



Controlo de Aerogeradores para Protecção da Avifauna

JOÃO RICARDO RIBEIRO MACIO

novembro de 2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4249-015 Porto

Controlo de Aerogeradores para Proteção da Avifauna

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

João Ricardo Ribeiro Macio

Supervisor: Prof. Maria Benedita Campos Neves Malheiro

Ano Letivo: 2020-2021

Resumo

O número crescente de parques eólicos tem contribuído para a descarbonização do setor elétrico, trazendo contudo novos desafios. A localização dos parques eólicos coincide com zonas de alto potencial eólico, também utilizadas pelas aves nas migrações. Desta forma, a rotação das pás durante o funcionamento do aerogerador, em conjunto com a altura da torre, cria situações de perigo para avifauna, originando mesmo colisões com as aves.

Para mitigar as colisões das aves são contratados ornitólogos para vigiar os parques eólicos e parar, se necessário, os aerogeradores. Esta atuação é feita através da aplicação *Web Avifauna* concebida e desenvolvida no âmbito desta dissertação. A Avifauna envia os comandos para o sistema *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) do parque eólico, através do protocolo industrial *Open Platform Communications Data Access* (OPC-DA) para parar e arrancar os aerogeradores.

O *Front-end* é desenvolvido em Vue.js, uma *framework* de JavaScript. A interface do utilizador é desenhada com o objetivo de oferecer uma navegação rápida e intuitiva, adaptabilidade aos dispositivos, versões em três línguas e informação dos aerogeradores em tempo real. Para além da capacidade de envio de comandos para o sistema SCADA, possui funcionalidades de gestão de utilizadores, visualização e extração de relatórios de comandos.

O *Back-end* é responsável pela comunicação com a base de dados MongoDB, que contém toda a informação da Avifauna, com a base de dados em tempo real OSI-PI, que contém todas as medições provenientes do SCADA, com o servidor OPC, que comunica com o SCADA por OPC-DA, e com o servidor *Simple Mail Transport Protocol* (SMTP), responsável pela notificação por *e-mail* dos comandos nos aerogeradores.

De 11 de novembro de 2020 até 27 de julho de 2021, a Avifauna efetuou com 14991 paragens em 207 aerogeradores de 14 parques eólicos. A análise das paragens possibilitou determinar o impacto na disponibilidade de produção dos

aerogeradores controlados através do sistema Avifauna, assim como a identificação de zonas de maior incidência de aves nos parques eólicos.

Abstract

The growing number of wind farms has contributed to the decarbonisation of the electricity sector, however, bringing new challenges. The location of the wind farms coincides with areas of high eolic potential, which are also used by birds in their migrations. Thus, the route taken by the birds during the operation of the wind generator, together with the height of the tower, creates dangerous situations for birdlife, even leading to collisions with birds.

To mitigate bird collisions, ornithologists are hired to monitor the wind farms and stop the wind turbines if necessary. This action is performed through the Avifauna Web application designed and developed in the scope of this dissertation. Avifauna sends commands to the Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system of the wind farm, through the Open Platform Communications Data Access (OPC-DA) protocol, to stop and start the wind turbines.

The Front-end is developed in Vue.js, a JavaScript framework. The user interface is designed with the aim of offering an intuitive navigation, adaptability to devices, versions in three languages and real-time information from the wind turbines. In addition to the ability to send commands to the SCADA system, it has user management, visualization and extraction of commands reports.

The Back-end is responsible for communicating with the MongoDB database, which contains all the information from Avifauna, with the real-time database OSI-PI, which contains all the measurements coming from the SCADA, with the OPC service, which communicates with the SCADA through OPC-DA, and with the Simple Mail Transport Protocol (SMTP) server, responsible for notifying the commands sent to the wind turbines by e-mail.

From November 11, 2020 to July 27, 2021, Avifauna performed 14 991 stops in 207 wind turbines of 14 wind farms. The analysis of the stoppages enabled the determine of the impact on the availability of production of the controlled wind turbines through Avifauna system, as well as the identification of areas of higher incidence of birds in the wind farms.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	ix
Lista de Equações	xiii
Lista de Algoritmos	xv
Glossário	xvii
Agradecimentos	xix
1 Introdução	1
1.1 Problema	1
1.2 Objectivos	1
1.3 Calendarização	2
1.4 Estrutura da Dissertação	3
2 Mitigação de Colisões da Avifauna	5
2.1 Métodos de Mitigação de Colisões	5
2.1.1 Radar	5
2.1.2 Videovigilância	8
2.1.2.1 <i>Thermal Animal Detection System</i>	8
2.1.2.2 <i>Visual Automated Recording System</i>	10
2.1.2.3 <i>Detection Bird Video-System</i>	11
2.1.2.4 Câmara de Luz Visível	13
2.1.3 Detecção por Ornitólogos	14
2.1.4 Som	14
2.1.5 Modificações de <i>Habitat</i>	16

2.1.6	Visibilidade do Aerogerador	17
2.1.7	Construção e <i>Repowering</i> de Parques Eólicos	18
2.1.8	Restrição do Funcionamento do Aerogerador	19
2.2	Análise e Comparação	19
2.3	Conclusão	21
3	Conceção e Desenvolvimento	23
3.1	Casos de Uso	23
3.2	Especificação do Sistema	25
3.3	Formato dos Dados	27
3.4	Diagrama de Rede	30
3.5	Avifauna	32
3.5.1	Funcionalidades Gerais	32
3.5.1.1	Pedidos HTTP	32
3.5.1.2	Tradução	33
3.5.1.3	Notificações <i>Front-end</i>	33
3.5.2	Autenticação	33
3.5.3	Interação com os Aerogeradores	35
3.5.3.1	Pedidos ao SCADA	38
3.5.3.2	Resposta do SCADA	39
3.5.4	Grupos de Aerogeradores	41
3.5.5	Gestão de Utilizadores	42
3.5.6	Criação de Relatórios	43
3.5.6.1	Relatório de Comandos	43
3.5.6.2	Relatório da Avifauna	45
3.5.7	Obtenção de Dados em Tempo Real	47
3.5.8	Adaptação do <i>Front-end</i>	48
3.6	Conclusão	49
4	Testes e Validação	51
4.1	Testes Funcionais	51
4.1.1	Autenticação	51
4.1.2	Interação com os Aerogeradores	54
4.1.3	Grupos de Aerogeradores	56
4.1.4	Gestão de Utilizadores	57
4.1.5	Criação de Relatórios	59
4.1.6	Obtenção de Dados em Tempo Real	61
4.2	Teste de Carga	62
4.3	Conclusão	63
5	Resultados da Avifauna	65
5.1	Pós-Processamento	66

5.2	Análise dos Resultados Globais	68
5.3	Conclusão	74
6	Conclusões	75
	Bibliografia	77
	Anexos	81
A	Algoritmos	83
B	Resultados por Parque Eólico	89
B.1	Parque Eólico A	89
B.2	Parque Eólico B	91
B.3	Parque Eólico C	94
B.4	Parque Eólico D	96
B.5	Parque Eólico E	99
B.6	Parque Eólico F	102
B.7	Parque Eólico G	104
B.8	Parque Eólico H	107
B.9	Parque Eólico I	109
B.10	Parque Eólico J	112
B.11	Parque Eólico K	114
B.12	Parque Eólico L	117
B.13	Parque Eólico M	119
B.14	Parque Eólico N	123

Lista de Figuras

2.1	Exemplo da deteção pelo radar [1]	6
2.2	Medição do voo de uma ave com radar[2]	7
2.3	Exemplo da imagem térmica captada pelo sistema TADS [3] [4]	8
2.4	Exemplo de montagem vertical do sistema TADS [3] [4]	9
2.5	Exemplo de diagrama de processamento de vídeo [4]	10
2.6	Esquemático da instalação do VARS [5]	11
2.7	Exemplo da imagem captada pelo sistema DTBird [6]	12
2.8	Exemplo de diagrama de processamento de vídeo [7]	13
2.9	Exemplo de erro de reconhecimento [7]	14
2.10	Zonas de ruído e de perigo [8]	15
2.11	Exemplo da propagação do som num parque eólico	16
2.12	Teste de cores [9]	18
3.1	<i>Use cases</i>	24
3.2	Diagrama dos tipos de dados	27
3.3	Diagrama de rede	31
3.4	Notificações da página <i>Web</i>	33
3.5	Menu login	34
3.6	Menu de comandos	35
3.7	Motivo da paragem	36
3.8	Menus de paragens dos aerogeradores	37
3.9	Seleção dos aerogeradores	37
3.10	Menu de navegação rápida	38
3.11	Métodos de envio de comando	39
3.12	Cronologia da obtenção de <i>feedback</i>	40
3.13	Notificação do <i>feedback</i> dos comandos	41
3.14	Menu de modificação dos grupos	42
3.15	Gestão de utilizadores	43
3.16	Alteração da senha	43
3.17	Relatório de atuações	44

3.18	Menu de análise de paragens	45
3.19	Filtro do menu Análise	46
3.20	Tabela de análise da Avifauna	47
3.21	Exemplo de ajuste dos componentes aos <code>Display Breakpoints</code>	49
3.22	Exemplo de ajuste das colunas dos componentes aos <code>Display Breakpoints</code>	49
4.1	Postman - <i>login</i>	53
4.2	Postman - <i>logout</i>	53
4.3	Postman - Leitura parques eólicos	54
4.4	Postman - Confirmação da comunicação	54
4.5	Postman - Envio de comandos	55
4.6	Postman - Envio do motivo da paragem	55
4.7	Postman - Criação/Modificação de um grupo de aerogeradores	56
4.8	Postman - Apagar um grupo de aerogeradores	57
4.9	Postman - Criação utilizador	58
4.10	Postman - Informação para criação de utilizador	58
4.11	Postman - Erros criação utilizador	59
4.12	Postman - <i>Login</i> do novo utilizador	59
4.13	Postman - Pedido de dados do relatório de comandos	60
4.14	Postman - Pedido de dados sem acesso	60
4.15	Postman - Pedido de dados do relatório de análise Avifauna	61
4.16	Postman - Pedido dados tempo real	61
4.17	Jmeter - velocidade da resposta para cada 5 pedidos por segundo	63
B.1	Parque eólico A	90
B.2	Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.3 e B.4	91
B.3	Parque eólico B	92
B.4	Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.7 e B.8	93
B.5	Parque eólico C	94
B.6	Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.11 e B.12	96
B.7	Parque eólico D	97
B.8	Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.15 e B.16	99
B.9	Parque eólico E	100
B.10	Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.19 e B.20	101
B.11	Parque eólico F	102
B.12	Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.23 e B.24	104
B.13	Parque eólico G	105
B.14	Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.27 e B.28	106
B.15	Parque eólico H	107
B.16	Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.31 e B.32	109
B.17	Parque eólico I	110

B.18 Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.35 e B.36	111
B.19 Parque eólico J	112
B.20 Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.39 e B.40	114
B.21 Parque eólico K	115
B.22 Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.43 e B.44	117
B.23 Parque eólico L	118
B.24 Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.47 e B.48	119
B.25 Parque eólico M	120
B.26 Gráfico com distribuição percentual da Tabela B.51	122
B.27 Parque eólico N	123
B.28 Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.54 e B.55	125

Lista de Tabelas

1.1	Diagrama de Gantt	2
2.1	Análise dos sistemas	20
4.1	Testes funcionais realizados - 10 pedidos cada	52
4.3	Resultado de 5 pedidos por segundo	62
4.2	Resultado dos pedidos instantâneos ao <i>Back-end</i>	63
5.1	Número de paragens por mês	69
5.2	Número e duração de paragens por parque eólico	69
5.3	Média de paragens por aerogerador e parque eólico	70
5.4	Aerogerador, por parque eólico, com maior tempo de paragem	70
5.5	Aerogerador, por parque eólico, com maior número de paragens	71
5.6	Latência de paragem dos aerogeradores por parque eólico	71
5.7	Latência de arranque dos aerogeradores por parque eólico	72
5.8	Tempo de paragem por parque eólico	72
5.9	Indisponibilidade de produção dos parques eólicos	73
B.1	Distribuição de paragens por aerogerador	89
B.2	Indisponibilidade mensal	90
B.3	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	90
B.4	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	91
B.5	Distribuição de paragens por aerogerador	92
B.6	Indisponibilidade mensal	92
B.7	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	93
B.8	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	93
B.9	Distribuição de paragens por aerogerador	94
B.10	Indisponibilidade mensal	95
B.11	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	95
B.12	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	95
B.13	Distribuição de paragens por aerogerador	97

B.14	Indisponibilidade mensal	98
B.15	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	98
B.16	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	98
B.17	Distribuição de paragens por aerogerador	99
B.18	Indisponibilidade mensal	100
B.19	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	100
B.20	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	101
B.21	Distribuição de paragens por aerogerador	103
B.22	Indisponibilidade mensal	103
B.23	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores(°)	103
B.24	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	104
B.25	Distribuição de paragens por aerogerador	105
B.26	Indisponibilidade mensal	105
B.27	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	106
B.28	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	106
B.29	Distribuição de paragens por aerogerador	107
B.30	Indisponibilidade mensal	108
B.31	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	108
B.32	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	108
B.33	Distribuição de paragens por aerogerador	110
B.34	Indisponibilidade mensal	110
B.35	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	111
B.36	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	111
B.37	Distribuição de paragens por aerogerador	113
B.38	Indisponibilidade mensal	113
B.39	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	113
B.40	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	114
B.41	Distribuição de paragens por aerogerador	115
B.42	Indisponibilidade mensal	116
B.43	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	116
B.44	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	116
B.45	Distribuição de paragens por aerogerador	117
B.46	Indisponibilidade mensal	118
B.47	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	118
B.48	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	119
B.49	Distribuição de paragens por aerogerador	121
B.50	Indisponibilidade mensal	122
B.51	Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)	122
B.52	Distribuição de paragens por aerogerador	124
B.53	Indisponibilidade mensal	124
B.54	Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)	124

B.55 Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s) . . 125

Lista de Equações

2.1	Cálculo do RCS	7
2.2	Cálculo da velocidade	7
5.1	Cálculo do tempo total de paragem	68
5.2	Cálculo da indisponibilidade de produção	68
5.3	Cálculo do tempo de resposta dos comandos	68

Lista de Algoritmos

1	Autenticação	83
2	Função validação do utilizador	83
3	Envio do comando	84
4	Envio do motivo paragem	84
5	Envio do comando OPC	84
6	Envio do comando FTP/OPC	85
7	Alteração de grupos de aerogeradores	85
8	Gestão de utilizadores	86
9	Alteração da senha	86
10	Pedido de relatório	87
11	Registos para análise	87
12	Filtros dos registos para análise	88

Glossário

- BSON** *Binary JavaScript Object Notation*. 26
- DCOM** *Distributed Component Object Model*. 31, 38
- DOM** *Document Object Model*. 34
- HTTPS** *Hypertext Transfer Protocol Secure*. 26
- HTTP** *Hypertext Transfer Protocol*. 26
- IIS** *Internet Information Services*. 26
- IP** *Internet Protocol*. 27, 28, 38
- JSON** *JavaScript Object Notation*. 26, 32
- RPC** *Remote Procedure Call*. 31
- SSL** *Secure Socket Layer*. 26
- URL** *Uniform Resource Locators*. 26
- DTBird** *Detection Bird*. i, 11
- FTP** *File Transfer Protocol*. 28, 31, 39, 40, 54
- LAN** *Local Area Network*. 32
- OPC** *Open Platform Communications*. 25, 28, 30–32, 35, 38–40, 54
- OPC-DA** *Open Platform Communications Data Access*. iii, v, 1, 23, 30, 31, 38
- PERG** *Pattern Electoretinogram*. 17
- RCS** *Radar Cross-Section*. xiii, 7

RTU *Remote Terminal Unit.* 32

SCADA *Supervisory Control and Data Acquisition.* iii, v, 1

SMTP *Simple Mail Transport Protocol.* iii, v, 30

TADS *Thermal Animal Detection System.* i, 8

VARs *Visual Automated Recording System.* i, 10

VBA Visual Basic for Applications. 65

WAN Wide Area Network. 31, 32

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos às pessoas que me permitiram elaborar este trabalho sobre uma aplicação *Web* com capacidade de comandar aerogeradores com o propósito de diminuir a pegada ambiental.

