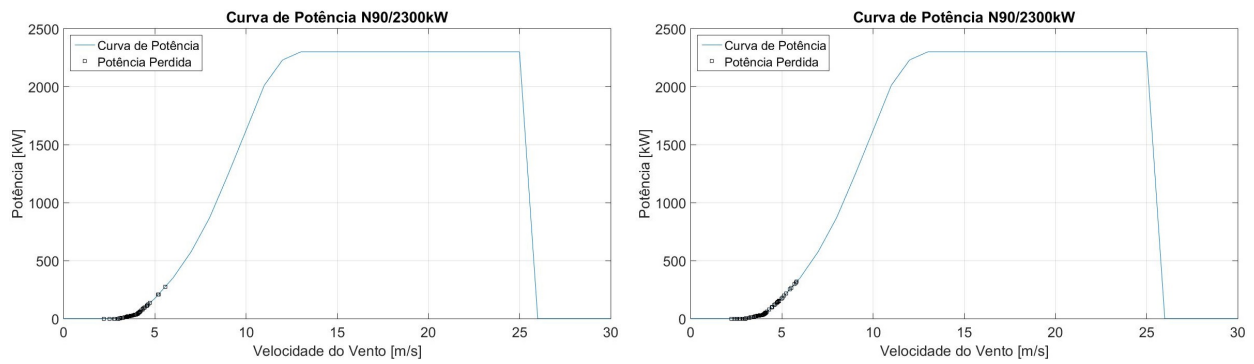


(e) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº1 (2014)

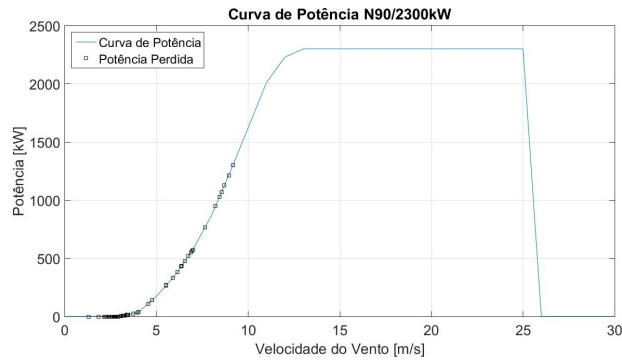


(f) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº13 (2014)

Figura C.4: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem, na caixa multiplicadora, do parque eólico Chão Falcão I - Parte 2



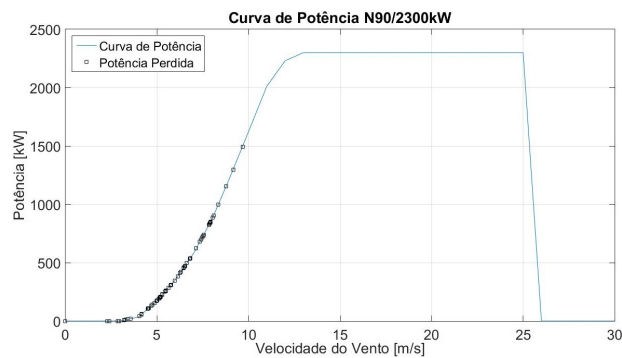
(a) Potência teórica perdida da troca no gerador da tur- (b) Potência teórica perdida da troca no gerador da tur-  
bina nº10 (2014) bina nº13 (2015)



(c) Potência teórica perdida da troca no gerador da tur-  
bina nº9 (2015)

Figura C.5: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem, na caixa multiplicadora, do parque eólico Chão Falcão I - Parte 3

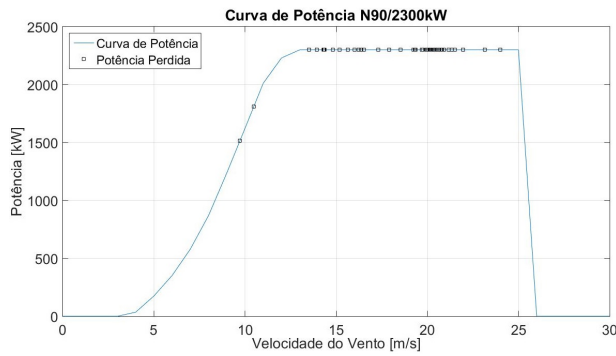
### C.3 Gráficos da potência perdida da Freita - Gerador



