

Pedro Miguel Pacheco Galego De Jesus

**Análise de perdas de produção eólica através
da monitorização da variável temperatura
em caixas multiplicadoras**



Instituto Superior de Engenharia

2019

Pedro Miguel Pacheco Galego De Jesus

**Análise de perdas de produção eólica através
da monitorização da variável temperatura
em caixas multiplicadoras**

Mestrado em Engenharia Mecânica – Energia, Climatização e
Refrigeração

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Professora Doutora Cláudia Sequeira



Instituto Superior de Engenharia

2019

Análise de perdas de produção eólica através da monitorização da variável temperatura em caixas multiplicadoras

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 da listagem de referências incluída.

Pedro Miguel Pacheco Galego De Jesus

Copyright @ 2019 Pedro Miguel Pacheco Galego De Jesus. 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.

“Procure ser uma pessoa de valor, em vez de procurar ser uma pessoa de sucesso. O sucesso é consequência.”

Albert Einstein

À Filipa e ao João.

Agradecimentos

À minha família: a minha mãe, o meu pai, a minha avó, o meu irmão, a minha irmã, os meus primos, a minha tia, o meu tio e meus avós (*in memoriam*); por todo o apoio que me deram, ao longo de todo o caminho que foi necessário percorrer, e que, nunca desistiram, mesmo nos momentos mais difíceis, “forçando” sempre o término da mesma.

À Filipa, que, mesmo nos momentos mais cruciais, e onde se tomam decisões mais difíceis que definem o resto da nossa vida, nunca se cansou de me apoiar, e de encorajar nesta etapa.

À minha orientadora, Professora Doutora Cláudia Sequeira, pela qual me orgulho imenso por ter sido minha orientadora e professora, e por ter conseguido, através do encorajamento, apoio e dedicação, que escrevêssemos esta dissertação, assinalando assim mais uma etapa no meu percurso pessoal e educacional.

Ao Professor Frederico Morgado, que contribuiu com o seu conhecimento técnico-científico durante o desenrolar do estudo. Ao Engenheiro Luís Pisco, meu tio, pelo apoio dado durante o tratamento de dados necessário para a realização desta dissertação.

A todo o corpo docente do Mestrado em Engenharia Mecânica – Energia, Climatização e Refrigeração, os quais, promovem um ensino de qualidade na Universidade do Algarve, e que dignificam o nome do Instituto Superior de Engenharia, sem os quais, esta dissertação não teria condições para ser elaborada.

A todos os meus colegas que fizeram parte desta jornada, e que me apoiaram, e incentivaram, das mais diversas formas. A todos, muito obrigado!

Resumo

A presente dissertação, tem por base, a análise de dados reais de parques eólicos controlados e monitorizados pelo sistema SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*, com o objetivo de avaliar como o tipo de óleo lubrificante pode afetar a eficiência da caixa multiplicadora e a produção total de energia elétrica produzida. As turbinas eólicas, encontram-se no parque eólica de Freita, no norte de Portugal, e têm em comum, terem trabalhado com dois ou mais tipos de óleos, aproximadamente o mesmo número de horas de trabalho, e a caixa multiplicadora nunca foi substituída. Os dados recolhidos, foram primeiramente filtrados utilizando o método dos Bins, de forma a avaliar a produção de energia eólica, dependendo do tipo de óleo utilizado, e em diferentes períodos. Foram estabelecidas relações entre a curva de produção de energia e a velocidade do vento; entre a temperatura do óleo da caixa multiplicadora e a velocidade do vento; e entre a temperatura do óleo da caixa multiplicadora e a produção de energia. Para as análises efetuadas, foram tidas em conta as análises regulares a amostras de óleo. Os resultados obtidos, mostram-nos que a temperatura do óleo do tipo mineral era inferior à temperatura do óleo do tipo sintético. Foi observada uma relação direta entre as características do óleo, e a eficiência energética, isto é, as caixas multiplicadoras com óleo do tipo mineral, apresentaram melhores desempenhos que as caixas multiplicadoras com óleo do tipo sintético. Estas diferenças podem ser significantes na produção de energia elétrica. Mesmo em caixas multiplicadoras que trabalham com óleos semelhantes, podem resultar em desempenhos significativamente diferentes. Por fim, foi observado uma degradação da viscosidade do óleo em função do incremento de temperatura, com alterações na viscosidade, o que pode indicar que o comportamento da temperatura ao longo da curva de potência, poderá estar relacionada com o tipo de óleo.

Palavras-chave: Turbinas Eólicas, Caixa multiplicadora, Temperatura do óleo, SCADA

Abstract

The present thesis is focus on the analysis of real data from wind farms monitored and controlled by a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA system), aiming to evaluate how lubricant selection affects gearbox efficiency and overall energy production. The analysed wind turbines from Freita Wind Park, North of Portugal, worked with two or more oil types, for the same number of hours and never had their gearboxes replaced. The data was first filtered using the bin method to evaluate wind energy production efficiency depending of the type of oil used for different periods. Relations were established between the active power curves and wind velocity; oil temperature inside gearboxes and wind velocity; and oil temperature inside gearboxes and active power production. The analysis was supported by regular viscosity oil analysis. The results showed that temperature of mineral oils was lower than synthetic oil types. A direct relation was observed between oil characteristics and energy efficiency i.e. gearboxes working with mineral oil perform better than gearboxes working with synthetic oils. Those differences can be significant in terms of active power production. Even gearboxes working with oils of similar nature, and therefore with similar characteristics, result significant differences on performance. Finally, it was observed an oil degradation as a function of temperature increase, with changes on viscosity, which reveals that temperature behaviour along the active power curve is strongly related to oil type characteristics.

Keywords: Wind Turbine, Gearbox, Oil temperature, SCADA

Nomenclatura

WTG – *Wind Turbine Generator* (Gerador de Turbina Eólica)

MINR – Óleo mineral

PAO – Base para obtenção de Óleos sintéticos (*PolyAlphaOlefin*)

T_{oil} - Temperatura do óleo (*Oil Temperature*)

SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition*

ANN – *Artificial Neural Networks*

ISO – *International Organization for Standardization*

ASTM D – *American Society for Testing and Materials*

C_p – Coeficiente de potência da turbina eólica

Índice

Agradecimentos	ix
Resumo	xi
Abstract	xiii
Nomenclatura.....	xv
Índice	xvii
Índice de Figuras	xix
Índice de Gráficos.....	xxi
Índice de Tabelas	xxii
1. Introdução.....	1
1.1. Introdução Genérica.....	1
1.2. Estado de Arte.....	3
2. Turbinas Eólicas.....	6
2.1. Princípios Gerais.....	6
2.2. Tipos De Turbinas Eólicas.....	7
2.3. Especificações Das Turbinas Eólicas Em Estudo.....	9
3. Caixas Multiplicadoras.....	14
3.1. Princípio de Funcionamento	14
3.2. Método de arrefecimento do óleo da caixa multiplicadora.....	16
4. Condicionantes Aplicadas no Estudo	18
4.1. Parque Eólico	18
4.2. Características dos Óleos Lubrificantes.....	19
5. Métodos Aplicados no Estudo	22
5.1. Método Dos Bins	22
5.2. Base de Dados.....	26

6. Análise dos Resultados.....	27
7. Discussão de Resultados	45
8. Conclusão	47
9. Referências	49
10. Anexos	53

Índice de Figuras

FIGURA 2.1 – TURBINA EÓLICA DE VEIO HORIZONTAL (AXIAL).....	6
FIGURA 2.2 – PARQUE TURBINAS EÓLICAS OFFSHORE	7
FIGURA 2.3 – PARQUE TURBINAS EÓLICAS ONSHORE.....	7
FIGURA 2.4 – TURBINAS EÓLICAS DE VEIO HORIZONTAL (RADIAL).....	8
FIGURA 2.5 – TURBINAS EÓLICAS DE VEIO VERTICAL (AXIAL)	8
FIGURA 2.6 – VALORES DA CURVA DE POTÊNCIA DA TURBINA EÓLICA NORDEX N90/2300	11
FIGURA 3.1 – CAIXA MULTIPLICADORA EICKHOFF ECOGEAR 2,5	15
FIGURA 3.2 – CIRCUITO HIDRÁULICO DE ARREFECIMENTO DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA.....	16
FIGURA 4.1 – MAPA DE PORTUGAL COM AS RESPECTIVAS LOCALIZAÇÕES DOS PARQUES EÓLICOS	18
FIGURA 5.1 – FORMATAÇÃO DO FICHEIRO EM FORMATO .XLSX PARA APLICAÇÃO NO SOFTWARE MATLAB®.....	26
FIGURA 6.1 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE TODOS OS PONTOS DA TURBINA 3.....	29
FIGURA 6.2 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE TODAS AS WTG'S.....	30
FIGURA 6.3 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS DE TODAS AS WTG'S, DA POTÊNCIA PRODUZIDA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO ENTRE 12 M/S E 15 M/S	33
FIGURA 6.4 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS DE TODAS AS WTG'S, DA POTÊNCIA PRODUZIDA EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO ENTRE 5 M/S E 12 M/S	34
FIGURA 6.5 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS DA #WTG03.....	36
FIGURA 6.6 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS DA #WTG04.....	38
FIGURA 6.7 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS DA #WTG06.....	40
FIGURA 6.8 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS DA #WTG07.....	42
FIGURA 10.1 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA #WTG03.....	54
FIGURA 10.2 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA #WTG04.....	55
FIGURA 10.3 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA #WTG06.....	56
FIGURA 10.4 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA #WTG07.....	57
FIGURA 10.5 – POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG03	58
FIGURA 10.6 – POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG04	59
FIGURA 10.7 – POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG06	60
FIGURA 10.8 – POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG07	61
FIGURA 10.9 – TEMPERATURA VS POTÊNCIA PRODUZIDA DA #WTG03.....	62
FIGURA 10.10 – TEMPERATURA VS POTÊNCIA PRODUZIDA DA #WTG04.....	63
FIGURA 10.11 – TEMPERATURA VS POTÊNCIA PRODUZIDA DA #WTG06.....	64
FIGURA 10.12 – TEMPERATURA VS POTÊNCIA PRODUZIDA DA #WTG07.....	65

FIGURA 10.13 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA TEMPERATURA VS VELOCIDADE DO VENTO DAS WTG'S	66
FIGURA 10.14 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DAS WTG'S	71
FIGURA 10.15 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA TEMPERATURA VS POTÊNCIA PRODUZIDA DAS WTG'S.....	76
FIGURA 10.16 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG03.....	81
FIGURA 10.17 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG04.....	83
FIGURA 10.18 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG06.....	86
FIGURA 10.19 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG07.....	89
FIGURA 10.20 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG03.....	91
FIGURA 10.21 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG04.....	93
FIGURA 10.22 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG06.....	96
FIGURA 10.23 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG07.....	99
FIGURA 10.24 – GRÁFICO DA TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG03.....	100
FIGURA 10.25 – GRÁFICO DA TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG03.....	100
FIGURA 10.26 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA DA #WTG03.....	100
FIGURA 10.27 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG03.....	100
FIGURA 10.28 – GRÁFICO DA TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG04.....	100
FIGURA 10.29 – GRÁFICO DA TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG04.....	100
FIGURA 10.30 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA DA #WTG04.....	100
FIGURA 10.31 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG04.....	100
FIGURA 10.32 – GRÁFICO DA TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG06.....	100
FIGURA 10.33 – GRÁFICO DA TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG06.....	100
FIGURA 10.34 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA DA #WTG06.....	100
FIGURA 10.35 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG06.....	100
FIGURA 10.36 – GRÁFICO DA TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG07.....	100
FIGURA 10.37 – GRÁFICO DA TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG07.....	100
FIGURA 10.38 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS TEMPERATURA DO ÓLEO DA CAIXA MULTIPLICADORA DA #WTG07.....	100
FIGURA 10.39 – GRÁFICO DA POTÊNCIA PRODUZIDA VS VELOCIDADE DO VENTO DA #WTG07.....	100

Índice de Gráficos

GRÁFICO 2.1 – CURVA DE POTÊNCIA DA TURBINA EÓLICA NORDEX N90/2300	12
GRÁFICO 5.1 – VALORES A CONSIDERAR NA APLICAÇÃO NO MÉTODO DOS BINS.....	24
GRÁFICO 5.2 – DISTINÇÃO DOS INTERVALOS CONSIDERADOS: ENTRE 0 E 5, ENTRE 5 E 10. SÓ DEVEM SER CONSIDERADOS TODOS VALORES DENTRO DO INTERVALO, OS VALORES PARA $X=0$, $X=5$ E $X=10$, DEVEM SER INCLUÍDOS NUM DOS INTERVALOS, NUNCA NOS DOIS INTERVALOS EM SIMULTÂNEO	24
GRÁFICO 5.3 – QUANDO APLICAMOS O MÉTODO DOS BINS, OBTEMOS OS VALORES MÉDIOS, QUER DO EIXO DOS XX, QUER DO EIXO DOS YY, CONSEGUINDO ASSIM SOMENTE UM PONTO PARA UM DETERMINADO INTERVALO	25

Índice de Tabelas

TABELA 2.1 – TABELA DAS CARACTERÍSTICAS DA TURBINA ÉOLICA DA MARCA NORDEX, MODELO N90/2300	9
TABELA 4.1 - CARACTERÍSTICAS DOS ÓLEOS EM ESTUDO	19
TABELA 4.2 – DATAS DE SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO DAS CAIXAS MULTIPLICADORAS TENDO EM CONTA O NÚMERO DA WTG E O TIPO DE ÓLEO COLOCADO.....	20
TABELA 4.3 - VALOR DAS VISCOSIDADES DO ÓLEO, DAS RESPECTIVAS TRURBINAS EÓLICAS, RETIRADOS DE AMOSTRAS REALIZADAS APÓS A UTILIZAÇÃO DOS MESMOS	20

1. Introdução

1.1. Introdução Genérica

O rápido crescimento da energia eólica obriga a que existam rápidas e eficazes soluções tecnológicas. Até agora, a indústria tem assistido a um crescimento estável da energia eólica, atingindo um total de 597 GW (gigawatt) de capacidade instalada no final do ano de 2018, cobrindo assim 6% de toda a energia elétrica consumida no mundo, e, prevê-se que, a tendência de crescimento no futuro, apesar de ter diminuído ligeiramente no ano de 2018, cerca de 1,7 pontos percentuais reduzindo assim para um crescimento de 9,1% (50,1 GW), seja, muito idêntica à atual [1]. Tendo em conta os números apresentados anteriormente, e o elevado investimento necessário para construir um parque eólico, perguntamo-nos: “Não conseguiríamos produzir uma maior quantidade de energia com as turbinas eólicas já existentes?”; “será possível aumentar a eficiência e o desempenho global de cada turbina eólica existente nos parques eólicos?”.

A monitorização e acompanhamento de qualquer processo industrial é, atualmente, uma ferramenta indispensável. A deteção antecipada de avarias, evita e previne que ocorram avarias com elevados tempos de paragem e custos avultados, permitindo assim, que os departamentos responsáveis pela produção e manutenção dos equipamentos, obtenham informações *in-time* do estado operacional do equipamento, além da obtenção de um planeamento de manutenção e de operação muito mais fidedigno, levando assim a uma melhoria de desempenho, e de disponibilidade, significativa. Nas caixas multiplicadoras, a monitorização da sua condição é essencial para o controlo efetivo da fiabilidade de um sistema mecânico [2]. Cada vez mais, a indústria eólica tem vindo a integrar os dados de

sistemas de controlo como o SCADA, e sistemas de monitorização de condição (CMS), para detetar, diagnosticar, e prever falhas na caixa multiplicadora [3], uma vez que, através deste tipo de sistemas conseguimos ter acesso a uma quantidade enorme de dados em tempo real. Além dos dados provenientes da turbina eólica, ou do parque eólico, relativos à caixa multiplicadora, conseguimos outro tipo de dados, como temperatura da *Nacelle*, temperatura do ar exterior, direção e velocidade do vento, entre outros, o que nos permite um controlo mais eficaz das turbinas eólicas, de forma a prevenirmos avarias ou perda de eficiência das mesmas. No caso da caixa multiplicadora, a eficiência da mesma, é dada através do quociente entre a potência de saída da mesma, e a potência de entrada, isto, analisando somente o elemento caixa multiplicadora em funcionamento. Nesse sentido, as análises de óleos e de lubrificantes, são um dos instrumentos mais importantes de monitorização de condições. A limpeza do óleo, a viscosidade e a temperatura, fornecem informações muito importantes sobre o desempenho da caixa multiplicadora de qualquer turbina eólica [4].

O desenvolvimento e avanço tecnológico tem possibilitado a construção e exploração de turbinas eólicas de maior dimensão e complexidade tecnológica. Consequentemente, este avanço tecnológico levou-nos a uma situação em que as avarias de componentes resultam em elevados custos. Os componentes mais importantes, que definem a produção efetiva de energia produzida por uma turbina eólica, é a caixa multiplicadora e o gerador. As caixas multiplicadoras das turbinas eólicas lidam efetivamente com vários megawatts (MW) de potência, o que significa que um pequeno incremento de eficiência pode traduzir-se numa maior produção de energia [5]. Assim, para tornar a energia eólica competitiva, é fundamental aumentar a eficiência, a disponibilidade e fiabilidade das caixas multiplicadoras, para isso, é importante quantificarmos as principais fontes de perdas de energia das caixas multiplicadoras.

1.2. Estado de Arte

A lubrificação, é um requisito para o bom funcionamento das caixas multiplicadoras, ou de qualquer sistema de engrenagens, uma vez que as principais fontes de perda de energia provêm do atrito existente entre os dentes dos carretos [6, 7, 8], em que o atrito é uma condição fundamental para o funcionamento da caixa multiplicadora devido à ligação existentes entre os carretos. Além disso, para reduzir o atrito existente entre os dentes dos carretos, é fundamental selecionar corretamente o óleo lubrificante a utilizar de forma a minimizar o desgaste dos dentes das engrenagens, permitindo uma otimização dos componentes e conseqüentemente da própria turbina eólica, tendo em conta os fatores externos ambientais em que a turbina eólica irá funcionar [9]. Como tal, a seleção de um óleo lubrificante com propriedades físicas apropriadas, promove uma diminuição das perdas em vazio, isto é, quando a caixa multiplicadora está a rodar livremente sem a resistência associada do gerador, o que contribui para uma diminuição da temperatura do óleo lubrificante em funcionamento [5, 10].

As perdas em vazio estão diretamente relacionadas com a viscosidade e a densidade do lubrificante, bem como a profundidade de imersão dos componentes numa caixa de engrenagens planetárias em que a lubrificação é realizada pelo método de chapinhagem, ao invés das perdas em vazio nos rolamentos que dependem diretamente do tipo e tamanho do rolamento, montagem, viscosidade do óleo lubrificante e profundidade de imersão do próprio rolamento [6]. Além de que, as principais perdas de transmissão entre as engrenagens devem-se primeiramente ao atrito viscoso das engrenagens e rolamentos que estão imersos em óleo lubrificante [11].

Uma operação intermitente da turbina eólica, uma situação por vezes comum nos parques eólicos, poderá também ter um impacto significativo numa caixa multiplicadora, porque quando a turbina eólica não se encontra em funcionamento, devido ao efeito da aceleração da gravidade, o óleo lubrificante poderá drenar completamente para o cárter da caixa multiplicadora, resultando assim numa lubrificação insuficiente aquando do novo arranque da turbina eólica [11, 12, 13]. Além de que, sob um clima frio, a viscosidade do óleo lubrificante irá aumentar significativamente, e, só após algum tempo do arranque da turbina eólica, é que a caixa multiplicadora se encontra com a temperatura operativa ótima.

As turbinas eólicas que se encontram num ambiente como o que mencionámos anteriormente, poderão ter aquecedores nas caixas multiplicadoras, uma vez que a condensação da humidade poderá acelerar o processo de corrosão da caixa multiplicadora [14, 15, 16, 17, 18].

Tendo em conta o custo elevado das caixas multiplicadoras, fazendo deste subconjunto um dos mais caros das turbinas eólicas, nas últimas duas décadas, a indústria tem vindo a investir e a melhorar substancialmente os processos, com o objetivo de melhorar a fiabilidade das caixas multiplicadoras [19, 20, 21, 22, 23, 24].

Uma caixa multiplicadora encontra o seu equilíbrio térmico quando a temperatura de operação se encontra estabilizada, ou seja, quando a energia dissipada dentro da caixa multiplicadora é igual à energia dissipada da caixa multiplicadora para dentro da Nacelle (todos os ganhos de calor são iguais às perdas de calor). O equilíbrio térmico da caixa multiplicadora depende das características físicas da caixa multiplicadora (espessura das paredes das caixas multiplicadora, especificações do material utilizado para a construção da mesma, formato), e das propriedades dos óleos lubrificantes utilizados. Um equilíbrio térmico a uma temperatura mais baixa, significa uma maior eficiência da caixa multiplicadora, um menor coeficiente de atrito entre os seus componentes, menor oxidação e um prolongamento da vida útil do óleo lubrificante [2, 25]. Elevadas temperaturas podem levar também a que seja criado um stress superior no material que compõe a caixa multiplicadora, isto é, imaginando um óleo lubrificante sintético, com inúmeros aditivos, as elevadas temperaturas impõem uma atividade química no óleo lubrificante [34]. Um exemplo deste facto, é suportado por Nutakor et al. [35], que estudaram a influência do conjunto de engrenagens planetárias, rolamentos e lubrificantes, no desempenho de uma turbina eólica, onde os autores concluíram que a diminuição da viscosidade do óleo lubrificante pelo aumento significativo da sua temperatura, resulta num incremento considerável das perdas de potência mecânica nos rolamentos de um sistema planetário de uma caixa multiplicadora.

A caixa multiplicadora é o elemento com a maior complexidade operacional, desde a manutenção à sua substituição, e de maior custo [36], como tal, os dados de vibrações e condições do óleo, têm sido utilizados como entrada principal em modelos comportamentais, modelos de elementos finitos, redes de comunicação e em métodos estatísticos de forma a prever falhas na caixa multiplicadora. Como exemplo, foi desenvolvida uma rede de comunicações (ANN – *Artificial Neural Networks*) para

monitorizar a condição das turbinas eólicas através da utilização dos dados do sistema SCADA [37]. Este tipo de abordagem, foi baseada na criação de modelos de comportamento “normal” de componentes críticos, monitorizando a temperatura do óleo da caixa multiplicadora, permitindo assim, detetar condições anómalas ao correto funcionamento da turbina eólica.

Nos nossos dias, as turbinas eólicas são monitorizadas e controladas pelo *Supervisory Control and Data Acquisition* – o sistema SCADA. Este sistema é composto por sensores e atuadores que se encontram instalados em vários componentes e partes constituintes de turbinas eólicas permitindo a leitura de dados como a temperatura da caixa multiplicadora, a temperatura da Nacelle, a temperatura exterior, a direção do vento, a velocidade do vento, entre outros. Este sistema, também permite a comunicação entre estações de leitura remotas e o centro de controlo, fornecendo assim, dados e informações importantes para o processo de controlo e operação do sistema elétrico de energia, bem como contribui de forma significativa para a tomada de decisões no departamento de manutenção. Está capacitado também para, no caso de ocorrer alguma avaria, acionar alarmes que alertam os responsáveis pela operação que se encontra uma situação anómala naquela turbina eólica, permitindo assim uma rápida e eficaz intervenção na resolução da mesma. Os métodos de análise dos dados do sistema SCADA, foram utilizados recentemente para avaliar a importância do layout de um parque eólico, mais especificamente no que diz respeito à direção do vento, revelando-se uma ferramenta bastante útil para avaliar os efeitos de esteira do vento num parque eólico [26].

2. Turbinas Eólicas

2.1. Princípios Gerais

Uma turbina eólica, no fundo, é um equipamento que tem como função transformar energia cinética, em energia elétrica [27]. A turbina eólica, através das suas pás, consegue captar a energia proveniente da deslocação de ar (vento), estando estas pás conectadas a um cubo (*rotor*), que por sua vez está conectado a um veio (*drive chain*). Estando este veio em rotação, e tendo em conta a rotação máxima do veio admissível para o tipo de turbinas eólicas consideradas neste estudo, devido às dimensões das pás turbina eólica, a sua velocidade de rotação nunca irá acima das 16,8 rpm [28]. Considerando um gerador típico destas turbinas eólicas, constatamos que este gerador necessita de velocidades de rotação entre as 740 rpm e as 1.300 rpm [28], como tal, é necessário aplicar uma caixa multiplicadora (*gearbox*) entre o veio de rotação (*drive chain*) e o gerador (*generator*). O gerador mencionado anteriormente, está conectado a um conversor de energia, que está posteriormente



Figura 2.1 – Turbina Eólica de Veio Horizontal (Axial)

Fonte: Erich Hau, Wind Turbines 2nd Edition

conectado com a rede elétrica da região onde está montada a turbina eólica [29]. Hoje em dia, este equipamento já possui sistemas de auto controlo de forma a que se ajuste às necessidades de produção de energia daquele parque eólico, comunicando entre as turbinas eólicas incluídas na sua rede de comunicação, tendo em conta a meteorologia que se faz sentir em cada localização das mesmas, eficiência individual e/ou do parque eólico, e até mesmo, o comportamento estrutural da turbina eólica [30, 31].

2.2. Tipos De Turbinas Eólicas

Quando falamos em turbinas eólicas, estas dividem-se quanto ao espaço físico onde são montadas, *onshore* e *offshore*, e quanto ao tipo de montagem estrutural das mesmas, de veio horizontal (radial) ou veio vertical (axial).

Entende-se por turbinas eólicas *onshore*, ilustrado na figura 2.3, quando estas estão localizadas em parques eólicos terrestres, como é o caso de todas as turbinas que tivemos em consideração para este estudo, e por turbinas eólicas *offshore*, ilustrado na figura 2.2, quando estas estão localizadas em parques eólicos marítimos, geralmente em oceanos ou mares abertos de pouca profundidade.



Figura 2.3 – Parque Turbinas Eólicas Onshore



Figura 2.2 – Parque Turbinas Eólicas Offshore

De acordo com o princípio de funcionamento das turbinas eólicas, o vento é fundamental para o seu funcionamento, e a forma como o vento é captado é de forma axial, seja em turbinas eólicas onde o veio de conexão do gerador está montado na horizontal, ilustrado na figura 2.4, como é o caso de todas as WTG's que tivemos em consideração para este estudo, ou, como é ilustrado na figura 2.5, onde o veio de conexão ao gerador é montado na vertical.



Figura 2.4 – Turbinas Eólicas de Veio Horizontal (Radial)



Figura 2.5 – Turbinas Eólicas de Veio Vertical (Axial)

2.3. Especificações Das Turbinas Eólicas Em Estudo

Para este estudo, foram consideradas turbinas eólicas da marca *Nordex*, modelo N90, com uma capacidade máxima de produção de energia elétrica de 2,3 MW, apresentando as seguintes características técnicas:

Tabela 2.1 – Tabela das características da turbina eólica da marca *Nordex*, modelo N90/2300

N90/2300	
Rotor	
Number of rotor blades	3
Rotor speed	9.6 to 16.8 rpm
Rotor diameter	90 m
Swept area	6,362 m ²
Power regulation	Pitch
Cut-in wind speed	Approx. 3 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s
Rated power	From approx. 13 m/s
Survival wind speed	59.5 m/s-IEC type class 2
Pitch-regulation	Individual pitch
Weight	Approx. 55,000 kg
Rotor blades	
Lenght	43,8 m
Material	GRP
Weight	Approx. 10,200 kg
Gearbox	
Type	Planetary gearbox
Gear ratio	1 : 77.44
Weight	Approx. 18,500 kg
Oil quantity	360 l
Oil change	Semi-annual check, change as required
Rotor shaft bearing	Cylindrical roller bearing
Generator	
Power	2,300 kW
Voltage	660 V
Type	Asynchronous double-fed, liquid-cooled
Speed	740 - 1,300 rpm

Insulation class	IP 54
Weight	Approx. 10,000 kg

Yaw system

Bearing	Ball bearing
Brake	Hydraulic disc brake
Drive	Two asynchronous motors with an integrated brake
Speed	Approx. 0.5 °/s

Control system

Type	PLC, Remote Field Controller (RFC)
Grid connection	Via IGBT converter
Scope of monitoring	Remote monitoring of more than 300 different parameters, e. g. temperature, hydraulic pressure, pitch parameter, wind speed and direction
Recording	Production data, event lists with filter function, long and short-term trends
Visualisation	Panel PC in control cabinet and Web-based access possible from any PC, adapter for laptop at the bottom of tower and in nacelle

Brakes

Primary	Rotor blade pitch
Secondary	Hydraulic disc brake

Tower

Type	Modular tubular steel tower Lattice: hot-dip galvanised
Hub heights	Tubular tower 70 m, certificate IEC 2a Tubular tower 80 m, certificate DIBt 3, IEC 2a, GL 2 Tubular tower 100 m, certificate DIBt 2 IEC 3a Lattice tower 105 m, certificate DIBt 2

Fonte: *Nordex*

As características anteriormente mencionadas foram consultadas no catálogo de produto do fabricante [32], e, neste caso específico, mesmo não sendo relevante para o estudo, as torres têm uma altura de 80 metros, com um diâmetro do rotor de 90 metros, razão pela

qual o modelo é N90, e o gerador, como referido anteriormente, uma capacidade máxima de produção de 2,3 MW, razão pela qual é apresentado o modelo como /2300.

Para cada tipo de turbina eólica, o fabricante, de acordo com a norma IEC 61400, parte 12-1 [33], deverá seguir a mesma, e, efetuar testes, de forma a construir a curva de potência, de forma a ceder a mesma aos seus proprietários. Como tal, na figura 2.6, são apresentados os valores calculados pelo fabricante, bem como a respetiva curva de potência no gráfico 2.1:

POWER CURVE N90/2300		
Wind speed [m/s]	Power [kW]	Power coefficient Cp
4	35	0,140
5	175	0,359
6	352	0,418
7	580	0,434
8	870	0,436
9	1237	0,435
10	1623	0,417
11	2012	0,388
12	2230	0,331
13	2300	0,269
14	2300	0,215
15	2300	0,175
16	2300	0,144
17	2300	0,120
18	2300	0,101
19	2300	0,086
20	2300	0,074
21	2300	0,064
22	2300	0,055
23	2300	0,049
24	2300	0,043
25	2300	0,038

Figura 2.6 – Valores da Curva de Potência da Turbina Eólica Nordex N90/2300

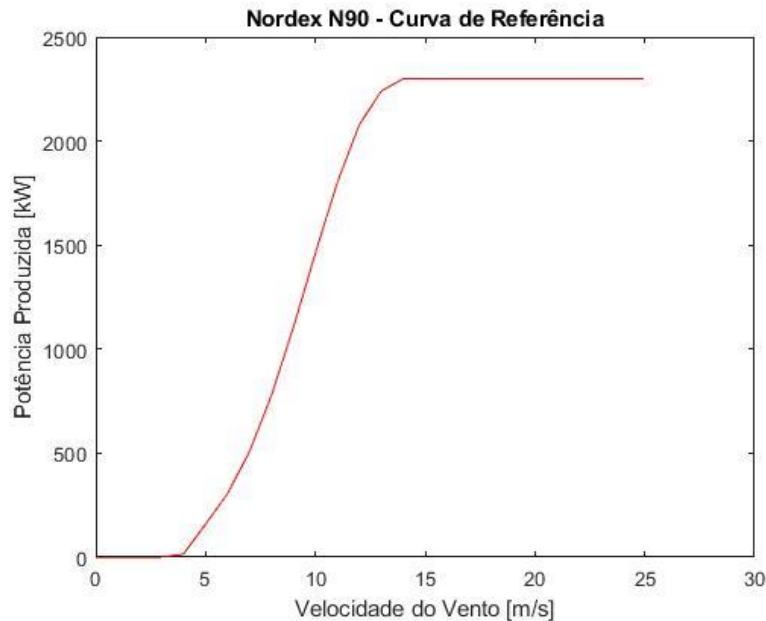


Gráfico 2.1 – Curva de Potência da Turbina Eólica Nordex N90/2300

De acordo com o gráfico 2.1, apresentado anteriormente, a WTG em estudo, começa a produzir energia elétrica a partir de uma velocidade de vento, de, aproximadamente, 3 m/s, e, atinge o seu máximo de produção, no valor de 2.300 kW, aos 13 m/s, sendo este valor constante até ao máximo admissível de velocidade de vento para esta WTG, no valor de 25 m/s. É de referir que, entre os 5 m/s e os 12 m/s, a WTG tem um crescimento aproximadamente linear, e, é onde se situa a zona considerada “crítica” de produção de energia elétrica, uma vez que, mais ou menos, 1 m/s de velocidade do vento, pode significar um acréscimo, ou decréscimo, mais acentuado na produção final. Aos 8 m/s de velocidade de vento, com uma produção de 870 kW, temos o ponto de rendimento máximo, uma vez que o coeficiente de potência (C_p) tem o valor de 0,436, e é o valor mais próximo de 1, uma vez que o C_p é dado pelo quociente entre a energia total produzida pela turbina eólica, e a energia total disponibilizada pelo vento, tendo em conta as características da turbina, e a velocidade do vento. Considerando todo o espectro de velocidades de vento, verificamos que, entre os 6 m/s e os 10 m/s, situa-se a gama de velocidades para o qual, a turbina eólica, consegue produzir energia elétrica com o maior rendimento possível.