Assim sendo, agradeço ao Engenheiro Antonio Guzman pelos esclarecimentos prestados sobre assuntos mais pertinentes, pela disponibilidade mostrada e pelo tempo despendido com este projecto.

Agradeço ainda à Professora Maria Benedita Campos Neves Malheiro pela disponibilidade e prestabilidade demonstrada, pelas sugestões e correcções dadas ao trabalho.

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo será abordado o problema em que este relatório se foca, objetivos, calendarização do trabalho e estrutura.

1.1 Problema

O funcionamento dos aerogeradores apresenta perigo para a avifauna, resultando em colisões frequentemente mortais para as aves. Para minimizar a probabilidade de colisão e evitar a morte das aves, pretende-se escolher e adotar um método de prevenção que permita, sempre que são avistadas aves na proximidade de um aerogerador, pará-lo.

1.2 Objectivos

De forma a mitigar o problema, foi proposta a criação da aplicação *Web Avifauna* que deverá ser capaz de efetuar paragem e arranque de aerogeradores, interagindo com o SCADA do respetivo parque eólico através do protocolo OPC-DA [10]. Os objetivos do sistema são:

- Possibilidade de comandar remotamente aerogeradores dos parque eólicos definidos para cada utilizador;
 - Nas paragens de aerogeradores, possibilidade de introdução de espécies avistadas causadoras da paragem e a sua respetiva contabilização;
 - *Feedback* do comando enviado;
 - Envio de comandos para o sistema SCADA através de dois métodos distintos.

- Criação de grupos de aerogeradores, por parque eólico, para atuação mais rápida;
- Gestão de utilizadores;
- Medições em tempo real dos estados dos aerogeradores e respetivas medições dos anemómetros;
- Registo dos comandos efetuados;
- Relatório dos comandos com possibilidade de extração da informação;
- Análise das paragens com referência à perda estimada de energia, duração, espécies e espécimenes avistados;
- Informar as diferentes entidades envolvidas sobre as ações tomadas;
- *Login* persistente na aplicação *Web* durante o período de vigilância (12h);
- Tradução para as línguas Portuguesa, Espanhola e Inglesa;
- Rápida navegação;
- Compatibilidade com vários dispositivos.

1.3 Calendarização

De forma a organizar o trabalho, subdividiu-se o mesmo por fases ao longo do tempo de realização. Na Tabela 1.1 encontra-se representada a calendarização das várias fases de realização do trabalho.

Mês	abr/20					mai/20					jun/20					jul/20					ago/20					set/20					out/20					nov/20					dez/20				
Semana	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Análise do problema	1	2	3	4	5																																								
Estudo das diferentes soluções																																													
Elaboração de proposta de solução																																													
Desenvolvimento da base de dados																																													
Desenvolvimento das funcionalidades																																													
Desenvolvimento da interface																																													
Configuração de comunicações																																													
Período de testes																																													
Realização do relatório																																													
Mês	jan/21					fev/21					mar/21					abr/21					mai/21					jun/21					jul/21					ago/21					set/21				
Semana	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Análise do problema																																													
Estudo das diferentes soluções																																													
Elaboração de proposta de solução																																													
Desenvolvimento da base de dados																																													
Desenvolvimento das funcionalidades																																													
Desenvolvimento da interface																																													
Configuração de comunicações																																													
Período de testes																																													
Realização do relatório																																													

Tabela 1.1: Diagrama de Gantt

1.4 Estrutura da Dissertação

No Capítulo 1 é feita a introdução ao projeto realizado, contextualização, objetivos, estrutura e organização temporal de todo o processo.

No Capítulo 2 são apresentadas diferentes opções de métodos com possíveis soluções para o problema descrito. É feita uma análise de cada, descrevendo as suas características, vantagens e desvantagens e no final analisa-se a melhor opção.

No Capítulo 3, após a decisão da opção a adotar, são descritos os objetivos, funcionalidades, modelos de dados, esquemas de rede e a interface com o utilizador.

No Capítulo 4 são realizados testes para validar as funcionalidade, de desempenho e de carga de forma a comprovar e caracterizar o funcionamento do sistema.

No Capítulo 5 analisam-se os resultados para determinar a indisponibilidade de produção induzida pelas paragens dos aerogeradores, assim como verificar padrões de incidência de aves nos diferentes parques eólicos.

No Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões e futuros melhoramentos.

Capítulo 2

Mitigação de Colisões da Avifauna

A prevenção de colisões pode ser feita através de métodos passivos ou ativos. Com métodos passivos entende-se métodos que estão constantemente presentes a atuar de forma a prevenir colisões como, por exemplo, abordagens na construção/funcionamento do aerogerador, na construção parque eólico ou alterações no meio envolvente. Com métodos ativos entende-se métodos que detetam aves e despoletem uma ação. Exemplos de métodos ativos são os que possuem a capacidade de atuar nos aerogeradores ou de dispersar aves através de fontes sonoras, detetando as aves com radares, câmaras de infravermelhos ou de luz visível, ou vigilância por ornitólogos.

2.1 Métodos de Mitigação de Colisões

A seguinte análise explica os diferentes métodos e avalia se cumprem os objetivos de prevenir colisões, deteção de colisões, de espécie de aves e respetiva contabilização aproximada. Adicionalmente, avalia-se também a capacidade de vigilância, caso aplicável.

2.1.1 Radar

O radar, cujo princípio de funcionamento se baseia no efeito Doppler, permite identificar a aproximação de objetos numa certa área, ignorando objetos estáticos, mas sensível a interferências causadas por condições atmosféricas como chuva e nevoeiro [11].

O radar pode ser de vigilância, deteta e segue objetos em movimento, ou de *tracking* (seguimento), com capacidade de classificar objetos e segue os identifi-

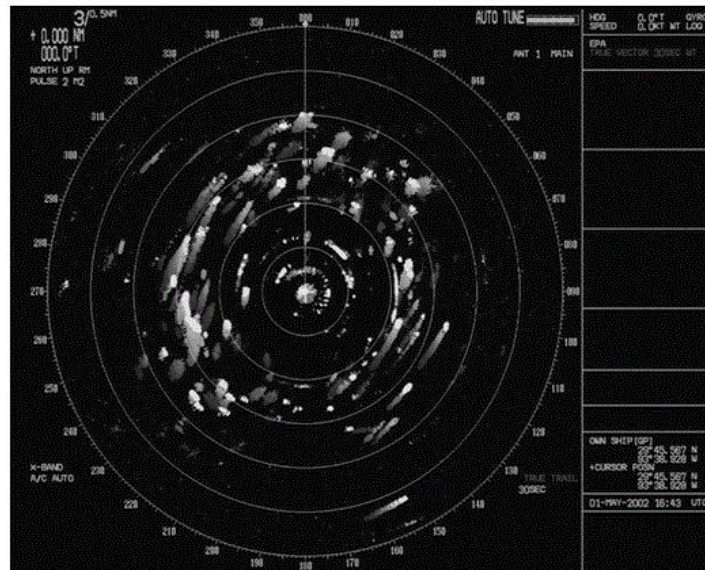


Figura 2.1: Exemplo da detecção pelo radar [1]

cados como aves. O radar de vigilância é usado para vigiar trajetórias de alvos em movimento. A característica do rasto do eco permite manter o alvo visível e são normalmente utilizados para detetar navios, aviões ou precipitação, e são caracterizados usualmente por uma antena em forma de “T” ou por um disco parabólico [3]. Analisando os níveis de potência do radar, os radares de baixa potência conseguem detetar aves a alguns quilómetros de distância enquanto que os de alta potência conseguem deteções em distâncias na ordem de [100-240] km. Os radares de alta potência são normalmente utilizados em aeroportos para detetar movimentações de bandos de aves a 120 km de distância [1]. Para além da característica de alcance, os radares de alta resolução conseguem detetar e quantificar número de objetos em movimentação.

O radar de *tracking* adquire um alvo e consegue detetá-lo na atmosfera, representar a trajetória em três dimensões e também padrões de batimentos das asas através da modulação refletida recebida no radar [1]. Em estudos [1] sobre a modulação da reflexão (assinatura do batimento de asas), tentou-se detetar padrões nas deteções de forma a identificar espécies, no entanto sem resultados promissores à data do estudo. Radares de *tracking* de grandes dimensões e potência são capazes de detetar uma abelha a 10 km de distância e aves a uma maior distância [1].

A Figura 2.2 apresenta o registo do voo de uma ave com um radar. É possível identificar a aproximação (fase ascendente - 1 s), o bater das asas (fase com variações abruptas - [1-5] s) e o planar (fase estável - [7-8] s) da ave.

7 s to 8 s

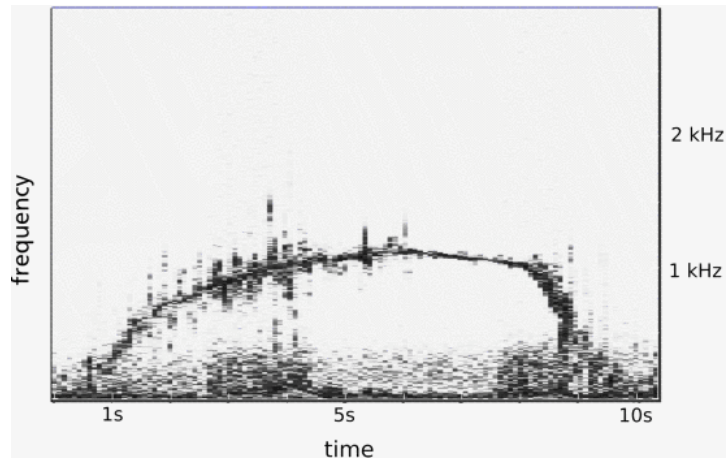


Figura 2.2: Medição do voo de uma ave com radar[2]

A detecção de aves implica conhecer o valor do *Radar Cross-Section* (RCS). O RCS é uma medida que permite identificar se o objeto é detetável pelo radar devido a caracterizar a assinatura magnética do objeto [12]. O RCS de uma ave é baseado na quantidade de água do corpo, que pode ser neste contexto aproximado por uma esfera de água [13]. A Equação 2.1 representa o RCS, expresso em dB mW, onde 0,062 é uma constante e M representa o equivalente à quantidade de água do corpo.

$$\sigma = \pi(0,062M^{1/3})^2 \text{ [dB mW]} \quad (2.1)$$

Este valor é coerente com a maior parte dos pássaros [2] desde que a frequência do radar seja suficientemente elevada (mais de 15 GHz)

Este método permite também determinar aproximadamente a velocidade do objeto detetado [14]. A diferença entre a frequência emitida pelo radar e a captada é um indicador da velocidade, que pode ser calculado através da Equação 2.2, onde f_D representa a frequência de Doppler, f_{Rx} a frequência recebida, f_{Tx} frequência detetada, v_r velocidade radial e c_0 a velocidade do som no ar.

$$f_D = f_{Rx} - f_{Tx} = \frac{2 \cdot v_r \cdot f_{Tx}}{c_0} \text{ [Hz]} \quad (2.2)$$

A utilização deste sistema requer uma cobertura à volta do parque eólico ou de vários equipamentos e um grande *update rate* da antena de forma a detetar a ave e conseguir, ao mesmo tempo, prever a rota. Relativamente às deteções, não possui capacidade de identificação de de colisões nem espécies, mas os radares de vigilância de alta potência conseguem contabilizar as aves. Este método apenas apresenta meios para detetar aves pelo que, para mitigar colisões, é necessário um método para atuar nos aerogeradores ou dispersar as aves. Um radar possui capacidade de vigilância para um parque eólico embora está dependente do número de aerogeradores, das distâncias entre eles e de características geográficas que possam interferir.

2.1.2 Videovigilância

2.1.2.1 Thermal Animal Detection System

O *Thermal Animal Detection System* (TADS) (Figura 2.3) utiliza uma câmara de infravermelhos que, juntamente com análise de *software*, permite identificar temperaturas nos píxeis da imagem e atuar consoante um limite mínimo de temperatura definido [11]. Este método permite deteções durante a noite e em períodos de fraca visibilidade, no entanto não é possível a identificação de espécies, nem deteções de colisões e sofre falsos positivos devido a medições de temperatura em píxeis que contêm nuvens, mudanças de temperaturas atmosféricas ou rotores dos aerogeradores.



Figura 2.3: Exemplo da imagem térmica captada pelo sistema TADS [3] [4]



Figura 2.4: Exemplo de montagem vertical do sistema TADS [3] [4]

Os *frames* do vídeo contêm ruído fixo e variável devido a condições atmosféricas que tem de ser filtrados. O *Background and Consecutive Frames Subtraction* [4] subtrai os *frames* consecutivos de forma a reduzir o ruído fixo. Este método determina a média local, por pixel, de um número de *frames* consecutivos e, compara-a com a média global, detetando regiões onde ocorreram variações. O *Frame Selection* permite ao sistema apenas processar os *frames* com informação útil, otimizando o processo computacional. *Region Labeling* consiste na atribuição binária de “1” a objetos detetados e de “0” ao fundo. De forma a otimizar o sistema, píxeis vizinhos com o mesmo valor binário são identificados como o mesmo objeto, reduzindo a necessidade de maior memória do sistema. O *Breakpoint Recovery Procedure* evita que um objeto seja dividido em dois ou mais objetos. Isto engloba três processos distintos: inicia-se pelo *Breakpoint Detetion* que, avalia as coordenadas do fim de um objeto e do início de um outro, detetando consoante a diferença em tamanho e desfasamento se é o mesmo objeto. Em caso afirmativo, o segundo processo *Coordinates Recovery* trata de o reagrupar. Termina com o *Blank Group Notification* que processa as imagens para remover insetos e outros pequenos objetos irrelevantes para a finalidade. Os insetos como voam perto da câmara, aparentam ter mais velocidade e apenas aparecem em alguns *frames*. Quando um objeto apenas aparece em dois *frames* é removido, evitando assim a notificação de ruído. O *Target Information and Output Trajectories* é a resposta final do sistema que retorna:

- Tamanho do objeto em número de píxeis;
- Intensidade do objeto;

- Distância percorrida no campo de visão da câmara, independente da trajetória;
- Velocidade;
- Direção.