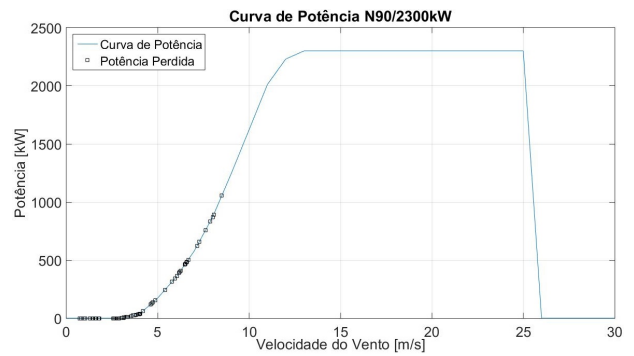
(a) Potência teórica perdida da troca no gerador da tur-  
bina nº4 (2015)

Figura C.6: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem, no gerador, do parque eólico Freita

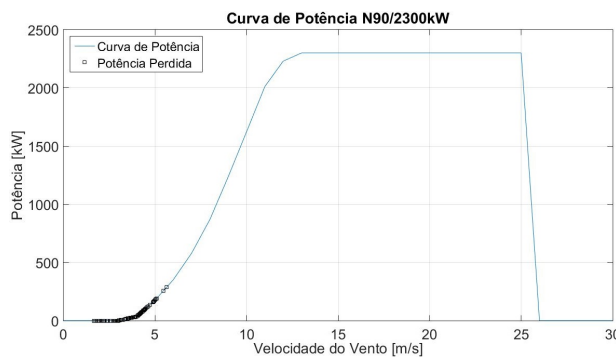
### C.4 Gráficos da potência perdida da Freita - Caixa Multiplicadora



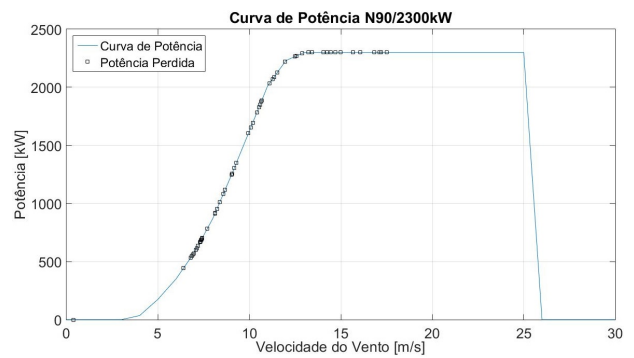
(a) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº1 (2010)



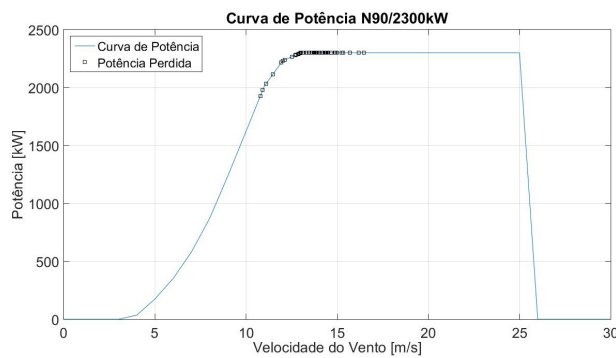
(b) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº6 (2010)



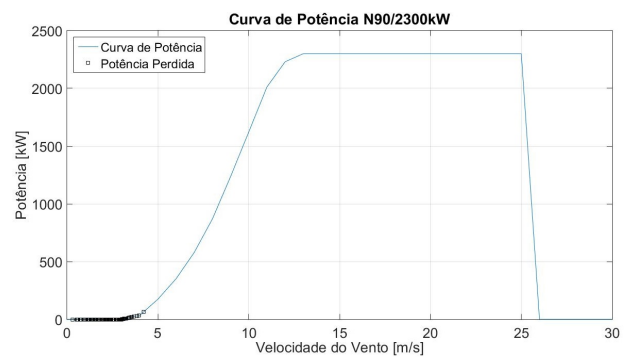
(c) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº7 (2010)



(d) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº4 (2010)

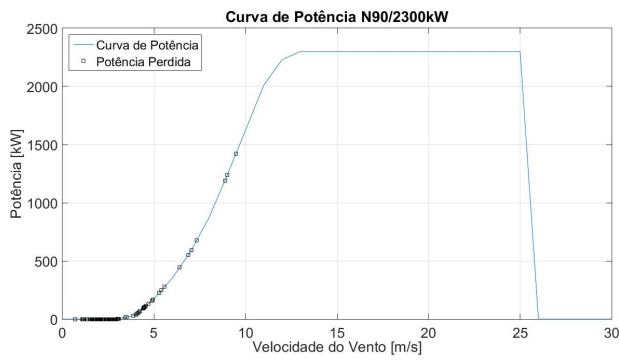


(e) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº1 (2011)