Considerando este fato de extrema importância, pretende-se com o presente estudo, quantificar as perdas de produção eólica, através da monitorização da variável temperatura, devido à utilização de diferentes tipos de óleo nas caixas multiplicadoras, as quais são responsáveis pela transmissão de energia, e onde, a nível térmico e mecânico,

devido ao atrito, existe a maior probabilidade de perdas de energia, ao quais deveremos tentar identificar e reduzir ao máximo. No decorrer do estudo, verificámos que, para velocidades de vento iguais, mas com óleos diferentes colocados na caixa multiplicadora, obtivemos resultados diferentes, isto é, dependendo do tipo de óleo (mineral ou sintético) colocado na caixa multiplicadora da turbina eólica, para a mesma velocidade do vento, a produção de energia elétrica foi diferente, suportando assim a teoria de que o tipo de óleo da caixa multiplicadora tem uma influência direta na produção de energia elétrica da turbina eólica.

3. Caixas Multiplicadoras

3.1. Princípio de Funcionamento

A caixa multiplicadora é um componente fundamental quando pretendemos converter uma determinada velocidade de rotação de um veio, denominado veio de entrada, numa outra velocidade de rotação, superior ou inferior, noutra veio, denominado veio de saída. Neste caso específico, considerando a produção máxima de energia elétrica na ordem dos 2.300 kW, a caixa multiplicadora, é responsável pela conversão da velocidade de rotação, entre as 9,6 rpm e as 16,8 rpm, proveniente do veio de entrada (*drive chain*), para a velocidade de rotação necessária para o correto funcionamento do gerador, entre as 740 rpm e as 1.300 rpm [28]. A caixa multiplicadora em questão, é da marca *Eickhoff*, modelo *EICOGEAR 2,5*, em que a multiplicação da velocidade de rotação é feita através de 2 sistemas planetários, e 1 sistema helicoidal, com um rácio de multiplicação de 77,44 [28], ou seja, se a velocidade de rotação do veio de entrada for de 10 rpm, a velocidade de rotação no veio de saída da caixa multiplicadora será de 774,40 rpm.

O incremento de velocidade da rotação do veio, comparando o veio de entrada com o veio de saída, dá-se através de 2 estágios de sistema planetário, e 1 estágio de sistema helicoidal. O primeiro estágio, mencionado na figura 3.1 como o ponto 2, recebe a rotação do veio (*rotor shaft*) que está conectado ao cubo da WTG (*rotor hub*), identificado como o ponto 1, e, através de um sistema planetário de carretos com dentes retos, faz rodar os carretos planetários, e estes, por sua vez, transmitem esta rotação aos carretos de dentes

retos do 2º estágio de sistema planetário, identificado como o ponto 3 na figura 3.1. Os carretos planetários deste sistema, fazem rodar o próprio carreto central, que, por sua vez, está diretamente conectado ao carreto de dentes helicoidais de maior tamanho do estágio de sistema helicoidal, sendo por este, transmitida a energia mecânica diretamente ao carreto de dentes helicoidais que faz parte integrante do veio de saída da caixa multiplicadora, identificado como o ponto 5 da figura 3.1.

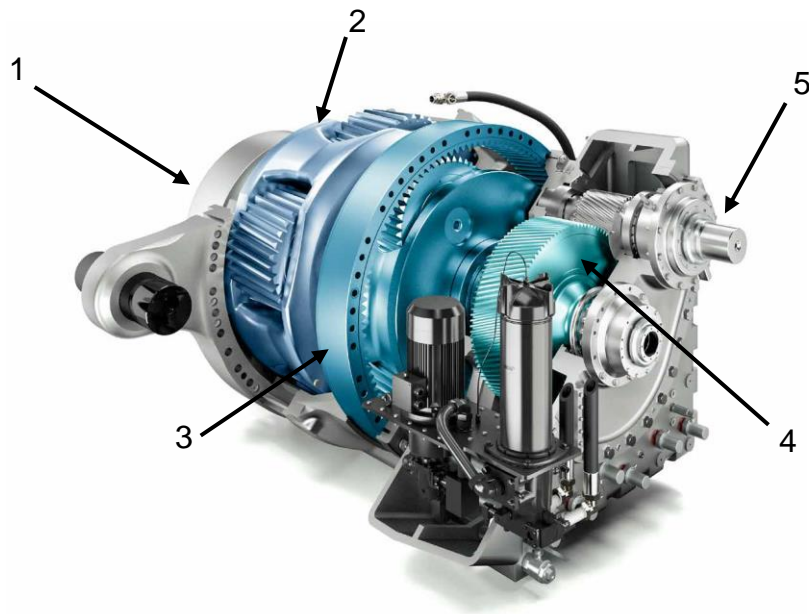


Figura 3.1 – Caixa multiplicadora Eickhoff ECOGEAR 2,5; o ponto 1 representa o local onde o veio proveniente das pás conecta; o ponto 2 representa o primeiro estágio do sistema planetário; o ponto 3 representa o segundo estágio do sistema planetário; o ponto 4 representa o estágio do sistema helicoidal; o ponto 5 o veio de conexão ao gerador da turbina eólica (veio de alta velocidade)

3.2. Método de arrefecimento do óleo da caixa multiplicadora

Este tipo de turbina eólica, tem um sistema de arrefecimento do óleo da caixa multiplicadora, de acordo com o sistema hidráulico apresentado na figura 3.2:

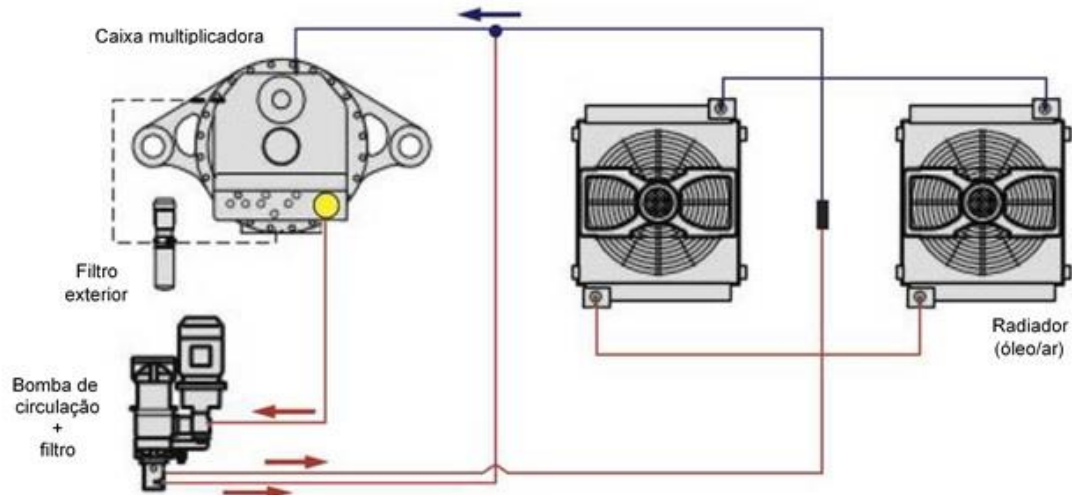


Figura 3.2 – Circuito hidráulico de arrefecimento do óleo da caixa multiplicadora

Sendo a temperatura, um parâmetro fundamental no comportamento dinâmico do óleo, e por forma a obtermos a maior eficiência possível da caixa multiplicadora e no desempenho geral da turbina eólica, o sistema SCADA, é programado para obter dados, a cada 10 minutos, das seguintes variáveis: temperatura exterior, temperatura da *Nacelle*, temperatura do rolamento principal (cubo da turbina eólica), temperatura do rolamento da caixa multiplicadora e do óleo de lubrificação da caixa multiplicadora. A temperatura ideal recomendada pelo fabricante para o óleo mencionado anteriormente, situa-se entre os 45°C e os 65°C (informação proveniente do fornecedor da caixa multiplicadora). Neste caso específico, esta temperatura ideal de funcionamento é garantida pelo circuito hidráulico de arrefecimento ilustrado na figura 3.2. De forma a garantir um controlo de temperatura no circuito, existem sensores de temperatura no circuito que atuam da seguinte forma:

- Se a temperatura do óleo junto à válvula termostática for de, aproximadamente, 45°C, a válvula abre, a bomba entra em funcionamento e força a passagem do óleo através dos radiadores, sem que as ventoinhas dos mesmo estejam em funcionamento;

- Quando a temperatura do óleo atingir os 62°C, os ventiladores dos dois radiadores óleo/ar, entram em funcionamento;
- Após a entrada dos ventiladores em funcionamento, quando a temperatura do óleo, na válvula termostática, descer cerca de 5°C, ou seja, a temperatura absoluta do óleo passar para os 57°C, os ventiladores dos radiadores desligam;
- Quando a temperatura do óleo atingir os 58°C, a bomba de circulação do óleo passa automaticamente para o segundo estágio de velocidade, aumentando assim o caudal do óleo que passa através dos radiadores;
- Entretanto, se a temperatura do óleo descer e atingir os 48°C, a bomba de circulação regressa ao primeiro estágio de velocidade, diminuindo assim o caudal do óleo no circuito;
- A turbina entra em modo de emergência, e pára automaticamente, se a temperatura do óleo atingir os 70°C.

Este tipo de sistemas, são muito importantes num equipamento como a turbina eólica, porque garante-nos que, na maior parte do tempo, a temperatura do óleo da caixa multiplicadora está dentro dos parâmetros recomendados de temperatura operativa, de forma a garantir a maior eficiência possível da caixa multiplicadora.

4. Condicionantes Aplicadas no Estudo

4.1. Parque Eólico

Para este estudo, considerámos um conjunto de 12 parques eólicos, localizados na zona Estremadura e Vale do Tejo, Centro e Norte de Portugal Continental, totalizando assim um universo de 124 turbinas eólicas. Do universo de Turbinas Eólicas anteriormente referidas, iremos considerar, para o nosso estudo, 4 turbinas eólicas, as quais têm em comum nunca terem sido substituídas as suas caixas multiplicadoras (*gearbox*), e onde foram realizadas somente manutenções preventivas e corretivas (substituição do óleo, substituição de periféricos, entre outras), o facto de pertencerem ao mesmo local geográfico (Parque da Freita I, Concelho de Albergaria da Serra, Distrito de Aveiro, Portugal), que corresponde ao ponto 5 da figura 4.1, e terem alterado, pelo menos uma vez, o tipo de óleo (sintético, semissintético, mineral).



Figura 4.1 – Mapa de Portugal com as respetivas localizações dos parques eólicos considerados para o estudo. Nomes dos Parques Eólicos (Localização): 1 – Achada; 2 – Arcela; 3 – Bornes; 4 – Chão Falcão I, II e III; 5 – Freita I; 6 – Leomil; 7 – Lousã I e II; 8 – São Macário; 9 – São Mamede.

4.2. Características dos Óleos Lubrificantes

De acordo com as informações disponíveis aquando da realização do estudo (dados cedidos pela empresa Iberwind) constatou-se que, dependendo de cada turbina, foram utilizados óleos lubrificantes na caixa de velocidades do tipo sintético ou mineral, e de 3 fabricantes distintos. A única semelhança entre os diferentes tipos de óleo, e que poderia estar em causa o próprio estudo se não existisse, é a viscosidade, com um valor de ~ 320 cSt a 40°C de acordo com a norma ISO (ISO *Viscosity Grade* 320). Na tabela 4.1, são apresentadas todas as características dos diferentes tipos de óleo considerados.

Tabela 4.1 - Características dos óleos em estudo

	A	B	C
Tipo	Mineral (MINR)	Sintético (PAO)	Sintético (PAO)
ISO Viscosity Grade	320	320	320
Viscosidade Cinemática, ASTM D 445, cSt a 40°C	320	320	325
Viscosidade Cinemática, ASTM D 445, cSt a 100°C	24,1	35,1	34,9
Índice de Viscosidade, ASTM D 2270	96	155	152
Densidade a 15°C	0,903	0,943	0,854
Ponto de Inflamação (°C)	268	280	250
Ponto de Solidificação (°C)	-18	-33	-33
Propriedades Químicas			
Cálcio (Ca mg/kg)	7	5	1511
Magnésio (Mg mg/kg)	0	0	3
Boro (B mg/kg)	0	0	0
Zinco (Zn mg/kg)	51	29	4
Fósforo (P mg/kg)	203	200	311
Bário (Ba mg/kg)	0	0	0
Molibdénio (Mo mg/kg)	2	0	808
Enxofre (S mg/kg)	13258	3013	2586

De acordo com a tabela 4.1, anteriormente representada, e por forma a simplificarmos a análise dos resultados, iremos considerar o óleo do tipo mineral como A, e os óleos sintéticos, mas de diferentes fabricantes, como B e C respetivamente.

Na tabela 4.2, posteriormente representada, são apresentadas todas as datas em que os óleos foram substituídos, nas respetivas turbinas eólicas, bem como o tipo de óleo que foi colocado. Estes indicadores são fundamentais para o nosso estudo, uma vez que, é a partir destas, que iremos analisar o comportamento das WTG's consideradas para o nosso estudo.

Tabela 4.2 – Datas de substituição do óleo das caixas multiplicadoras tendo em conta o número da WTG e o tipo de óleo colocado

Número da Turbina	Tipo A	Tipo B	Tipo C
#WTG03	05-04-2011	---	24-05-2013
#WTG04	10-05-2011	23-01-2012	30-01-2013
#WTG06	05-04-2011	23-01-2012	30-01-2013
#WTG07	02-04-2012	---	19-03-2013

Tabela 4.3 - Valor das viscosidades do óleo, das respetivas turbinas eólicas, retirados de amostras realizadas após a utilização dos mesmos

Turbina Eólica	#WTG03		#WTG04			#WTG06			#WTG07	
Tipo de Óleo	A	C	A	B	C	A	B	C	A	C
Viscosidade, ASTM D 445, cSt @ 40°C	315.96	313.16	314.28	306.93	307.78	309.58	308.85	304.77	316.17	312.48
Viscosidade, ASTM D 445, cSt @ 100°C	23.54	32.00	23.56	32.14	32.51	23.50	31.38	32.78	23.60	34.22
Índice de Viscosidade, ASTM D 2270	94	142	93	145	147	95	140	149	94	154

Outro dos indicadores fundamentais para confirmarmos alguns resultados, são os resultados das amostras de óleo efetuados posteriormente à substituição do óleo da caixa multiplicadora de cada turbina eólica, os quais são apresentados na tabela 4.3, principalmente, avaliando os valores das viscosidades, uma vez que, além de contaminantes externos, a viscosidade, é um dos pontos fulcrais onde se verifica se o óleo ainda se encontra em boas condições para ser utilizado. Se verificarmos os valores das

viscosidades para cada tipo de óleo, A, B e C, constatamos que, quer a 40°C, quer a 100°C, o óleo tipo A, quando comparado com os outros tipos de óleo, apresenta uma menor degradação da sua viscosidade, sendo o maior valor de degradação apresentado na #WTG06, reduzindo de 320 cSt para 309,58 cSt a 40°C, e de 24,1 cSt para 23,50 a 100°C, tendo assim uma degradação total de 11,42 cSt e de 0,60 cSt, respetivamente. Por seu lado, se compararmos onde existiu a menor degradação do óleo tipo B e C, verificamos que, para o óleo tipo B, a 40°C, a #WTG06 apresentou um valor de 308,85 cSt, reduzindo assim 11,15 cSt, e, a 100°C, a #WTG04 apresentou um valor de 32,14 cSt, reduzindo assim 2,96 cSt. Se considerarmos o óleo tipo C, verificamos que a menor degradação da viscosidade do óleo, a 40°C e a 100°C, obteve-se na #WTG07, com um valor de 312,48 cSt, sendo o decréscimo no valor de 12,56 cSt, e um valor de 34,22 cSt, atingindo uma diminuição de 0,68 cSt, respetivamente. Mesmo comparando a maior degradação da viscosidade do óleo tipo A, com a menor degradação da viscosidade do óleo do tipo B e tipo C, constatamos, em termos genéricos, que o óleo tipo A regista uma melhor *performance* no que respeita à degradação da sua viscosidade. É de salvaguardar que, o óleo tipo B obteve uma menor degradação a 40°C na #WTG04, com uma diferença de 0,27 cSt, quando comparado com o óleo tipo A na #WTG06, mas, nas restantes comparações, não é esse comportamento que se verifica.

5. Métodos Aplicados no Estudo

5.1. Método Dos Bins

Para calcularmos, de forma coerente e válida, a curva de potência de uma Turbina Eólica, é necessário seguirmos a norma internacional IEC 61400-12-1 “*Wind Turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines*” [33], uma vez que não é possível obtê-la teoricamente (somente baseada em cálculos teóricos tendo em conta a localização da turbina eólica, direção do vento, velocidade do vento, etc.), mas sim, através de uma amostra de medições da velocidade do vento e da potência real produzida. No capítulo 7, da norma mencionada anteriormente, está descrito a forma correta de aplicarmos o método dos *Bins* (“*method of bins*” [33]).

O método dos *Bins*, é aplicado para descobrirmos um ponto médio, ou mediano, de todas as medições realizadas num determinado intervalo. Descrevendo teoricamente o mesmo, tem-se que:

$$V_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} V_{n,i,j} \quad (5.1)$$

$$P_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} P_{n,i,j} \quad (5.2)$$

Onde:

V_i é o valor médio da velocidade de vento para um determinado valor de *bin i* ;

$V_{n,i,j}$ são todos os valores de velocidade do vento da base de dados *j* no *bin i* ;

P_i é o valor médio da potência produzida para um determinado valor de *bin i* ;

$P_{n,i,j}$ são todos os valores de potência produzida da base de dados *j* no *bin i* ;

N_i é o valor total de correspondências a cada 10 minutos dentro do intervalo *bin i* ;

Resumindo, escolhemos um determinado valor de *i* para o qual será o nosso intervalo a considerar no eixo dos *XX* ou no eixo dos *YY*, no exemplo a seguir demonstrado escolhemos um valor de 5 no eixo dos *XX*, e consideramos todos os valores dentro do intervalo de $X=0$ a $X=5$, de $X=5$ (inclusive) a $X=10$, consecutivamente em todo o espectro de valores que pretendemos calcular. Seguidamente, consideramos todos os valores de *Y* que se encontram em cada intervalo, calculando assim a média, ou mediana, de todos os valores considerados, de forma a obtermos somente um valor de *Y*. Nas figuras posteriormente demonstradas, encontra-se sucintamente exemplificado o método em questão.

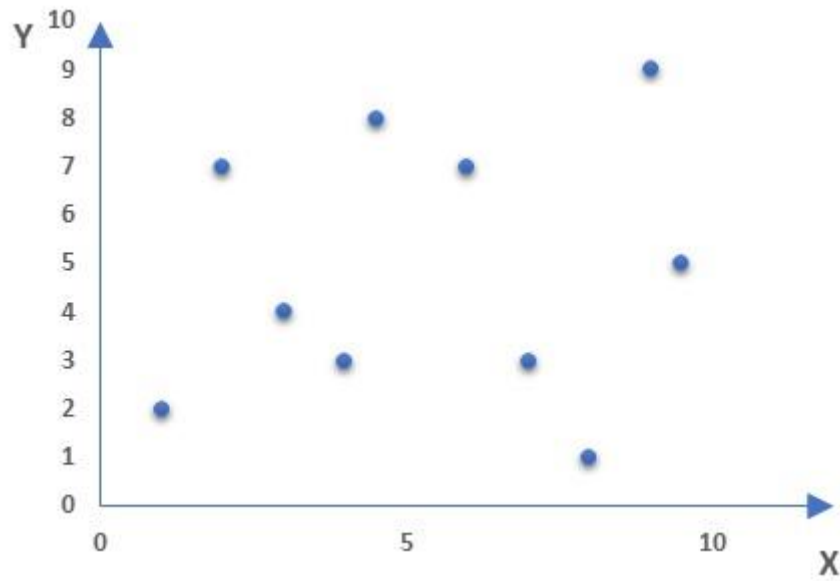


Gráfico 5.1 – Valores a considerar na aplicação no método dos Bins

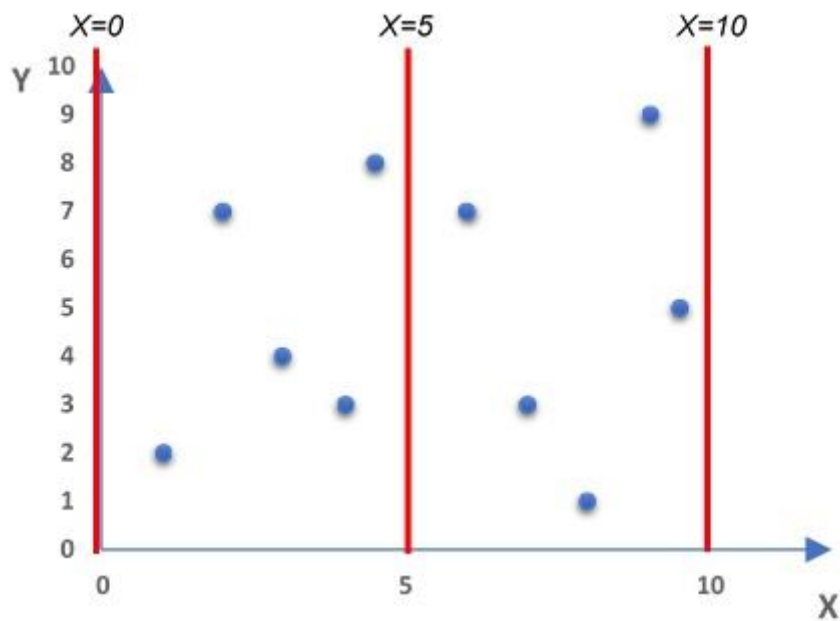


Gráfico 5.2 – Distinção dos intervalos considerados: entre 0 e 5, entre 5 e 10. Só devem ser considerados todos valores dentro do intervalo, os valores para $X=0$, $X=5$ e $X=10$, devem ser incluídos num dos intervalos, nunca nos dois intervalos em simultâneo

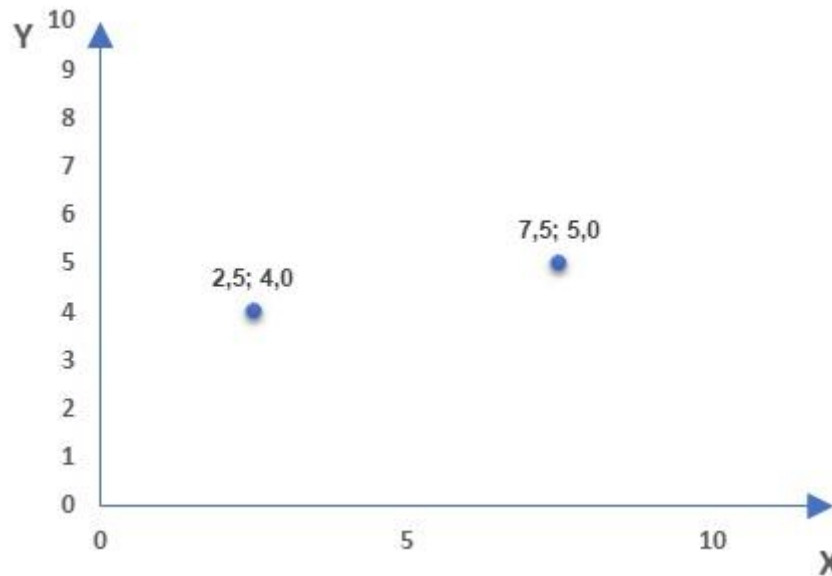


Gráfico 5.3 – Quando aplicamos o método dos Bins, obtemos os valores médios, quer do eixo dos XX, quer do eixo dos YY, conseguindo assim somente um ponto para um determinado intervalo

Como foi demonstrado nos gráficos 5.1, 5.2 e 5.3, o método dos *Bins*, é aplicado quando temos uma base de dados com inúmeros pontos, e temos a necessidade de obter somente um ponto para um determinado intervalo, quer do eixo dos XX, quer do eixo dos YY.

No nosso caso de estudo, considerámos os intervalos no eixo dos XX, em que, por exemplo, para calcular a potência produzida pela turbina eólica, em *kilowatts*, em função da velocidade do vento, em metros por segundo, focámo-nos em intervalos de 0,5 metros por segundo, ou seja, obtivemos um espectro de toda a potência produzida dentro de um determinado intervalo (entre 10,0 m/s e 10,5 m/s, por exemplo), e ao aplicarmos este método, conseguimos obter um ponto com valores únicos da velocidade do vento e da potência produzida.

A aplicação deste método é fundamental em casos de estudo como este, em que temos uma base de dados com cerca de 311.040 pontos (um registo a cada 10 minutos durante 6 anos) para cada turbina, e necessitamos de obter um gráfico em que seja nítida a curva característica da turbina eólica, por exemplo, e para isso tenhamos que ter um determinado X correspondente a um determinado valor Y, e não um determinado valor X com inúmeras correspondências de valores Y (valores arredondados à décima), algo que acontece frequentemente neste tipo de base de dados.

5.2. Base de Dados

Para tratar a quantidade de informação mencionada anteriormente, foi necessário organizarmos uma base de dados, para a qual, posteriormente, pudéssemos criar um algoritmo para um tratamento mais rápido e eficaz destes dados. Tendo em conta esta linha de raciocínio, criámos uma base de dados no formato .xlsx (Microsoft Office Excel), a qual está ilustrada na figura 5.1, e, através do software MATLAB®, criámos um algoritmo, em linguagem MATLAB, para o tratamento destes dados, nomeadamente para aplicação do método dos Bins.

tstamp	WTG03_ActivePower	WTG03_WindSpeed	WTG03_RotorSpeed	WTG03_TemperatureGearboxOilSump	WTG03_TemperatureNacelle
01/01/2011 00:00	0	1,298979	0,006814049	38,30536	16,60015
01/01/2011 00:10	0	1,52555	0,0120256	38,08539	16,60997
01/01/2011 00:20	0	1,397018	0,009940918	37,91397	16,53381
01/01/2011 00:30	0	1,630254	0,0119326	37,73558	16,34712
01/01/2011 00:40	0	2,054464	0,01828936	37,5229	16,18624
01/01/2011 00:50	0	2,400632	0,2094576	37,33464	15,98947
01/01/2011 01:00	0	1,323386	0,03644102	37,07457	15,87203
01/01/2011 01:10	0	1,29897	0,01779631	36,8746	15,69972
01/01/2011 01:20	0	1,878772	0,006675561	36,64975	15,4949
01/01/2011 01:30	0	1,201432	0,01525674	36,39093	15,30515
01/01/2011 01:40	0	0,8307183	0,008871942	36,13381	15,14428
01/01/2011 01:50	0	0,7067693	0,006650078	35,86343	15,02346
01/01/2011 02:00	0	0,6052781	0,00667766	35,56993	14,9073
01/01/2011 02:10	0	0,6001491	0,006659036	35,31606	14,80312

Figura 5.1 – Formatação do ficheiro em formato .xlsx para aplicação no software MATLAB®

Como é observável na figura 5.1, organizou-se todos os dados recolhidos por ordem cronológica crescente, e, foram somente consideradas as variáveis respeitantes à energia elétrica produzida (WTG03_ActivePower), à velocidade do vento (WTG03_WindSpeed), à velocidade de rotação do rotor (WTG03_RotorSpeed), à temperatura do óleo da caixa multiplicadora (WTG03_TemperatureGearboxOilSump), e à temperatura interior da *Nacelle* (WTG03_TemperatureNacelle). É de referir que, para o presente estudo, só tivemos em consideração a variável da energia elétrica produzida, da velocidade do vento e da temperatura do óleo da caixa multiplicadora, sendo este processo realizado para todas as turbinas eólicas consideradas, estando somente a #WTG03 ilustrada como exemplo.

6. Análise dos Resultados

Como foi referido anteriormente, para este estudo, só foram consideradas as turbinas eólicas que, entre o ano 2011 e 2016, satisfazem as seguintes condições:

- Nunca terem substituído a caixa multiplicadora;
- Mesmo fabricante e modelo da caixa multiplicadora;
- Pertencem ao mesmo parque eólico (Parque Freita I);
- Durante o período considerado, alteraram, pelo menos uma vez, de tipo de óleo (mineral, sintético ou semissintético), aquando das manutenções preventivas ou corretivas.

Tendo em conta as condições mencionadas anteriormente, só foram consideradas para o estudo as seguintes WTG's: #WTG03, #WTG04, #WTG06 e #WTG07.

Na figura 6.1, podemos observar todos os dados retirados do sistema SCADA da turbina eólica 3 (#WTG03), da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s) (1), da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s) (2), e da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da potência produzida (kW) (3). Nesta figura, são apresentados todos os pontos em bruto, isto é, sem qualquer tipo de filtro, ou seja, todos os pontos que o sistema SCADA gravou entre o ano 2011 e o ano 2016. No caso da figura 6.1.1, conseguimos verificar a dispersão de alguns valores, por exemplo, uma temperatura do óleo de 0°C com uma velocidade de vento de aproximadamente 10 m/s, o que, do ponto de vista prático, é inaceitável, uma

vez que, a esta velocidade de vento, a turbina estaria em rotação, e, logicamente, a temperatura do óleo seria superior a 0°C. Este tipo de valores, podem aparecer devido a erros de medição dos sensores, medições aquando de manutenções ou testes às WTG's, levando assim, a falsas leituras, para tal, é necessário aplicarmos alguns filtros, de forma a que estes valores não interfiram nas análises a efetuar para o nosso estudo. Conseguimos também verificar que a maior parte dos valores registados pelo sistema SCADA, apresentam uma temperatura de óleo entre os 20°C e os 60°C, e uma velocidade de vento entre os 0 m/s e os 20 m/s, o que, do ponto de vista prático, é o mais lógico e aceitável.

Se considerarmos a figura 6.1.2, verificamos alguns pontos onde, para uma potência produzida na ordem dos 500 kW, apresenta uma velocidade de vento de aproximadamente 20 m/s, o que, do ponto de vista prático e teórico [28], é inaceitável, uma vez que, a esta velocidade de vento, deveria estar no máximo da sua produção, cerca de 2.300 kW. A justificação para este fenómeno, baseia-se na mesma apresentada para a figura 6.1.1, e, neste caso, é visível, que, a maior parte dos valores registados pelo sistema SCADA, apresentam uma potência produzida entre os 0 kW e os 2.300 kW, e uma velocidade de vento entre os 0 m/s e os 23 m/s, coincidente com a curva de referência disponibilizada pelo fabricante, ilustrada no gráfico 2.1. Por seu lado, na figura 6.1.3, para uma temperatura do óleo de aproximadamente 23°C com uma potência produzida na ordem dos 1.250 kW, o que, do ponto de vista teórico, não é muito credível, uma vez que, para a WTG produzir esta potência, a velocidade de vento teria que apresentar valores entre os 9 m/s e os 10 m/s, de acordo com o gráfico 2.1, e, neste intervalo de velocidade de vento, as temperaturas registadas, como veremos nos gráficos presentes em anexo, situam-se entre os 38°C e os 60°C. Uma vez mais, devido aos mais variados fatores, teremos de aplicar filtros, porque constatamos que a maior parte dos valores registados pelo sistema SCADA, apresentam uma temperatura de óleo entre os 30°C e os 65°C, e uma potência produzida entre os 0 kW e os 2.300 kW.

Este tipo de comportamento, não é só visível na turbina eólica 3 (#WTG03), como é transversal a todas as turbinas em estudo, para as quais podemos verificar nos gráficos ilustrados em anexo.

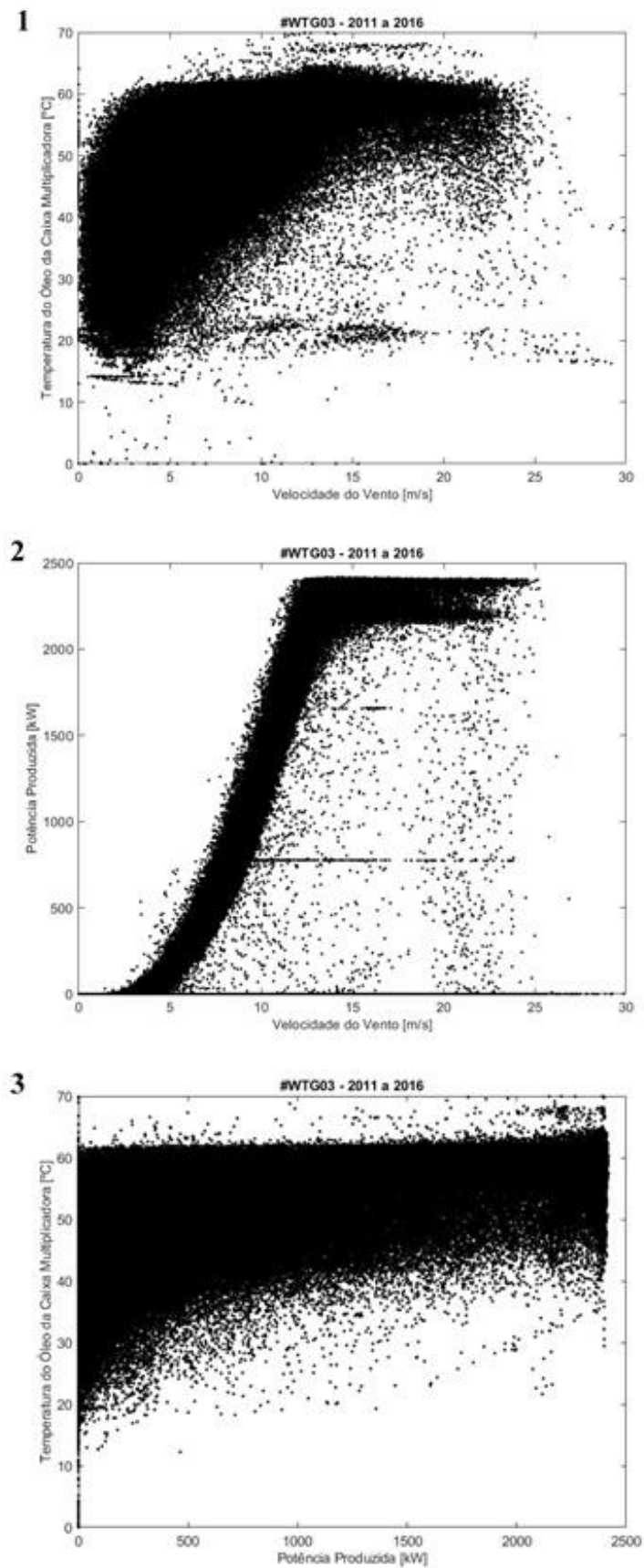


Figura 6.1 – Representação gráfica de todos os pontos da turbina 3 (#WTG03), recolhidos pelo sistema SCADA, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s) (1), da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s) (2), e da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da potência produzida (kW) (3), desde o ano 2011 até ao ano 2016.