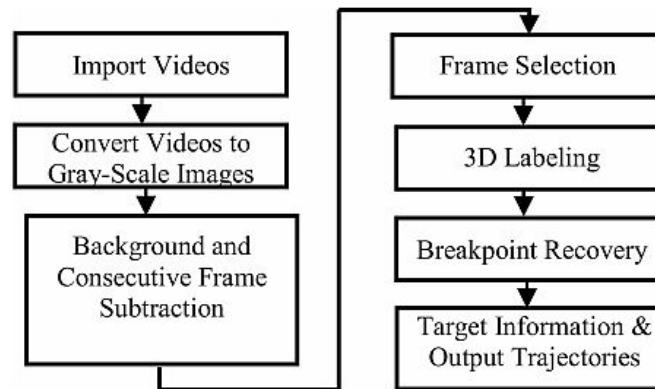


Figura 2.5: Exemplo de diagrama de processamento de vídeo [4]

Este método apenas consegue detetar aves pelo que, no caso de deteção, necessita de um método adicional para atuar sobre os aerogeradores ou dispersar as aves. Não possui capacidade de deteção de espécies e, relativamente à contagem do número de aves, carece de resultados usando o processamento de vídeo (Figura 2.5). Em relação à deteção de colisões, no caso da montagem vertical, (Figura 2.4) foi comprovado o sucesso desta abordagem. No caso da montagem vertical (Figura 2.4), a capacidade de vigilância é cingida a esse aerogerador, o que também implica um grande número de câmaras para a vigilância de um parque eólico.

2.1.2.2 Visual Automated Recording System

O sistema *Visual Automated Recording System* (VARS) utiliza câmaras infravermelhas de deteção de movimento [11]. Este sistema foi instalado num aerogerador de um parque eólico na Alemanha [5], tendo sido colocada uma câmara na base e outra na nacelle.

O teste demonstrou que o sistema necessita de pelo menos duas câmaras para cobrir uma área sem grande interferência do aerogerador. À semelhança do método TADS (Capítulo 2.1.2.1), este método possui a capacidade de deteção mesmo com fraca visibilidade. Embora não seja referida a capacidade de deteção

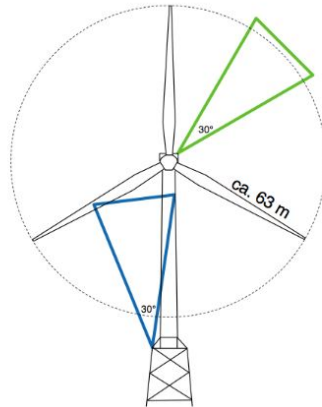


Figura 2.6: Esquemático da instalação do VARS [5]

de colisões, de espécies e espécimes, sendo constituída por uma câmara de infravermelhos, tal como o método TADS, pode ser possível detetar colisões. Este método apenas consegue detetar aves pelo que, no caso de deteção, necessita de um método para atuar nos aerogeradores ou dispersar as aves. No estudo apenas foi testada a montagem vertical, o que implica apenas vigilância de um aerogerador com duas câmaras, resultando na necessidade de vários equipamentos para monitorização de um parque eólico.

2.1.2.3 Detection Bird Video-System

O *Detection Bird (DTBird) Video-System* é um sistema de câmaras de luz visível [6] que funciona sobre 4 módulos de funcionamento:

- Módulo de deteção que monitoriza constantemente a área de vigilância e deteta aves em voo em tempo real;
- Módulo de dissuasão que emite sons consoante uma distância moderada ou de elevado risco de colisão;
- Módulo de paragem que encarrega-se da paragem do aerogerador caso migrações de aves de médio a grande porte sejam detetadas em distâncias de risco de colisão;
- Módulo de controlo da colisão que grava potenciais colisões de aves de médio e grande porte com o aerogerador.

A montagem do sistema consiste em duas câmaras montadas na torre do aerogerador conforme a Figura 2.7, uma montada na vertical e outra na horizontal, cada uma com 90° de visão, e duas fontes sonoras na base do aerogerador para

dissuasão. Quando o sistema deteta uma ave a uma distância pré-definida, o módulo de dissuasão atua. Para espécies específicas como a águia de cauda branca (*Haliaeetus albicilla*) no parque eólico de Smøla na Noruega [6], quando a ave se aproxima a distâncias inferiores 150 m é atuado o módulo de dissuasão em nível moderado, enquanto que em distâncias inferiores a 75 m é atuado em nível elevado.



Figura 2.7: Exemplo da imagem captada pelo sistema DTBird [6]

Durante 24 h, uma câmara teve 83 % de sucesso de detecção de aves para um aerogerador e outra a 59 %. Quando considerando a mesma distância mas no período diurno, o sucesso de detecção subiu para 92 % e 76 % respetivamente. Quando considerando apenas uma distância de 150 m, obteve-se 96 % e 82 % respetivamente.

Durante o período diurno o DTBird detetou 76 % das aves num raio de 300 m do aerogerador e 96 % num raio de 150 m. O número de aves de pequeno porte detetadas foi reduzido, mas não foi possível determinar se foi devido à ausência de atividade na área de vigilância ou devido a limitações de detecção de pequenas aves por parte do equipamento. Comparando com deteções feitas com radar, a média de falsos positivos foi de 2 por dia.

Conclui-se que o sistema DTBird consegue detetar voo de aves de médio e grande porte assim como as colisões, sem referência a aves de pequeno porte, contabilizar o número aproximado de aves, em certas condições, no entanto sem

referência à capacidade de detecção das espécies. Com o sistema de dissuasão e de atuação no aerogerador consegue atuar de forma a prevenir colisões. A capacidade de vigilância está cingida a um aerogerador por equipamento.

2.1.2.4 Câmara de Luz Visível

O sistema proposto por Yoshihashi et al.(2015) utiliza câmaras de luz visível para reconhecimento de aves através de *software* [7]. Utilizando uma câmara com resolução de 5 616 x 3 744 píxeis, esta é capaz de captar uma ave com 1 m de envergadura a 580 m de distância, ocupando apenas 20 píxeis da imagem [13].

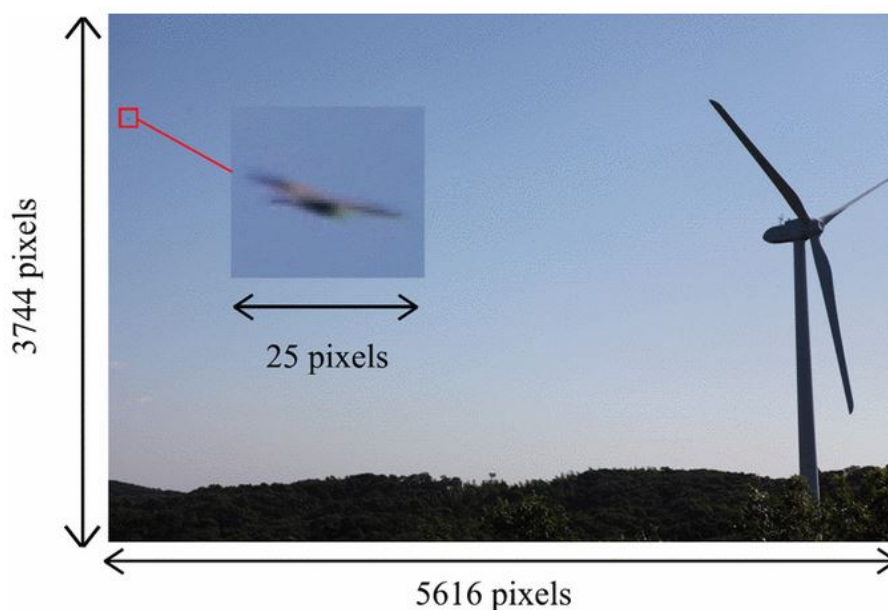


Figura 2.8: Exemplo de diagrama de processamento de vídeo [7]

Para o reconhecimento das espécies das aves existe uma base de dados com 32 972 imagens de aves, cada uma com uma classe associada (ave, avião, inseto e objeto não identificado). Usando esta base de dados, o algoritmo de classificação Haar-like [15] conseguiu obter 1% de erro de detecção de aves com “ruído de paisagem”[7].

A instalação da câmara deve ser feita a alturas superiores às dos objetos que possam interferir o campo de visão, evitando falsos positivos, embora possa comprometer a identificação de aves de voos rasos.

Este método consegue apenas detetar aves, espécies e espécimes, mas sem referência à possibilidade de detecção de colisões. A capacidade de vigilância depende da resolução das câmaras utilizadas, da visibilidade atmosférica e da



Figura 2.9: Exemplo de erro de reconhecimento [7]

geografia do parque eólico. Conclui-se que o sistema para ser capaz de prevenir colisões, visto apenas se tratar de um sistema de detecção, necessita um método para atuar nos aerogeradores ou dispersar as aves.

2.1.3 Detecção por Ornitólogos

Ornitólogos são profissionais que estudam aves. Analisando o comportamento e trajetória das aves, através de binóculos, averiguam a possibilidade de se aproximarem de zonas de perigo dos aerogeradores, atuando caso necessário. Para esta metodologia, um estudo [16] decorrido durante 2008 até 2009 com paragem seletiva de aerogeradores, obtendo um total anual de 4 408 paragens com mediana de 22 min e 11 s segundos e uma média de 380 min. Os resultados mostraram numa redução de mortalidade de aves de pelo menos 50 %, nos aerogeradores com elevada incidência (cerca de 10 % de 296 aerogeradores em 13 parques eólicos), implicando apenas uma indisponibilidade anual de produção de 0,07 %.

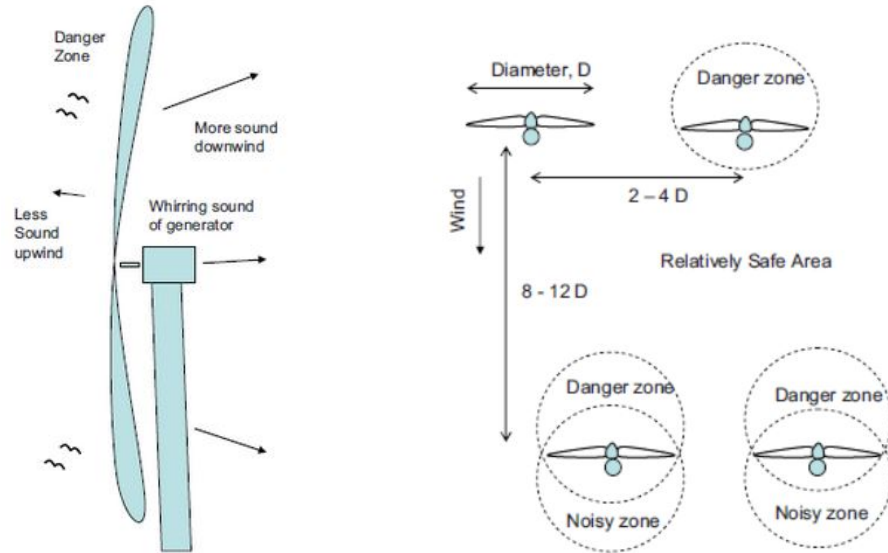
Dado tratar-se de um recurso humano, é possível gerir o número de ornitólogos conforme as necessidades, ajustando a distribuição pelo parque eólico em função da incidência de aves ou características ambientais do local. As vigias normalmente são auxiliadas com radar montado em zonas específicas. Na eventualidade de colisões, é também possível recuperar cadáveres para reduzir a incidência de predadores ou retirar qualquer causa alheia que atraia aves.

Relativamente à capacidade de vigilância, dependendo da geografia e distanciamento entre os aerogeradores, é possível vigiar uma vasta área do parque eólico. Conclui-se que é necessário um método para atuar nos aerogeradores ou dispersar as aves, visto que apenas se apresentam como um método de vigilância, no entanto, permitem detetar colisões, espécies e espécimenes.

2.1.4 Som

Os aerogeradores emitem sons de várias intensidades e frequências, mas como o som tem maior amplitude no sentido do vento, não há tanta percepção do som a montante (Figura 2.10a) [8]. Em contraste, o movimento das aves a jusante do vento apresenta o maior perigo, como exemplificado na Figura 2.10b, devido

à zona de percepção do ruído se apresentar perto do meio da zona de perigo do aerogerador.



(a) Propagação do som do aerogerador (b) Zonas de perigo dos aerogeradores

Figura 2.10: Zonas de ruído e de perigo [8]

Analisando um parque eólico (Figura 2.11), existem três zonas principais. A zona “A”, onde o som predominante é o de cada aerogerador, apresenta um perigo elevado de colisão devido à proximidade. A zona “B”, com menor proximidade aos aerogeradores, apresenta um perigo médio, o que pressupõe certos cuidados para desencorajar a movimentação de aves na área. Por último, a zona “C”, a mais distante das três zonas, é uma zona com nulo ou baixo perigo.

As aves apresentam a mesma sensibilidade sonora que os humanos, com maior ênfase na faixa de frequência dos [1-3] kHz, dependendo da espécie, com maior sensibilidade a sons com variação na frequência e ritmo tal como os seus piases.

Devido ao ruído de baixa frequência do funcionamento de um aerogerador, para as aves terem percepção de perigo, propõe-se a instalação de fontes sonoras nos aerogeradores. Devido à altura da torre do aerogerador, pressupondo uma grande distância entre a base e as pás, é também sugerida a colocação de fontes sonoras nas pontas das pás, idealmente uma fonte passiva de produção de som com a passagem do ar da rotação das pás.

Este som deve ser desagradável para as aves e/ou característico de sofrimento relativo à espécie em questão, replicado para todos os aerogeradores de forma a criar um padrão para aprendizagem das aves.

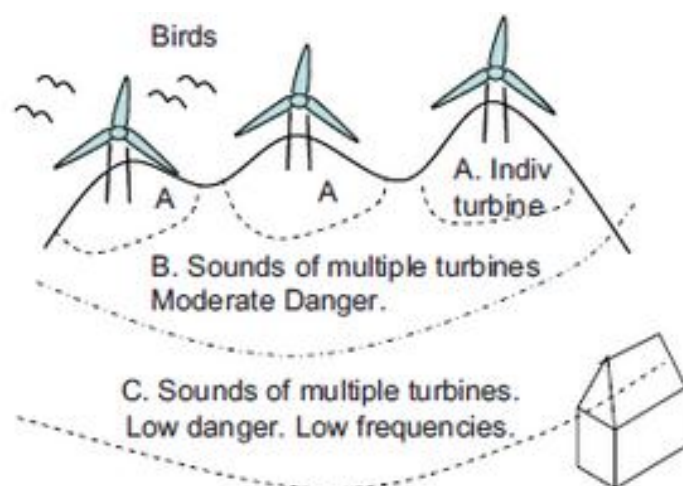


Figura 2.11: Exemplo da propagação do som num parque eólico

A utilização, de forma passiva, deste método implica uma fonte sonora em constante funcionamento para tentar o afastamento de aves numa área determinada, o que pressupõe ruído desnecessário. De forma a diminuir ruído desnecessário, propõe-se uma utilização ativa em conjunto com um sistema de deteção de aves, pois este não possui essa capacidade.