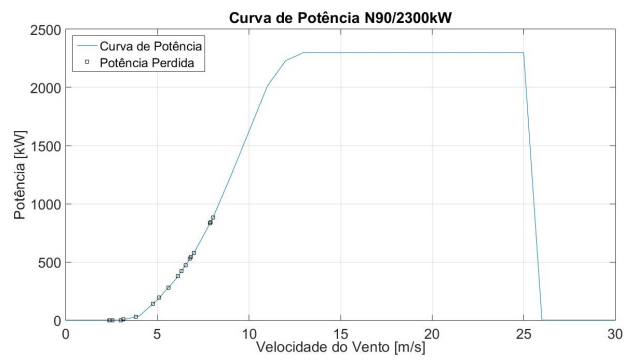


(f) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº3 (2011)

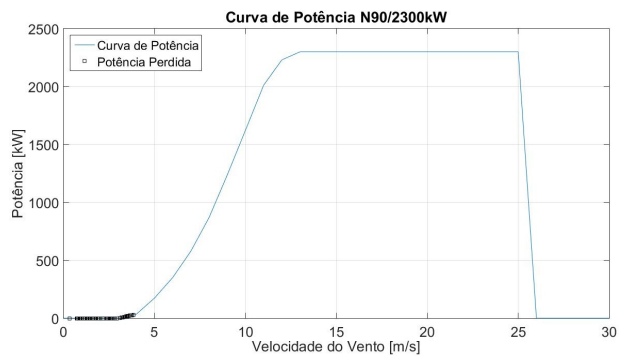
Figura C.7: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem, na caixa multiplicadora, do parque eólico Freita - Parte 1



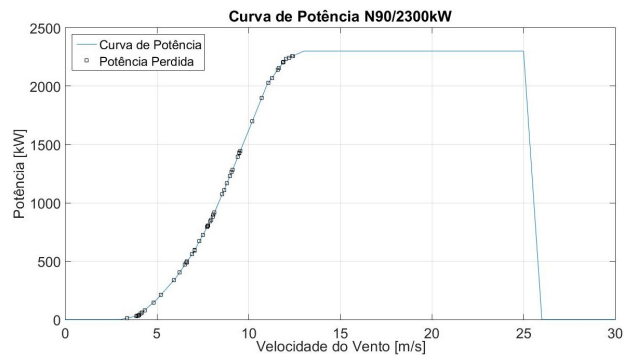
(a) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº4 (2012)



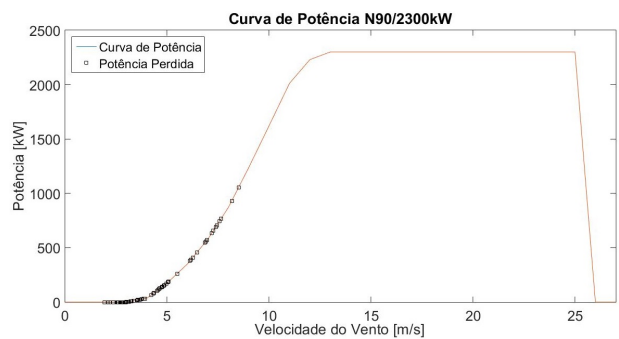
(b) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº7 (2012)



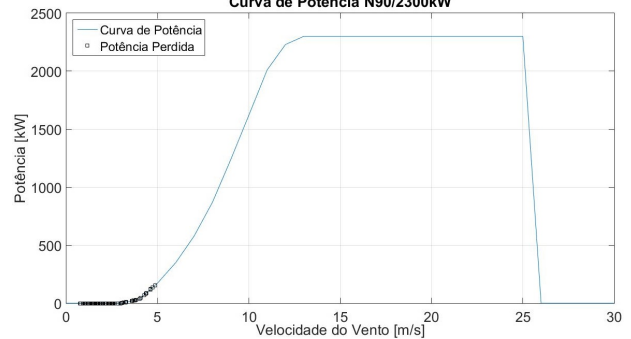
(c) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº3 (2013)



(d) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº7 (2013)