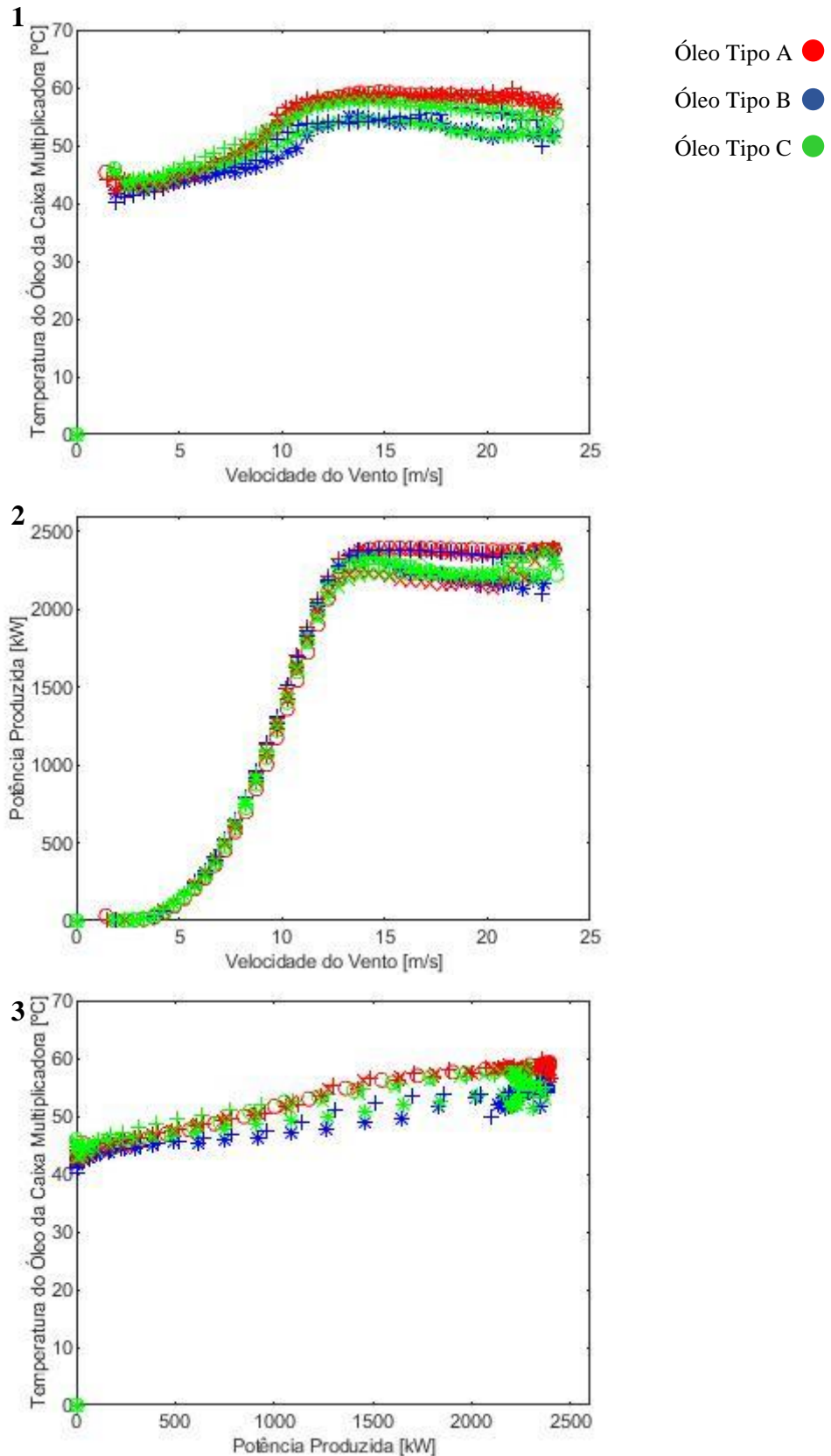


Figura 6.2 – Representação gráfica de todas as WTG's, com aplicação de filtros e do método dos Bins, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s) (1), da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s) (2), e da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da potência produzida (kW) (3), desde o ano 2011 até ao ano 2016, com os diferentes tipos de óleo; as cores distinguem os diferentes tipos de óleo, e os símbolos as diferentes WTG's.

Na figura 6.2, estão representados os resultados provenientes da aplicação dos filtros, descritos no algoritmo em anexo, relativo a cada um dos gráficos, e do método dos Bins para as 4 turbinas eólicas consideradas para o estudo (#WTG03, #WTG04, #WTG06 e #WTG07), sendo a #WTG03 representada através de um círculo (o), a #WTG04 através de um asterisco (*), a #WTG06 através de um sinal de mais (+) e a #WTG07 através de uma cruz (x), e para os três tipos de óleo, mencionados na tabela 4.1, sendo o óleo tipo A representado através da cor vermelha, o óleo tipo B através da cor azul, e o óleo C através da cor verde; é observável a temperatura do óleo da caixa multiplicadora em função da potência produzida (1), a potência produzida em função da velocidade do vento (2), e a temperatura do óleo da caixa multiplicadora em função da potência produzida (3). Como podemos observar, existem muitas diferenças entre os resultados dos parâmetros considerados: com a rotação da turbina eólica a aumentar, ou seja, com a velocidade do vento a aumentar, a temperatura do óleo da caixa multiplicadora também acompanha essa tendência (figura 6.2.1), à medida que a WTG vai rodando e produzindo energia, as curvas de potência são diferentes consoante o tipo de óleo que utilizamos (figura 6.2.2), onde podemos considerar, que o melhor óleo lubrificante é aquele para o qual a turbina eólica, para a mesma velocidade de vento, consegue produzir a mesma, ou superior, quantidade de energia, com uma temperatura do óleo da caixa multiplicadora dentro dos valores da temperatura operativa da caixa multiplicadora, e, após a sua utilização, que apresente a menor degradação possível (figura 6.2.3). De forma geral, a figura 6.2 mostra-nos que, para a mesma turbina eólica com a mesma velocidade de vento, existem diferentes comportamentos de potência produzida/eficiência entre óleos semelhantes (óleo tipo B e C, que são ambos sintéticos) e um óleo diferente (óleo tipo A, mineral). Para aprofundarmos o estudo, e conseguirmos um maior detalhe na análise de resultados, cada turbina eólica tem de ser analisada separadamente, tendo em consideração o tipo de óleo e o número de vezes que o óleo foi substituído em cada uma da caixa de velocidades de cada WTG (tabela 4.2). Neste caso específico, estas considerações estão implicitamente feitas, uma vez que duas turbinas eólicas substituíram duas vezes o óleo da caixa multiplicadora (#WTG03 e #WTG07), e outras duas turbinas eólicas (#WTG04 e #WTG06) substituíram três vezes o óleo da caixa multiplicadora. Antes da análise apresentada nas páginas a seguir deste capítulo, foi realizada uma análise prévia às turbinas eólicas, onde verificámos que existiam diferenças reais de produção de energia elétrica para a mesma velocidade de vento, em cada uma das WTG's, tendo em conta o tipo de óleo utilizado, as quais são apresentadas na figura 6.3.

Para as figuras de seguida representadas, considerámos o intervalo entre 12 m/s e 15 m/s de velocidade do vento, segundo a qual, o número de pontos considerados é equivalente, e onde são visíveis as maiores diferenças entre os diferentes tipos de óleo. Na figura 6.3.1, temos a #WTG03, onde é visível que o óleo tipo A apresenta uma maior produção de energia em todo o espectro observado, entre os 12 m/s e os 15 m/s, atingindo valores de 18 kW e de 17 kW, para velocidade de vento de 13,75 m/s e 14,25 m/s, respetivamente. Se considerarmos a #WTG04, correspondente à figura 6.3.2, onde foram utilizados 3 tipos de óleo diferentes, A, B e C, verificamos um comportamento semelhante à da #WTG03, onde o óleo tipo A, produz menos energia do que o óleo tipo B até aos 12,75 m/s, mas, após este valor de velocidade de vento, inverte o sentido e mantém-se com uma melhor *performance*, isto é, tem índices de produção de energia elétrica superiores aos dos restantes tipos de óleo, atingindo diferenças de 24 kW, para uma velocidade de vento de 13,75 m/s, quando comparado com outros tipos de óleo, de 27 kW, para uma velocidade de vento de 13,25 m/s, se compararmos com o tipo de óleo C, ou de 16 kW, se compararmos com o óleo do tipo B. Relativamente à #WTG06, figura 6.3.3, constata-se que o óleo tipo A tem uma melhor *performance* até aos 13,1 m/s, mas, após este valor de velocidade de vento, o óleo tipo B atinge uma melhor *performance* que todos os outros tipos de óleo, sendo a diferença de 8 kW, quando comparado com o óleo tipo A, com uma velocidade de vento de 14,25 m/s. A maior das diferenças acontece aos 12,75 m/s de velocidade, entre o óleo tipo A e o óleo tipo C, com uma diferença de 51 kW, e com uma diferença de 11 kW, entre o óleo tipo A e o óleo tipo C. Devido ao curto tempo de utilização do óleo tipo B, quando comparado com os restantes tipos de óleo, os dados do óleo tipo B, não são suficientes para compararmos efetivamente este tipo de óleo com os restantes. Analisando analiticamente a figura 6.3.4, a qual reflete o comportamento do óleo na #WTG07, o óleo tipo A, apresenta, novamente, um comportamento semelhante às restantes turbinas eólicas analisadas, com uma melhor *performance*, neste caso, do que o óleo tipo C, na maior parte do espectro analisado, excetuando a parte superior aos 14,1 m/s, onde, o óleo tipo C, inverte o sentido, produzindo assim, neste espectro, mais energia elétrica para a mesma velocidade de vento. A diferença máxima, acontece aos 13,25 m/s de velocidade de vento, com um valor de 18 kW, sendo, neste ponto, o óleo tipo A mais produtivo que o óleo tipo C, e a maior diferença de produção de energia, em que o óleo tipo C tem uma melhor *performance* que o óleo tipo A, acontece aos 14,75 m/s, com a diferença a atingir os 8 kW.

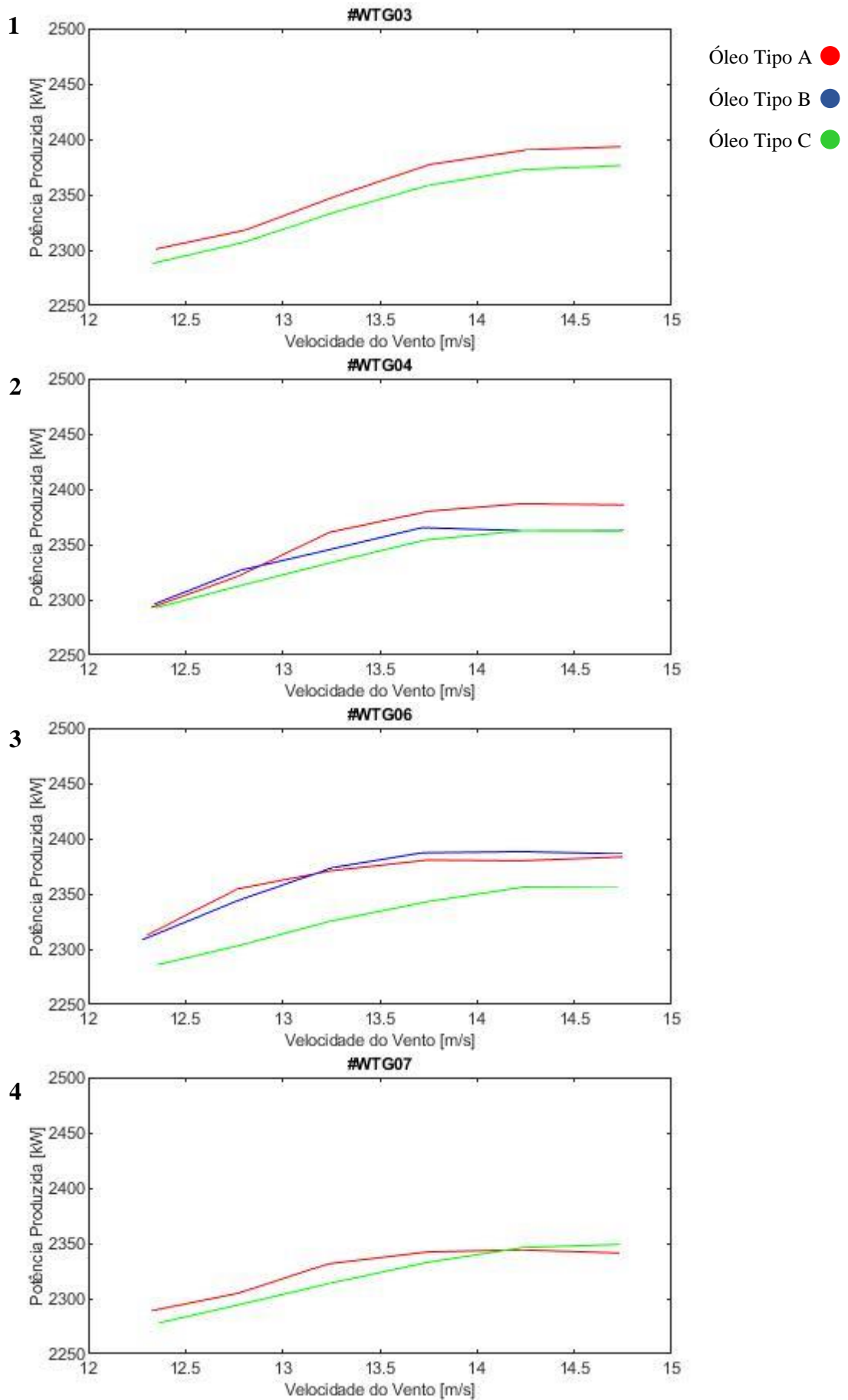


Figura 6.3 – Representação gráfica dos resultados de todas as WTG's, da potência produzida em função da velocidade do vento entre 12 m/s e 15 m/s

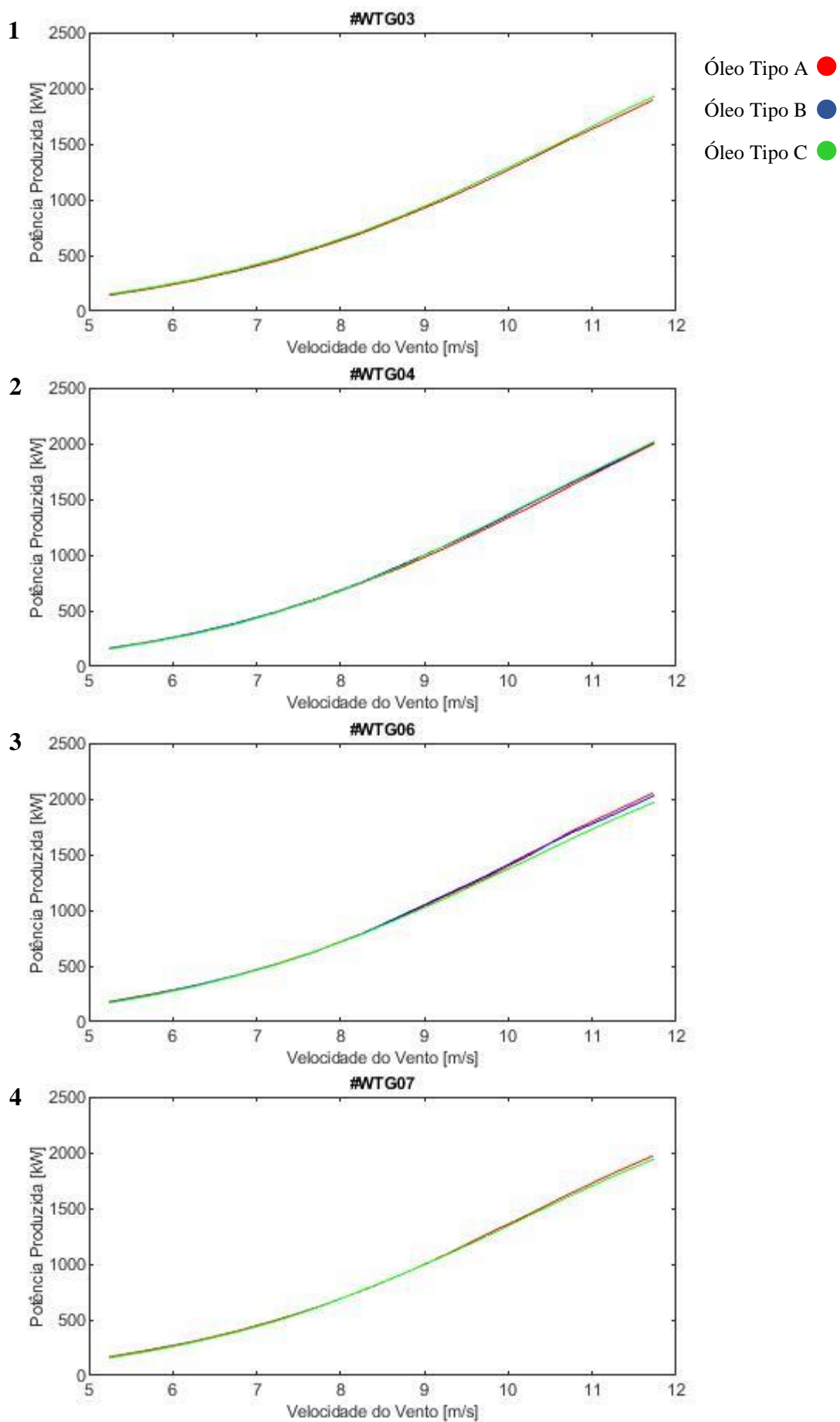


Figura 6.4 – Representação gráfica dos resultados de todas as WTG's, da potência produzida em função da velocidade do vento entre 5 m/s e 12 m/s

Na figura 6.4, são apresentados os gráficos correspondentes à relação entre a potência produzida e a velocidade do vento, considerando o intervalo entre 5 m/s e 12 m/s de velocidade do vento. Na figura 6.4.1, temos a #WTG03, onde é visível que o óleo tipo C apresenta uma maior produção de energia em todo o espectro observado, quando comparado com o óleo tipo A, entre os 5 m/s e os 12 m/s, atingindo a diferença máxima na ordem dos 29 kW, para uma velocidade de vento de 11,75 m/s. Se considerarmos a #WTG04, correspondente à figura 6.4.2, onde foram utilizados 3 tipos de óleo diferentes, A, B e C, verificamos que, até aos ~7,4 m/s, o óleo tipo A, produz mais energia do que os restantes, mas, após este valor de velocidade de vento, os óleo tipo B e tipo C, passam a produzir mais energia, para a mesma velocidade do vento, que o óleo tipo A, em que o óleo tipo C, a partir dos ~9,1 m/s, para a apresentar a maior produção de energia até aos 11,75 m/s, sendo a maior diferença apresentada neste ponto com um valor de 21 kW. Relativamente à figura 6.4.3, o comportamento inverte-se, quando comparado com a #WTG03 e #WTG04, e verificamos que o óleo tipo A apresenta uma melhor *performance* do que os óleos tipo B e tipo C, excetuando o intervalo entre os ~8,3 m/s e os ~10,5 m/s de velocidade, em que o óleo tipo B apresenta uma maior potência produzida para a mesma velocidade de vento. É de referir que, a maior diferença apresentada é entre o óleo tipo A e o óleo tipo C, onde a diferença chega a ser de 86 kW com uma velocidade de vento de 11,75 m/s, e que a maior diferença favorável ao tipo de óleo B, situa-se aos 10,25 m/s com uma diferença de 52 kW em relação ao óleo tipo C. Analisando o gráfico da #WTG07, figura 6.4.4, o óleo tipo A, tem um comportamento semelhante ao figurado no gráfico da #WTG06, apresentando o melhor comportamento, ou seja, uma maior produção de energia elétrica para a mesma velocidade de vento. O óleo tipo A, apresenta um comportamento visivelmente melhor até aos ~8 m/s, e, entre os ~8 m/s e os ~9 m/s, o comportamento de ambos os óleos é muito idêntico, mas, o óleo tipo C não chega a ter uma melhor *performance*, neste intervalo, quando comparado com o óleo tipo A. Na #WTG07, a diferença mais significativa apresentada é de 31 kW, para uma velocidade de vento de 11,75 m/s. A figura 6.4, mostra-nos a zona onde amostra é maior, ou seja, onde estão situados o maior número de pontos considerados, e onde, entre os diferentes tipos de óleo, estes são muito idênticos, excetuando o óleo tipo B devido ao seu reduzido tempo de utilização.

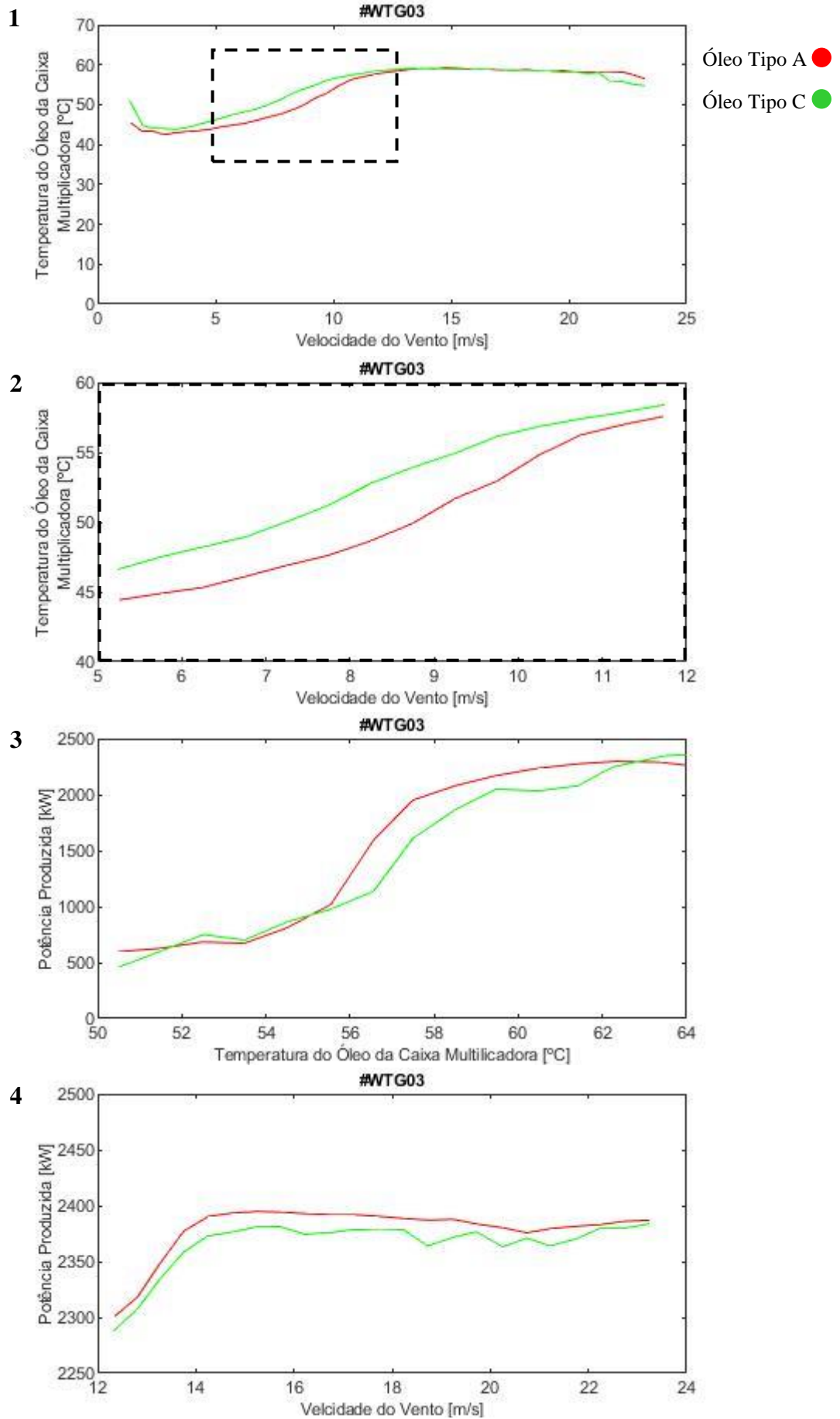


Figura 6.5 – Representação gráfica dos resultados da #WTG03

Na figura 6.5, estão representados quatro gráficos: 1, 2, 3 e 4; através dos quais podemos observar, relativamente à turbina eólica 3 (#WTG03), a temperatura do óleo da caixa multiplicadora em função da velocidade do vento, dentro do intervalo completo dos valores admissíveis, a temperatura do óleo da caixa multiplicadora em função da velocidade do vento num intervalo entre os 40°C e 60°C para a temperatura do óleo da caixa multiplicadora, e entre os 5 m/s e os 12 m/s para a velocidade do vento, a potência produzida em função da temperatura do óleo da caixa multiplicadora, e a potência produzida em função da velocidade do vento. Se observarmos a figura 6.5.1, podemos verificar que existem diferenças significativas entre os dois tipos de óleo, tipo A e tipo C. Durante o período considerado, a #WTG03 trocou do óleo tipo A, mineral, para o óleo tipo C, sintético. Para a mesma velocidade de vento, o óleo tipo C (sintético) atinge temperaturas superiores relativamente às temperaturas apresentadas por o óleo tipo A (mineral). As grandes diferenças de temperatura registam-se num intervalo de velocidade de vento entre os 5 m/s e os 12 m/s, como demonstrado na figura 6.5.2. Este intervalo corresponde ao início da curva de potência da turbina eólica, onde se encontra o maior número de amostras, ou seja, de pontos registados pelo sistema SCADA. Analisando a potência produzida no intervalo de maior temperatura (figura 6.5.3, isto é, entre os 50°C e 64°C de temperatura do óleo da caixa multiplicadora, verificamos que para uma temperatura de 58°C, considerando o tipo de óleo C, a turbina produz cerca de 1.700 kW, ao invés, que com o tipo de óleo A, produz cerca de 1.900 kW. Este facto, verifica-se mesmo com o valor de 1°C na aplicação do método dos Bins (como referido anteriormente nesta análise aplicou-se um valor de 0,5°C), e, o intervalo de valores entre os 57°C e os 59°C, corresponde ao maior número de pontos de observação, aproximadamente 5.700 registos para uma potência produzida de 2.000 kW. A figura 6.5.4, mostra-nos as diferenças de potência produzida entre os 12 m/s e os 15 m/s, uma vez que as maiores diferenças encontram-se neste intervalo. Este facto é observado para uma velocidade de vento de 14 m/s, em que as diferenças de potência produzida com diferentes tipos de óleo, é de aproximadamente 20 kW.

Para a figura 6.6, iremos fazer a mesma analogia que fizemos com a figura 6.5, mas tendo em conta a turbina eólica 4 (#WTG04).

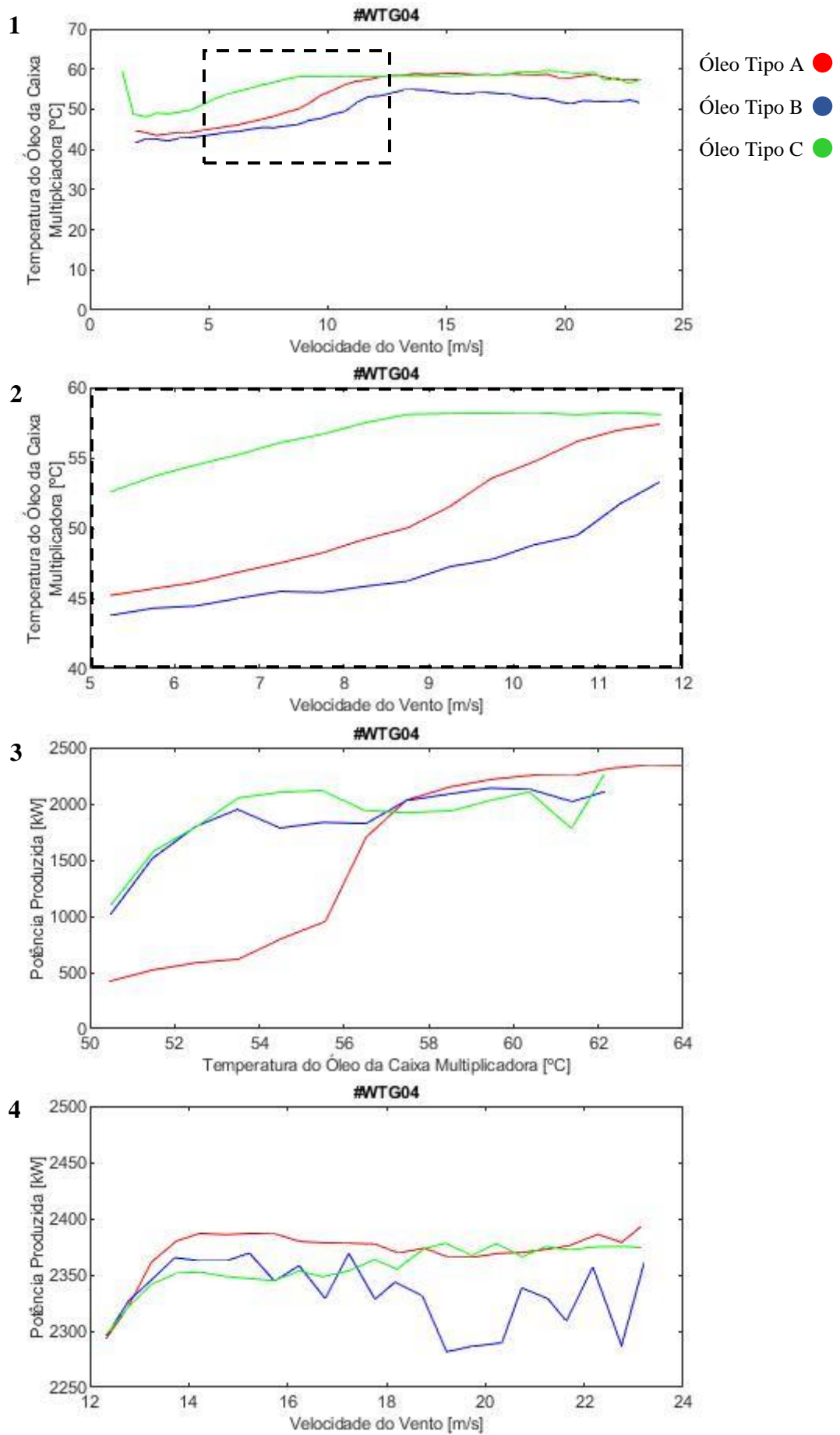


Figura 6.6 – Representação gráfica dos resultados da #WTG04

Na caixa multiplicadora da turbina eólica 4 (#WTG04, figura 6.6), foram colocados, no intervalo de tempo considerado para o estudo, três tipos de óleo diferentes: óleo tipo A, B e C. Observando a figura 6.6.1, é possível verificar diferenças significativas nos valores de temperatura para a mesma velocidade de vento, onde, o óleo tipo C, até aos 12 m/s, regista a temperatura mais elevada entre os três tipos de óleo, e, após esta velocidade de vento, mantém um comportamento semelhante ao óleo tipo A. Além deste facto, as maiores diferenças, registam-se para uma velocidade de vento entre os 5 m/s e os 12 m/s, intervalo onde o sistema SCADA recolhe o maior número de dados (figura 6.6.2). Aproximadamente todos os registos estão acima dos 45°C, o que significa que o óleo está a circular através dos permutadores de calor, mas as ventoinhas não estão em funcionamento. É também observável que, as maiores diferenças de temperatura, surgem em velocidades de vento baixas, atingindo a maior diferença, de aproximadamente 8°C, entre os dois tipos de óleo sintético de diferentes fabricantes (tipo B e C), para uma velocidade de vento entre os 5 m/s e os 6 m/s. Analisando a potência produzida no intervalo em que são atingidas as maiores temperaturas do óleo (figura 6.6.3), isto é, entre os 50°C e os 62°C, os resultados são diferentes dos apresentados na #WTG03 (figura 6.5.3). Aos 54°C, verifica-se a maior diferença de produção de energia entre os três tipos de óleo, mas, após o incremento de temperatura, essas diferenças vão dissipando, como se constata para uma temperatura de 57°C. Verificamos diferenças efetivas até aos 57°C, mas, não podemos considerar a grande dispersão existente, uma vez que a temperatura do óleo situa-se dentro da temperatura operativa recomendada pelo fabricante da caixa multiplicadora, e, a velocidade do vento, poderá ser diferente para cada ponto considerado na aplicação do métodos dos Bins. As maiores diferenças de produção de energia, registam-se acima dos 1.500 kW, o que, de acordo com a curva característica da WTG (gráfico 2.1), implica que a velocidade de vento seja num intervalo entre os 12 m/s e os 24 m/s (figura 6.6.4), onde conseguimos observar que o óleo tipo B tem o pior comportamento entre os três tipos de óleo. Este facto, é particularmente evidente para velocidades de vento superiores a 19 m/s, apesar de apresentar temperaturas do óleo inferiores ao do óleo tipo C. As maiores diferenças de produção de energia entre o óleo tipo A e C, são registados aproximadamente aos 18 m/s, com uma diferença de aproximadamente 40 kW, com o óleo tipo A a registar um melhor comportamento. Contudo, na área de maior produção de energia, aproximadamente 20 m/s, têm um comportamento semelhante.