Dos pontos definidos como objetivos da análise, este método apenas possui a capacidade de prevenir colisões caso o som consiga afetar o comportamento das espécies incidentes na área, afastando-as. Relativamente à capacidade de vigilância, utilizando a abordagem passiva, seria necessário vários equipamentos por aerogerador. No caso da abordagem ativa, dependendo da geografia do parque eólico e da capacidade de propagação e intensidade do som emitido, pode ser utilizado um equipamento por grupos de aerogeradores.

2.1.5 Modificações de Habitat

O controlo da fauna da área do parque eólico permite manipular a afluência de aves alterando fatores do meio envolvente [17].

A espécie e altura das ervas influencia o tipo de espécies de aves propício a frequentar o meio e, conseqüentemente, predadores dessas mesmas espécies. Manipulando esses fatores é possível criar, nas áreas distantes do parque eólico, zonas que atraiam as aves e evitem, assim, a afluência no parque eólico [17].

Esta metodologia foi utilizada com sucesso pelo *Scottish Natural Heritage*, entre 1994 e 1997, para evitar a afluência do ganso-de-bico-curto (*Anser brachyrhynchus*) em zonas agrícolas [17]. No estado Americano do Dakota do Norte

utilizou-se o sacrifício de uma plantação de girassol (*Helianthus annuus*) numa zona secundária para evitar a afluência de aves na plantação principal [17].

A eliminação de todo o alimento presente na área do parque eólico tende a reduzir a afluência de aves [17] e, conseqüentemente, também evita a atração de predadores [18][19].

Um dos problemas deste método é que não é possível atribuir uma percentagem de sucesso na redução de incidência de aves por controlar um ou mais fatores anteriormente descritos, desta forma é necessário continuar a implementação da metodologia de forma a não regredir [20].

Conclui-se que apenas existe a possibilidade deste método reduzir a incidência de aves indiretamente, controlando fatores da fauna, sem possibilidade de prever a taxa de sucesso.

2.1.6 Visibilidade do Aerogerador

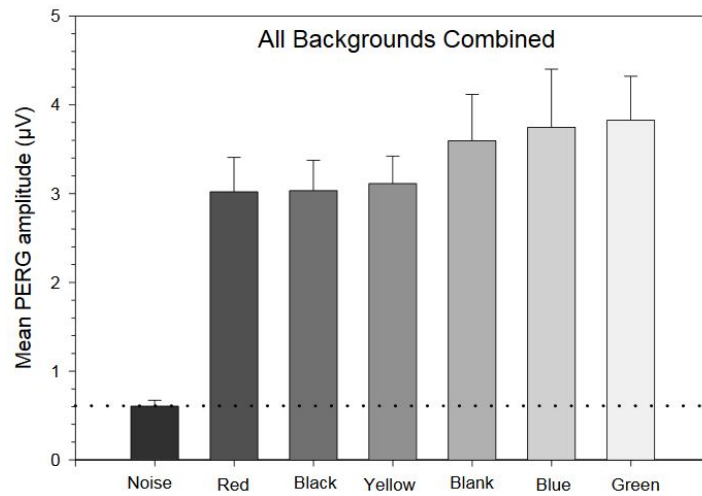
A visibilidade dos aerogeradores pode ser intensificada com o uso de padrões e cores nas pás do aerogerador. Estudos em laboratório [21] [9] demonstram resultados positivos para aumento da percepção das pás do aerogerador pelas aves (Figura 2.12c).

Nos estudos mediu-se a função da retina através da percepção da visibilidade da pá, efetuando o teste oftalmológico eletrofisiológico *Pattern Electoretinogram* (PERG), obtendo, desta forma, variações consoante o contraste na retina e o foco da imagem. Por exemplo, pás brancas geram um menor PERG devido ao menor contraste com o fundo comparativamente a pás com riscas que apresentam 100 % contraste [9]. Utilizou-se para o teste um Falcão Americano (*Falco Sparverius*) com uma lente a focar as pás nas suas retinas devido à ave encontrar-se anestesiada logo impossibilitada de focar a própria retina. Para a medição do PERG, utilizou-se um eléctrodo de platina em cada pálpebra, na zona superior para que exista bom contacto com a esclera (parte envolvente da retina, parte branca no caso do ser humano), e um terceiro eléctrodo na pele do crânio, para servir de neutro para a medição. Para obter a máxima amplitude da medição é necessário que a rotação de pás esteja centrada com a fóvea central. As medições foram feitas com um cenário que em proporção representa um aerogerador 20 m de diâmetro de rotor a aproximadamente 17 m de distância, com a pá a 130 *degree visual angle* (dva)/° que é a velocidade máxima em que os padrões atingem o máximo de visibilidade com o fundo branco [9].

Conclui-se que este método permite prevenir, indiretamente, colisões com os aerogeradores sempre que os padrões afetem e alertem as espécies incidentes.



(a) Fundo com céu azul escuro e chão seco (b) Fundo com céu azul claro e chão verde



(c) Resultados dos testes de cores nos fundos 2.12

Figura 2.12: Teste de cores [9]

2.1.7 Construção e Repowering de Parques Eólicos

Na construção de um parque eólico é tido como objetivo colocar os aerogeradores em locais em que se verifique potencial eólico elevado de forma a maximizar a produção de energia. Estas localizações podem coincidir com zonas de alta densidade de aves, rotas de migração, zonas com bastante alimento ou zonas de ninhos, criando problemas com a fauna envolvente [22] [23].

Um dos métodos usados para avaliar o risco de colisão é o modelo Band [24] que contempla fatores como altura do voo, comportamento de desvio das aves, tamanho da ave comparativamente à envergadura e características do aerogerador.

Para situações de aves planadoras existe um modelo [25] que utiliza informação dos túneis de vento verificados nos locais, conjuntamente com dados topográficos, para prever quais os locais com maior probabilidade de passagem de aves

planadores, averiguando assim quais locais a evitar colocar aerogeradores.

O *repowering* de um parque eólico, benéfico à prevenção de colisões, consiste na substituição dos aerogeradores antigos por uns mais recentes, mais altos, mais eficientes e com maior potência, reduzindo o número de aerogeradores do parque eólico necessários para atingir a potência contratualizada do parque eólico. A substituição resulta num aumento de distância entre aerogeradores [26][20]. Estudos realizados na Califórnia (EUA), após o *repowering*, averiguaram que a mortalidade baixou 54 % no caso de grifos e 64 % em aves de pequeno porte.

Conclui-se que estes métodos passivos permitem apenas prevenir de colisões.

2.1.8 Restrição do Funcionamento do Aerogerador

A restrição do funcionamento do aerogerador permite que em certas condições meteorológicas, horas do dia ou estações do ano [27], o aerogerador seja parado ou a velocidade das pás seja limitada pelo ângulo de *pitch*, evitando assim colisões com as pás em movimento no caso da paragem do aerogerador ou evitando colisões com as pás em grande velocidade no caso da limitação do ângulo de *pitch* das pás. Este método é suportado em modelos de risco de colisão ao invés de apenas situações de risco de colisão, o que pressupõe um maior período de paragem do aerogerador e, conseqüentemente, uma maior perda de produção de energia.

Num caso de estudo na Califórnia (EUA) conclui-se que a paragem dos aerogeradores durante o inverno reduziu as fatalidades, da espécie Coruja-Buraqueira (*Athene cunicularia*), em cerca de 35 % e provocando uma redução de 14 % na produção anual de energia [27].

Conclui-se que, com este método, apenas existe a possibilidade de prevenir, indiretamente, colisões. Esta incerteza, coligada com a paragem de longa duração do aerogerador, acaba por se tornar num processo pouco eficiente, na medida em que está inerente uma grande perda de produção de energia que pode ser provocada sem razão aparente.

2.2 Análise e Comparação

A avaliação dos sistemas baseia-se nas capacidades de:

- Prevenção da colisão de aves;
- Detecção de colisões;
- Detecção das espécies das aves incidentes e número aproximado;
- Vigia de aerogeradores.

Tabela 2.1: Análise dos sistemas

Sistema	A	B	C	D
Radar vigilância 2.1.1	√ (ativa)	x	x	√
Radar <i>tracking</i> 2.1.1	√ (ativa)	x	x	√
TADS 2.1.2.1	√ (ativa)	√	√*	x
VARs 2.1.2.2	√ (ativa)	na	na	x
DT-Bird 2.1.2.3	√ (ativa)	√	na	x
Câmara luz visível 2.1.2.4	√ (ativa)	na	√*	√
Ornitólogos 2.1.3	√ (ativa)	√	√	√
Fonte sonora 2.1.4	√(ativa)	x	x	√*
Fonte sonora 2.1.4	√(passiva)	x	x	x
Modificações <i>habitat</i> 2.1.5	√ (passiva)	x	x	x
Visibilidade 2.1.6	√ (passiva)	x	x	x
Construção/ <i>Repowering</i> 2.1.7	√ (passiva)	x	x	x
Restrição do funcionamento 2.1.8	√ (passiva)	x	x	x

√ - Possui capacidade

x - Não possui capacidade

* - Depende do equipamento utilizado

na - Não existe referência à capacidade

Colunas:

A - Prevenção da colisão (ativa ou passiva)

B - Detecção de colisão

C - Detecção de espécies e espécimes

D - Capacidade de vigia de vários aerogeradores

Analisando as capacidades dos diferentes sistemas na Tabela 2.1:

- A utilização de radares (Capítulo 2.1.1) permite a vigilância de vários aerogeradores ou até de vários parques eólicos, caso estejam dentro do alcance, mas não conseguem distinguir alvos, nem detetar colisões;
- Os métodos de videovigilância apresentam várias alternativas (Capítulo 2.1.2), mas com várias capacidades não mencionadas nos estudos. Este facto em conjunto com a restrição de vigia de apenas um aerogerador, à exceção do método com câmara de luz visível, resulta na necessidade de um número elevado de equipamento;
- O método de ornitólogos cumpre todos os objetivos;
- A utilização de fontes sonoras, passivamente e/ou ativamente, previne a colisão das aves em certas condições atmosféricas, no entanto, não cumpre os restantes objetivos;
- As modificações de *habitat*, apesar de ser um método de prevenção de colisão, não oferece garantias de funcionamento e, adicionalmente, tem necessidade de manutenção ao longo do tempo;
- O aumento da visibilidade do aerogerador permite apenas tenta alertar as aves da presença do aerogerador, dependendo de condições atmosféricas;

- O planeamento durante a construção ou *repowering* do parque eólico contribui para a diminuição de colisões;
- A restrição do funcionamento do aerogerador limita o seu funcionamento independentemente da existência de aves, originando indisponibilidade de produção.

2.3 Conclusão

Consoante a área geográfica do parque eólico e localização dos aerogeradores, existem vantagens em certos métodos capazes de mitigar colisões e de diminuir a incidência de aves. Relativamente aos métodos passivos, dividem-se em alterações geográficas do parque eólico ou de zonas adjacentes, ou alterações aos aerogeradores, dependente de variáveis como condições atmosféricas e espécies de aves, mas sem garantia de sucesso. De todos os métodos analisados na Tabela 2.1, conclui-se que o método dos ornitólogos é a melhor solução. A versatilidade de se tratar de um recurso humano permite ajustar o seu número, gerir as posições de vigia conforme o necessário, gerir qualquer situação propícia à atração de aves e contactar entidades responsáveis no caso de alguma anomalia. Utilizando binóculos e sistemas de vigilância como radares, em conjunto com um sistema capaz de enviar comandos e receber medições dos aerogeradores, permite cumprirem com todas as capacidades objetivas. O sistema deve ser rápido, intuitivo para o caso de alguma rotação dos ornitólogos e compatível para qualquer dispositivo. No próximo capítulo é abordado o desenvolvimento.

Capítulo 3

Conceção e Desenvolvimento

O sistema a utilizar pelos ornitólogos deve ser intuitivo, compatível com diversos dispositivos, rápido e fornecer informação em tempo real. A comunicação com o sistema SCADA do parque eólico é feita através de *standards* industriais de comunicações OPC-DA, permitindo a comunicação entre vários sistemas de diferentes fabricantes. O sistema deverá interagir com parques eólicos de Portugal e Espanha, contando com integração de 219 aerogeradores em 17 parques eólicos, com tradução para Português, Espanhol e Inglês.

3.1 Casos de Uso

Analisando todos os possíveis utilizadores (Figura 3.1), conclui-se que existem três tipos:

- Operadores - têm acesso aos parques eólicos definidos, capacidade de atuação nos aerogeradores desses parques eólicos e acesso ao relatório dos seus comandos enviados;
- Supervisores - têm acesso a todos os relatórios de comandos dos parques eólicos definidos nos acessos e relatório de impacto da Avifauna;
- Administradores - têm acesso a todos os parques eólicos do país, gestão de utilizadores, relatório de atuações nos parques eólicos do país e relatório do impacto da Avifauna

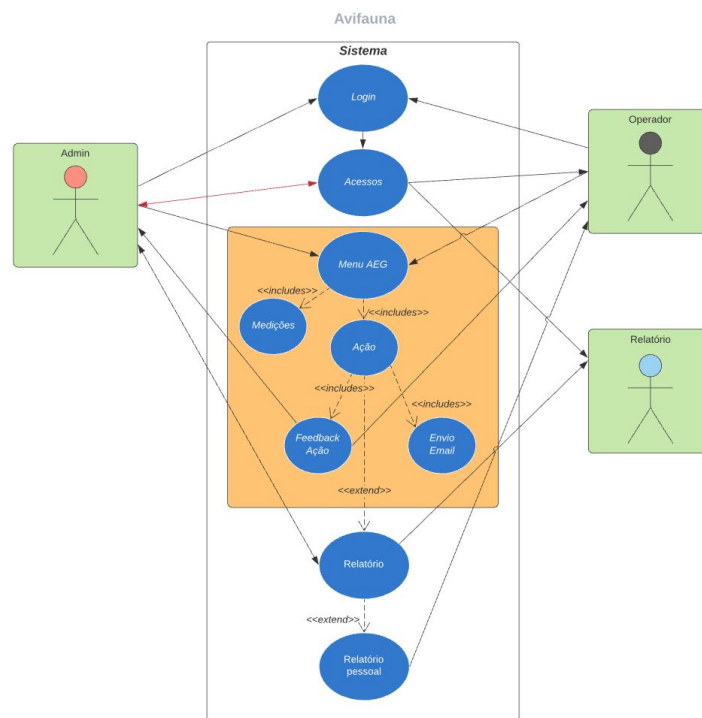


Figura 3.1: *Use cases*

O sistema possui as funcionalidades:

- Login - acesso do utilizador ao sistema:
 - Leitura da chave (**token**) que serve de validação do utilizador;
 - Leitura dos acessos definidos para cada utilizador;
 - *Login* persistente durante 12 h.
- Gestão de utilizadores:
 - Criação de novos utilizadores (apenas para administradores);
 - Modificação de acessos (apenas para administradores);
 - Modificação da própria senha.
- Menu - navegação entre menus de comandos de parques eólicos;
 - Envio de comandos a aerogeradores;
 - Envio de comandos a grupos de aerogeradores;
 - Informação do estado e medição do anemómetro dos aerogeradores em tempo real.