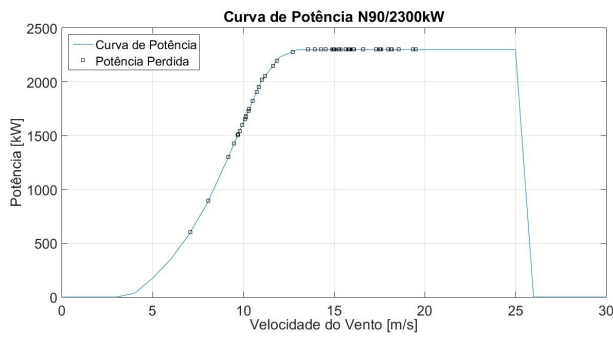


(e) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº1 (2014)

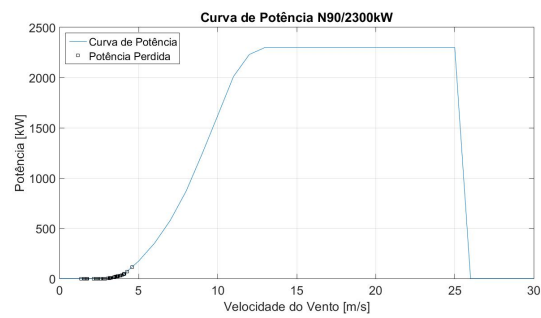


(f) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina nº6 (2014)

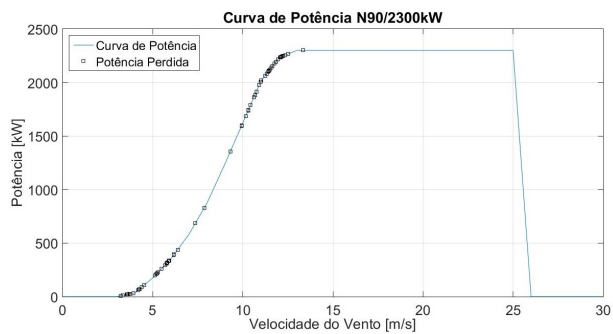
Figura C.8: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem, na caixa multiplicadora, do parque eólico Freita - Parte 2



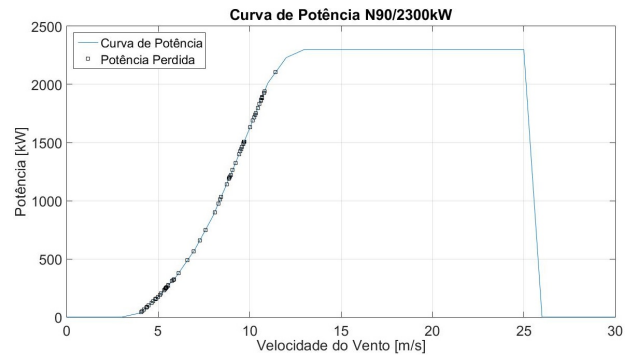
(a) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina n°2 (2015)



(b) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina n°6 (2015)



(c) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina n°1 (2015)



(d) Potência teórica perdida da troca no gerador da turbina n°7 (2015)

Figura C.9: Potência teórica representada na curva de potência ao longo do tempo de paragem, na caixa multiplicadora, do parque eólico Freita - Parte 3

## D Anexos

### D.1 Horas de funcionamento para o mês de fevereiro no PE do Chão Falcão I

<b>Chão Falcão I February/2016</b>		Real Availability	94,65%			
		Contract Availability	98,06%			
	Wind Farm	WTG01	WTG02	WTG03	WTG04	WTG05
Cons. Gen 0 [kWh]	722	47	45	30	41	44
Prod. Gen 1 [kWh]	0					
Prod. Gen 2 [kWh]	10.764.156	847.807	869.869	836.058	777.112	820.667
Total [kWh]	10.763.434	847.760	869.824	836.028	777.071	820.623
Total Calculado [kWh]	10.730.913	837.865	867.614	834.337	774.850	819.092
Cons. Gen 0 [kvarh]	30.359	2.424	2.457	2.663	2.324	1.831
Prod. Gen 1 [kvarh]	0					
Prod. Gen 2 [kvarh]	1.115.565	81.129	88.984	87.590	72.881	83.411
Total [kvarh]	1.085.206	78.705	86.527	84.927	70.557	81.580
SCADA Availability [%]	95,19%	98,41%	99,25%	99,65%	97,00%	99,15%
Working hours [h]	625	648	659	667	637	654

Figura D.1: Horas de funcionamento no PE do Chão Falcão no mês de fevereiro