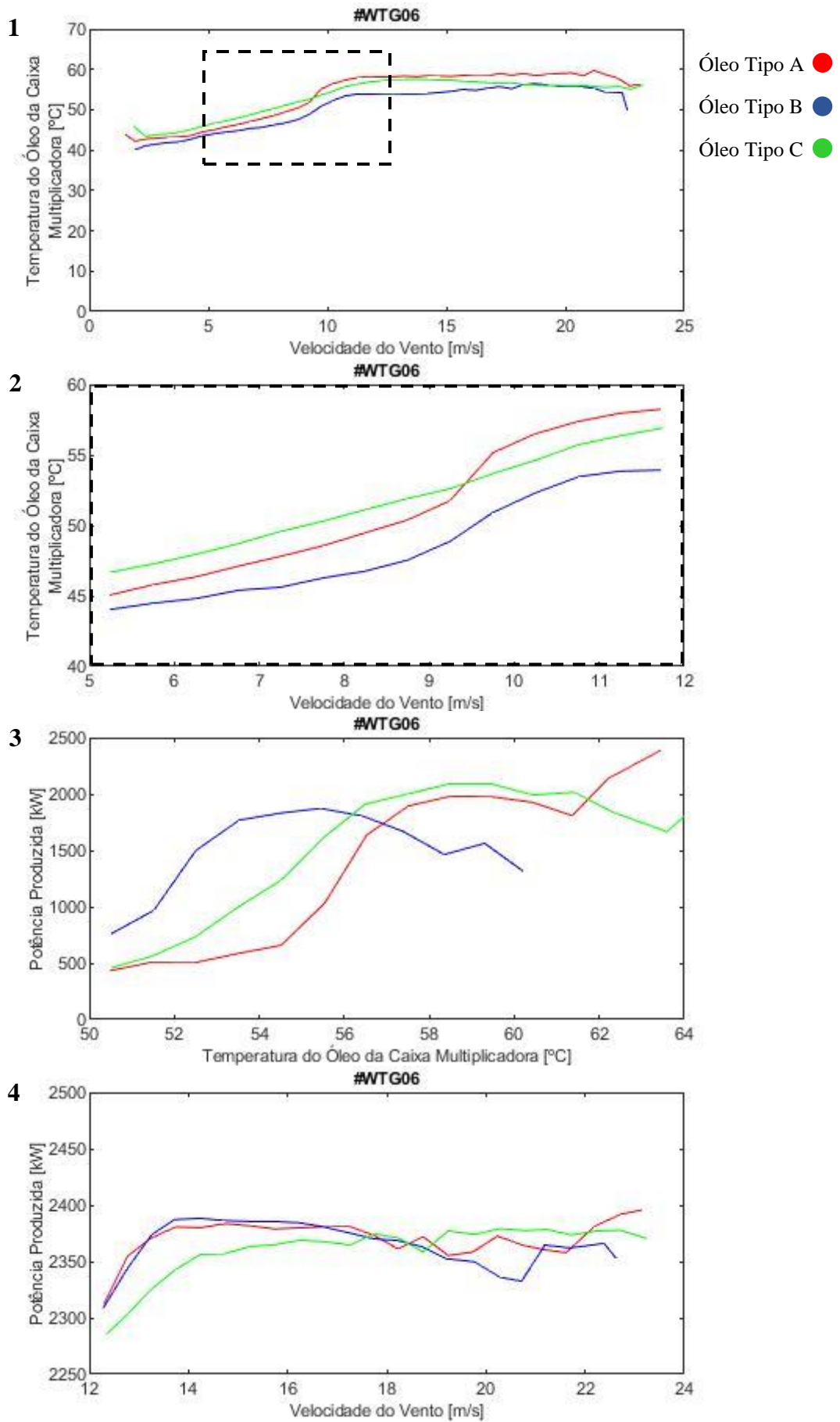


Figura 6.7 – Representação gráfica dos resultados da #WTG06

Na caixa multiplicadora da turbina eólica 6 (#WTG06, figura 6.7), igualmente à #WTG04, foram colocados três tipos de óleo. Observando a figura 6.7.1, entre os diferentes tipos de óleo, verificamos diferenças de temperatura para a mesma velocidade de vento. Neste caso, contrariamente ao caso da #WTG04, o óleo tipo A, apresenta as temperaturas mais elevadas após os 10 m/s de velocidade de vento, valor a partir do qual inicia a velocidade de vento nominal. Para baixas velocidades, o óleo tipo C apresenta as temperaturas mais elevadas (figura 6.7.2). A maior diferença relativamente à produção de energia, é registada entre os 52°C e os 56°C, isto é, antes dos ventiladores dos permutadores de calor entrarem em funcionamento. Por exemplo, para uma produção de 1.500 kW, o óleo tipo B regista um valor de ~52,5°C, o óleo tipo C de ~54°C, e o óleo tipo A de ~56°C, como podemos constatar na figura 6.7.3. A temperatura do óleo da caixa multiplicadora aumenta até ~58,5°C, apresentando uma diferença de produção de energia, entre o óleo tipo A e B, não calculável com fiabilidade, devido ao número de pontos considerados, enquanto que entre o óleo tipo A e C é aproximadamente 50 kW. Quando analisamos a diferença de produção de energia entre 12 m/s e 24 m/s de velocidade de vento (figura 6.7.4), constata-se que o óleo tipo B apresenta os piores resultados. Registamos, de novo, comparando o óleo tipo A e C na área de maior produção de energia (~20m/s de velocidade de vento), uma *performance* muito idêntica à #WTG04.

Para a figura 6.8, que reflete o comportamento da turbina eólica 7 (#WTG07), iremos fazer a mesma analogia que fizemos para a #WTG03, #WTG04 e #WTG06.

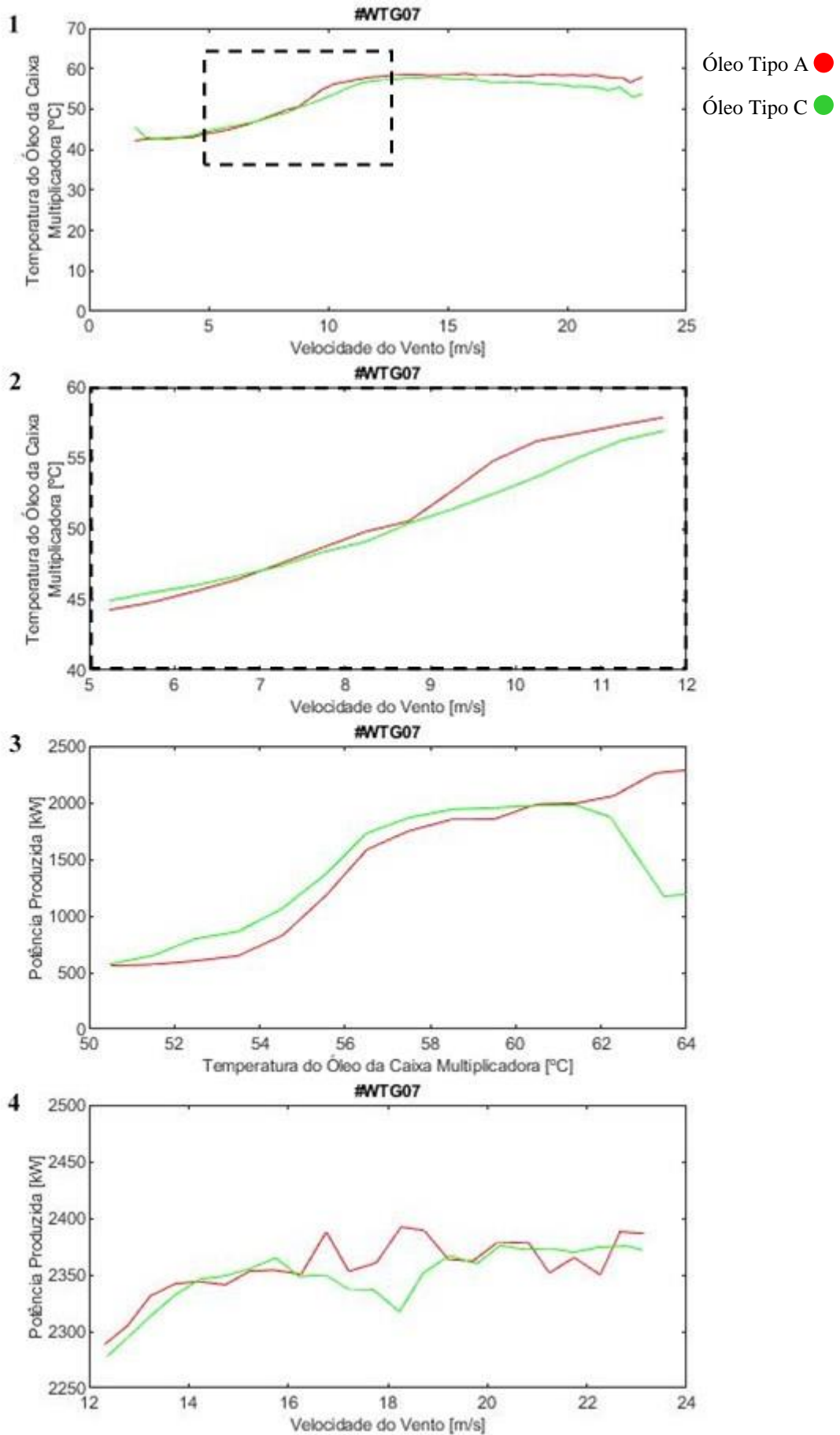


Figura 6.8 – Representação gráfica dos resultados da #WTG07

Na turbina eólica 7 (#WTG07), igualmente à #WTG03 (figura 6.5), as intervenções na caixa multiplicadora para trocas de óleo, só sofreram duas alterações do tipo óleo (figura 6.8). Contudo, ao contrário da #WTG03, o óleo tipo A atingiu temperaturas superiores ao óleo tipo C (figura 6.8.1), apesar das diferenças só se fazerem sentir a partir de uma velocidade de vento de 9 m/s (figura 6.8.2). Relativamente à produção de energia, as maiores diferenças foram registadas entre os 52°C e os 57°C, antes dos ventiladores dos permutadores de calor entrarem em funcionamento. Por exemplo, para uma produção de 1.500 kW, o óleo tipo C regista um valor de ~56°C, ao passo que o óleo tipo A regista valores de ~56,2°C (figura 6.8.3). As maiores diferenças de temperatura, de aproximadamente 1°C, são registadas para valores de produção de energia de 1.000 kW. Aos valores acima de 60°C não foi dada importância, devido ao facto das temperaturas registadas já estarem sob a influência dos permutadores, introduzindo erros nas conclusões. No intervalo entre 12m/s e 24 m/s de velocidade de vento (figura 6.8.4), são registadas as maiores diferenças de produção de energia, observamos assim uma diferença máxima de mais de 80 kW, usando o óleo do tipo A a, aproximadamente, 18,2 m/s. Mas, acima de tudo, verifica-se um comportamento muito aleatório entre os dois tipos de óleo, e um desempenho muito similar na zona de maior produção de energia da turbina eólica, a cerca de 20 m/s de velocidade de vento.

As análises de óleo recolhidas, apresentadas na tabela 4.3, das diferentes caixas multiplicadoras de cada turbina eólica, confirma os resultados acima apresentados. Os valores de referência para a viscosidade a 40°C dos três tipos de óleo (tabela 1), são de 320 cSt para o óleo tipo A, 320 cSt para o óleo tipo B, e de 325 cSt para o óleo tipo C. Como referido anteriormente, a tabela 4.3 mostra o valor da viscosidade para cada tipo de óleo após a sua utilização, e, as maiores diferenças, são apresentadas nos óleos do tipo B e C. A diferença mais acentuada, ocorre na #WTG06 com o óleo do tipo C, onde desce dos 325 cSt, para os 304.77 cSt. De forma geral, o tipo de óleo A, regista temperaturas mais baixas que os outros tipos de óleo, como tal, a sua viscosidade a 40°C não altera tão significativamente, levando assim a uma maior durabilidade do óleo dentro das condições aceitáveis de utilização.

As análises da viscosidade do óleo a 100°C apresentam uma tendência semelhante daquelas a 40°C. Os valores de referência da viscosidade a 100°C (tabela 4.1), para os três tipos de óleo diferentes, tipo de óleo A, B e C, são de 24.1 cSt, 35.1 cSt e 34.9 cSt, respetivamente. Uma vez mais, os tipos de óleo B e C, apresentam uma degradação mais

acentuada que o tipo de óleo A, com o valor máximo de degradação a ocorrer no tipo de óleo B, descendo de 35.1 cSt para 31.38 cSt, na caixa multiplicadora da #WTG06. Finalmente, os valores de referência do índice de viscosidade apresentados na tabela 4.1 (ASTM D 2270), para os três tipos de óleo, são 96 para o tipo de óleo A, 155 para o tipo de óleo B, e 152 para o tipo de óleo C. Neste caso, as maiores diferenças ocorrem de novo na #WTG06, com o tipo de óleo B, onde desce de 155 para 140. Perante a tabela 4.3, conseguimos verificar que os tipos de óleo B e C (sintéticos) são os que apresentam uma maior diferença relativamente à viscosidade após a sua utilização.

Na turbina eólica 7, as análises ao tipo de óleo A, comparativamente com os óleos B e C, refletiram as menores diferenças de temperatura em todos os intervalos de produção de energia, mas, é de salientar, que esta turbina foi a que apresentou menor produção de energia. Relativamente ao tipo de óleo A, as variações apresentadas, quando comparadas com as restantes, são desprezáveis, uma vez que são muito próximas do valor de referência.

7. Discussão de Resultados

Os resultados apresentados neste estudo, demonstram que, na maior parte do tempo, a temperatura do óleo mineral (óleo tipo A), é inferior à temperatura dos óleos sintéticos (óleo tipo B e C) para a mesma velocidade de vento. Além deste facto, as caixas multiplicadoras que utilizavam o tipo de óleo A tinham um melhor desempenho que as caixas multiplicadoras que utilizavam os tipos de óleo B e C. Em alguns casos, o desempenho chegava a atingir os 51 kW de produção de energia na turbina 6 aos 12,75 m/s, entre o óleo tipo A e o óleo tipo C. Quando o óleo, dentro caixa multiplicadora, situa-se sempre na zona da temperatura operativa da mesma durante a maior parte do seu funcionamento, quando não se degrada demasiado e mantém as propriedades físicas e químicas dentro dos níveis aceitáveis para um correto funcionamento da caixa multiplicadora, poderemos afirmar que existe uma relação direta entre a qualidade do óleo dentro da caixa multiplicadora e a eficiência energética da turbina eólica. Esta afirmação é justificada através da probabilidade da caixa multiplicadora ter um rendimento muito alto e superior àquele em que estas condições não se verificam. Este é um resultado importante, porque as falhas mais comuns numa caixa multiplicadora, como corrosão, desgaste, *micropitting*, *pitting*, entre outros, são influenciadas pela temperatura do óleo [34]. Isto acontece, porque as altas temperaturas degradam a viscosidade do óleo, diminuindo assim a grossura da película lubrificante entre os corpos da engrenagem, o que pode afetar o desempenho da caixa multiplicadora. O presente estudo, incide sobre uma análise profunda de um caso real, da relação existente entre a temperatura e a viscosidade do óleo da caixa multiplicadora, e que originou um artigo, Sequeira et al., e que pode ser útil na aplicação do sistema ANN, para detetar e prevenir falhas na caixa

multiplicadora, e, otimizar assim, a utilização do óleo. O que parece claro a partir da análise dos resultados, é que, as características do óleo desempenham um papel significativo nas perdas de eficiência, fortemente destacadas pelas caixas multiplicadoras que utilizaram os três tipos de óleo. Também é evidente que o óleo do tipo A (mineral), apresenta um melhor desempenho energético comparativamente com os óleos B ou C, ambos sintéticos. Na figura 6.4, que mostra a potência produzida em função da velocidade entre os 5 m/s e os 12 m/s, na generalidade, verificamos comportamentos muito semelhantes entre os diferentes tipos de óleo. Após uma análise mais profunda, verificamos que, o óleo tipo A (mineral), apresenta mais intervalos com uma melhor *performance*, quando fazemos uma comparação direta com os outros tipos de óleo, isto é, apresenta um melhor comportamento quando contabilizamos os intervalos onde o óleo tipo A tem uma maior produção de energia. Um facto interessante, e detetável neste estudo, leva-nos a verificar que embora o óleo de tipo B apresente temperaturas inferiores ao óleo de tipo A, não existe um efeito positivo relativamente à produção de energia. De facto, as caixas multiplicadoras que trabalharam com o óleo de tipo B apresentam uma queda de produção entre as velocidades de vento de 12 m/s e de 24 m/s, um exemplo será a #WTG04 na figura 6.6. Atualmente, o óleo do tipo B está a ser retirado pelo promotor de várias turbinas eólicas de dispaes parques eólicas, devido ao seu baixo desempenho; e, devido à grande alteração do índice de viscosidade, após 1 ano de operação. O óleo do tipo C, é o que apresenta, tanto em termos de temperatura, como em termos de produção de energia, os piores resultados. Esta é uma tendência que se verifica em todas as turbinas eólicas que utilizam este tipo de óleo nas caixas multiplicadoras.

Outro aspeto interessante, diz respeito ao comportamento da temperatura do óleo, utilizando diferentes tipos de óleo, ao longo da curva de potência produzida. Dentro da área de maior produção de energia da turbina eólica, ou seja, velocidade de vento superior a 14 m/s, os óleos do tipo A e C registaram um comportamento muito idêntico, de facto, e se observarmos a caixa multiplicadora da #WTG06, figura 6.7, com o óleo do tipo A em utilização, são registadas temperaturas mais elevadas, o que afeta adversamente o seu desempenho. No entanto, esse resultado não é pronunciado, e é específico nessa área da curva de potência, onde também existem menos observações do sistema SCADA, quando comparada com os registos velocidade inicial e zona estável, onde os óleos do tipo A apresentam sempre melhor resultados.

8. Conclusão

Esta dissertação analisou um conjunto de dados temporais de produção de energia elétrica, e a sua relação com a temperatura do óleo da caixa multiplicadora de cada uma das turbinas eólicas consideradas para o estudo, utilizando os dados obtidos através do sistema SCADA, suportados e confrontados com resultados das análises de óleo regulares efetuadas a amostras retiradas. As principais conclusões que podemos retirar deste estudo, com base nas condições impostas inicialmente e observando os resultados obtidos, são: a temperatura do óleo das caixas multiplicadoras que trabalham com óleo minerais, foi inferior à temperatura do óleo apresentada por caixas multiplicadoras que trabalham com óleo sintético; existe uma relação direta entre as características do óleo aplicado nas caixas multiplicadoras, e a eficiência energética da turbina eólica, isto é, as caixas multiplicadoras que trabalham com óleo mineral apresentam melhores desempenhos que as que trabalham com óleo sintético, sendo essas diferenças, no nosso estudo, no valor máximo de 50 kW na produção de energia elétrica; óleos com tipos de natureza semelhante, neste caso os óleos sintéticos, apresentam diferenças significativas no seu desempenho, e mesmo os óleos que resistem a um incremento de temperatura, podem apresentar pior desempenho na produção de energia; a degradação do óleo foi influenciada pelo aumento de temperatura e diminuição da viscosidade, mostrando assim que o comportamento da temperatura do óleo ao longo da curva de potência da turbina eólica (produção efetiva de energia elétrica) está fortemente relacionado com as características do óleo em utilização.

A monitorização rigorosa dos parâmetros abordados neste estudo, temperatura do óleo da caixa multiplicadora, produção efetiva de energia elétrica, análises às amostras de óleo,

entre outras, revela-se fundamental para avaliar um possível decréscimo no desempenho da turbina eólica, ou na detecção de falhas mecânicas, levando-nos assim a agir eficazmente de forma a prolongar a vida útil dos componentes, e obter a máxima eficiência da WTG. É importante ter em consideração que, para incrementarmos a fiabilidade da caixa multiplicadora, seria necessário complementar esta análise com o estudo da contagem de partículas, isto é, dos resíduos de óleo da caixa multiplicadora, e avaliar o seu efeito na produção total de energia elétrica, o que poderia ser o seguimento deste estudo, e dar origem a um artigo científico ou uma dissertação. É importante a realização deste tipo de estudos, de forma a obtermos cada vez mais a máxima eficiência possível das turbinas eólicas, as quais, como fonte de energia renovável, tais como outras, são fundamentais na mudança necessária ao nosso planeta no combate às alterações climáticas.

9. Referências

- [1] WWEA - World Wind Energy Association, “Wind Power Capacity Worldwide Reaches 597 GW, 50,1 GW added in 2018,” 25 Fevereiro 2019. [Online]. Available: <http://www.wwindea.org/>. [Acedido em 25 Setembro 2019].
- [2] T. Touret, C. Changenet, F. Ville, M. Lalmi e S. Becquerelle, “On the use of temperature for online condition monitoring of geared systems – A review,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 101, pp. 197-210, 2018.
- [3] Y. Feng, Y. Qiu, C. J. Crabtree, H. Long e P. J. Tavner, “Monitoring wind turbine gearboxes,” *Wind Energy*, vol. 16, n° 5, pp. 728-740, 2013.
- [4] J. P. Salameh, S. Cauet, E. Etien, A. Sakout e L. Rambault, “Gearbox condition monitoring in wind turbines: A review,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 111, pp. 251-264, 2018.
- [5] C. M. C. G. Fernandes, L. Blazquez, J. Sanesteban, R. C. Martins e J. H. O. Seabra, “Energy efficiency tests in a full scale wind turbine gearbox,” *Tribology International*, vol. 101, pp. 375-382, 2016.
- [6] C. M. C. G. Fernandes, P. M. T. Marques, R. C. Martins e J. H. O. Seabra, “Gearbox power loss. Part III: Application to a parallel axis and a planetary gearbox,” *Tribology International*, vol. 88, pp. 317-326, 2015.
- [7] P. M. T. Marques, R. Camacho, R. C. Martins e J. H. O. Seabra, “Efficiency of a planetary multiplier gearbox: Influence of operating conditions and gear oil formulation,” *Tribology International*, vol. 92, pp. 272-280, 2015.
- [8] Y. Wang, G. Song, W. Niu e Y. Chen, “Influence of oil injection methods on the lubrication process of high speed spur gears,” *Tribology International*, vol. 121, pp. 180-189, 2018.

-
- [9] Y. Zhang, W. Lu e F. Chu, “Planet gear fault localization for wind turbine gearbox using acoustic emission signals,” *Renewable Energy*, vol. 109, pp. 449-460, 2017.
- [10] E. Lapira, D. Brisset, H. D. Ardakani, D. Siegel e J. Lee, “Wind turbine performance assessment using multi-regime modeling approach,” *Renewable Energy*, vol. 45, pp. 86-95, 2012.
- [11] L. Magalhães, R. Martins, C. Locateli e J. Seabra, “Influence of tooth profile and oil formulation on gear power loss,” *Tribology International*, vol. 43, pp. 1861-1871, 2010.
- [12] P. Eschmann, L. Hasbargen e K. Weigand, *Ball and roller bearings - theory, design, and application*, John Wiley and Sons, 1985.
- [13] P. M. T. Marques, C. M. C. G. Fernandes, R. C. Martins e J. H. O. Seabra, “Efficiency of a gearbox lubricated with wind turbine gear oils,” *Tribology International*, vol. 71, pp. 7-16, 2014.
- [14] Y. Lin, L. Tu, L. Hongwei e W. Li, “Fault analysis of wind turbines in China,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 482-490, 2016.
- [15] K. P. Zhou, *Research and design of fault diagnosis system for direct-driven synchronous wind turbine [Master's Thesis]*, Changsha: Central South University, 2010.
- [16] H. Z. Ma, W. J. Shi, J. D. Han, J. N. Chen e T. T. Chen, “Double-fed induction generator rotor fault diagnosis considering control strategies of rotor-side converters,” *Proc CSEE*, vol. 33, pp. 1-7, 2013.
- [17] R. Li, Q. S. Gao e W. Liu, “Characteristics of direct-driven permanent magnet synchronous wind power generator under symmetrical three-phase short-circuit fault,” *Power System Technology*, vol. 8, pp. 35-153, 2011.
- [18] M. Entezami, S. Hillmansen, P. Weston e M. P. Papaalias, “Fault detection and diagnosis within a wind turbine mechanical braking system using condition monitoring,” *Renewable Energy*, vol. 47, pp. 175-182, 2012.
- [19] J. Rose e I. A. Hiskens, “Estimating wind turbine parameters and quantifying their effects on dynamic behavior,” *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, pp. 1-7, 2008.
- [20] F. Spinato, P. J. Tavner, G. J. W. van Bussel e E. Koutoulakos, “Reliability of wind turbine subassemblies,” *IET Renew Power Gen*, vol. 3, pp. 387-401, 2009.
- [21] L. Ziegler, E. Gonzalez, T. Rubert, U. Smolka e J. J. Melero, “Lifetime extension of onshore wind turbines: A review covering Germany, Spain, Denmark, and the UK,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 1261-1271, 2018.

- [22] H. Arabian-Hoseynabadi, H. Oraee e P. J. Tavner, “Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for wind turbines,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 32, n° 7, pp. 817-824, 2010.
- [23] Wilkinson, Michael; Garrad Hassan & Partners, Ltd., “Reliawind Field Study,” em *Wind Turbine Reliability Workshop*, Albuquerque, 2009.
- [24] P. Tavner, *Offshore Wind Turbines: Reliability, Availability and Maintenance*, London: Institution of Engineering and Technology, 2012.
- [25] P. M. T. Marques, C. M. C. G. Fernandes, R. C. Martins e J. H. O. Seabra, “Power losses at low speed in a gearbox lubricated with wind turbine gear oils with special focus on churning losses,” *Tribology International*, vol. 62, pp. 186-197, 2013.
- [26] F. Castellani, D. Astolfi, P. Sdringola, S. Proietti e L. Terzi, “Analyzing wind turbine directional behavior: SCADA data mining techniques for efficiency and power assessment,” *Applied Energy*, vol. 185, n° 2, pp. 1076-1086, 2017.
- [27] E. Hau, *Wind Turbines - Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, 2ª ed., Munich: Springer, 2005.
- [28] Nordex, *Gamma Generation*, 2015.
- [29] Y. Kumar, J. Ringenberg, S. S. Depuru, V. K. Devabhaktuni, J. W. Lee, E. Nikolaidis, B. Andersen e A. Afjeh, “Wind energy: Trends and enabling technologies,” pp. 209-224, 8 September 2015.
- [30] A. C. Kheirabadi e R. Nagamune, “A quantitative review of wind farm control with the objective of wind farm power maximization,” pp. 45-73, 9 July 2019.
- [31] M. Soleimanzadeh e R. Wisniewski, “Controller design for a wind farm, considering both power and load aspects,” pp. 720-727, 31 March 2011.
- [32] Nordex, *N80/2500; N90/2300*, 2009.
- [33] IEC, *Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines*, 2005.
- [34] K. Michaelis e B.-R. Höhn , “Influence of oil temperature on gear failures,” *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 37, n° 2, pp. 103-109, 2004.
- [35] C. Nutakor, A. Klodowski, J. Sapanen, A. Mikkola e J. I. Pedrero, “Planetary gear sets power loss modeling: Application to wind turbines,” *Tribology International*, vol. 105, pp. 42-54, 2017.
- [36] G. D. N. P. Leite, A. M. Araújo e P. A. C. Rosas, “Prognostic techniques applied to maintenance of wind turbines: a concise and specific review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, n° 2, pp. 1917-1925, 2018.

- [37] P. Bangalore e M. Patriksson, “Analysis of SCADA data for early fault detection, with application to the maintenance management of wind turbines,” *Renewable Energy*, vol. 115, pp. 521-532, 2018.
- [38] C. M. Fernandes, P. M. Marques, R. C. Martins e J. H. Seabra, “Gearbox power loss. Part I: Losses in rolling bearings,” *Tribology International*, vol. 88, pp. 298-308, 2015.
- [39] B. Graça, R. Martins e J. Seabra, “Lubricant Analysis in Wind Turbines,” INEGI, Porto, 2014.
- [40] J. Iken, “Good lubrication for a well-oiled machine,” *Sun & Wind Energy*, vol. 3/2015, pp. 32-35, 2015.
- [41] N. M. X. Trindade, *Medição do atrito de escorregamento através da energia dissipada em sistema vibratórios*, Coimbra, 2011.
- [42] Sogilub, “O que são óleos lubrificantes?,” 30 Abril 2015. [Online]. Available: <http://www.sogilub.pt/produtores-de-oleos-novos/o-que-sao-oleos-lubrificantes>. [Acedido em 09 Fevereiro 2017].
- [43] C. A. Sousa e E. P. Pina, “A lei da conservação da energia: aplicação ao rolamento com e sem deslizamento,” *Gazeta de Física*, vol. 22 / Fascículo 2, pp. 10-15, 1999.