- Relatórios:
 - Relatório de comandos;
 - Relatório da Avifauna.
- Grupos de aerogeradores:
 - Criação;
 - Modificação;
 - Eliminação.

3.2 Especificação do Sistema

De forma a tornar o sistema compatível com vários equipamentos e sistemas operativos, desenvolveu-se em aplicação *Web*.

A aplicação *Web* é constituída por:

- *Front-end*:
 - JavaScript - criação de conteúdo dinâmico;
 - HTML - estrutura do conteúdo *Web*;
 - CSS - estilo da página *Web*.
- *Back-end*:
 - Base de dados MongoDB;
 - JavaScript;
 - Cliente OPC;
 - *Driver* base de dados em tempo real OSI-PI em C#.

Das *frameworks* analisadas de JavaScript, tendo como objetivo o desempenho, versatilidade e documentação, conclui-se que o Vue.js [28] apresenta-se como a melhor opção. As funcionalidades do Vue.js utilizadas no projeto são:

- Construção de componentes num único ficheiro contendo HTML, Javascript e CSS e reutilização desses mesmos;
- **State** que permite guardar variáveis globais, embora com funções específicas de leitura (**getters**) e escrita (**mutations**) para que exista sincronismo e não seja feita uma leitura aquando de uma escrita;

- **Lifecycle hook** que permite executar componentes aquando de certas ocorrências da página *Web* como, por exemplo, na navegação entre páginas/menus;
- **Computed properties and watchers** que permitem atuar funções quando surge um evento de uma variável alterar o valor.
- **Routing** que permite definir as rotas possíveis, sub-rotas e componentes correspondentes, bloqueios de acesso, navegação automática, utilização de **queries** e execução de funções antes da navegação.

Para o CSS, que é responsável pela estilização da página *Web*, utilizou-se o Vuetify [29], uma *framework* para o Vue.js. O Vuetify já possui exemplos de componentes para facilitar o desenvolvimento da aplicação *Web*.

Para a base de dados utilizou-se o MongoDB (base de dados não relacional *Not only SQL* (NoSQL) - orientada a documentos) com as seguintes características:

- Cada registo pode ser um JavaScript Object Notation (JSON), que é um formato compacto padronizado, ou um Binary JavaScript Object Notation (BSON), útil para análise de grandes quantidades de dados embora ocupe mais memória que o JSON;
- Não possui uma estrutura fixa de dados;
- Documentação abundante e grande comunidade;
- *Open-source*.

O *Back-end* foi desenvolvida em Node.js. Possui a capacidade de atender vários pedidos *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) em simultâneo com apenas uma **thread**, grande comunidade e documentação disponível, capacidade de integração da base de dados MongoDB, através do **node package mongoose**, e a utilização do formato JSON.

Para o servidor *Web* é utilizado o *Internet Information Services* (IIS) da Microsoft, onde é configurado o certificado *Secure Socket Layer* (SSL) que garante a encriptação de dados na comunicação pelos pedidos HTTP (*Hypertext Transfer Protocol Secure* (HTTPS)). Todos os pedidos HTTPS são feitos pelo porto 443, mantendo o tráfego todo no mesmo porto, bloqueando os restantes.

O reencaminhamento é feito com *reverse proxy*, com opção **SSL Offloading** que remove a encriptação do HTTPS permitindo o redirecionamento de pedidos HTTPS para HTTP, convertendo os pedidos com destino ao *Uniform Resource Locators* (URL) `HTTPS://*URL_Front-End*/back-end/` para o *Back-end*. Na resposta do *Back-end* ao pedido, é feito o processo inverso, convertendo o URL no original.

A utilização do *reverse proxy* permite também mascarar o IP do *Back-end* no pedido.

Para o *Back-end* é utilizado o gestor de processos PM2 [30], permitindo monitorizar os processos, reiniciar automaticamente em caso de erros, criação de ficheiros de eventos e configurações de arranques automáticos.

3.3 Formato dos Dados

Na base de dados existem 5 tipos de registos (Figura 3.2):

- Definições do utilizador;
- Definições do parque eólico;
- Registos de comandos;
- Registos para análise do impacto da Avifauna;
- Lista de espécies de aves.

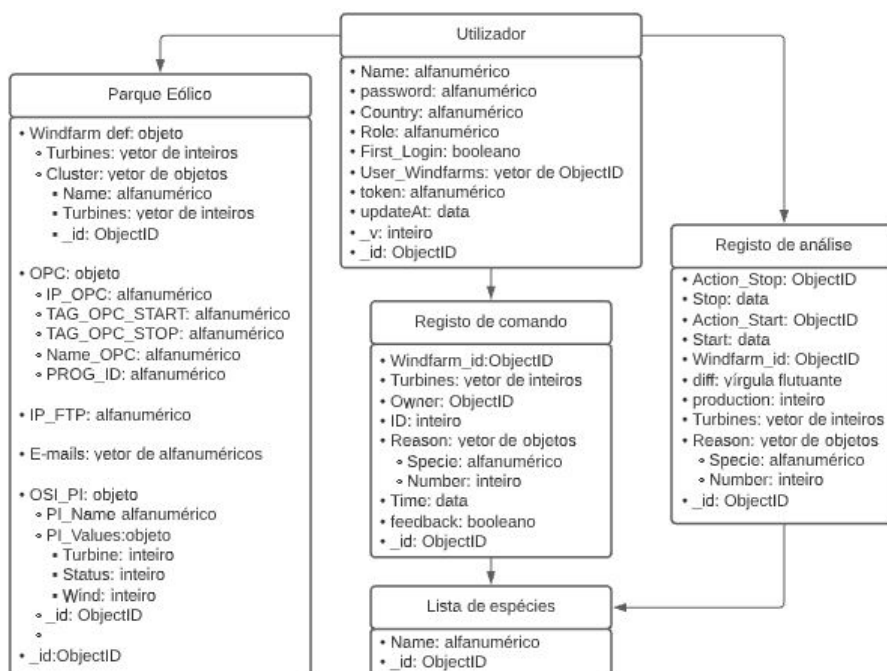


Figura 3.2: Diagrama dos tipos de dados

As definições do utilizador possuem os seguintes campos:

- Name (alfanumérico) - nome do utilizador;

- `password` (alfanumérico) - senha encriptada;
- `Role` (alfanumérico) - nível de acesso do utilizador;
- `Country` (alfanumérico) - país referente ao utilizador (define também a tradução da aplicação *Web*);
- `First_login` (booleano) - *true* caso o utilizador ainda não tenha feito o primeiro *login*;
- `User_Windfarms` (vetor de `ObjectID`) - identificadores dos registos de parques eólicos configurados no utilizador;
- `token` (alfanumérico) - chave para validação do utilizador no *Back-end*;
- `updateAt` (data) - data da última atualização feita ao registo;
- `_v` (inteiro) - número de alterações feitas ao registo;
- `_id` (`ObjectID`) - identificador único do registo.

Relativamente às definições do parque eólico:

- `Windfarm_def` (objeto) - características do parque eólico:
 - `Name` (alfanumérico) - nome do parque eólico;
 - `Turbines` (vetor de inteiros) - vetor que contém a numeração dos aerogeradores;
 - `Cluster` (vetor de objetos) - características dos grupos de aerogeradores:
 - * `Name` (alfanumérico) - nome do grupo;
 - * `Turbines` (vetor de inteiros) - vetor que contém as numerações dos aerogeradores pertencentes ao agrupamento;
 - * `_id` (`ObjectID`) - identificador único do registo do grupo.
- `OPC` (objeto) - características do protocolo OPC:
 - `IP_OPC` (alfanumérico) - IP do servidor do protocolo OPC;
 - `TAG_OPC_Start` (alfanumérico) - *tag* de arranque protocolo OPC;
 - `TAG_OPC_Stop` (alfanumérico) - *tag* de paragem protocolo OPC;
 - `Name_OPC` (alfanumérico) - *tag* OPC do nome do parque eólico;
 - `PROG_ID` (alfanumérico) - *hostname* do servidor OPC.
- `IP_FTP` (alfanumérico) - IP do servidor *File Transfer Protocol* (FTP) do parque eólico;

- E-mails (vetor de alfanuméricos) - lista de endereços de *e-mail* a receber informação sobre comandos efetuados;
- Country (alfanumérico) - país do parque eólico;
- OSI_PI (objeto) - características do OSI-PI:
 - PI_Name (alfanumérico) - nome do parque eólico na base de dados OSI-PI;
 - PI_Values: (vetor de objetos) - vetor de objetos com valores em tempo real dos aerogeradores:
 - * Turbine (inteiro) - número do aerogerador;
 - * Status (inteiro) - número que indica qual o estado do aerogerador em tempo real;
 - * Wind (inteiro) - medição em tempo real do anemómetro do aerogerador.
- _id (ObjectID) - identificador único do registo.

Relativamente aos registos de comandos:

- Windfarm_id (ObjectID) - identificador único do parque eólico;
- Turbines (vetor de inteiros) - vetor com os números dos aerogeradores contidos no comando;
- Action (alfanumérico) - comando a ser efetuado (arranque/paragem);
- Owner (ObjectID) - identificador único do utilizador que enviou o comando;
- ID (inteiro) - número do registo;
- Reason (vetor de objetos) - vetor de objetos com informação sobre o motivo da paragem (espécies e espécimenes)(só em caso de paragem);
 - Specie (alfanumérico) - nome da espécie avistada;
 - Number (inteiro) - número de espécimenes.
- Time (data) - data da receção do comando;
- feedback (booleano) - *feedback* do comando enviado;
- _id (ObjectID) - identificador único do registo.

Relativamente aos registos de análise da Avifauna:

- **Action_Stop** (ObjectID) - identificador do registo de paragem do aerogerador;
- **Stop** (data) - data do comando de paragem;
- **Action_Start** (ObjectID) - identificador do registo de arranque do aerogerador;
- **Start** (data) - data do comando de arranque;
- **Windfarm_id** (objectID) - identificador do registo do parque eólico;
- **diff** (vírgula flutuante) - intervalo de paragem entre paragem e arranque do aerogerador;
- **production** (inteiro) - valor estimado de produção de energia durante a paragem do aerogerador;
- **Turbines** (vetor de inteiros) - vetor com identificadores dos aerogeradores;
- **Reason** (vetor de objetos) - vetor de objetos com informação sobre motivo da paragem;
 - **Specie** (alfanumérico) - espécie;
 - **Number** (inteiro) - número de espécimenes.
- **_id** (ObjectID) - identificador único do registo.

Relativamente à lista de espécies de aves:

- **Name** (alfanumérico) - espécie;
- **_id** (ObjectID) - identificador único do registo.

3.4 Diagrama de Rede

O sistema Avifauna (Figura 3.3) usa como base de dados o MongoDB. O sistema coneta ao servidor SMTP, responsável pelo envio de *e-mails*, e faz pedidos à base de dados em tempo real OSI-PI. Tanto o sistema SCADA como o servidor OPC são instalados pelo fabricante de aerogeradores. O servidor OPC serve de ponte entre o cliente OPC e o SCADA. A utilização do protocolo OPC-DA permite que qualquer cliente comunique com o servidor, mesmo desconhecendo os protocolos entre o servidor e o SCADA, facilitando a integração de sistemas.

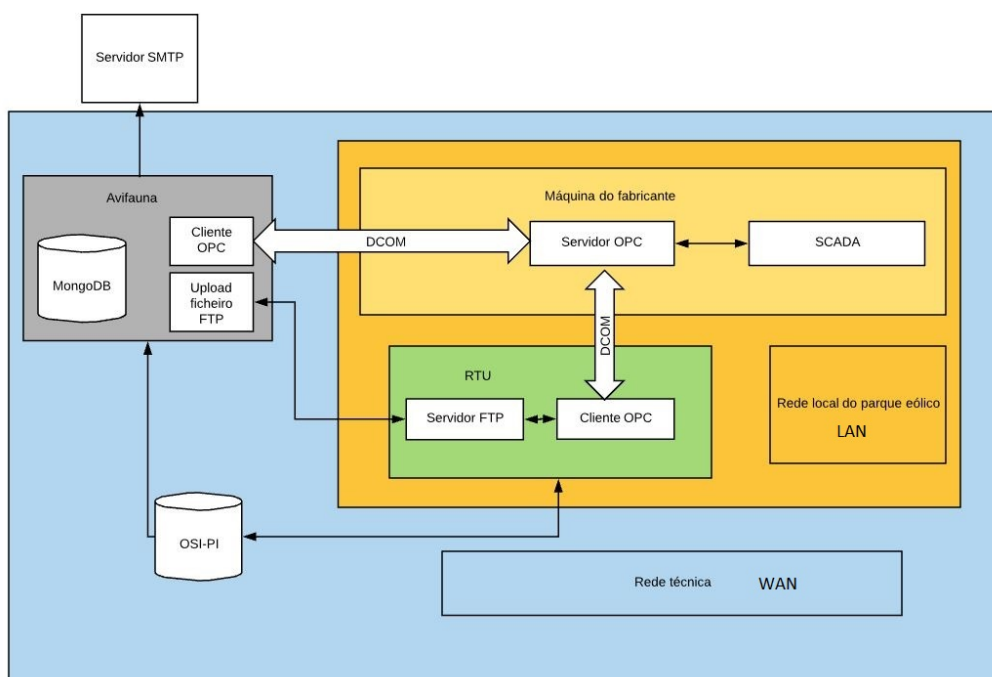


Figura 3.3: Diagrama de rede

Para efetuar comandos aos aerogeradores é necessário atuar no sistema SCADA e isso é possível utilizando o método FTP/OPC e/ou o método OPC.

No método OPC utiliza-se o protocolo de comunicações OPC-DA, que funciona no modelo cliente-servidor. O método necessita do protocolo *Distributed Component Object Model* (DCOM) da Microsoft [31] no caso de estar em máquinas diferentes. O DCOM é um protocolo *Remote Procedure Call* (RPC) que, tal como o nome indica, permite executar, remotamente, processos de uma outra máquina. O cliente OPC utiliza o DCOM para executar o processo do servidor OPC, escrevendo a *tag* do comando pretendido. Posteriormente o servidor OPC envia o comando para o sistema SCADA do parque eólico. O DCOM tem como requisitos a utilização do mesmo utilizador e senha Windows, tanto no cliente como no servidor, a utilização de um intervalo de portos de forma dinâmica e a necessidade de bastante largura de faixa. Em alguns parques eólicos não se utiliza este método devido à baixa largura de faixa disponível na rede técnica Wide Area Network (WAN).

No método FTP/OPC é carregado um ficheiro de texto com os comandos para um servidor FTP. Na receção do ficheiro de texto no servidor, é executado o método OPC descrito anteriormente. A diferença entre ambos é que no método FTP/OPC a largura de faixa consumida na rede advém apenas do envio do ficheiro de texto para o servidor FTP. Uma vez que o servidor FTP, o cliente

OPC e o servidor OPC estão instalados na *Remote Terminal Unit* (RTU) (Figura 3.3), conectados à mesma Local Area Network (LAN) por um *switch*, torna-se vantajoso devido a não consumir a largura de faixa da WAN. Todos os parques eólicos utilizam este método.