10. Anexos

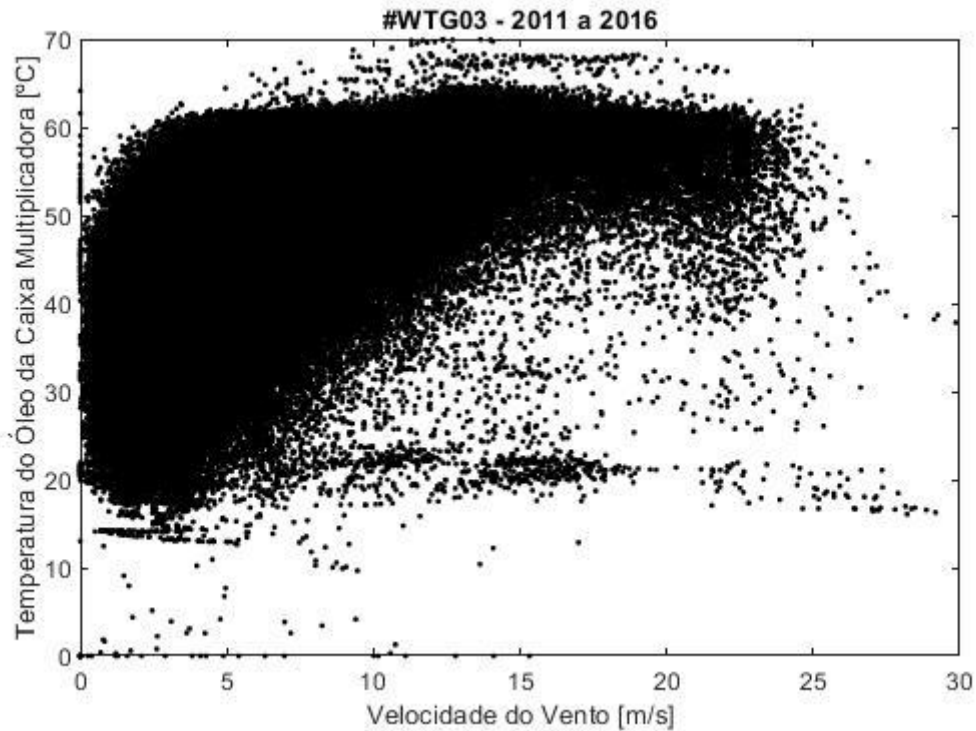


Figura 10.1 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG03, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.1:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG03_WindSpeed(:,1),WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1),'.k')
title('#WTG03 - 2011 a 2016')
xlim([0 30]), ylim([0 70])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]')
```

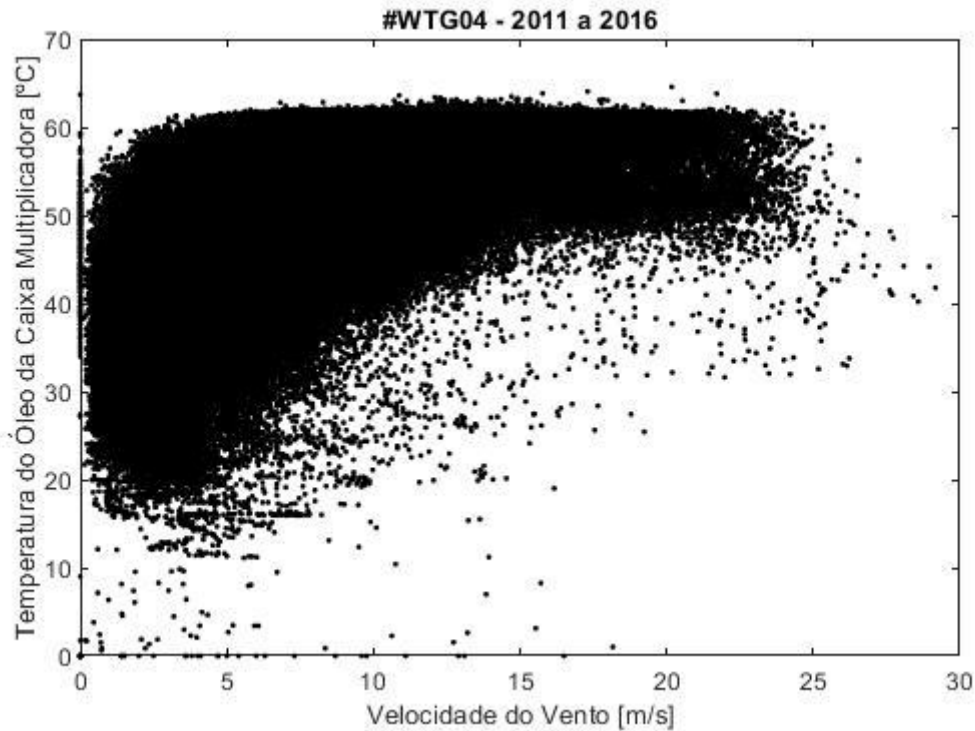


Figura 10.2 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG04, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.2:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG04_WindSpeed(:,1),WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1),'.k')
title('#WTG04 - 2011 a 2016')
xlim([0 30]), ylim([0 70])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]')
```

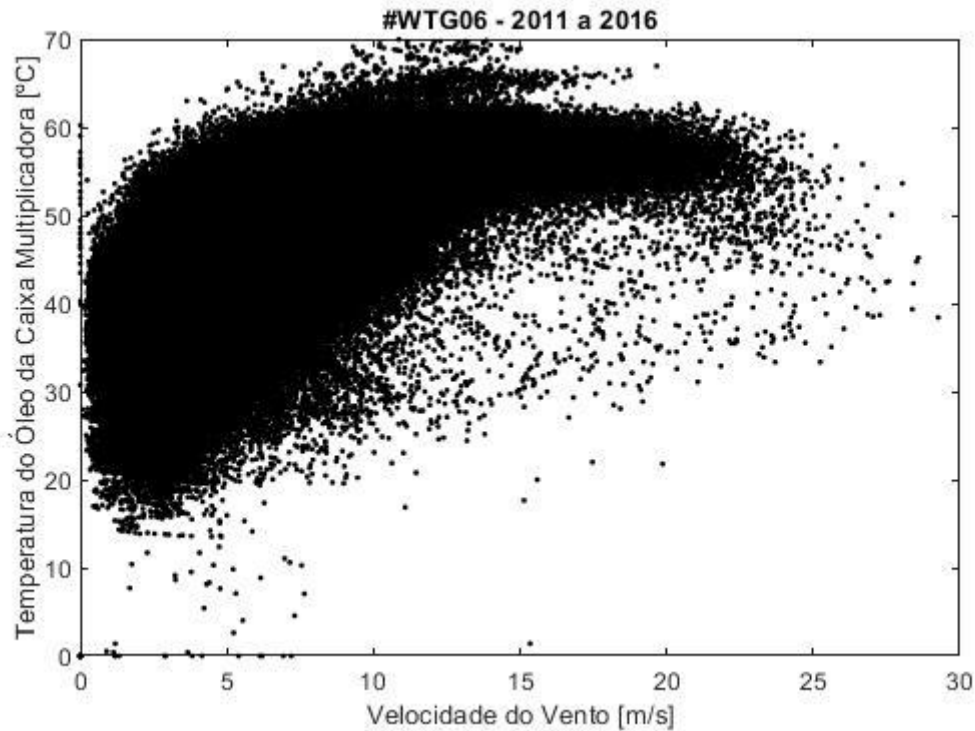


Figura 10.3 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG06, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.3:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG06_WindSpeed(:,1),WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1),'.k')
title('#WTG06 - 2011 a 2016')
xlim([0 30]), ylim([0 70])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]')
```

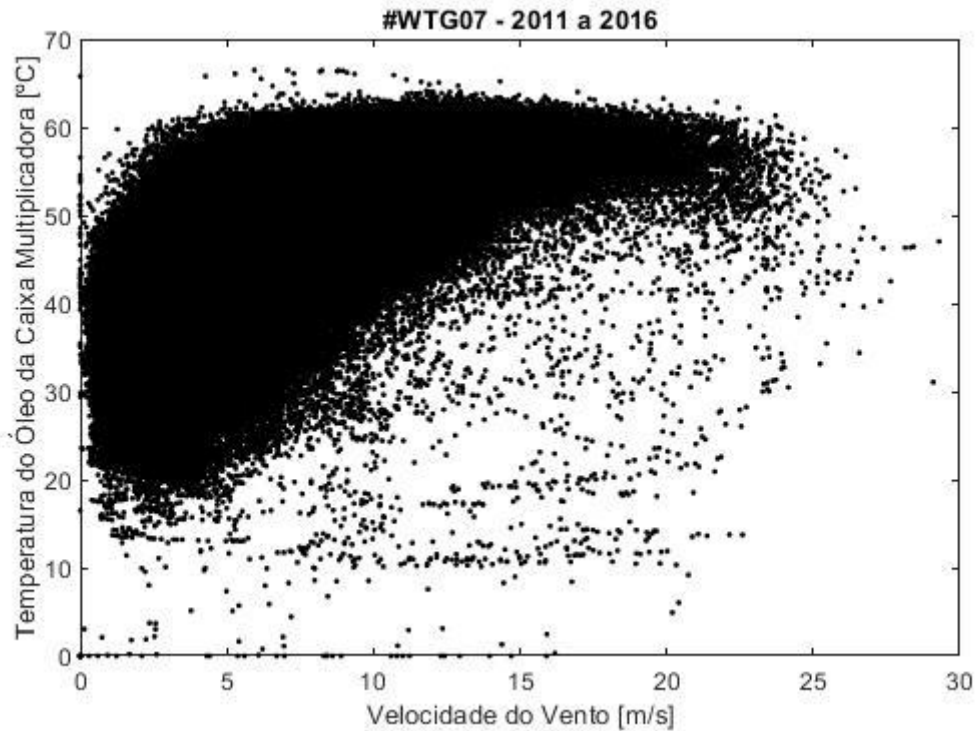


Figura 10.4 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG07, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.4:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG07_WindSpeed(:,1),WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1),'.k')
title('#WTG07 - 2011 a 2016')
xlim([0 30]), ylim([0 70])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]')
```

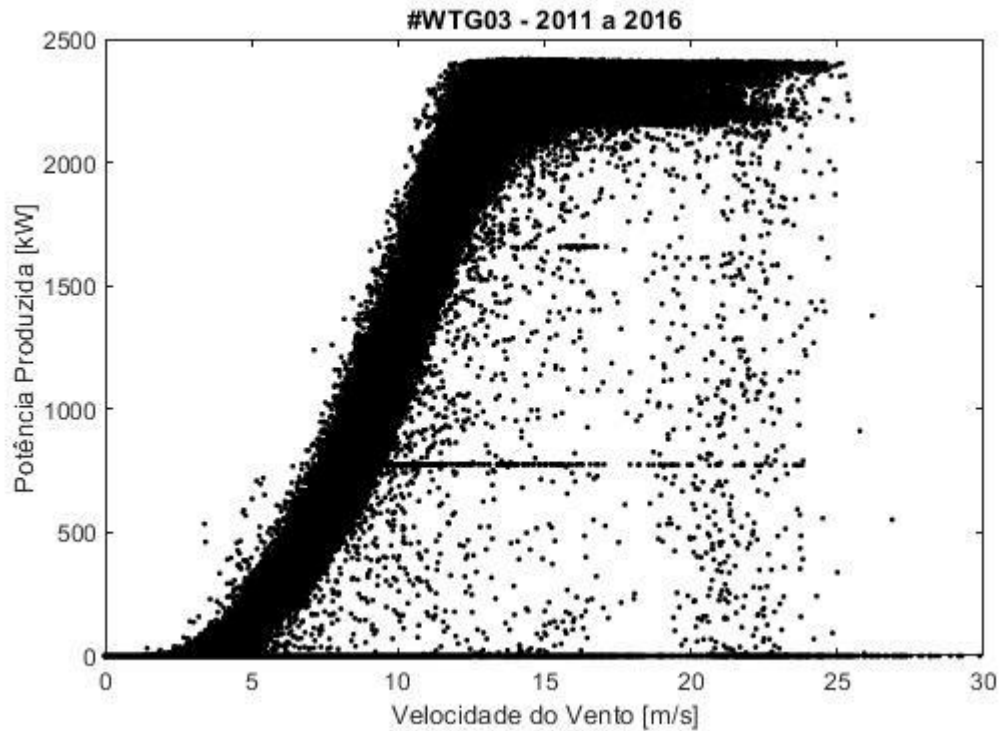


Figura 10.5 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG03, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.5:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG03_WindSpeed(:,1),WTG03_ActivePower(:,1),'.k')
title('#WTG03 - 2011 a 2016')
xlim([0 30]), ylim([0 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')
```

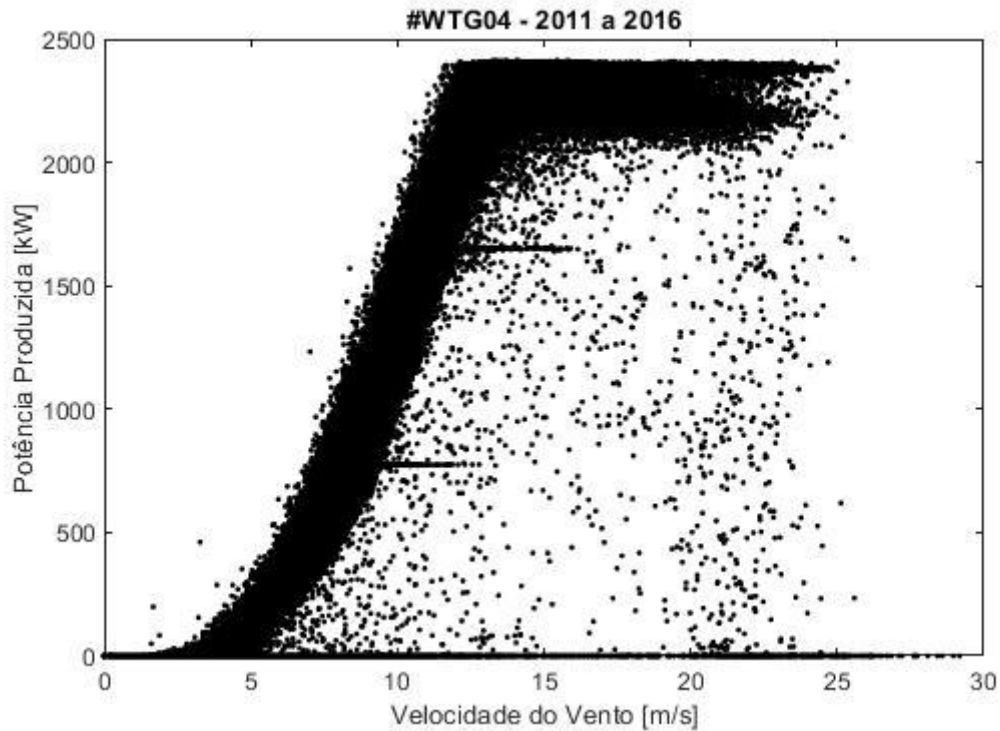


Figura 10.6 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG04, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.6:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG04_WindSpeed(:,1),WTG04_ActivePower(:,1),'.k')
title('#WTG04 - 2011 a 2016')
xlim([0 30]), ylim([0 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')
```

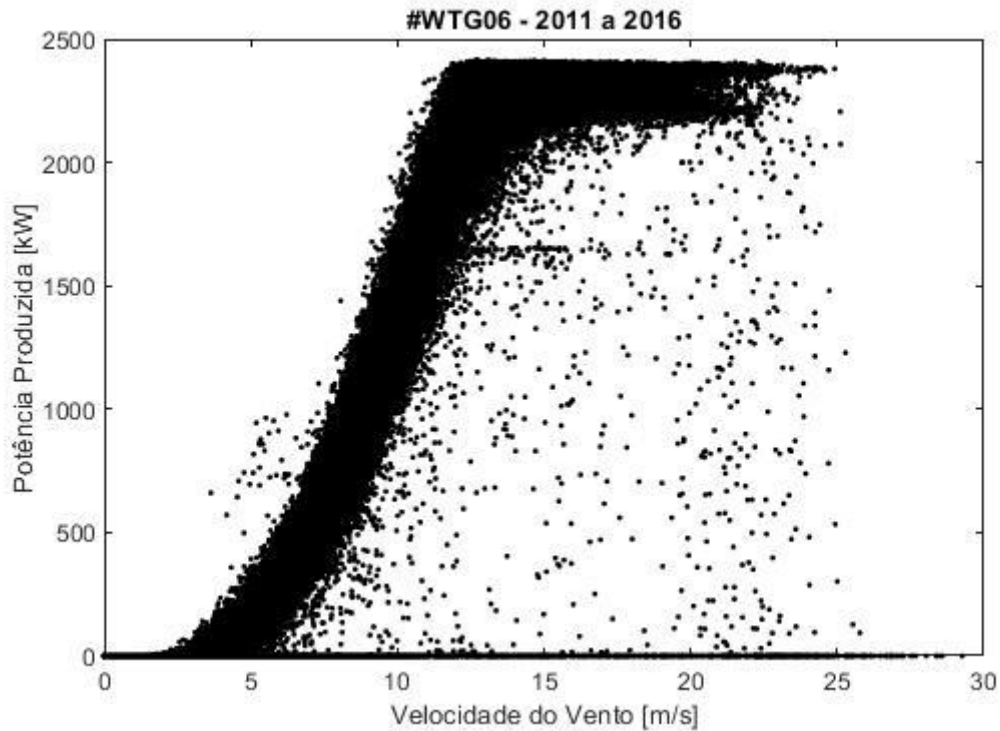


Figura 10.7 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG06 sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.7:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG06_WindSpeed(:,1),WTG06_ActivePower(:,1),'.k')
title('#WTG06 - 2011 a 2016')
xlim([0 30]), ylim([0 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')
```

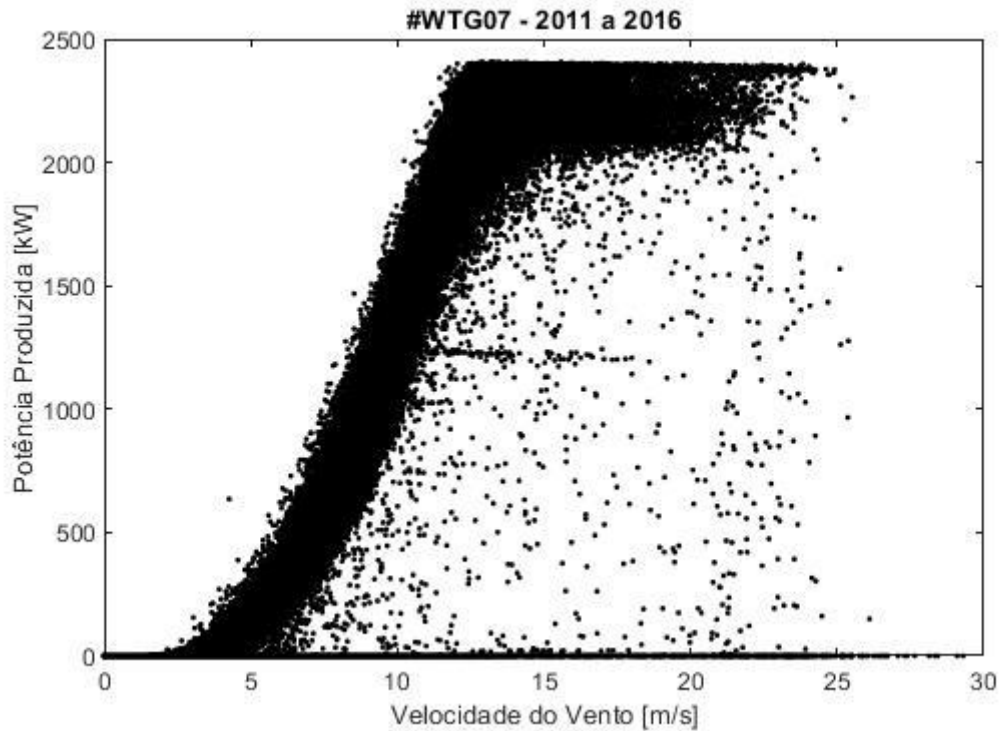


Figura 10.8 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG07, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.8:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG07_WindSpeed(:,1),WTG07_ActivePower(:,1),'.k')
title('#WTG07 - 2011 a 2016')
xlim([0 30]), ylim([0 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')
```

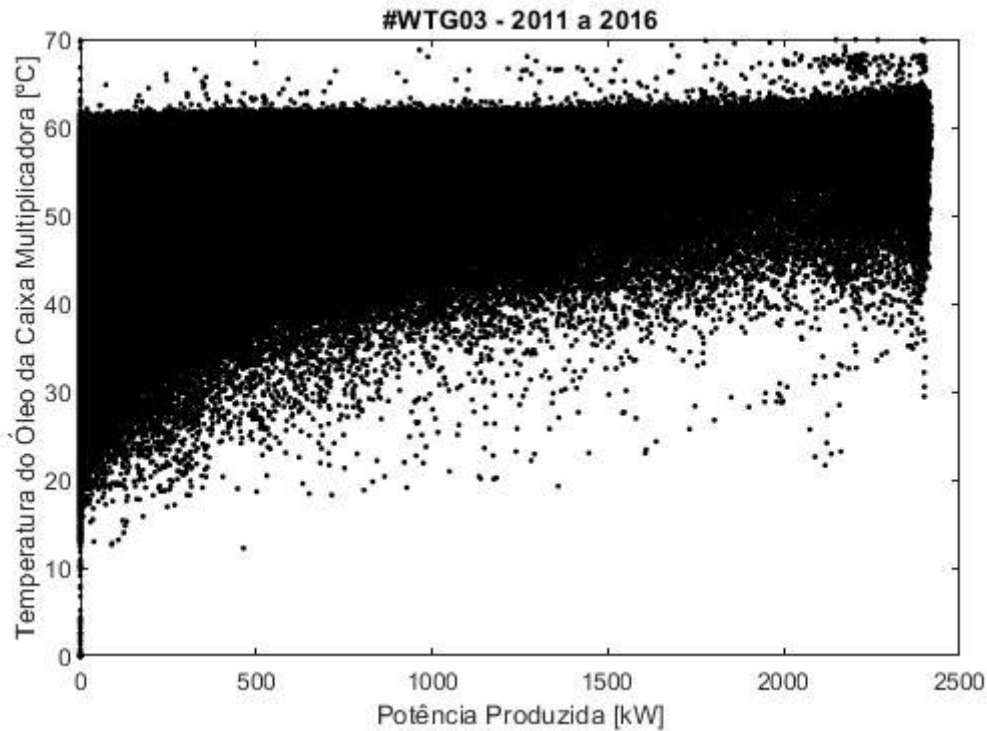


Figura 10.9 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG03, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da potência produzida (kW)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.9:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG03_ActivePower(:,1),WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1),'.k')
title('#WTG03 - 2011 a 2016')
xlim([0 2500]), ylim([0 70])
xlabel('Potência Produzida [kW]'), ylabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]')
```

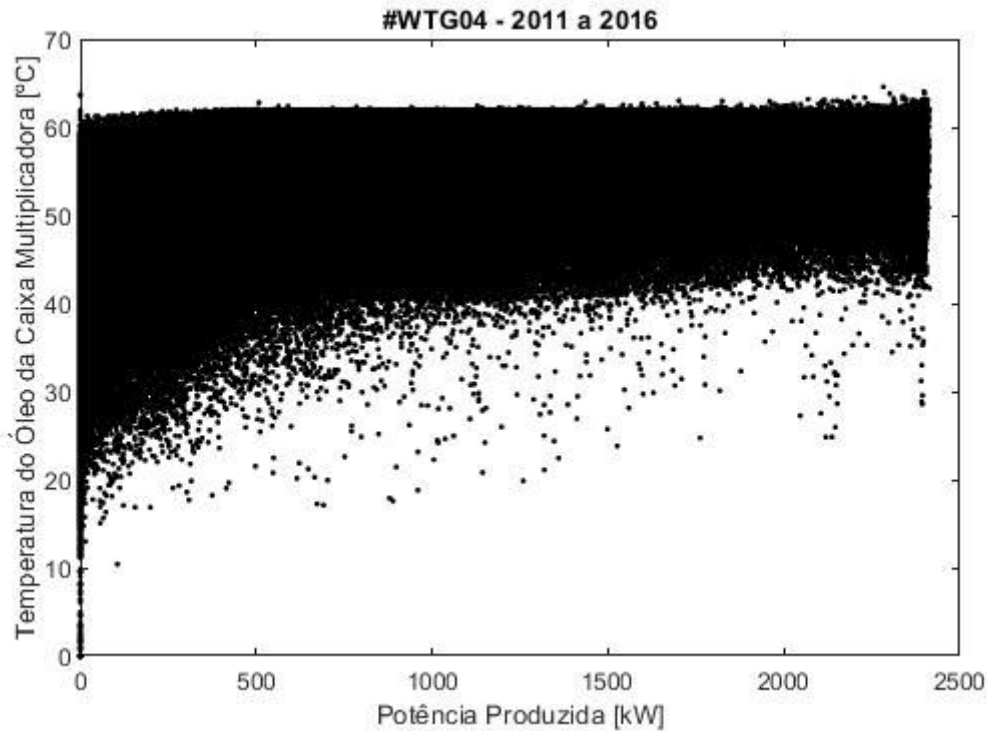


Figura 10.10 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG04, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da potência produzida (kW)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.10:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG04_ActivePower(:,1),WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1),'.k')
title('#WTG04 - 2011 a 2016')
xlim([0 2500]), ylim([0 70])
xlabel('Potência Produzida [kW]'), ylabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]')
```

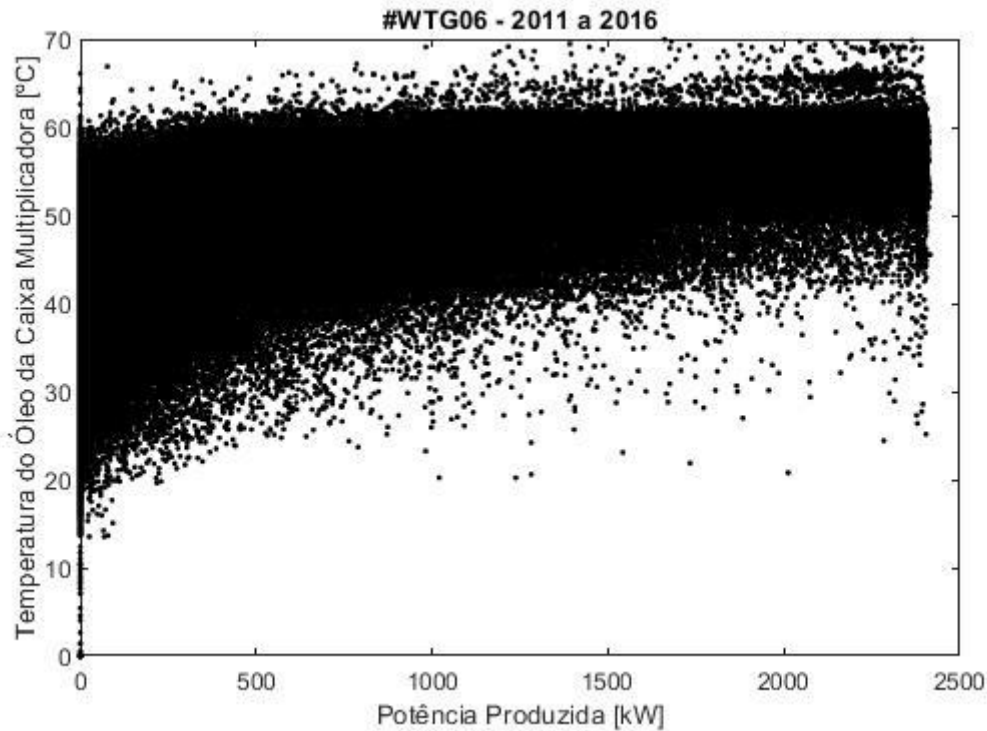


Figura 10.11 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG06, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da potência produzida (kW)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.11:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG06_ActivePower(:,1),WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1),'.k')
title('#WTG06 - 2011 a 2016')
xlim([0 2500]), ylim([0 70])
xlabel('Potência Produzida [kW]'), ylabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]')
```

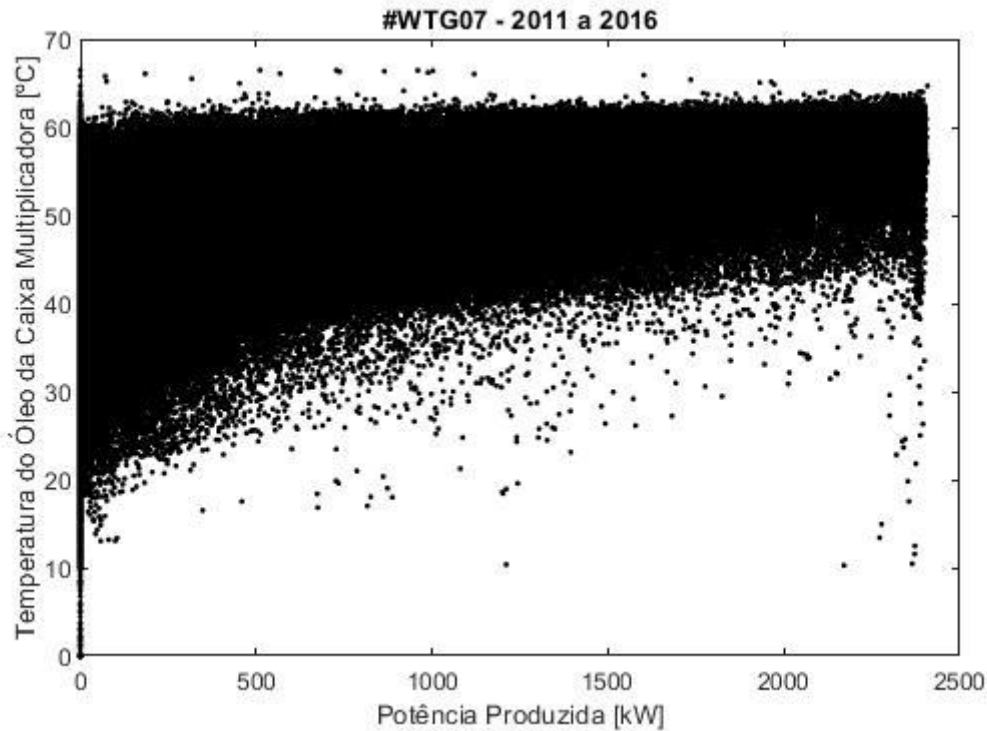


Figura 10.12 – Representação gráfica de todos os pontos da #WTG07, sem qualquer tipo filtros ou métodos aplicados, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da potência produzida (kW)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.12:

```
clear all; close all; clc;

cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat

figure
plot(WTG07_ActivePower(:,1),WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1),'.k')
title('#WTG07 - 2011 a 2016')
xlim([0 2500]), ylim([0 70])
xlabel('Potência Produzida [kW]'), ylabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]')
```

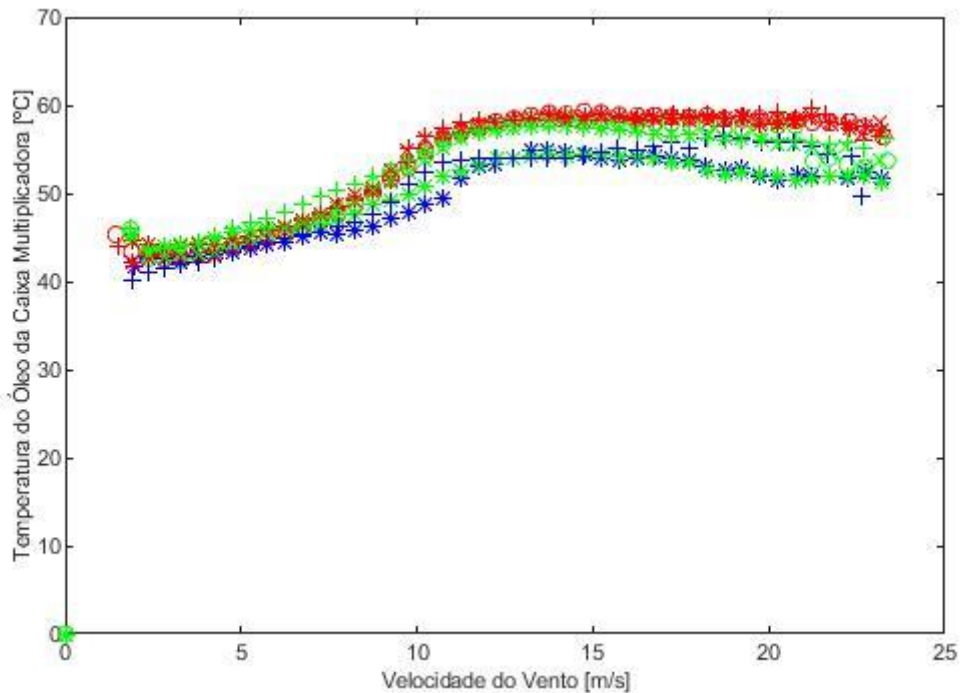


Figura 10.13 – Representação gráfica de todas as WTG's, ilustração da figura 6.2.1 com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 1°C, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s); a vermelho o óleo tipo A

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.13:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP=WTG03_ActivePower(:,1);
TG=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,1000;
7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;1
2,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,15
00,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,250
0;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
```

```

        ind2=and(ind2, (AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medtemparr(n)=median(TG(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medtemparr,'or')
xlim([0 25]), ylim([0 70])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da
Caixa Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('20/11/2014 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG03_ActivePower(:,1);
TG2=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind4=and(ind3, (WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4, (AP2>=restTemp(indRest2,3) &
AP2<restTemp(indRest2,4)));
    medtemparr2(n)=median(TG2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medtemparr2,'og')

dataInicio3=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG04_ActivePower(:,1);
TG3=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind6=and(ind5, WS3>=nn & WS3<nn+k);
    ind6=and(ind6, (AP3>=restTemp(indRest3,3) &
AP3<restTemp(indRest3,4)));
    medtemparr3(n)=median(TG3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr3,medtemparr3,'*r')

```

```

dataInicio4=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim4=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS4=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP4=WTG04_ActivePower(:,1);
TG4=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA4=tstamp(:,1);
ind7=AP4>0;
ind7=and(ind7,DATA4>=dataInicio4 & DATA4<=dataFim4);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr4=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr4=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest4=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind8=and(ind7,(WS4>=nn & WS4<nn+k));
    ind8=and(ind8,(AP4>=restTemp(indRest4,3) &
AP4<restTemp(indRest4,4)));
    medtemparr4(n)=median(TG4(ind8));
    medwindarr4(n)=median(WS4(ind8));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr4,medtemparr4,'*b')

dataInicio5=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim5=datetime('15/07/2014 23:50:00','InputFormat',fData);
WS5=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP5=WTG04_ActivePower(:,1);
TG5=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA5=tstamp(:,1);
ind9=AP5>0;
ind9=and(ind9,DATA5>=dataInicio5 & DATA5<=dataFim5);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr5=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr5=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest5=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind10=and(ind9,(WS5>=nn & WS5<nn+k));
    ind10=and(ind10,(AP5>=restTemp(indRest5,3) &
AP5<restTemp(indRest5,4)));
    medtemparr5(n)=median(TG5(ind10));
    medwindarr5(n)=median(WS5(ind10));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr5,medtemparr5,'*g')

dataInicio6=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim6=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS6=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP6=WTG06_ActivePower(:,1);
TG6=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA6=tstamp(:,1);
ind11=AP6>0;
ind11=and(ind11,DATA6>=dataInicio6 & DATA6<=dataFim6);
n=1;
k=0.5;

```

```

maxws=23;
medtemparr6=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr6=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest6=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind12=and(ind11,WS6>=nn & WS6<nn+k);
    ind12=and(ind12,(AP6>=restTemp(indRest6,3) &
AP6<restTemp(indRest6,4)));
    medtemparr6(n)=median(TG6(ind12));
    medwindarr6(n)=median(WS6(ind12));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr6,medtemparr6, '+r')

dataInicio7=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim7=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS7=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP7=WTG06_ActivePower(:,1);
TG7=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA7=tstamp(:,1);
ind13=AP7>0;
ind13=and(ind13,DATA7>=dataInicio7 & DATA7<=dataFim7);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr7=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr7=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest7=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind14=and(ind13,(WS7>=nn & WS7<nn+k));
    ind14=and(ind14,(AP7>=restTemp(indRest7,3) &
AP7<restTemp(indRest7,4)));
    medtemparr7(n)=median(TG7(ind14));
    medwindarr7(n)=median(WS7(ind14));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr7,medtemparr7, '+b')

dataInicio8=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim8=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS8=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP8=WTG06_ActivePower(:,1);
TG8=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA8=tstamp(:,1);
ind15=AP8>0;
ind15=and(ind15,DATA8>=dataInicio8 & DATA8<=dataFim8);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr8=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr8=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest8=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind16=and(ind15,(WS8>=nn & WS8<nn+k));
    ind16=and(ind16,(AP8>=restTemp(indRest8,3) &
AP8<restTemp(indRest8,4)));
    medtemparr8(n)=median(TG8(ind16));
    medwindarr8(n)=median(WS8(ind16));
    n=n+1;

```

```

end
hold on
plot (medwindarr8,medtemparr8,'+g')

dataInicio8=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim8=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS9=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP9=WTG07_ActivePower(:,1);
TG9=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA9=tstamp(:,1);
ind17=AP9>0;
ind17=and(ind17,DATA9>=dataInicio8 & DATA9<=dataFim8);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr9=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr9=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest9=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind18=and(ind17,(WS9>=nn & WS9<nn+k));
    ind18=and(ind18,(AP9>=restTemp(indRest9,3) &
AP9<restTemp(indRest9,4)));
    medtemparr9(n)=median(TG9(ind18));
    medwindarr9(n)=median(WS9(ind18));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr9,medtemparr9,'xr')
dataInicio9=datetime('24/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim9=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS10=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP10=WTG07_ActivePower(:,1);
TG10=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA10=tstamp(:,1);
ind18=AP10>0;
ind18=and(ind18,DATA10>=dataInicio9 & DATA10<=dataFim9);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr10=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr10=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);

for nn=1:k:maxws
    indRest10=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind19=and(ind18,(WS10>=nn & WS10<nn+k));
    ind19=and(ind19,(AP10>=restTemp(indRest10,3) &
AP10<restTemp(indRest10,4)));
    medtemparr10(n)=median(TG10(ind19));
    medwindarr10(n)=median(WS10(ind19));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr10,medtemparr10,'xg')

```

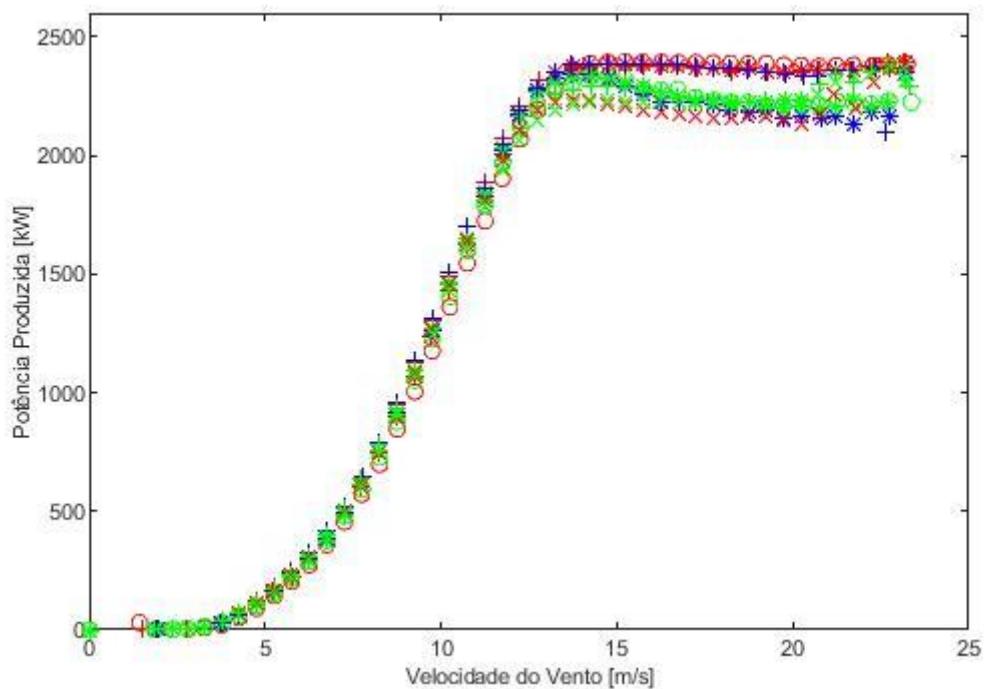


Figura 10.14 – Representação gráfica de todas as WTG's, ilustração da figura 6.2.2 com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s); a vermelho o óleo tipo A, a azul o óleo tipo B, e a verde o óleo tipo C; a #WTG03 é representada através de um círculo (o), a #WTG04 através de um asterisco (*), a #WTG06 através de um sinal de mais (+) e a #WTG07 através de uma cruz (x)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.14:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP=WTG03_ActivePower(:,1);
TG=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,1000;
7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;12,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,1500,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,2500;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
```

```

        ind2=and(ind2, (AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'or')
xlim([0 25]), ylim([0 2600])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('20/11/2014 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG03_ActivePower(:,1);
TG2=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp(indRest2,3) &
AP2<restTemp(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'og')

dataInicio3=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG04_ActivePower(:,1);
TG3=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind6=and(ind5,WS3>=nn & WS3<nn+k);
    ind6=and(ind6,(AP3>=restTemp(indRest3,3) &
AP3<restTemp(indRest3,4)));
    medpowerarr3(n)=median(AP3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr3,medpowerarr3,'*r')

```

```

dataInicio4=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim4=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS4=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP4=WTG04_ActivePower(:,1);
TG4=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA4=tstamp(:,1);
ind7=AP4>0;
ind7=and(ind7,DATA4>=dataInicio4 & DATA4<=dataFim4);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr4=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr4=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest4=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind8=and(ind7,(WS4>=nn & WS4<nn+k));
    ind8=and(ind8,(AP4>=restTemp(indRest4,3) &
AP4<restTemp(indRest4,4)));
    medpowerarr4(n)=median(AP4(ind8));
    medwindarr4(n)=median(WS4(ind8));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr4,medpowerarr4,'*b')

dataInicio5=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim5=datetime('15/07/2014 23:50:00','InputFormat',fData);
WS5=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP5=WTG04_ActivePower(:,1);
TG5=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA5=tstamp(:,1);
ind9=AP5>0;
ind9=and(ind9,DATA5>=dataInicio5 & DATA5<=dataFim5);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr5=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr5=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest5=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind10=and(ind9,(WS5>=nn & WS5<nn+k));
    ind10=and(ind10,(AP5>=restTemp(indRest5,3) &
AP5<restTemp(indRest5,4)));
    medpowerarr5(n)=median(AP5(ind10));
    medwindarr5(n)=median(WS5(ind10));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr5,medpowerarr5,'*g')

dataInicio6=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim6=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS6=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP6=WTG06_ActivePower(:,1);
TG6=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA6=tstamp(:,1);
ind11=AP6>0;
ind11=and(ind11,DATA6>=dataInicio6 & DATA6<=dataFim6);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;

```

```

medpowerarr6=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr6=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest6=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind12=and(ind11,WS6>=nn & WS6<nn+k);
    ind12=and(ind12,(AP6>=restTemp(indRest6,3) &
AP6<restTemp(indRest6,4)));
    medpowerarr6(n)=median(AP6(ind12));
    medwindarr6(n)=median(WS6(ind12));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr6,medpowerarr6, '+r')

dataInicio7=datetime ('25/01/2012 00:00:00', 'InputFormat', fData);
dataFim7=datetime ('30/01/2013 23:50:00', 'InputFormat', fData);
WS7=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP7=WTG06_ActivePower(:,1);
TG7=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA7=tstamp(:,1);
ind13=AP7>0;
ind13=and(ind13,DATA7>=dataInicio7 & DATA7<=dataFim7);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr7=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr7=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest7=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind14=and(ind13,(WS7>=nn & WS7<nn+k));
    ind14=and(ind14,(AP7>=restTemp(indRest7,3) &
AP7<restTemp(indRest7,4)));
    medpowerarr7(n)=median(AP7(ind14));
    medwindarr7(n)=median(WS7(ind14));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr7,medpowerarr7, '+b')

dataInicio8=datetime ('01/02/2013 00:00:00', 'InputFormat', fData);
dataFim8=datetime ('30/11/2016 23:50:00', 'InputFormat', fData);
WS8=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP8=WTG06_ActivePower(:,1);
TG8=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA8=tstamp(:,1);
ind15=AP8>0;
ind15=and(ind15,DATA8>=dataInicio8 & DATA8<=dataFim8);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr8=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr8=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest8=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind16=and(ind15,(WS8>=nn & WS8<nn+k));
    ind16=and(ind16,(AP8>=restTemp(indRest8,3) &
AP8<restTemp(indRest8,4)));
    medpowerarr8(n)=median(AP8(ind16));
    medwindarr8(n)=median(WS8(ind16));
    n=n+1;
end

```

```

hold on
plot (medwindarr8,medpowerarr8,'+g')

dataInicio8=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim8=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS9=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP9=WTG07_ActivePower(:,1);
TG9=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA9=tstamp(:,1);
ind17=AP9>0;
ind17=and(ind17,DATA9>=dataInicio8 & DATA9<=dataFim8);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr9=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr9=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest9=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind18=and(ind17,(WS9>=nn & WS9<nn+k));
    ind18=and(ind18,(AP9>=restTemp(indRest9,3) &
AP9<restTemp(indRest9,4)));
    medpowerarr9(n)=median(AP9(ind18));
    medwindarr9(n)=median(WS9(ind18));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr9,medpowerarr9,'xr')

dataInicio9=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim9=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS10=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP10=WTG07_ActivePower(:,1);
TG10=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA10=tstamp(:,1);
ind18=AP10>0;
ind18=and(ind18,DATA10>=dataInicio9 & DATA10<=dataFim9);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr10=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr10=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest10=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind19=and(ind18,(WS10>=nn & WS10<nn+k));
    ind19=and(ind19,(AP10>=restTemp(indRest10,3) &
AP10<restTemp(indRest10,4)));
    medpowerarr10(n)=median(AP10(ind19));
    medwindarr10(n)=median(WS10(ind19));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr10,medpowerarr10,'xg')

```

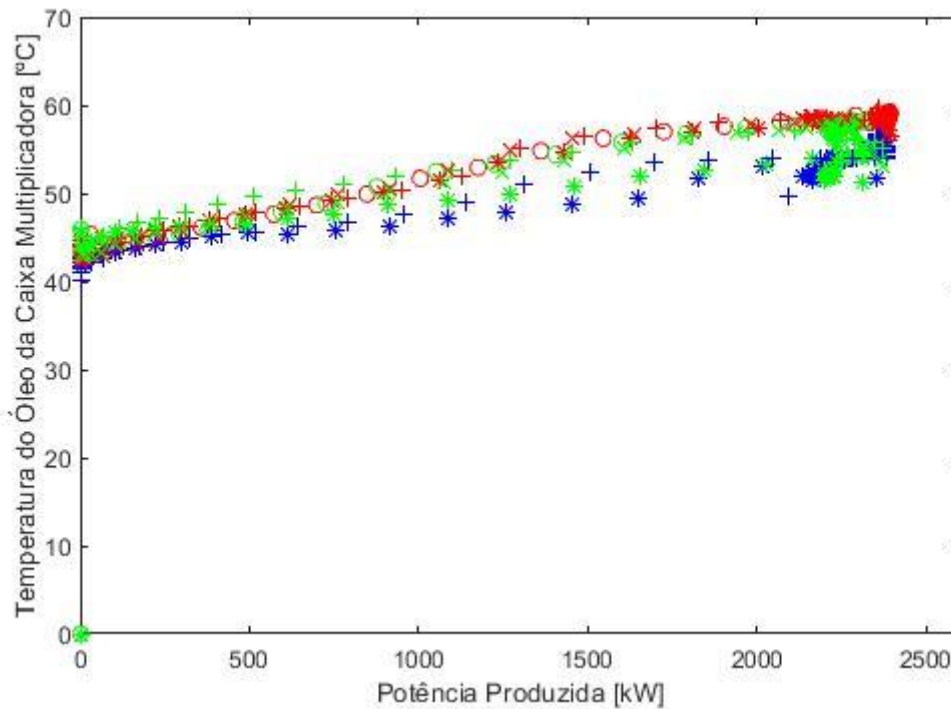


Figura 10.15 – Representação gráfica de todas as WTG's, ilustração da figura 6.2.3 com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da potência produzida (kW); a vermelho o óleo tipo A a azul o óleo tipo B, e a verde o óleo tipo C; a #WTG03 é representada através de um círculo (o), a #WTG04 através de um asterisco (*), a #WTG06 através de um sinal de mais (+) e a #WTG07 através de uma cruz (x)

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.15:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP=WTG03_ActivePower(:,1);
TG=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,1000;
7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;1
2,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,15
00,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,250
0;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
```

```

        ind2=and(ind2, (AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medtemparr(n)=median(TG(ind2));
        medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medpowerarr,medtemparr,'or')
xlim([0 2600]), ylim([0 70])
xlabel('Potência Produzida [kW]'), ylabel('Temperatura do Óleo da Caixa
Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('20/11/2014 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG03_ActivePower(:,1);
TG2=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp(indRest2,3) &
AP2<restTemp(indRest2,4)));
    medtemparr2(n)=median(TG2(ind4));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medpowerarr2,medtemparr2,'og')

dataInicio3=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG04_ActivePower(:,1);
TG3=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medpowerarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind6=and(ind5,WS3>=nn & WS3<nn+k);
    ind6=and(ind6,(AP3>=restTemp(indRest3,3) &
AP3<restTemp(indRest3,4)));
    medtemparr3(n)=median(TG3(ind6));
    medpowerarr3(n)=median(AP3(ind6));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medpowerarr3,medtemparr3,'*r')

```

```

dataInicio4=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim4=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS4=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP4=WTG04_ActivePower(:,1);
TG4=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA4=tstamp(:,1);
ind7=AP4>0;
ind7=and(ind7,DATA4>=dataInicio4 & DATA4<=dataFim4);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr4=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medpowerarr4=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest4=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind8=and(ind7,(WS4>=nn & WS4<nn+k));
    ind8=and(ind8,(AP4>=restTemp(indRest4,3) &
AP4<restTemp(indRest4,4)));
    medtemparr4(n)=median(TG4(ind8));
    medpowerarr4(n)=median(AP4(ind8));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medpowerarr4,medtemparr4,'*b')

dataInicio5=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim5=datetime('15/07/2014 23:50:00','InputFormat',fData);
WS5=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP5=WTG04_ActivePower(:,1);
TG5=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA5=tstamp(:,1);
ind9=AP5>0;
ind9=and(ind9,DATA5>=dataInicio5 & DATA5<=dataFim5);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr5=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medpowerarr5=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest5=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind10=and(ind9,(WS5>=nn & WS5<nn+k));
    ind10=and(ind10,(AP5>=restTemp(indRest5,3) &
AP5<restTemp(indRest5,4)));
    medtemparr5(n)=median(TG5(ind10));
    medpowerarr5(n)=median(AP5(ind10));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medpowerarr5,medtemparr5,'*g')

dataInicio6=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim6=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS6=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP6=WTG06_ActivePower(:,1);
TG6=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA6=tstamp(:,1);
ind11=AP6>0;
ind11=and(ind11,DATA6>=dataInicio6 & DATA6<=dataFim6);
n=1;
k=0.5;

```

```

maxws=23;
medtemparr6=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medpowerarr6=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest6=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind12=and(ind11,WS6>=nn & WS6<nn+k);
    ind12=and(ind12,(AP6>=restTemp(indRest6,3) &
AP6<restTemp(indRest6,4)));
    medtemparr6(n)=median(TG6(ind12));
    medpowerarr6(n)=median(AP6(ind12));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medpowerarr6,medtemparr6, '+r')

dataInicio7=datetime ('25/01/2012 00:00:00', 'InputFormat', fData);
dataFim7=datetime ('30/01/2013 23:50:00', 'InputFormat', fData);
WS7=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP7=WTG06_ActivePower(:,1);
TG7=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA7=tstamp(:,1);
ind13=AP7>0;
ind13=and(ind13,DATA7>=dataInicio7 & DATA7<=dataFim7);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr7=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medpowerarr7=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest7=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind14=and(ind13,(WS7>=nn & WS7<nn+k));
    ind14=and(ind14,(AP7>=restTemp(indRest7,3) &
AP7<restTemp(indRest7,4)));
    medtemparr7(n)=median(TG7(ind14));
    medpowerarr7(n)=median(AP7(ind14));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medpowerarr7,medtemparr7, '+b')

dataInicio8=datetime ('01/02/2013 00:00:00', 'InputFormat', fData);
dataFim8=datetime ('30/11/2016 23:50:00', 'InputFormat', fData);
WS8=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP8=WTG06_ActivePower(:,1);
TG8=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA8=tstamp(:,1);
ind15=AP8>0;
ind15=and(ind15,DATA8>=dataInicio8 & DATA8<=dataFim8);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr8=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medpowerarr8=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest8=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind16=and(ind15,(WS8>=nn & WS8<nn+k));
    ind16=and(ind16,(AP8>=restTemp(indRest8,3) &
AP8<restTemp(indRest8,4)));
    medtemparr8(n)=median(TG8(ind16));
    medpowerarr8(n)=median(AP8(ind16));
    n=n+1;

```

```

end
hold on
plot (medpowerarr8,medtemparr8,'+g')

dataInicio8=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim8=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS9=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP9=WTG07_ActivePower(:,1);
TG9=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA9=tstamp(:,1);
ind17=AP9>0;
ind17=and(ind17,DATA9>=dataInicio8 & DATA9<=dataFim8);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr9=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medpowerarr9=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest9=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind18=and(ind17, (WS9>=nn & WS9<nn+k));
    ind18=and(ind18, (AP9>=restTemp(indRest9,3) &
AP9<restTemp(indRest9,4)));
    medtemparr9(n)=median(TG9(ind18));
    medpowerarr9(n)=median(AP9(ind18));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medpowerarr9,medtemparr9,'xr')

dataInicio9=datetime('24/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim9=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS10=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP10=WTG07_ActivePower(:,1);
TG10=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA10=tstamp(:,1);
ind18=AP10>0;
ind18=and(ind18,DATA10>=dataInicio9 & DATA10<=dataFim9);
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr10=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medpowerarr10=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest10=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind19=and(ind18, (WS10>=nn & WS10<nn+k));
    ind19=and(ind19, (AP10>=restTemp(indRest10,3) &
AP10<restTemp(indRest10,4)));
    medtemparr10(n)=median(TG10(ind19));
    medpowerarr10(n)=median(AP10(ind19));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medpowerarr10,medtemparr10,'xg')

```

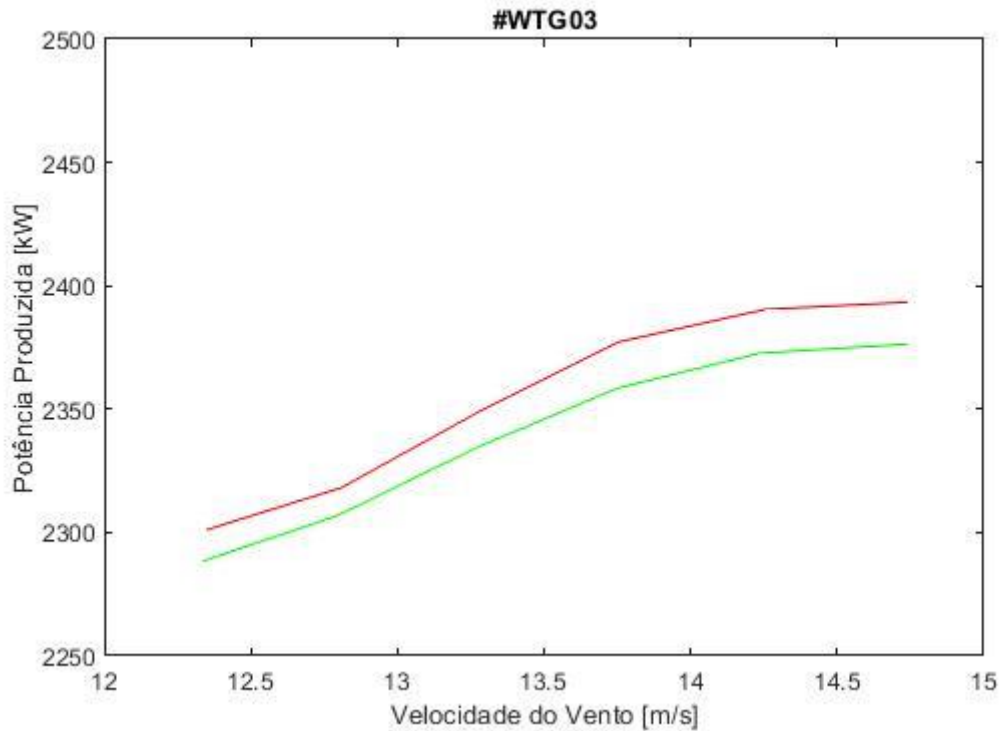


Figura 10.16 – Representação gráfica da #WTG03, ilustração da figura 6.3.1, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 12 m/s e 15 m/s de velocidade de vento, e, entre os 2.250 kW e os 2.500 kW; a vermelho o óleo do tipo A, e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.16:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\a47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP=WTG03_ActivePower(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10,
11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,225
0,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000
;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24
,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
```

```

maxws=23;
medpowerarr=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
    ind2=and(ind2, (AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
    medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
    medwindarr(n)=median(WS(ind2));
    n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG03')
xlim([12 15]), ylim([2250 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG03_ActivePower(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,2250,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr2=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3, (WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4, (AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'g','LineWidth',0.5)

```

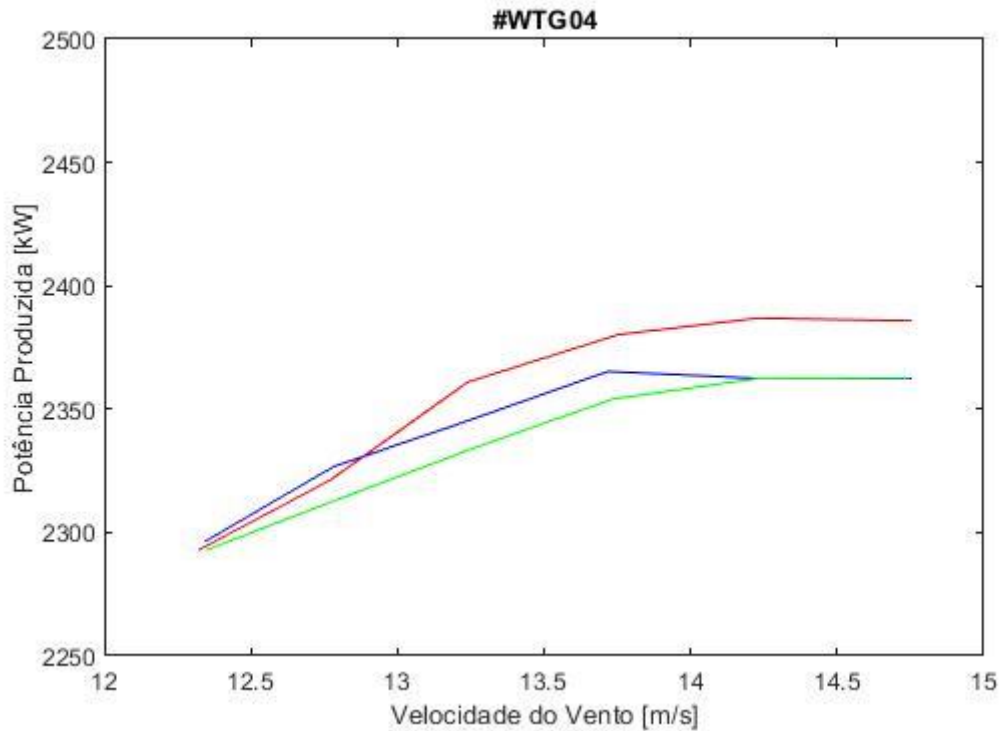


Figura 10.17 – Representação gráfica da #WTG04, ilustração da figura 6.3.2, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 12 m/s e 15 m/s de velocidade de vento, e, entre os 2.250 kW e os 2.500 kW; a vermelho o óleo do tipo A, e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.17:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP=WTG04_ActivePower(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10,
11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,225
0,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000
;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24
,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
```

```

medwindarr=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
    ind2=and(ind2, (AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
    medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
    medwindarr(n)=median(WS(ind2));
    n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG04')
xlim([12 15]), ylim([2250 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG04_ActivePower(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,600
0;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,2
4,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr2=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3, (WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4, (AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG04_ActivePower(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
restTemp3=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,600
0;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,2
4,4000,6000];
n=1;
k=0.5;

```

```
maxws=23;
medpowerarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5, (WS3>=nn & WS3<nn+k));
    ind6=and(ind6, (AP3>=restTemp3(indRest3,3) &
AP3<restTemp3(indRest3,4)));
    medpowerarr3(n)=median(AP3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr3,medpowerarr3, 'g', 'LineWidth',0.5)
```

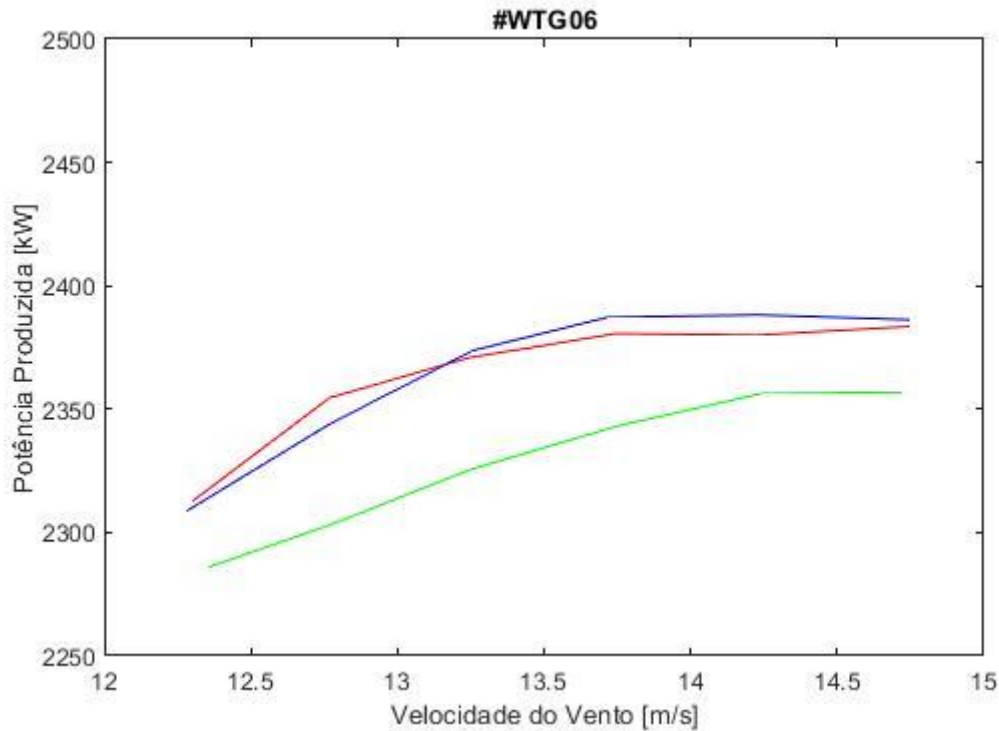


Figura 10.18 – Representação gráfica da #WTG06, ilustração da figura 6.3.3, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 12 m/s e 15 m/s de velocidade de vento, e, entre os 2.250 kW e os 2.500 kW; a vermelho o óleo do tipo A, e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.18:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP=WTG06_ActivePower(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10,
11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,225
0,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000
;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24
,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
```

```

medwindarr=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
    ind2=and(ind2, (AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
    medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
    medwindarr(n)=median(WS(ind2));
    n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG06')
xlim([12 15]), ylim([2250 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG06_ActivePower(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,600
0;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,2
4,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr2=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3, (WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4, (AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG06_ActivePower(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim2);
restTemp3=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,600
0;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,2
4,4000,6000];
n=1;
k=0.5;

```

```
maxws=23;
medpowerarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5, (WS3>=nn & WS3<nn+k));
    ind6=and(ind6, (AP3>=restTemp3(indRest3,3) &
AP3<restTemp3(indRest3,4)));
    medpowerarr3(n)=median (AP3(ind6));
    medwindarr3(n)=median (WS3(ind6));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr3,medpowerarr3, 'g', 'LineWidth',0.5)
```

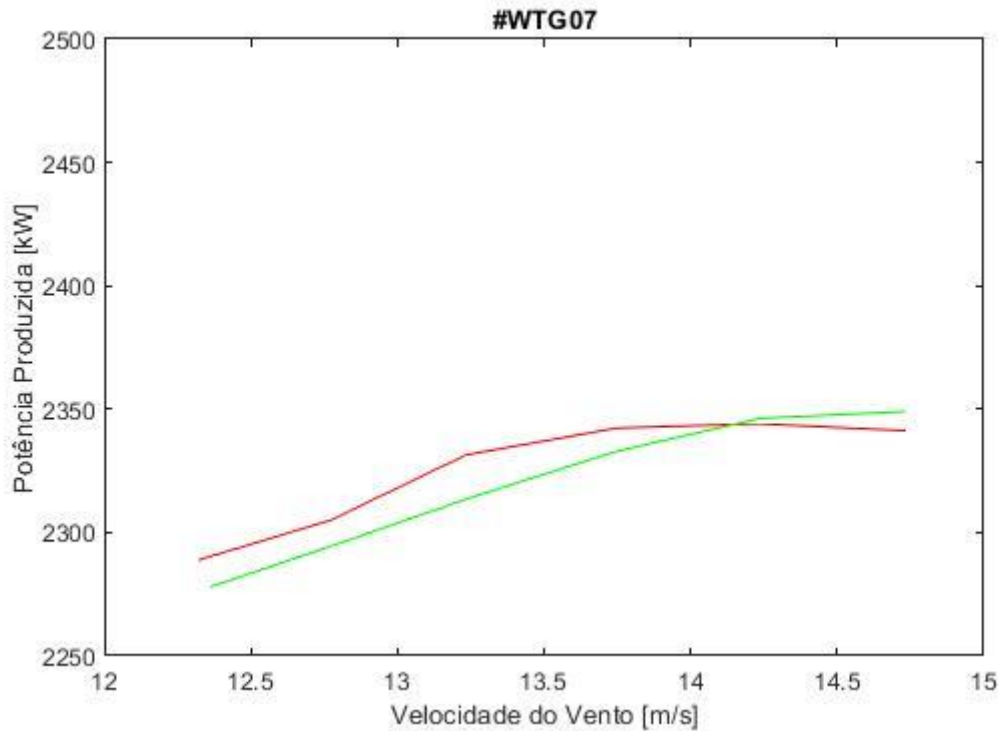


Figura 10.19 – Representação gráfica da #WTG07, ilustração da figura 6.3.4, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 12 m/s e 15 m/s de velocidade de vento, e, entre os 2.250 kW e os 2.500 kW; a vermelho o óleo do tipo A, e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.19:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP=WTG07_ActivePower(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10,
11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,225
0,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000
;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24
,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
```

```

    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
    ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
    medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
    medwindarr(n)=median(WS(ind2));
    n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG07')
xlim([12 15]), ylim([2250 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG07_ActivePower(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,4000,6000;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,600
0;19,20,4000,6000;20,21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,2
4,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'g','LineWidth',0.5)