3.5 Avifauna

As bibliotecas utilizadas são:

- *Front-end*:
 - `vue-router` - definição das possíveis rotas na aplicação *Web* assim como regras de acesso;
 - `vue-excel-xlsx` - criação de ficheiros Microsoft Excel;
 - `vue-chart.js` - criação de gráficos;
 - `axios` - cliente HTTP.
- *Back-end*:
 - `bcrypt.js` - encriptação de dados;
 - `Express.js` - *framework* para desenvolvimento do servidor HTTP [32];
 - `cors` - *middleware* para Express.js;
 - `jsonwebtoken` - criação e validação de chaves encriptadas para validação da sessão dos utilizadores;
 - `mongoose` - biblioteca para integração da base de dados MongoDB;
 - `nodemailer` - envio de *e-mails* através de um servidor SMTP;
 - `ftp` - interação com servidor FTP;
 - `PsExec` - execução de processos em Windows;
 - OPC - Cliente OPC.

3.5.1 Funcionalidades Gerais

3.5.1.1 Pedidos HTTP

Para além do pedido HTTP com encriptação (HTTPS), no corpo do pedido é também utilizado o `token` que valida a sessão do utilizador. Embora o protocolo HTTP possua um cabeçalho de autenticação (*Authorization*) para o envio do `token`, devido à utilização da Avifauna com recurso a VPN, o `token` é enviado no corpo do pedido de forma a evitar modificações ao cabeçalho.

Os pedidos HTTP são feitos com o `node package axios` (Capítulo 3.5). O `node package axios` suporta vários *browsers*, permite definir intervalos máximos de resposta (`timeout`) HTTP e converte os dados da resposta para o formato JSON.

3.5.1.2 Tradução

A aplicação *Web* possui tradução para Português, Espanhol e Inglês.

Cada página da aplicação *Web* possui componentes com campos de texto, `labels` ou texto pré-definido em caixas de entrada de texto. Na navegação da aplicação *Web* é despoletada uma função, antes de carregar a nova página requerida pelo utilizador, pela `lifecycle hook beforeCreate`. Consoante o país definido no utilizador, a função carrega um vetor com os vários textos contidos na página requerida com a tradução. Todas as traduções estão configuradas no `State` do `Vue.js`. A função despoletada é do tipo `getters` para obter as traduções do `State`.

3.5.1.3 Notificações Front-end

O componente principal contém três sub-componentes responsáveis pela representação de erros, eventos e falhas de comunicação ao utilizador. Esses sub-componentes são atuados com `computed properties`. Quando é recebido um erro ou evento, a `computed property` ativa o respetivo sub-componente, notificando o utilizador (Figura 3.4). Está configurado um `timeout` para a notificação permanecer na página durante uns segundos, com opção de fechar manualmente. A origem dos erros e eventos pode ser do *Front-end* ou *Back-end*. No caso de erros provenientes do *Back-end*, estes são obtidos nas respostas dos pedidos `HTTP`, contendo o `status` da resposta `HTTP` “66*” e uma variável com o descritivo do erro caso necessário. A notificação de falha de comunicação é gerada na falha de um pedido pelo `axios` que possua o indicativo de erro de falha de comunicação. De forma que o utilizador obtenha constante conhecimento de falhas de comunicação, antes de fazer qualquer pedido ao *Back-end*, a cada 10s, é feito um pedido para verificação do estado das comunicações.

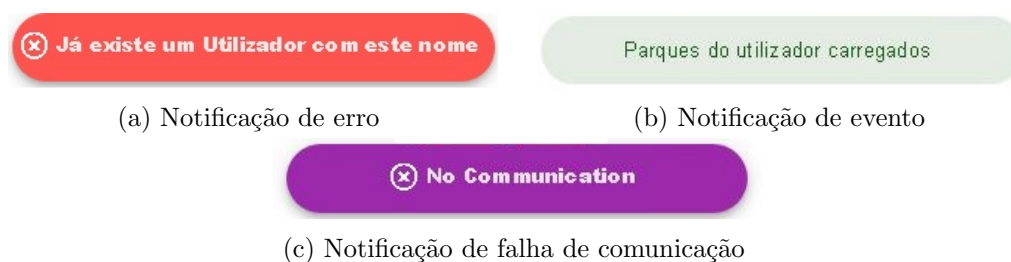


Figura 3.4: Notificações da página *Web*

3.5.2 Autenticação

O acesso inicia-se com a página do *login* (Figura 3.5). A página é constituída por dois componentes de entrada de texto, nome de utilizador e senha, e um botão

para o envio do pedido com a informação ao *Back-end*. Independentemente da resolução do dispositivo, a página tem o mesmo aspecto, apenas ajustando a largura e altura dos componentes.

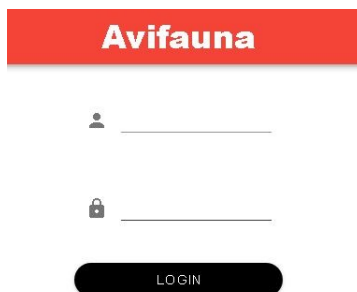


Figura 3.5: Menu login

O algoritmo do *Back-end* (Algoritmo 1) pesquisa na base de dados um registo de utilizador com o nome de utilizador recebido e, posteriormente, compara as duas senhas, a submetida que é recebida em texto não encriptada e a encriptada do registo da base de dados. Utilizando a biblioteca `bcrypt.js` do *Back-end*, as senhas são comparadas. Caso exista equivalência, é gerado um `token` codificado em HMAC SHA256, com o identificador do utilizador (Capítulo 3.3) e com uma chave privada, possuindo uma validade de 12 h.

Com o sucesso do *login*, o utilizador recebe o `token` e o objeto `user` (Capítulo 3.3). Essa informação é gravada no *Document Object Model* (DOM) do *browser* para que, quando se fecha a aplicação *Web* e se tente conetar novamente, caso com `token` ainda válido, o *login* seja automático e seja feita nova leitura dos acessos. Qualquer *refresh* efetuado resulta num novo pedido de leitura de acessos. A partir desta etapa, qualquer pedido enviado ao *Back-end* necessita do envio do `token` para validação da sessão do utilizador (Algoritmo 2). A função de validação, com o `token` recebido e com a chave privada, descripta e obtém o identificador do utilizador. Após pesquisar pelo utilizador ao qual pertence o identificador, verifica se lhe foi atribuído o `token` recebido. Caso exista correspondência, o utilizador é autenticado e é prosseguido com o pedido.

Terminado o processo de *login*, obtém-se no *Front-end* o menu inicial (Figura 3.6b) com um cabeçalho fixo `navigation-drawer` (Figura 3.6a) que possibilita a navegação, consoante o seu acesso, na aplicação *Web* e o menu de paragem de parques eólicos.

O pedido de desconexão do utilizador elimina toda a informação guardada no DOM do *browser* e envia um pedido ao *Back-end* para eliminar o `token` da base de dados MongoDB.

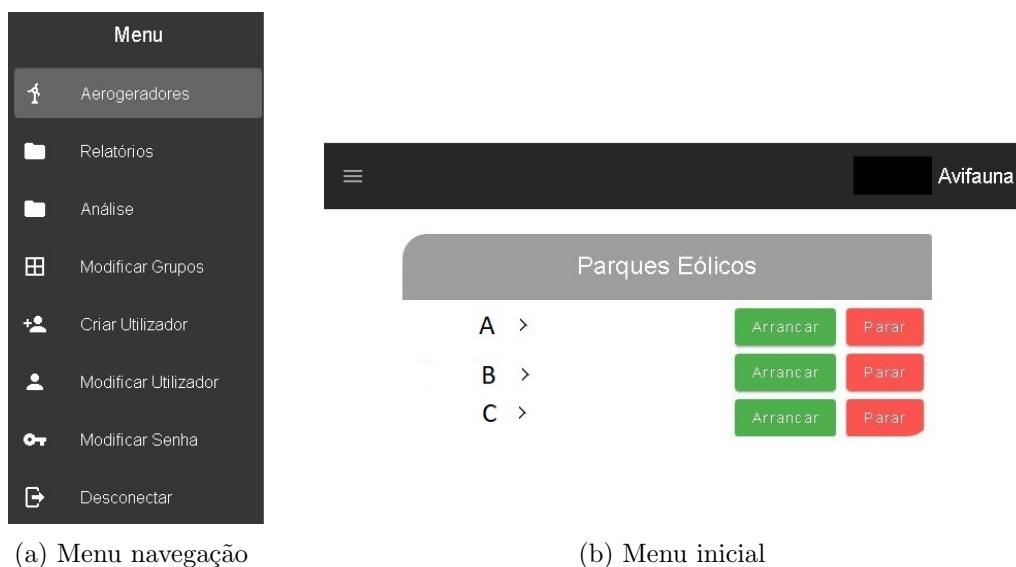


Figura 3.6: Menu de comandos

3.5.3 Interação com os Aerogeradores

Na página inicial (Figura 3.6b) está presente o componente com a opção de enviar comandos globais (todos os aerogeradores) aos parques eólicos. A razão deste componente é que em situações de extrema urgência de atuação num parque eólico, após o *login*, seja possível comandá-lo.

De forma a evitar erros de comando, existe sempre uma validação da ação que se pretende efetuar (Figura 3.9c) contendo referência ao nome do parque eólico e à numeração dos aerogeradores.

No componente são representados todos os parques eólicos a que o utilizador tem acesso, com botões para o envio dos comandos globais. No envio do comando, o *Back-end* valida o utilizador, cria o registo do comando na base de dados MongoDB e envia-o para o servidor OPC.

No caso do envio do comando de paragem, surge um menu (Figura 3.7) para inserção do motivo da paragem (espécies e número de espécimes).

O motivo da paragem (Algoritmo 4) é enviado para o *Back-end*, onde é criado um registo com esse motivo. Nesse envio está contido também o identificador do registo do comando que é incluído no registo do motivo.

Na página inicial (Figura 3.6b), carregando no nome de cada parque eólico, obtêm-se os menus específicos de comandos de cada parque eólico. O primeiro menu obtido é o de comandos de grupos de aerogeradores (Figura 3.8a). Carregando no botão “>” é obtido o menu de comandos individuais de aerogeradores (Figura 3.8b). Esta estrutura está criada desta forma uma vez que facilita a



The screenshot shows a web interface titled "Motivo da paragem". Below the title is a section labeled "Lista de Espécies" containing a table with two rows. The first row lists "Ciconia nigra" with a count of "2" and edit/delete icons. The second row lists "Gypaetus barbatus" with a count of "2" and edit/delete icons. Below the table is a form with a dropdown menu, a text input field containing "1", and a green circular button with a white plus sign. At the bottom is a green button labeled "Gravar".

Nome da Espécie	Quantidade	Ações
Ciconia nigra	2	[editar] [eliminar]
Gypaetus barbatus	2	[editar] [eliminar]

Forma de adição de nova espécie:
[dropdown] [input: 1] [botão +]

Botão de ação: Gravar

Figura 3.7: Motivo da paragem

operação, partindo do geral para o individual (comandos globais do parque eólico no menu principal, comandos de grupos de aerogeradores e, no fim, comandos de seleção individual de aerogeradores).

No menu dos grupos de aerogeradores (Figura 3.8a) obtêm-se os grupos definidos pelo utilizador, com o nome e enumeração dos aerogeradores. Na nomenclatura do número dos aerogeradores, a separação com travessão “-” indica o intervalo entre os números dos extremos, enquanto que a vírgula é apenas separação, tanto de números individuais como de intervalos. No menu individual (Figura 3.8b) é possível seleccionar individualmente aerogeradores e visualizar medições em tempo real, como o estado do aerogerador e medição do anemómetro.

Os dados em tempo real presentes no menu individual são atualizados por pedidos ao *Back-end*, enviando o nome do parque eólico. O *Front-end*, consoante o campo **Estado** recebido (codificação numérica), altera o texto do **status** e a cor do componente do aerogerador.



Figura 3.8: Menus de paragens dos aerogeradores

Tanto no menu dos grupos, como no menu de seleção individual de aerogeradores, a seleção é feita por botões. A seleção tem *feedback* pela alteração da cor dos botões e referência da seleção no canto inferior esquerdo da página *Web* (Figura 3.9). Após a seleção de um dos grupos, todos os aerogeradores pertencentes ao grupo passam a ter *feedback* no menu de seleção individual. Ao retirar a seleção individual de um dos aerogeradores pertencente ao grupo, implica que o grupo como um todo deixe de estar selecionado. Da mesma forma, se fizermos individualmente a seleção de todos os aerogeradores pertencentes a um grupo, o grupo passa a ficar automaticamente selecionado. Em qualquer um dos menus de seleção, os comandos também carecem de confirmação (Figura 3.9c).



Figura 3.9: Seleção dos aerogeradores

No menu dos grupos e dos aerogeradores individuais (Figura 3.8), existe um menu (Figura 3.10) para rapidamente navegar para os menus de grupos/aerogeradores individuais de outros parques eólicos.

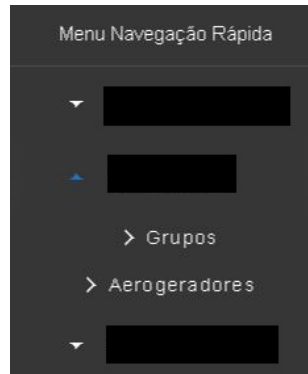


Figura 3.10: Menu de navegação rápida

3.5.3.1 Pedidos ao SCADA

O envio de comandos é feito pelo cliente OPC que envia a informação ao servidor OPC de forma a atuar no sistema SCADA.

O OPC-DA necessita de 7 variáveis para enviar o comando pretendido ao SCADA do parque eólico:

- IP_OPC - IP do servidor OPC;
- PROG_ID - hostname do servidor OPC;
- USER_OPC - utilizador da sessão Windows;
- PASS_OPC - senha da sessão Windows;
- *tags* - *tags* dos comandos a efetuar;
- Name_OPC - *tag* com nome OPC do parque eólico;
- Ordem - número da ordem.

O cliente OPC é desenvolvido em Visual Basic com uma biblioteca OPC-DA. Com o `node package PsExec`, é executado o terminal do Windows com o mesmo utilizador e senha definido no servidor OPC, tal como exige o DCOM. É então executado o cliente e como argumento uma variável alfanumérica contendo toda a informação do protocolo OPC-DA. Com a informação é feita uma tentativa de conexão ao servidor utilizando o IP e o ProgID. Após o sucesso da conexão, cada comando é escrito individualmente no servidor resultando um ficheiro de eventos

com informação sobre o sucesso da operação. Relativamente às *tags*, estas são específicas do parque eólico e da ação pretendida, sendo necessária uma para cada aerogerador que se pretende comandar.

Utilizando o método FTP/OPC (Capítulo 3.4), é enviado no corpo do ficheiro de texto (Algoritmo 6) a informação necessária.

3.5.3.2 Resposta do SCADA

De toda a comunicação entre o Avifauna, servidor FTP, cliente OPC, servidor OPC e SCADA (Figura 3.11), não é possível obter confirmação que o comando foi efetuado, apenas que o servidor OPC recebeu corretamente as *tags* dos comandos. As falhas de comandos podem resultar de encravamentos nos aerogeradores ou no SCADA, falhas de comunicação com o controlador do aerogerador ou erros do SCADA, mas sem se obter *feedback* no servidor OPC.