```

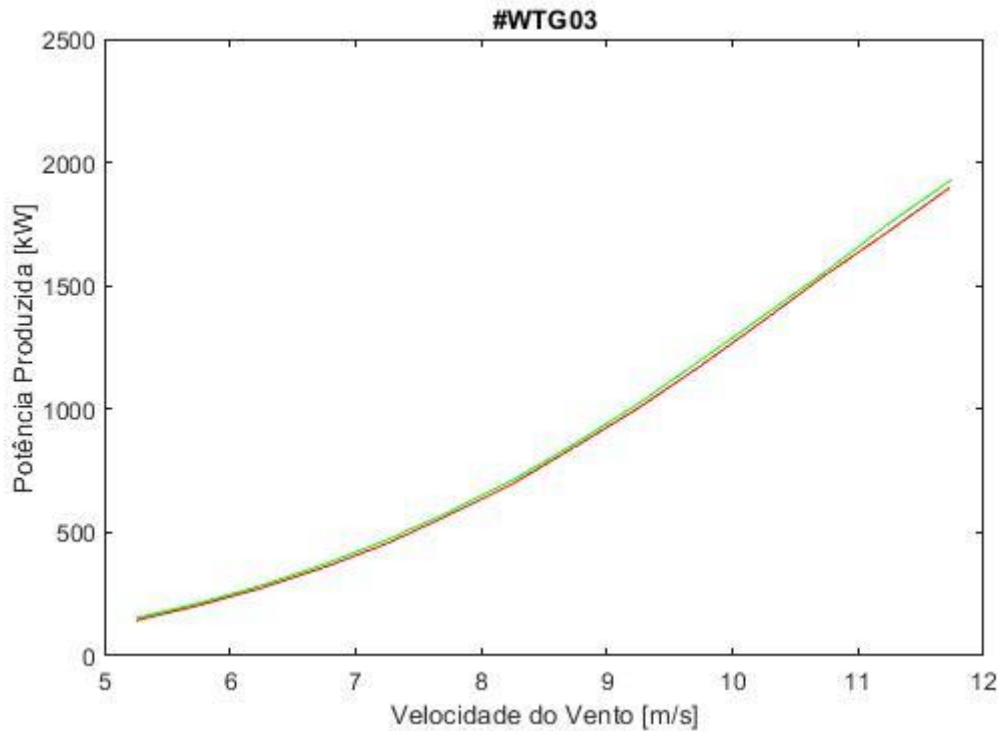


Figura 10.20 – Representação gráfica da #WTG03, ilustração da figura 6.4.1, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 5 m/s e 12 m/s de velocidade do vento, e, entre os 0 kW e os 2.500 kW; a vermelha o óleo do tipo A, e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.20:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP=WTG03_ActivePower(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,12,
0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,600
0;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,2
1,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG03')
xlim([5 12]), ylim([0 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')
dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG03_ActivePower(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'g','LineWidth',0.5)

```

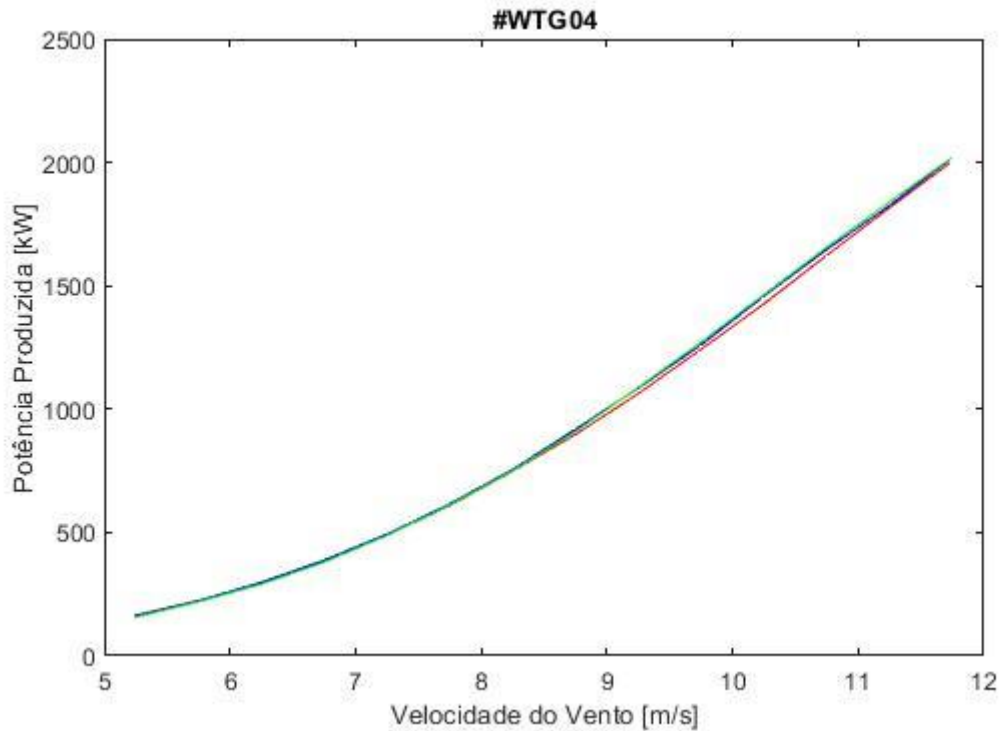


Figura 10.21 – Representação gráfica da #WTG04, ilustração da figura 6.4.2, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 5 m/s e 12 m/s de velocidade do vento, e, entre os 0 kW e os 2.500 kW; a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.21:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP=WTG04_ActivePower(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,12,
0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,6000;
16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,21,
4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG04')
xlim([5 12]), ylim([0 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')
dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG04_ActivePower(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'b','LineWidth',0.5)
dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('15/07/2014 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG04_ActivePower(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
restTemp3=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5,(WS3>=nn & WS3<nn+k));

```

```
    ind6=and(ind6,(AP3>=restTemp3(indRest3,3) &  
AP3<restTemp3(indRest3,4)));  
    medpowerarr3(n)=median(AP3(ind6));  
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));  
    n=n+1;  
end  
hold on  
plot(medwindarr3,medpowerarr3,'g','LineWidth',0.5)
```

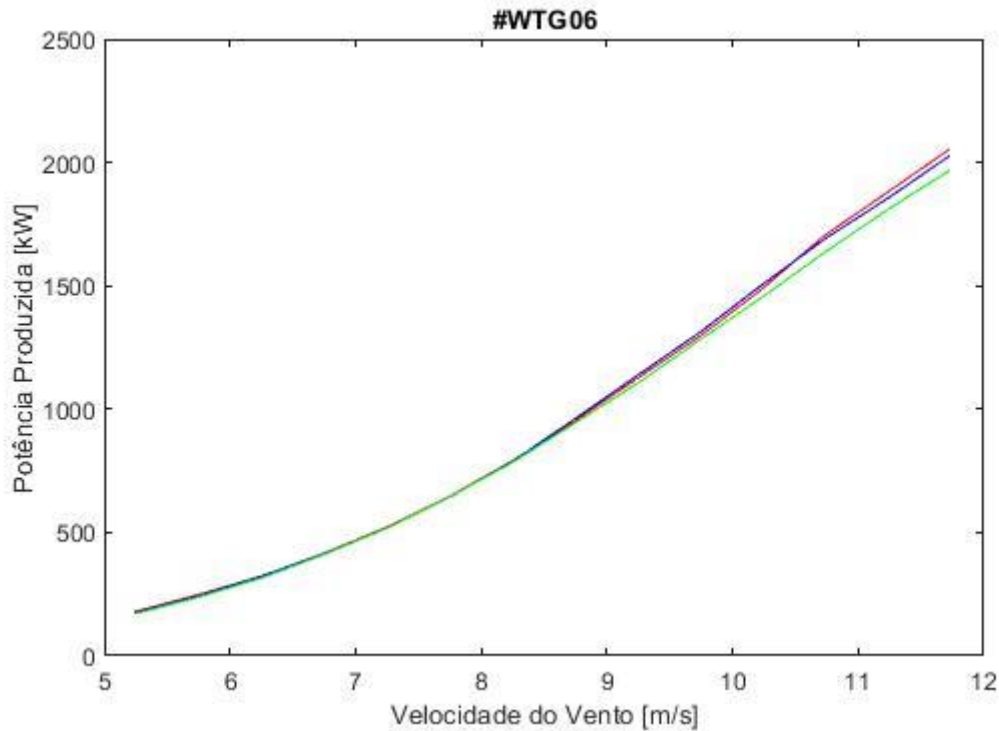


Figura 10.22 – Representação gráfica da #WTG06, ilustração da figura 6.4.3, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 5 m/s e 12 m/s de velocidade do vento, e, entre os 0 kW e os 2.500 kW; a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.22:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP=WTG06_ActivePower(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,12,
0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,6000;
16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,21,
4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG06')
xlim([5 12]), ylim([0 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')
dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG06_ActivePower(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'b','LineWidth',0.5)
dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('17/03/2015 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG06_ActivePower(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim2);
restTemp3=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5,(WS3>=nn & WS3<nn+k));

```

```
    ind6=and(ind6,(AP3>=restTemp3(indRest3,3) &
AP3<restTemp3(indRest3,4)));
    medpowerarr3(n)=median(AP3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr3,medpowerarr3,'g','LineWidth',0.5)
```

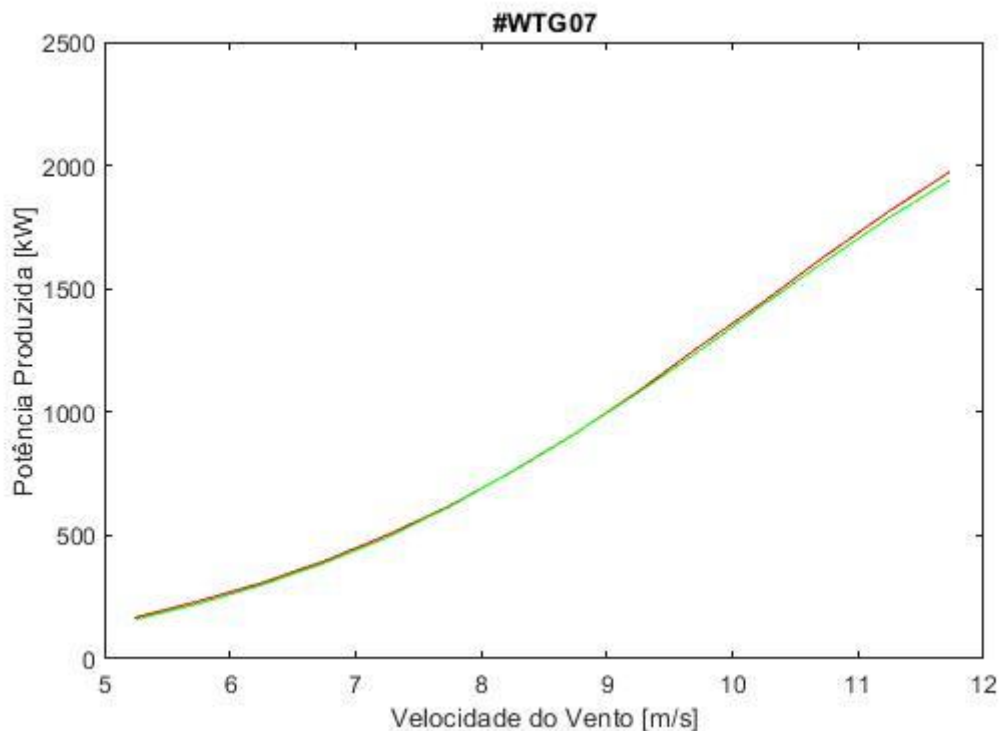


Figura 10.23 – Representação gráfica da #WTG07, ilustração da figura 6.4.4, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da potência produzida (kW) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 5 m/s e 12 m/s de velocidade do vento, e, entre os 0 kW e os 2.500 kW; a vermelha o óleo do tipo A, e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.23:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('19/03/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP=WTG07_ActivePower(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,12,
0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,600
0;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,2
1,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG07')
xlim([5 12]), ylim([0 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')
dataInicio2=datetime('21/03/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG07_ActivePower(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'g','LineWidth',0.5)

```

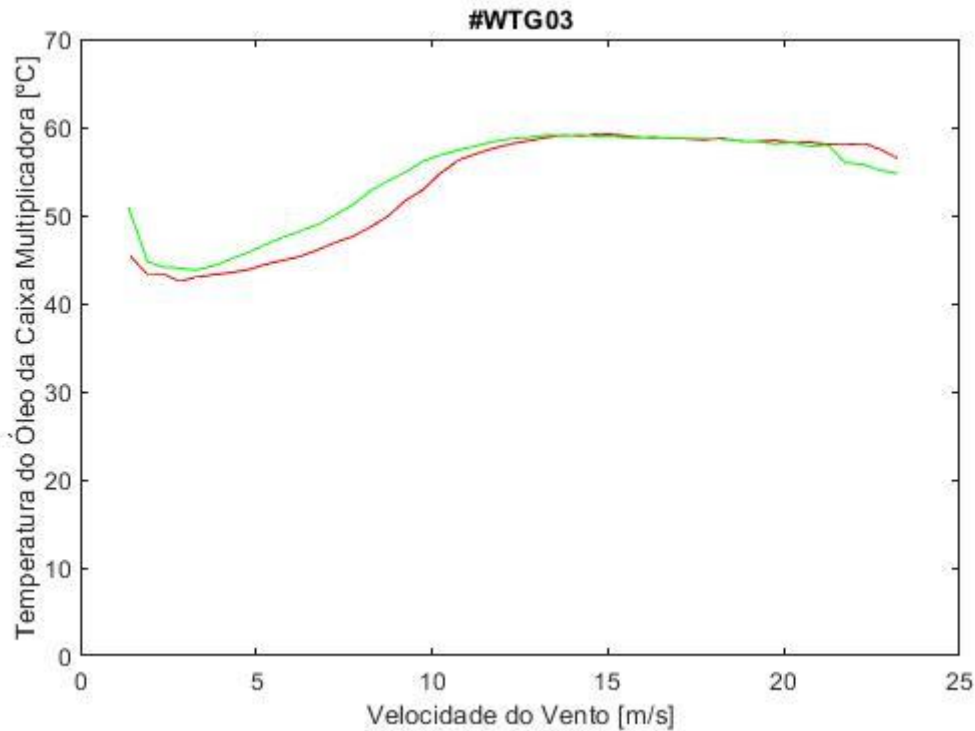


Figura 10.24 – Representação gráfica da #WTG03, ilustração da figura 6.5.1, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s); a vermelho o óleo do tipo A, e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.24:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP=WTG03_ActivePower(:,1);
TG=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,1000;
7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;1
2,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,15
00,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,250
0;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
```

```

        ind2=and(ind2, (AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medtemp(n)=median(TG(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        medcount(n)=nnz(ind2);
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medtemp,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG03')
xlim([0 25]), ylim([0 70])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da
Caixa Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG03_ActivePower(:,1);
TG2=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,100
0;7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;
12,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,1
500,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,25
00;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medtemp2(n)=median(TG2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medtemp2,'g','LineWidth',0.5)

```

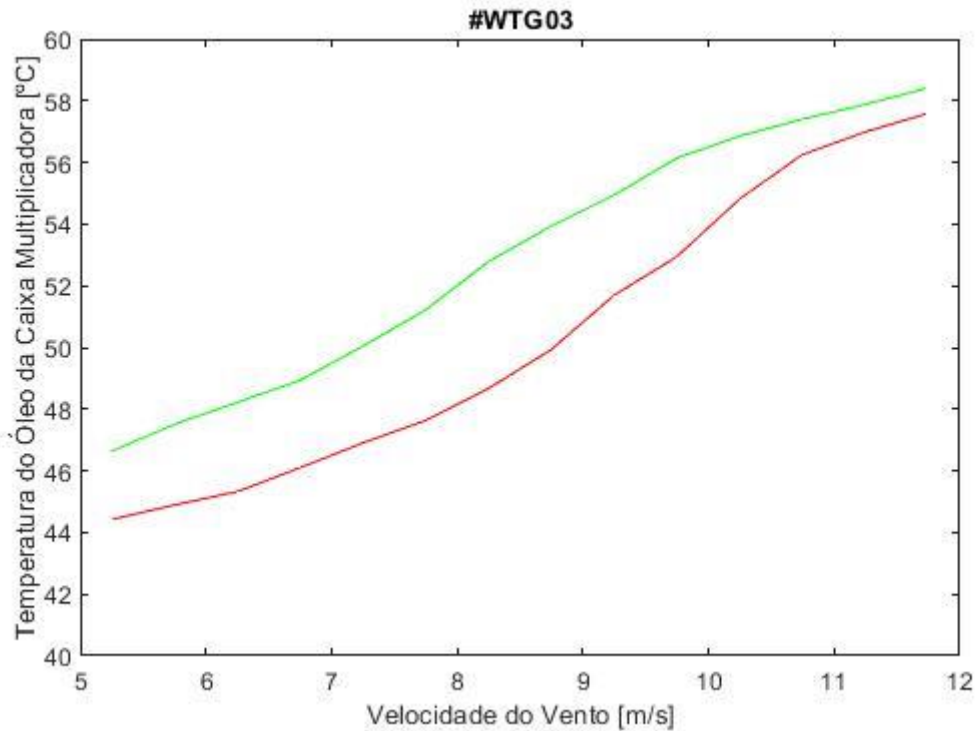


Figura 10.25 – Representação gráfica da #WTG03, ilustração da figura 6.5.2, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 5 e os 12 m/s, e os 40°C e 60°C; a vermelho o óleo do tipo A e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.25:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP=WTG03_ActivePower(:,1);
TG=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,12,
0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,600
0;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,2
1,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medtemp(n)=median(TG(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        medcount(n)=nnz(ind2);
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medtemp,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG03')
xlim([5 12]), ylim([40 60])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da
Caixa Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG03_ActivePower(:,1);
TG2=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medtemp2(n)=median(TG2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medtemp2,'g','LineWidth',0.5)

```

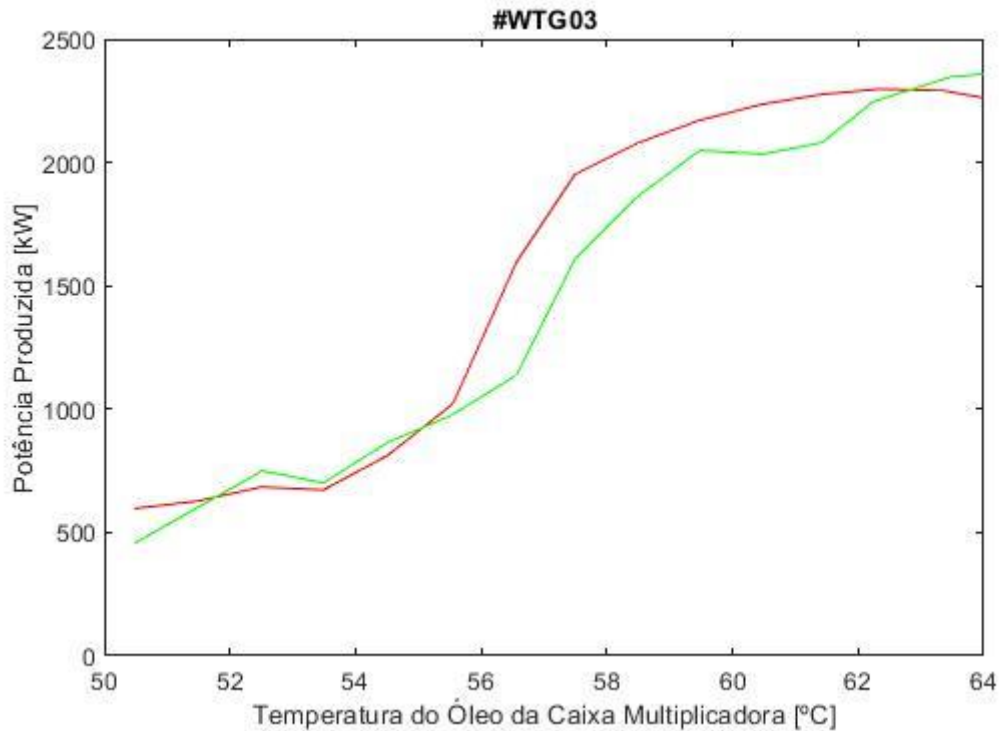


Figura 10.26 – Representação gráfica da #WTG03, ilustração da figura 6.5.3, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 1°C, da potência produzida (kW) em função da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C), entre os 0 e os 2.500 kW, e os 50°C e 64°C; a vermelho o óleo do tipo A e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.26:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP=WTG03_ActivePower(:,1);
TG=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind2=and(ind,TG>=nn & TG<nn+k);
    medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
    medtemp(n)=median(TG(ind2));
    medcount(n)=nnz(ind2);
    n=n+1;
end
```

```

end
figure
plot (medtemp,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG03')
xlim([50 64]), ylim([0 2500])
xlabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]'),
ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/05/2015 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG03_ActivePower(:,1);
TG2=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind4=and(ind3,(TG2>=nn & TG2<nn+k));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medtemp2(n)=median(TG2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot (medtemp2,medpowerarr2,'g','LineWidth',0.5)

```

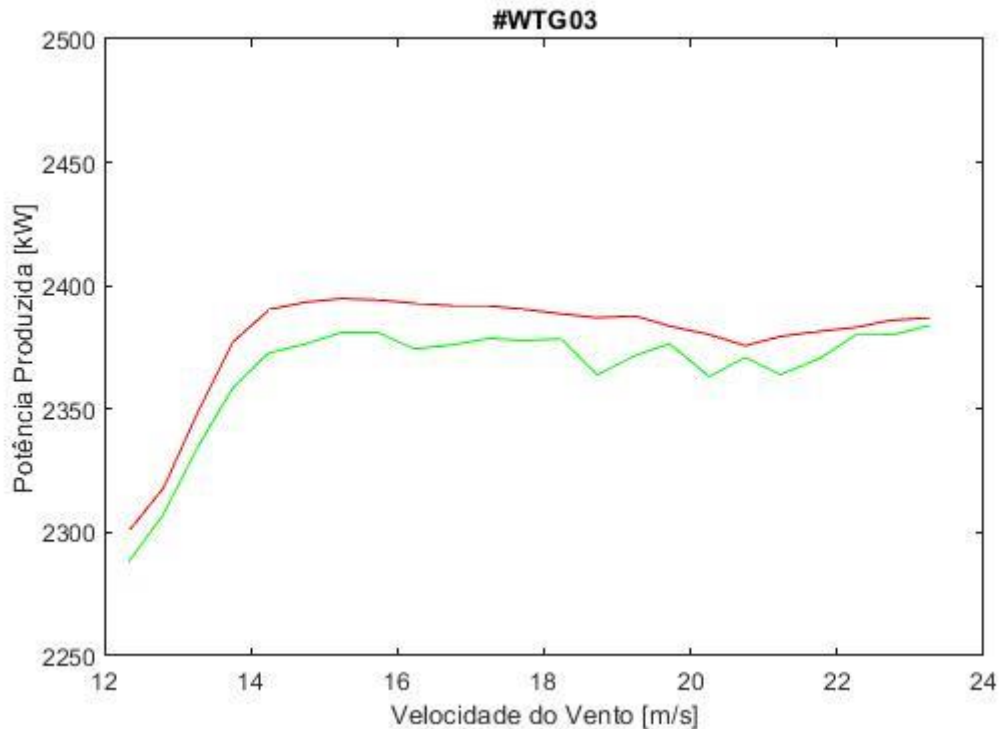


Figura 10.27 – Representação gráfica da #WTG03, ilustração da figura 6.5.4, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da potência produzida (kW) em função da temperatura da velocidade do vento (m/s), entre os 2.250 e os 2.500 kW, e os 12 e os 24 m/s; a vermelho o óleo do tipo A e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.27:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP=WTG03_ActivePower(:,1);
TG=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10,
11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,225
0,2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,2500
;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,24
,2250,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG03')
xlim([12 24]), ylim([2250 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG03_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG03_ActivePower(:,1);
TG2=WTG03_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,250
0;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,2
4,2250,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'g','LineWidth',0.5)

```

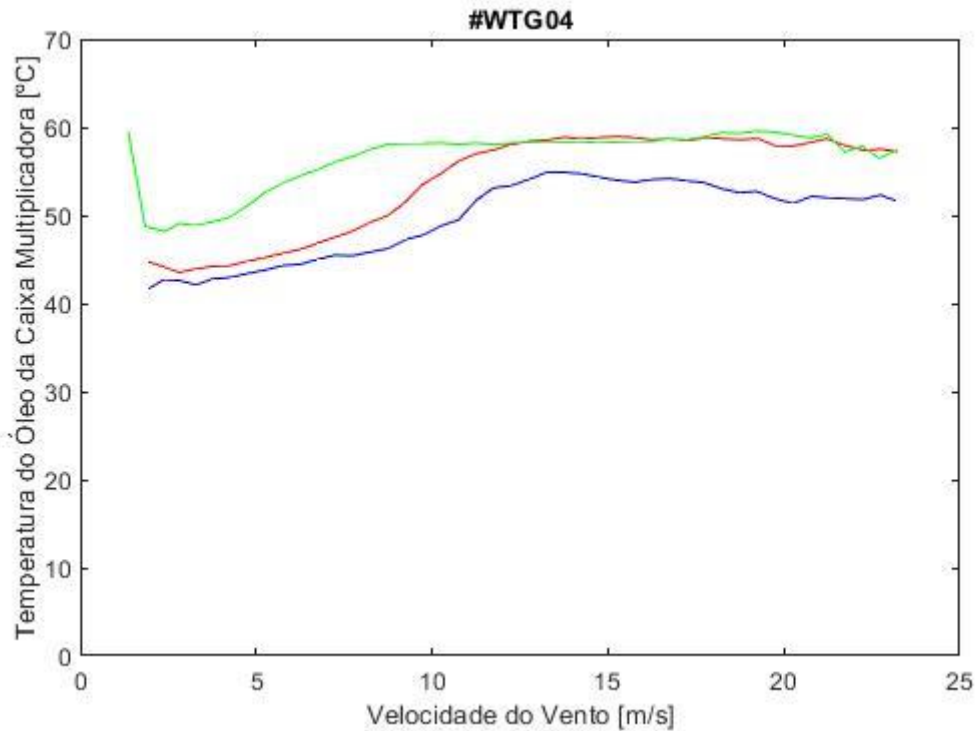


Figura 10.28 – Representação gráfica da #WTG04, ilustração da figura 6.6.1, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s); a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo do tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.28:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP=WTG04_ActivePower(:,1);
TG=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,1000;
7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;12,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,1500,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,2500;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medtemparr(n)=median(TG(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        medcount(n)=nnz(ind2);
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medtemparr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG04')
xlim([0 25]), ylim([0 70])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da
Caixa Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG04_ActivePower(:,1);
TG2=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,100
0;7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;
12,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,1
500,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,25
00;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medtemparr2(n)=median(TG2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medtemparr2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG04_ActivePower(:,1);
TG3=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
restTemp3=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,100
0;7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;
12,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,1
500,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,25
00;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;

```

```
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medcount3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5, (WS3>=nn & WS3<nn+k));
    ind6=and(ind6, (AP3>=restTemp3(indRest3,3) &
AP3<restTemp3(indRest3,4)));
    medtemparr3(n)=median(TG3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    medcount3(n)=nnz(ind6);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr3,medtemparr3,'g','LineWidth',0.5)
```

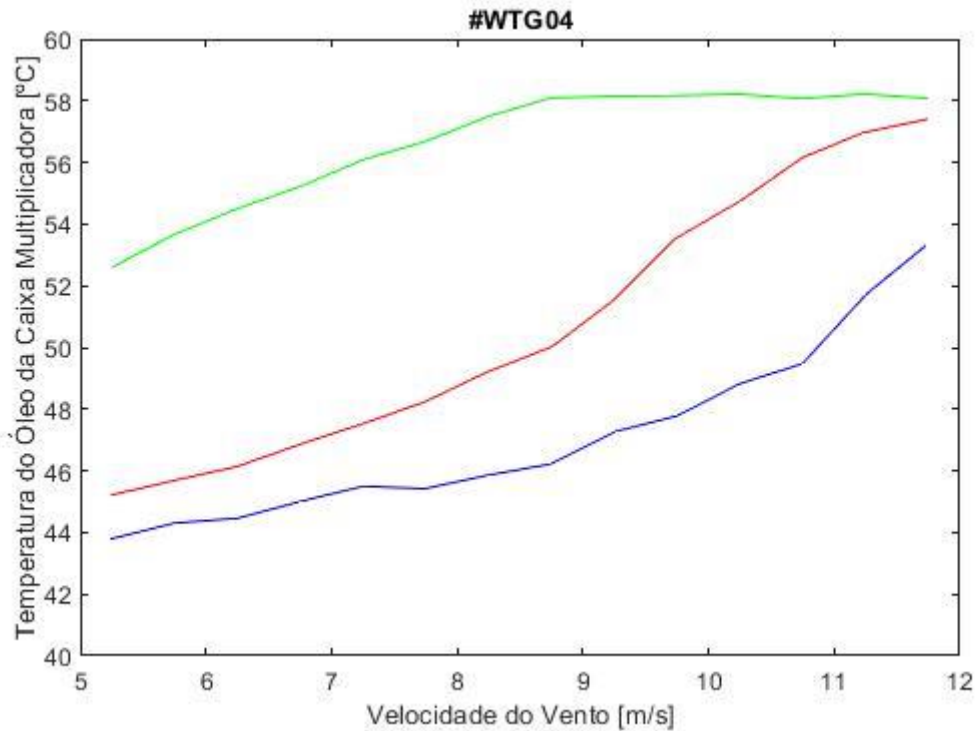


Figura 10.29 – Representação gráfica da #WTG04, ilustração da figura 6.6.2, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 5 e os 12 m/s, e os 40°C e 60°C; a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo do tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.29:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP=WTG04_ActivePower(:,1);
TG=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,12
,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,600
0;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,2
1,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
```

```

        indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medtemparr(n)=median(TG(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        medcount(n)=nnz(ind2);
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medtemparr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG04')
xlim([5 12]), ylim([40 60])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da
Caixa Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG04_ActivePower(:,1);
TG2=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medtemparr2(n)=median(TG2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medtemparr2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG04_ActivePower(:,1);
TG3=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
restTemp3=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];

```

```
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemparr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medcount3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5, (WS3>=nn & WS3<nn+k));
    ind6=and(ind6, (AP3>=restTemp3(indRest3,3) &
AP3<restTemp3(indRest3,4)));
    medtemparr3(n)=median(TG3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    medcount3(n)=nnz(ind6);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr3,medtemparr3,'g','LineWidth',0.5)
```

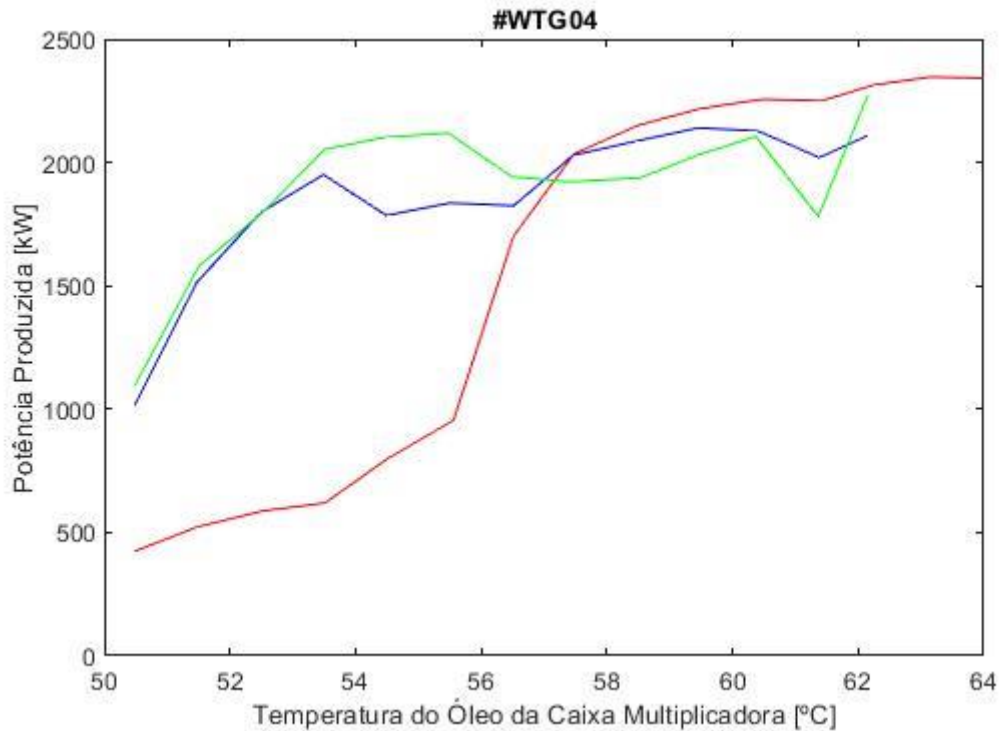


Figura 10.30 – Representação gráfica da #WTG04, ilustração da figura 6.6.3, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 1°C, da potência produzida (kW) em função da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C), entre os 0 e os 2.500 kW, e os 50°C e 64°C; a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo do tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.30:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP=WTG04_ActivePower(:,1);
TG=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind2=and(ind,TG>=nn & TG<nn+k);
    medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
    medtemp(n)=median(TG(ind2));
    medcount(n)=nnz(ind2);
    n=n+1;
end
```