De ambos os métodos resulta um ficheiro de texto com os eventos. No método OPC esse ficheiro está presente num diretório da máquina da Avifauna enquanto que no método FTP/OPC está presente no servidor FTP, carregado após o fim do método. Os ficheiros são lidos no *Back-end* para informar o utilizador sobre o sucesso do envio do comando.

O nome do ficheiro contém o número da ordem e um **true** no caso de sucesso de envio do comando ou um **false** no caso de erro, evitando assim a necessidade de leitura do corpo do ficheiro, pois o utilizador não necessita de saber a especificidade do erro.

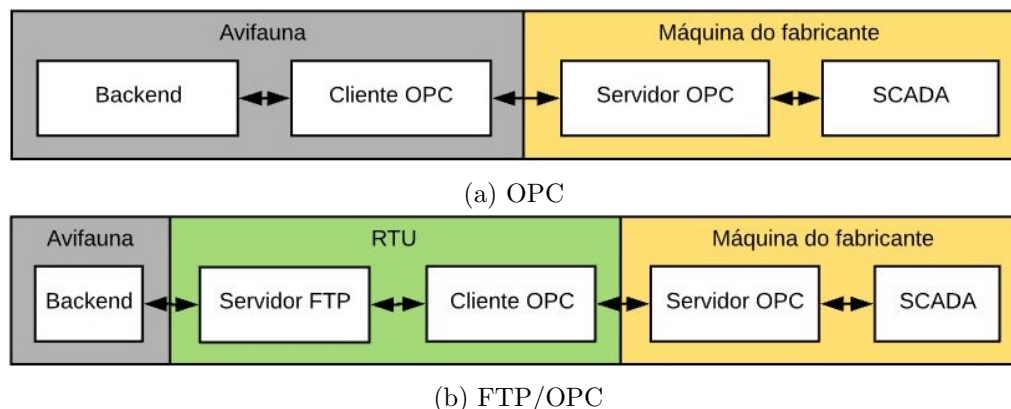


Figura 3.11: Métodos de envio de comando

Seguindo a ordem cronológica (Figura 3.12), o utilizador envia o comando pela aplicação *Web* que, utilizando o método FTP/OPC e/ou OPC, faz chegar o comando ao servidor OPC para atuar no SCADA. O *feedback* chega então ao *Back-end* através de um ficheiro de texto, é analisado e atualizado o campo

feedback do registo “Actions” do MongoDB (Capítulo 3.3). O campo *feedback* fica com o valor `true` ou `false` consoante o resultado.

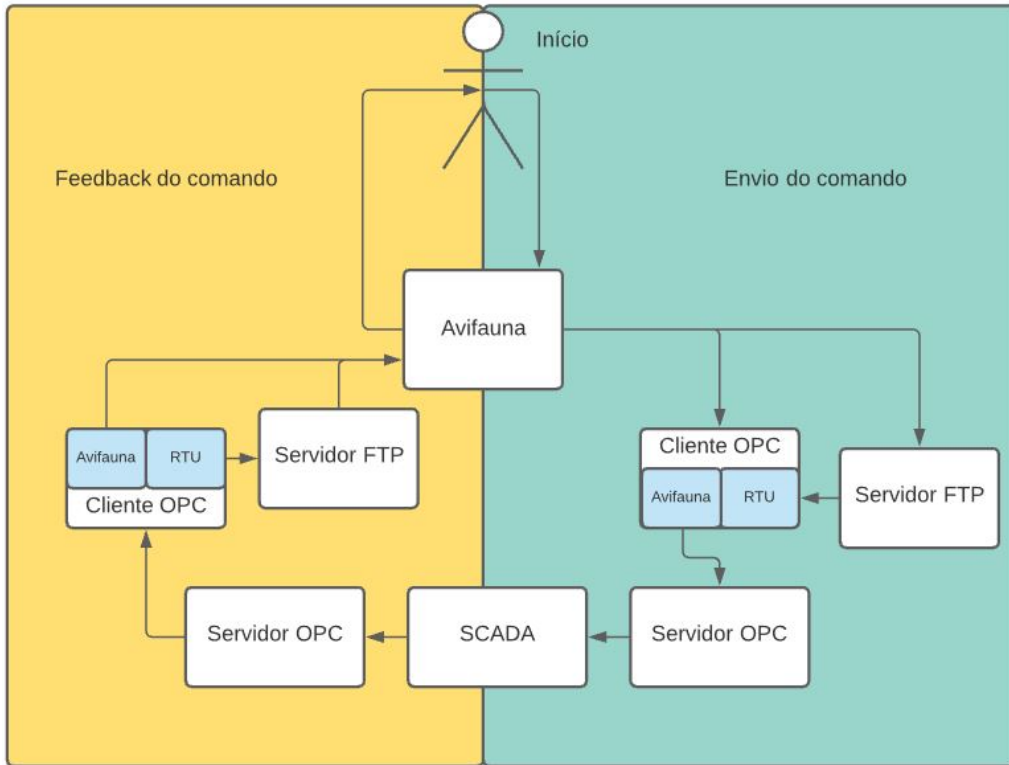


Figura 3.12: Cronologia da obtenção de *feedback*

A verificação dos ficheiros dos eventos, através do método OPC, é feita localmente num diretório da máquina Avifauna, utilizando a biblioteca `file system`. A verificação dos ficheiros dos eventos através do método FTP/OPC é semelhante, mas o diretório a pesquisar é no servidor FTP e, por isso, utiliza o `node package FTP` que obtém a listagem do diretório e pesquisa o ficheiro de eventos.

A verificação dos ficheiros de ambos os métodos é feita, paralelamente e recursivamente, a cada 150 ms até um máximo de 10 s. Na página *Web*, em caso de demora da resposta do *feedback* (10 s), é gerado um evento a informar de *feedback* negativo.

Consoante o tipo de *feedback* é gerado uma notificação, no *Front-end* (Figura 3.13), referindo o sucesso do comando em verde e vermelho no caso de falha, com referência ao parque eólico e aos aerogeradores.

Figura 3.13: Notificação do *feedback* dos comandos

3.5.4 Grupos de Aerogeradores

A criação de grupos permite dividir o parque eólico de forma a conseguir atuar em vários aerogeradores mais rapidamente do que através da seleção individual, que é mais lenta e sujeita a maior erro na seleção. Existem grupos pré-definidos em cada parque eólico derivado a estudos feitos pelos ornitólogos, no entanto como cada utilizador possui a capacidade de alteração/criação/eliminação dos próprios grupos, podem ser alterados. No menu de modificações dos grupos (Figura 3.14), seleciona-se o parque eólico na *drop list* e são representados os grupos já existentes com os respetivos nomes e numeração existente dos aerogeradores. No exemplo da Figura 3.14, o parque eólico tem 100 aerogeradores e os números dos aerogeradores estão compreendidos entre 1 e 100. Os critérios para a criação/-modificação de grupos são:

- A numeração dos aerogeradores definida no grupo tem de existir no parque eólico;
- Para além da numeração só pode constar travessões (“-”) para o caso de intervalo de aerogeradores e vírgulas (“;”) para separação de numerações individuais de aerogeradores e/ou intervalos de aerogeradores;
- O nome do grupo tem de ser único no parque eólico.

No menu da Figura 3.14 existem três possíveis cenários:

- Criação de um novo grupo - pressiona-se o botão “Adicionar novo Grupo” e representa-se um novo menu para introdução da informação pretendida. Após o preenchimento é carregar em “Gravar”;
- Alterações do grupo - o grupo sofre alteração das propriedades e depois é carregado no botão “Gravar”;
- Apagar o grupo - pressiona-se o botão “Apagar” no registo pretendido.

No cenário de criação e modificação, após carregar em “Gravar” é verificado a lista de critérios. Caso cumpra com todos os critérios, é enviado para o *Back-end* o objecto com a caracterização do grupo que é carregado no registo próprio do utilizador. No cenário de apagar grupos, é enviado para o *Back-end* o número da posição do grupo no vetor de grupos do parque eólico do utilizador.

Modificar Grupos

Parque Eólico

▼

Aerogeradores
1-6

Grupo 1

Aerogeradores

Gravar Apagar

Adicionar novo Grupo +

Figura 3.14: Menu de modificação dos grupos

3.5.5 Gestão de Utilizadores

A criação de um utilizador (Figura 3.15a) (Algoritmo 8) tem como critérios:

- Nome único;
- Definição do nível de acesso;
- País;
- Lista dos parques eólicos que deve ter acesso;

A definição do país também define qual a tradução da aplicação *Web*. Na criação de um novo utilizador, este fica com uma senha genérica pré-definida e com o campo *first* a *true* (Capítulo 3.3).

A modificação de utilizador (Figura 3.15b) (Algoritmo 8) apresenta um menu semelhante ao de criação com a exceção de que, para facilitar a pesquisa de um utilizador, é primeiro filtrado pelo campo geografia (país).

Para modificar a senha, é necessário a introdução da senha atual e da nova, com um limite mínimo de 7 caracteres.

Quando um novo utilizador faz o *login* pela primeira vez é obrigado a alterar a senha pré-definida. Isto deve-se aos acessos recebidos do *Back-end* que contêm a variável *first*. Quando possui o valor *true* significa que é a primeira vez que o

Criar Utilizador

(a)

Modificar Utilizador

(b)

Figura 3.15: Gestão de utilizadores

utilizador está a fazer o acesso e então deve alterar a senha pré-definida. A página *Web*, nas definições das rotas existentes do *routing*, bloqueia qualquer navegação enquanto a variável `first` tiver valor `true`, impondo o menu de modificação de senha enquanto não for feita a primeira modificação (Figura 3.16). Na primeira modificação é alterada a variável `first` para `false`. A diferença entre a primeira alteração de senha e uma posterior, é que na primeira carece de introduzir a senha atual (pré-definida) (Figura 3.16a).

Mudar Senha

(a)

Mudar Senha

(b)

Mudar Senha

(c)

Figura 3.16: Alteração da senha

O *Back-end* ao receber o pedido de alteração da senha e após validar o pedido, encripta a nova senha com uma chave privada.

3.5.6 Criação de Relatórios

3.5.6.1 Relatório de Comandos

O relatório de comandos (Figura 3.17a) contém os campos:

- Parque eólico;
- Aerogeradores;
- Comando efetuado;
- Autor do comando;
- Data que foi efetuado o comando.

Existe a funcionalidade de filtrar por qualquer um dos campos, utilizando o campo de entrada de texto e de ordenação, por parque eólico, por ordem ou por data. As datas recebidas possuem o fuso horário local pelo que todos os registos pedidos por um utilizador de um país com fuso diferente tem o respetivo ajuste. Para facilitar a análise e o envio do relatório, é possível gerar um ficheiro em Microsoft Excel com a informação filtrada (Figura 3.17b).

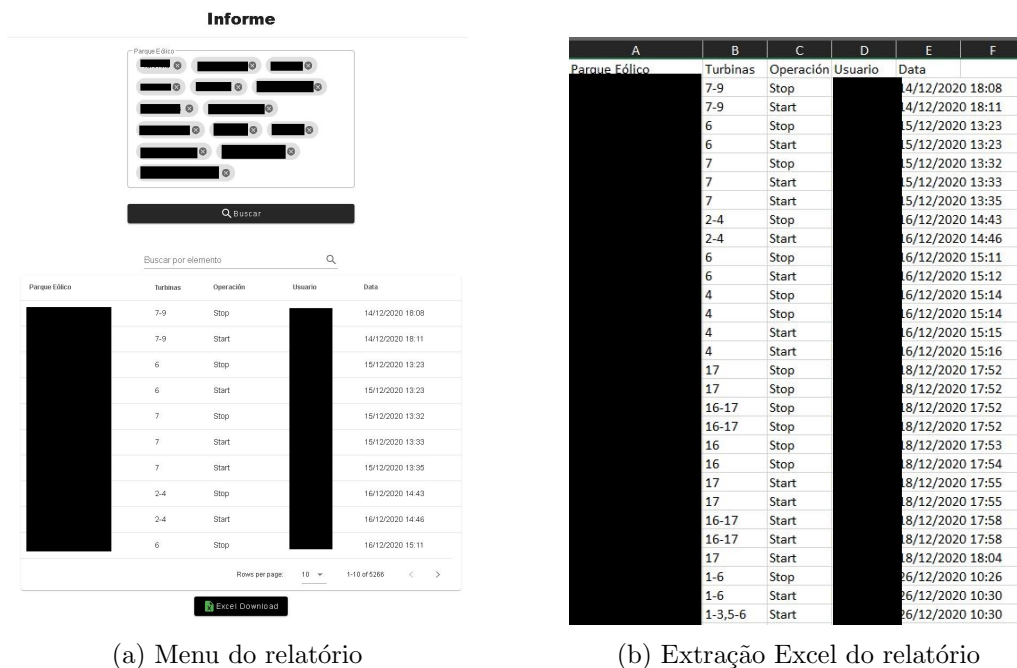


Figura 3.17: Relatório de atuações

O pedido do relatório é feito ao *Back-end* com o envio de um vetor com os parques eólicos seleccionados. No caso do utilizador ter acesso de operador, tem apenas acesso aos registos dos comandos que efetuou. Caso o utilizador tenha acesso de nível relatório ou administrador tem acesso a todos os registos dos parques eólicos seleccionados.

3.5.6.2 Relatório da Avifauna

No menu de análise da Avifauna (Figura 3.18) visualizam-se gráficos com o número de operações completas (paragem e arranque de aerogeradores), perda estimada de produção de energia (kWh), espécies de aves e número de espécimes que causaram as paragens. Estes registos de análise (Capítulo 3.3) são criados quando o utilizador introduz, após o comando de paragem, o motivo. Quando é efetuado o comando de arranque, o *Back-end* atualiza o registo de análise com toda a informação necessária do comando. Posteriormente, é calculado o tempo total da paragem e é realizado o pedido da estimativa da perda de produção de energia.