```

figure
plot (medtemp,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG04')
xlim([50 64]), ylim([0 2500])
xlabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]'),
ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG04_ActivePower(:,1);
TG2=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind4=and(ind3,TG2>=nn & TG2<nn+k);
    medpowerarr2(n)=median(AP(ind4));
    medtemp2(n)=median(TG(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot (medtemp2,medpowerarr2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('15/07/2014 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG04_ActivePower(:,1);
TG3=WTG04_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr3=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp3=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount3=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind6=and(ind5,(TG3>=nn & TG3<nn+k));
    medpowerarr3(n)=median(AP3(ind6));
    medtemp3(n)=median(TG3(ind6));
    medcount3(n)=nnz(ind6);
    n=n+1;
end
hold on
plot (medtemp3,medpowerarr3,'g','LineWidth',0.5)

```

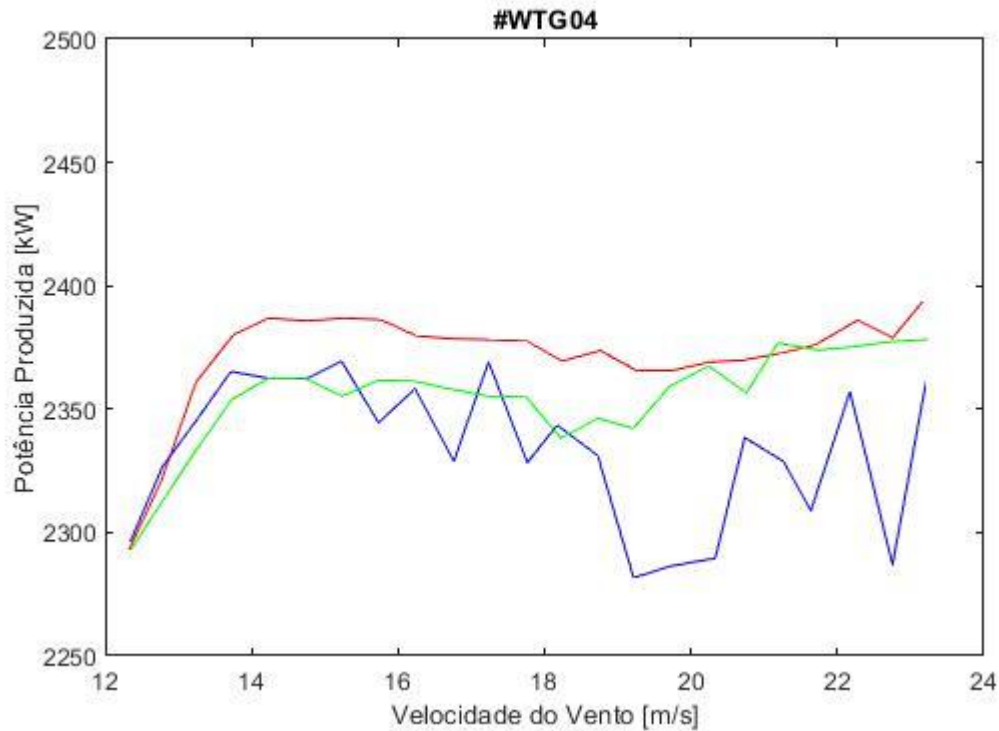


Figura 10.31 – Representação gráfica da #WTG04, ilustração da figura 6.6.4, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da potência produzida (kW) em função da temperatura da velocidade do vento (m/s), entre os 2.250 e os 2.500 kW, e os 12 e os 24 m/s; a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo do tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.31:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP=WTG04_ActivePower(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10,
11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,2250,
2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,2500
;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,24
,2250,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
```

```

        ind2=and(ind2, (AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG04')
xlim([12 24]), ylim([2250 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG04_ActivePower(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,250
0;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,2
4,2250,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG04_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG04_ActivePower(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
restTemp3=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,250
0;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,2
4,2250,2500];

n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr3=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);

```

```
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5, (WS3>=nn & WS3<nn+k));
    ind6=and(ind6, (AP3>=restTemp3(indRest3,3) &
AP3<restTemp3(indRest3,4)));
    medpowerarr3(n)=median(AP3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr3,medpowerarr3,'g','LineWidth',0.5)
```

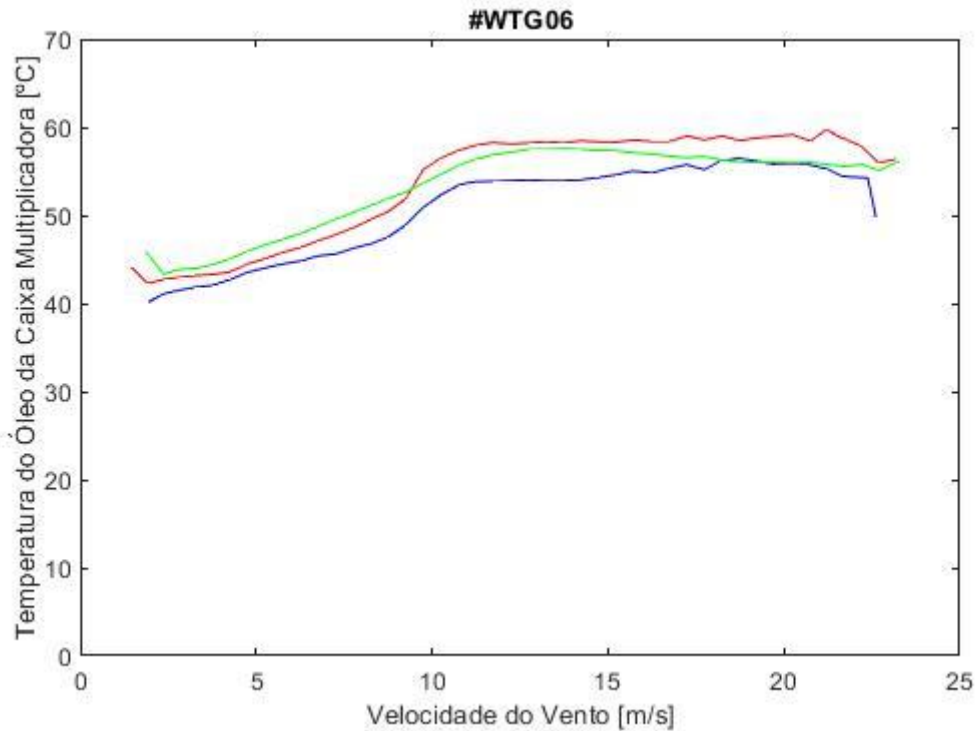


Figura 10.32 – Representação gráfica da #WTG06, ilustração da figura 6.7.1, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s); a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo do tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.32:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP=WTG06_ActivePower(:,1);
TG=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,1000;
7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;1
2,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,15
00,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,250
0;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medtemp(n)=median(TG(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        medcount(n)=nnz(ind2);
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medtemp,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG06')
xlim([0 25]), ylim([0 70])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da
Caixa Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG06_ActivePower(:,1);
TG2=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,100
0;7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;
12,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,1
500,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,25
00;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medtemp2(n)=median(TG2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medtemp2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG06_ActivePower(:,1);
TG3=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
restTemp3=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,100
0;7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;
12,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,1
500,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,25
00;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;

```

```
k=0.5;
maxws=23;
medtemp3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medcount3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5, (WS3>=nn & WS3<nn+k));
    ind6=and(ind6, (AP3>=restTemp3(indRest3,3) &
AP3<restTemp3(indRest3,4)));
    medtemp3(n)=median(TG3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    medcount3(n)=nnz(ind6);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr3,medtemp3,'g','LineWidth',0.5)
```

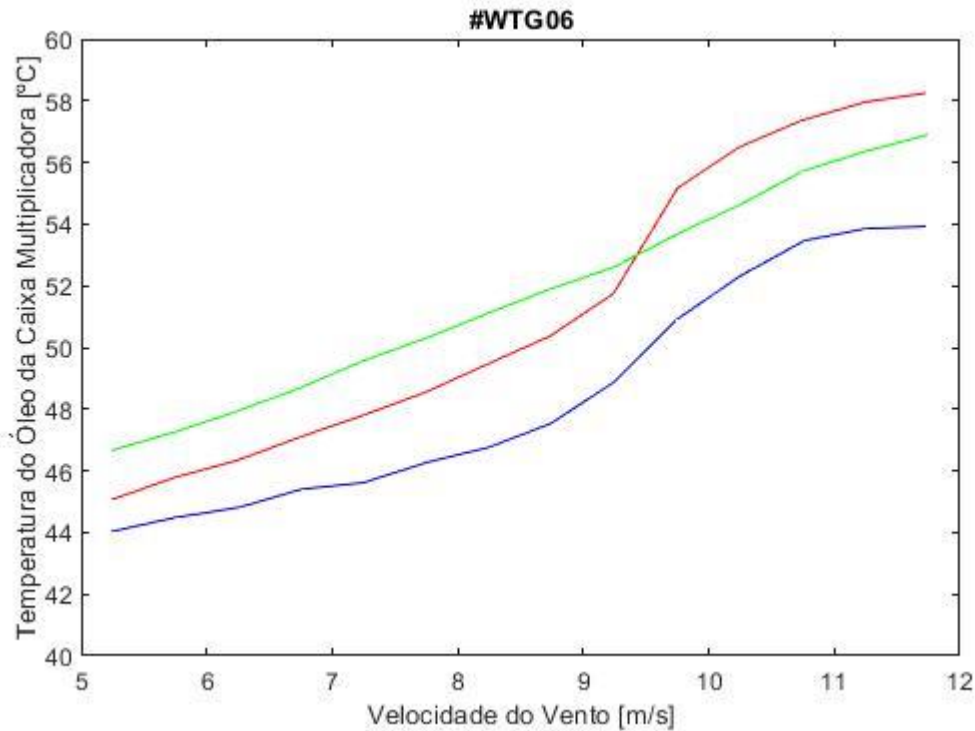


Figura 10.33 – Representação gráfica da #WTG06, ilustração da figura 6.7.2, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 5 e os 12 m/s, e os 40°C e 60°C; a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo do tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.33:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP=WTG06_ActivePower(:,1);
TG=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,12,
0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,600
0;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,2
1,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medtemp(n)=median(TG(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        medcount(n)=nnz(ind2);
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medtemp,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG06')
xlim([5 12]), ylim([40 60])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da
Caixa Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG06_ActivePower(:,1);
TG2=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medtemp2(n)=median(TG2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medtemp2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG06_ActivePower(:,1);
TG3=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
restTemp3=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;

```

```
k=0.5;
maxws=23;
medtemp3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medcount3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5, (WS3>=nn & WS3<nn+k));
    ind6=and(ind6, (AP3>=restTemp3(indRest3,3) &
AP3<restTemp3(indRest3,4)));
    medtemp3(n)=median(TG3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    medcount3(n)=nnz(ind6);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr3,medtemp3,'g','LineWidth',0.5)
```

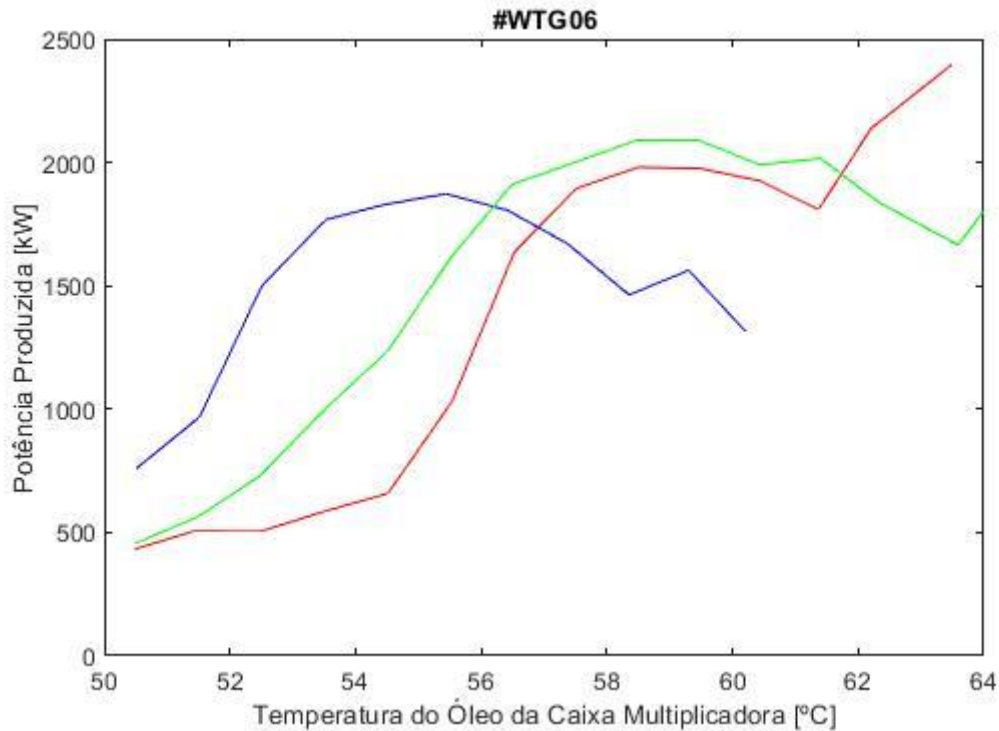


Figura 10.34 – Representação gráfica da #WTG06, ilustração da figura 6.7.3, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 1°C, da potência produzida (kW) em função da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C), entre os 0 e os 2.500 kW, e os 50°C e 64°C; a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo do tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.34:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP=WTG06_ActivePower(:,1);
TG=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind2=and(ind,TG>=nn & TG<nn+k);
    medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
    medtemp(n)=median(TG(ind2));
    medcount(n)=nnz(ind2);
    n=n+1;
end
```

```

figure
plot (medtemp,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG06')
xlim([50 64]), ylim([0 2500])
xlabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]'),
ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG06_ActivePower(:,1);
TG2=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind4=and(ind3,TG2>=nn & TG2<nn+k);
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medtemp2(n)=median(TG2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot (medtemp2,medpowerarr2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim3=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG06_ActivePower(:,1);
TG3=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim3);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr3=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp3=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount3=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind6=and(ind5,(TG3 >= nn & TG3<nn+k));
    medpowerarr3(n)=median(AP3(ind6));
    medtemp3(n)=median(TG3(ind6));
    medcount3(n)=nnz(ind6);
    n=n+1;
end
hold on
plot (medtemp3,medpowerarr3,'g','LineWidth',0.5)

```

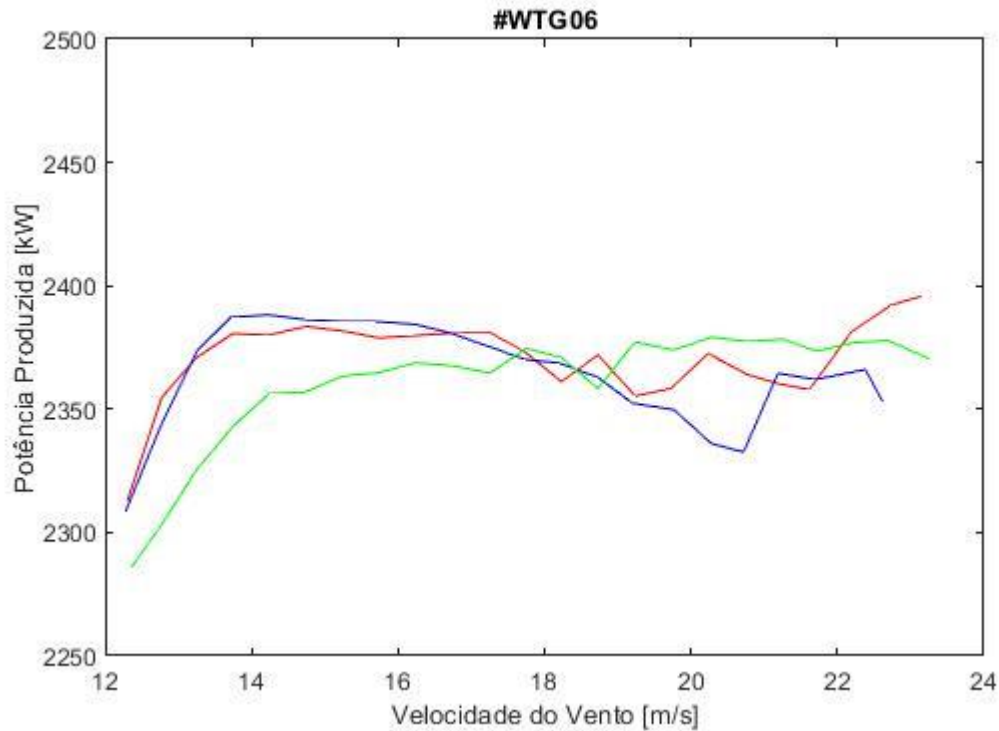


Figura 10.35 – Representação gráfica da #WTG06, ilustração da figura 6.7.4, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da potência produzida (kW) em função da temperatura da velocidade do vento (m/s), entre os 2.250 e os 2.500 kW, e os 12 e os 24 m/s; a vermelho o óleo do tipo A, a azul o óleo do tipo B e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.35:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/01/2012 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP=WTG06_ActivePower(:,1);
TG=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10,
11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,225
0,2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,2500
;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,24
,2250,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG06')
xlim([12 24]), ylim([2250 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/01/2012 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/01/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG06_ActivePower(:,1);
TG2=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,250
0;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,2
4,2250,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'b','LineWidth',0.5)

dataInicio3=datetime('01/02/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS3=WTG06_WindSpeed(:,1);
AP3=WTG06_ActivePower(:,1);
TG3=WTG06_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA3=tstamp(:,1);
ind5=AP3>0;
ind5=and(ind5,DATA3>=dataInicio3 & DATA3<=dataFim2);
restTemp3=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,250
0;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,2
4,2250,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;

```

```
medpowerarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
medwindarr3=zeros (cast ((maxws/k), 'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest3=(nn>=restTemp3(:,1) & nn+k<=restTemp3(:,2));
    ind6=and(ind5, (WS3>=nn & WS3<nn+k));
    ind6=and(ind6, (AP3>=restTemp3(indRest3,3) &
AP3<restTemp3(indRest3,4)));
    medpowerarr3(n)=median(AP3(ind6));
    medwindarr3(n)=median(WS3(ind6));
    n=n+1;
end
hold on
plot (medwindarr3,medpowerarr3, 'g', 'LineWidth',0.5)
```

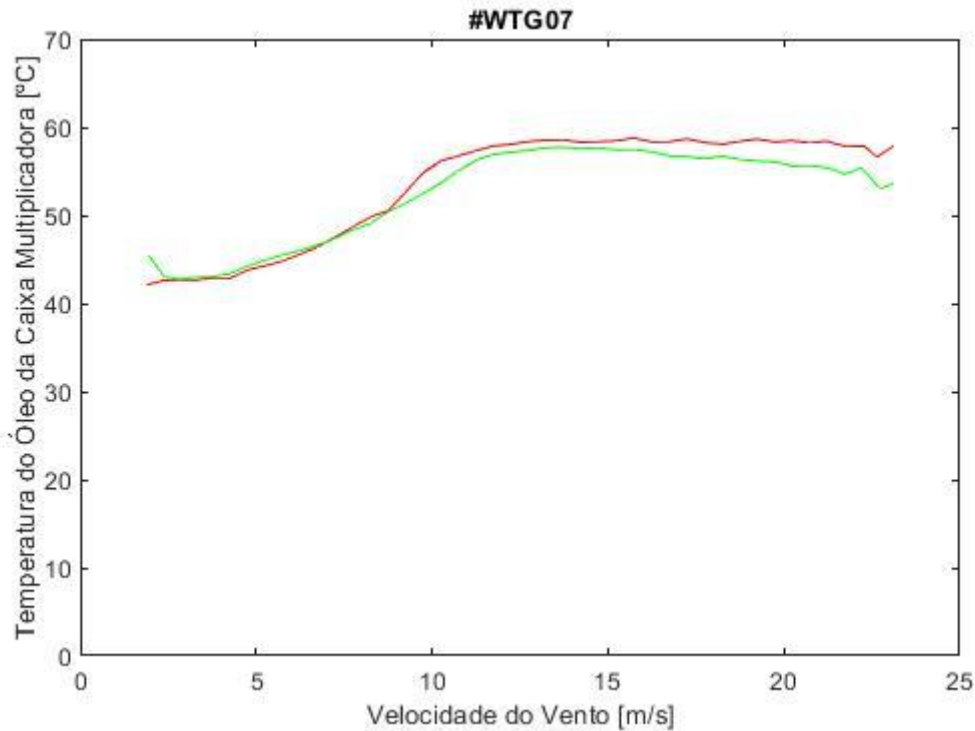


Figura 10.36 – Representação gráfica da #WTG07, ilustração da figura 6.8.1, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s); a vermelho o óleo do tipo A e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.36:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP=WTG07_ActivePower(:,1);
TG=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,1000;
7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;1
2,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,15
00,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,250
0;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
```

```

        ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
        ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
        medtemp(n)=median(TG(ind2));
        medwindarr(n)=median(WS(ind2));
        medcount(n)=nnz(ind2);
        n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medtemp,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG07')
xlim([0 25]), ylim([0 70])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da
Caixa Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG07_ActivePower(:,1);
TG2=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,0,500;2,3,0,500;3,4,0,500;4,5,0,500;5,6,0,800;6,7,0,100
0;7,8,50,1500;8,9,50,2000;9,10,100,2500;10,11,100,2500;11,12,500,2500;
12,13,500,2500;13,14,1500,2500;14,15,1500,2500;15,16,1500,2500;16,17,1
500,2500;17,18,1500,2500;18,19,1500,2500;19,20,1500,2500;20,21,1500,25
00;21,22,1500,2500;22,23,1500,2500;23,24,1500,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medtemp2(n)=median(TG2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medtemp2,'g','LineWidth',0.5)

```

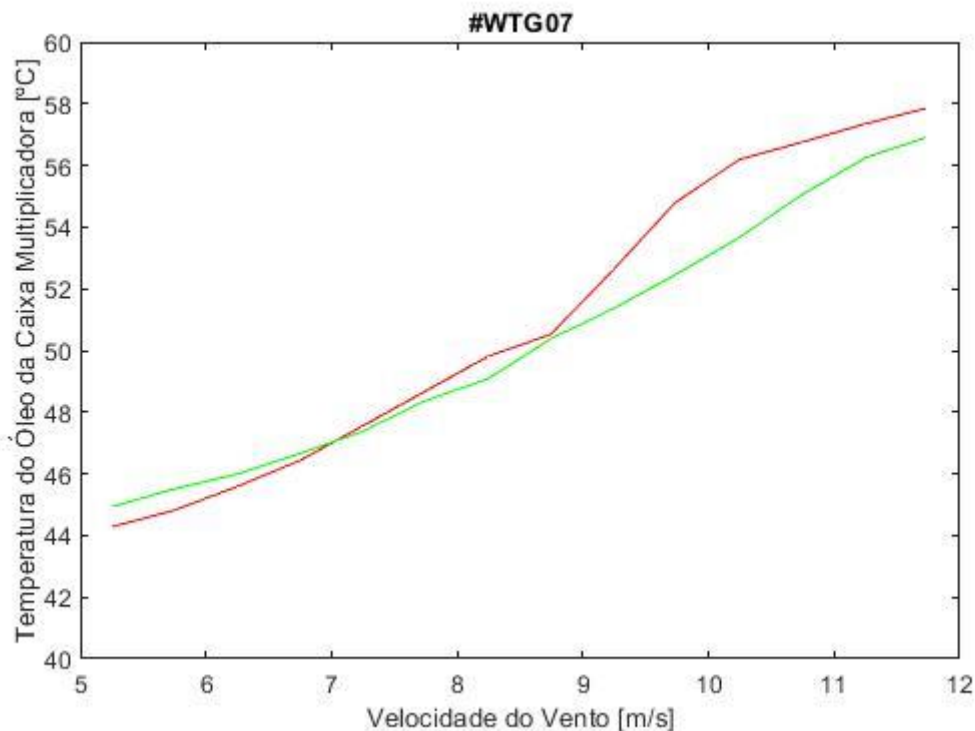


Figura 10.37 – Representação gráfica da #WTG07, ilustração da figura 6.8.2, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C) em função da velocidade do vento (m/s), entre os 5 e os 12 m/s, e os 40°C e 60°C; a vermelho o óleo do tipo A e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.37:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP=WTG07_ActivePower(:,1);
TG=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,12
,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,600
0;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,2
1,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
```

```

for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
    ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
    medtemp(n)=median(TG(ind2));
    medwindarr(n)=median(WS(ind2));
    medcount(n)=nnz(ind2);
    n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medtemp,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG07')
xlim([5 12]), ylim([40 60])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Temperatura do Óleo da
Caixa Multiplicadora [°C]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG07_ActivePower(:,1);
TG2=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,0,2250;6,7,0,2250;7,8,0,2250;8,9,0,2250;9,10,0,2250;10,11,0,2250;11,1
2,0,2250;12,13,4000,6000;13,14,4000,6000;14,15,4000,6000;15,16,4000,60
00;16,17,4000,6000;17,18,4000,6000;18,19,4000,6000;19,20,4000,6000;20,
21,4000,6000;21,22,4000,6000;22,23,4000,6000;23,24,4000,6000];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medtemp2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medtemp2(n)=median(TG2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medtemp2,'g','LineWidth',0.5)

```

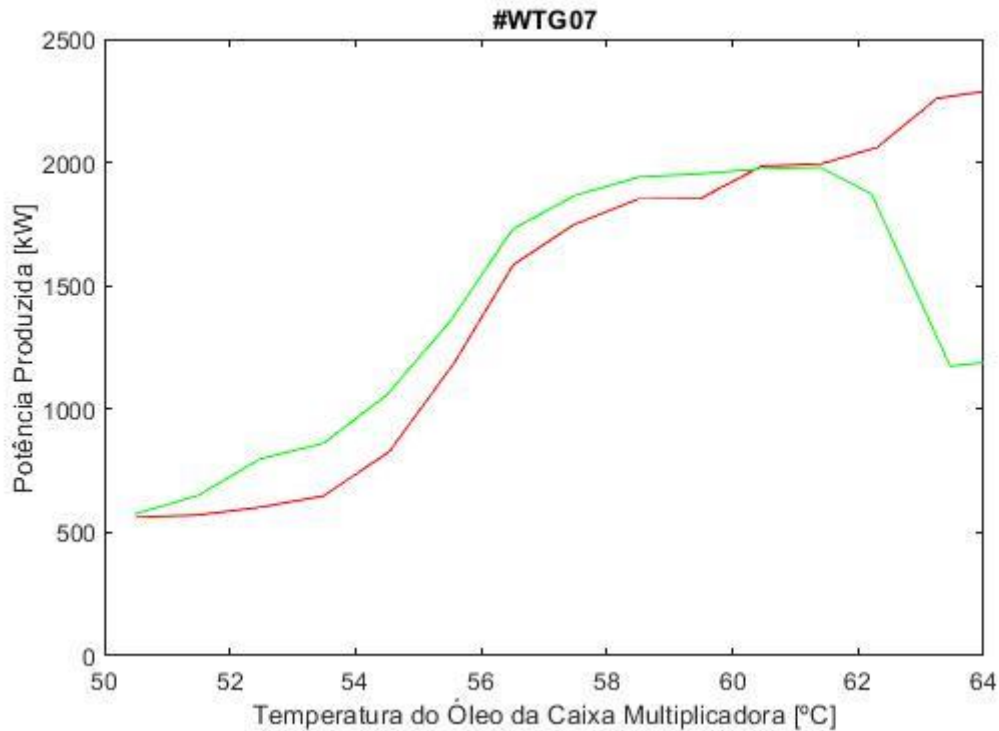


Figura 10.38 – Representação gráfica da #WTG07, ilustração da figura 6.8.3, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 1°C, da potência produzida (kW) em função da temperatura do óleo da caixa multiplicadora (°C), entre os 0 e os 2.500 kW, e os 50°C e 64°C; a vermelho o óleo do tipo A e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.38:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP=WTG07_ActivePower(:,1);
TG=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind2=and(ind,TG>=nn & TG<nn+k);
    medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
    medtemp(n)=median(TG(ind2));
    medcount(n)=nnz(ind2);
    n=n+1;
end
```

```
end
figure
plot (medtemp,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG07')
xlim([50 64]), ylim([0 2500])
xlabel('Temperatura do Óleo da Caixa Multiplicadora [°C]'),
ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG07_ActivePower(:,1);
TG2=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
n=1;
k=1;
maxtg=80;
medpowerarr2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medtemp2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
medcount2=zeros(cast((maxtg/k),'int8')-1);
for nn=50:k:maxtg
    ind4=and(ind3,(TG2>=nn & TG2<nn+k));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medtemp2(n)=median(TG2(ind4));
    medcount2(n)=nnz(ind4);
    n=n+1;
end
hold on
plot (medtemp2,medpowerarr2,'g','LineWidth',0.5)
```

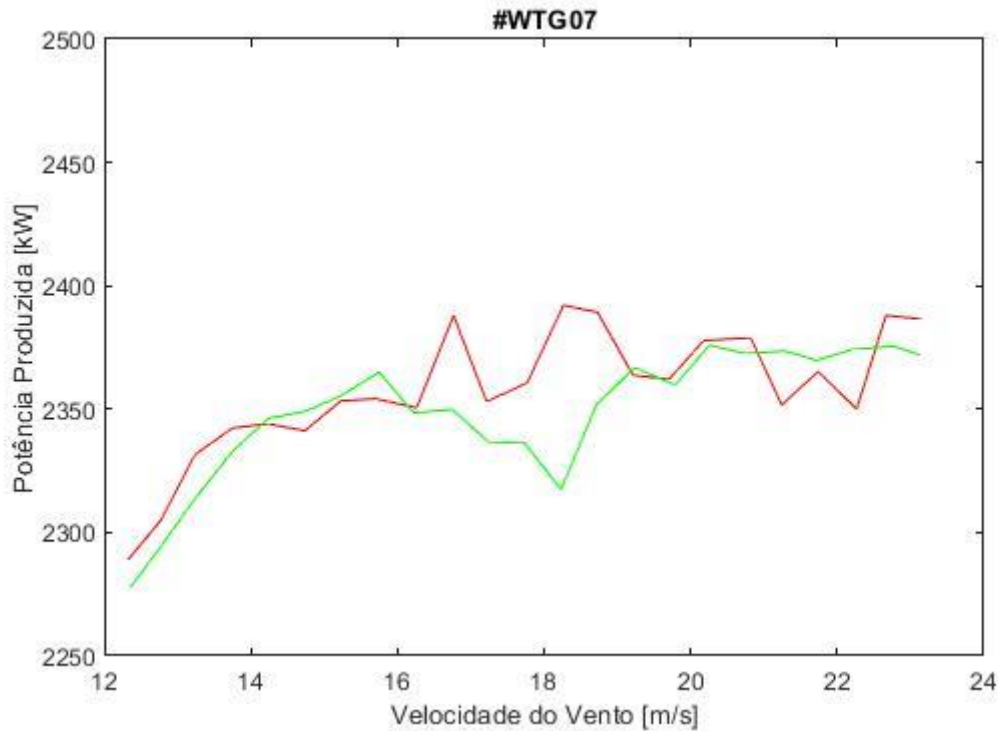


Figura 10.39 – Representação gráfica da #WTG07, ilustração da figura 6.8.4, com aplicação de filtros e do método dos Bins, com valores de 0,5 m/s, da potência produzida (kW) em função da temperatura da velocidade do vento (m/s), entre os 2.250 e os 2.500 kW, e os 12 e os 24 m/s; a vermelho o óleo do tipo A e a verde o óleo do tipo C

Algoritmo em linguagem MATLAB para criar a figura 10.39:

```
clear all; close all; clc;
cd('C:\Users\A47057\Desktop\Tese\Calculos')
load frt_11_12_13_14_15_16_CP.mat
fData='dd/MM/yyyy HH:mm:ss';
dataInicio=datetime('01/01/2011 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim=datetime('23/05/2013 23:50:00','InputFormat',fData);
WS=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP=WTG07_ActivePower(:,1);
TG=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA=tstamp(:,1);
ind=AP>0;
ind=and(ind,DATA>=dataInicio & DATA<=dataFim);
restTemp=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6,
4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10,
11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,225
0,2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,2500
;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,24
,2250,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
```

```

for nn=1:k:maxws
    indRest1=(nn>=restTemp(:,1) & nn+k<=restTemp(:,2));
    ind2=and(ind,WS>=nn & WS<nn+k);
    ind2=and(ind2,(AP>=restTemp(indRest1,3) &
AP<restTemp(indRest1,4)));
    medpowerarr(n)=median(AP(ind2));
    medwindarr(n)=median(WS(ind2));
    n=n+1;
end
figure
plot(medwindarr,medpowerarr,'r','LineWidth',0.5)
title('#WTG07')
xlim([12 24]), ylim([2250 2500])
xlabel('Velocidade do Vento [m/s]'), ylabel('Potência Produzida [kW]')

dataInicio2=datetime('25/05/2013 00:00:00','InputFormat',fData);
dataFim2=datetime('30/11/2016 23:50:00','InputFormat',fData);
WS2=WTG07_WindSpeed(:,1);
AP2=WTG07_ActivePower(:,1);
TG2=WTG07_TemperatureGearboxOilSump(:,1);
DATA2=tstamp(:,1);
ind3=AP2>0;
ind3=and(ind3,DATA2>=dataInicio2 & DATA2<=dataFim2);
restTemp2=[1,2,4000,6000;2,3,4000,6000;3,4,4000,6000;4,5,4000,6000;5,6
,4000,6000;6,7,4000,6000;7,8,4000,6000;8,9,4000,6000;9,10,4000,6000;10
,11,4000,6000;11,12,4000,6000;12,13,2250,2500;13,14,2250,2500;14,15,22
50,2500;15,16,2250,2500;16,17,2250,2500;17,18,2250,2500;18,19,2250,250
0;19,20,2250,2500;20,21,2250,2500;21,22,2250,2500;22,23,2250,2500;23,2
4,2250,2500];
n=1;
k=0.5;
maxws=23;
medpowerarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
medwindarr2=zeros(cast((maxws/k),'int8')-1);
for nn=1:k:maxws
    indRest2=(nn>=restTemp2(:,1) & nn+k<=restTemp2(:,2));
    ind4=and(ind3,(WS2>=nn & WS2<nn+k));
    ind4=and(ind4,(AP2>=restTemp2(indRest2,3) &
AP2<restTemp2(indRest2,4)));
    medpowerarr2(n)=median(AP2(ind4));
    medwindarr2(n)=median(WS2(ind4));
    n=n+1;
end
hold on
plot(medwindarr2,medpowerarr2,'g','LineWidth',0.5)

```