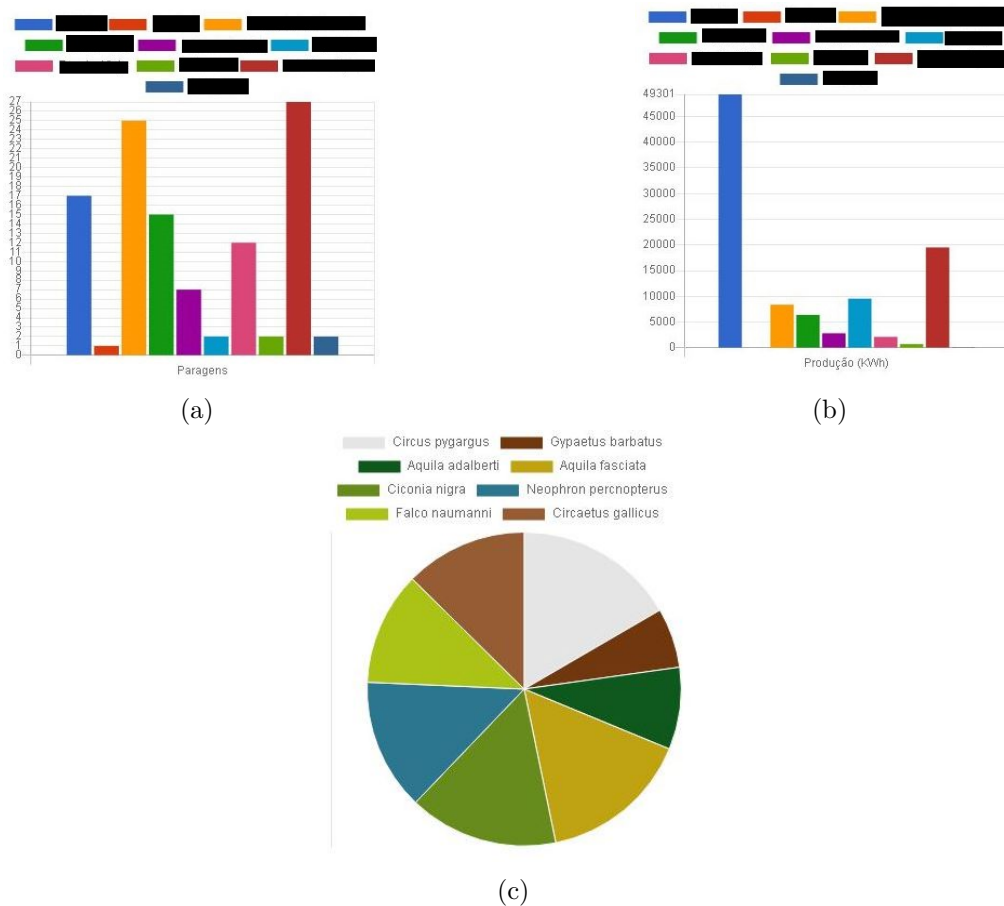


Figura 3.18: Menu de análise de paragens

A obtenção da estimativa de produção de energia é feita através de pedidos à base de dados OSI-PI com a variável específica para cada aerogerador. Estes valores são obtidos através de cálculos, cruzando a curva real de potência do aerogerador com as medições do anemómetro.

Para se realizar o pedido, o processo em C# recebe como argumentos o

“PI_Name” do parque eólico, os números dos aerogeradores, a hora de início de cálculo (hora da paragem), a hora de fim de cálculo (hora de arranque) e o identificador único do registo de análise para escrita do valor obtido.

O `node package vueChart.js` é responsável pela representação gráfica. A filtragem da informação é feita de uma função, capaz de filtrar consoante o parque eólico e/ou espécie de ave, assim como definir a janela temporal pretendida (Figura 3.19a). De forma a simplificar a análise, no caso de um filtro individual para um parque eólico, cada barra dos gráficos de barras passa a ter informação agrupada para cada dia.

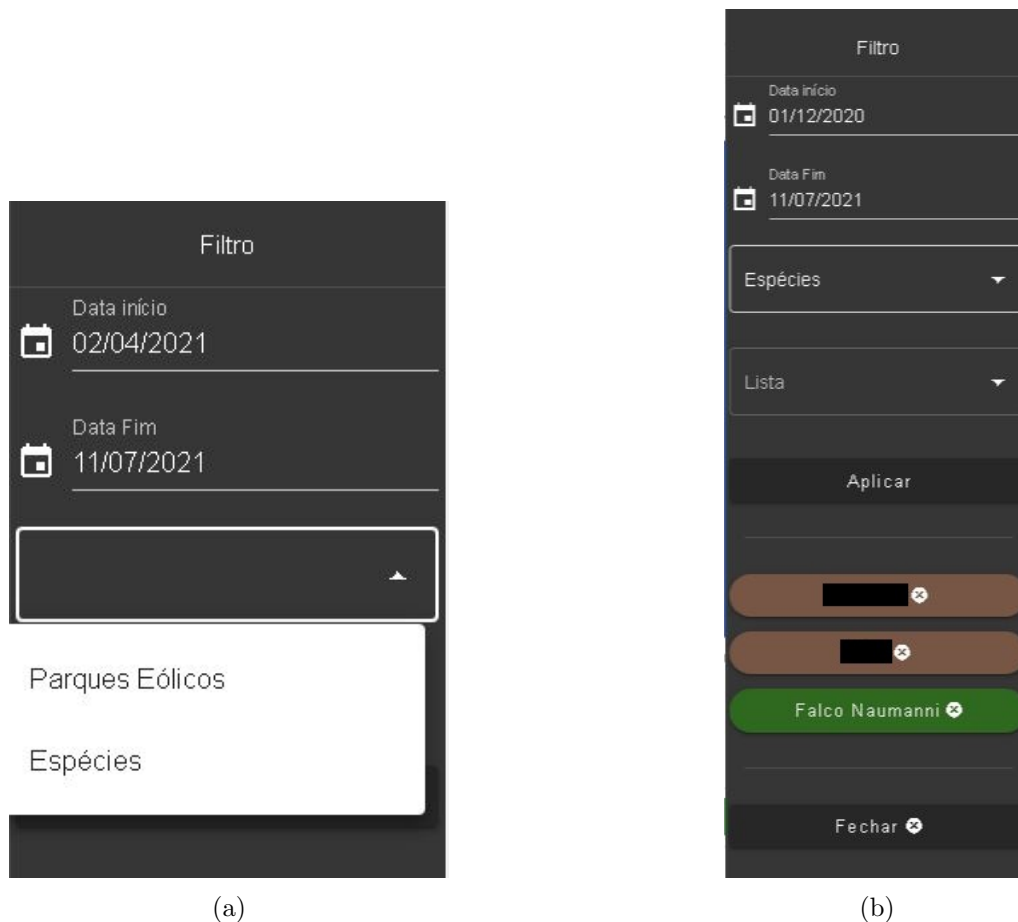


Figura 3.19: Filtro do menu Análise

No Algoritmo 12 a informação do número de paragens (Figura 3.18a) e da perda total estimada de energia (Figura 3.18b) é obtida através da contagem de parques eólicos que existem nos registos, da filtragem da informação por cada um e posterior soma de registos/valores. A informação sobre as espécies é obtida contabilizando as diferentes espécies contidas nos registos e filtrando os registos por cada espécie, somando os espécimes contidos em cada.

Na Figura 3.20 está presente uma tabela com a mesma informação dos gráficos, também sujeita aos filtros aplicados. Contrapondo com o gráfico, a tabela possui o valor, em minutos, da duração das paragens do(s) aerogerador(es) e utiliza cores para facilitar a análise. No caso da duração, os valores entre $[0,5]$ min têm cor verde, entre $]5,10]$ min têm cor amarela e maiores que 10 min têm cor vermelha. No caso da produção, valores compreendidos entre $[0,200]$ kWh têm cor verde, entre $]200,400]$ kWh têm cor amarela e os maiores que 400 kWh têm cor vermelha.

Parque Eólico	Paragem	Arranque	Duração (min)	Produção (kWh)	Espécies
	25/02/2021 14:56	25/02/2021 14:58	1	467	▼
	26/02/2021 11:13	26/02/2021 11:16	3	862	▼
	27/02/2021 15:29	27/02/2021 15:49	19	9268	▼
	1/03/2021 11:35	1/03/2021 11:40	5	164	▼
	1/03/2021 11:46	1/03/2021 11:50	3	280	▼
	2/03/2021 13:41	2/03/2021 13:49	8	236	▼
	3/03/2021 10:31	3/03/2021 10:33	3	270	▼
	3/03/2021 10:43	3/03/2021 10:46	3	285	▼
	4/03/2021 12:45	4/03/2021 12:38	7	1912	▼

Rows per page: 10 1-9 of 9 < >

Figura 3.20: Tabela de análise da Avifauna

3.5.7 Obtenção de Dados em Tempo Real

A aquisição de dados em tempo real é feita através de pedidos à base de dados em tempo real OSI-PI, com os dados provenientes do sistema SCADA do parque eólico (Figura 3.3). Os pedidos à base de dados são realizados através de um processo em C# por possuir bibliotecas para a comunicação com a base de dados de OSI-PI e MongoDB. O processo inicia, a cada 5 s, obtendo os estados e medições do anemómetro de todos os aerogeradores configurados na Avifauna (Capítulo 3.3).

Os estados obtidos são constituídos por três dígitos onde o primeiro dígito é que define o estado e os restantes definem modos de operação (limitações dos componentes dos aerogeradores) e/ou especificidade de alarmes dos aerogeradores. Para o primeiro dígito sendo:

- '0' - Estado de falha de comunicação com o aerogerador;
- '1' ou '5' - Estado produtivo do aerogerador;
- '2' - Estado disponível para iniciar a produção, mas sem vento suficiente;

- '3' - Estado parado devido a alarmes ativos;
- '4' - Estado de manutenção significando que localmente foi aplicado um encravamento para apenas aceitar comandos locais, normalmente para intervenção de uma equipa de manutenção.

Após a aquisição dos dados em tempo real, são atualizados no MongoDB com o formato definido (Capítulo 3.3).

3.5.8 Adaptação do Front-end

Devido à variedade de equipamentos a serem utilizados para aceder à aplicação *Web*, as páginas necessitam de se ajustar ou até modificar a representação (Figura 3.22). Os ajustes dos componentes são feitos através de ajustes à margem, ao `padding` e/ou utilizando um sistema de grelha, embora alguns componentes da *framework* Vuetify já possuam o ajuste automático (Figura 3.21). Caso não seja possível obter uma representação *user friendly*, é modificado o desenho da página. Consoante a resolução os equipamentos são classificados entre 5 intervalos de resolução (`Display Breakpoints`) consoante os píxeis (px) horizontais:

- `xs` < 600 px - telemóveis;
- 600 px <= `sm` < 960 px - tablets;
- 960 px <= `md` < 1 240 px - grandes tablets e computadores portáteis;
- 1 264 px <= `lg` < 1 904 px - monitores;
- `xl` > 1 904 px - monitores 4k.

Os `Display Breakpoints` permitem configurar alterações para equipamentos contidos nos intervalos anteriormente descritos, assim como para grupos como, por exemplo, para todos os equipamentos com píxeis abaixo de 1 904 (`lgAndDown`) ou para cima de 1 240 píxeis (`lgAndUp`). Na aplicação *Web* todos os componentes abaixo de 960 píxeis (`smAndDown`) não possuem margem nem `padding` de forma a aproveitar a janela de visualização visto o tamanho da janela e de necessitar de expor a informação de forma legível.



Figura 3.21: Exemplo de ajuste dos componentes aos Display Breakpoints

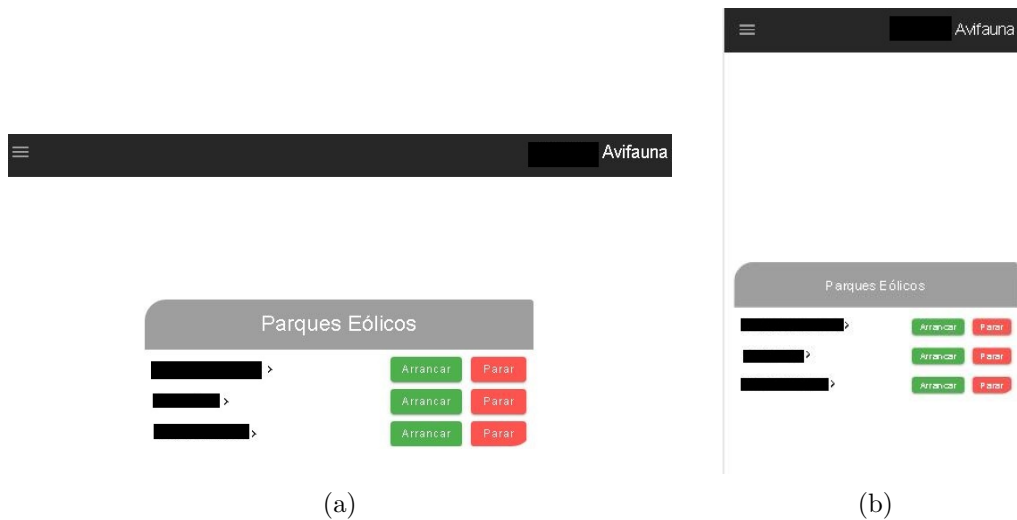


Figura 3.22: Exemplo de ajuste das colunas dos componentes aos Display Breakpoints

3.6 Conclusão

Neste capítulo expôs-se todo o desenvolvimento da aplicação *Web Avifauna* como as linguagens de programação, bibliotecas utilizadas, diagrama de rede e diferentes funcionalidades, tanto no *Back-end* como no *Front-end*. No próximo capítulo são validadas as diferentes funcionalidades, testando vários cenários e avaliando o desempenho do sistema.

Capítulo 4

Testes e Validação

A análise do sistema é feita com testes funcionais que visam comprovar que as funcionalidades do sistema cumprem com os objetivos e com um teste de carga que avalia a performance do sistema com vários pedidos em simultâneo. É necessário avaliar todas as funcionalidades com diferentes *inputs* de informação de forma a comprovar a coesão do sistema, assim como avaliar o nível de carga suportado pelo sistema.

4.1 Testes Funcionais

Os testes funcionais são realizados utilizando a ferramenta Postman [33] que permite enviar pedidos para o *Back-end* com *inputs* e avaliar o *output*, comprovando as funcionalidades do sistema (Figura 4.1). Para todos os pedidos, excepto para o pedido de *login*, é necessário o envio do `token` que valida a sessão do utilizador.

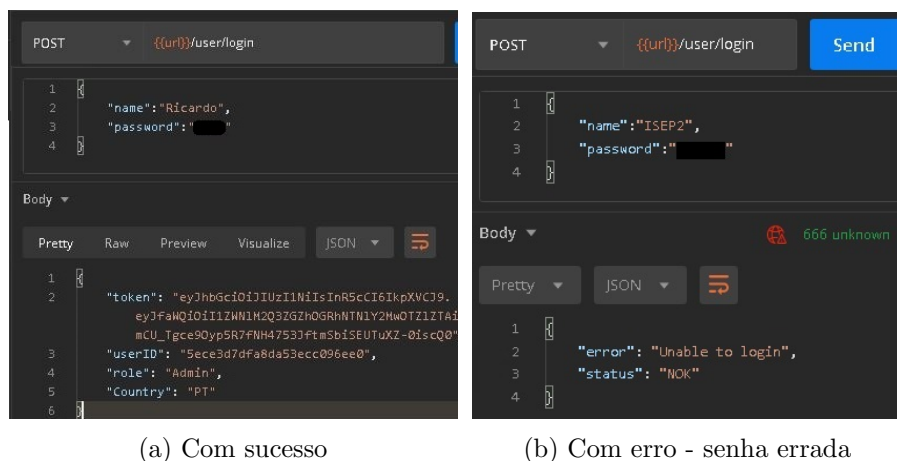
4.1.1 Autenticação

No processo de *login* (Figura 4.1a) é enviado o nome do utilizador e a senha para o *Back-end* que, caso exista o utilizador, deve responder com o `token` de validação do utilizador, nível de acesso, país, `_id`. Adicionalmente, no primeiro *login* de um utilizador, recebe o campo `first` que implica que o utilizador faça uma mudança de senha. Com o sucesso do *login*, qualquer pedido enviado ao *Back-end* carece do envio do `token` para validação da sessão do utilizador.

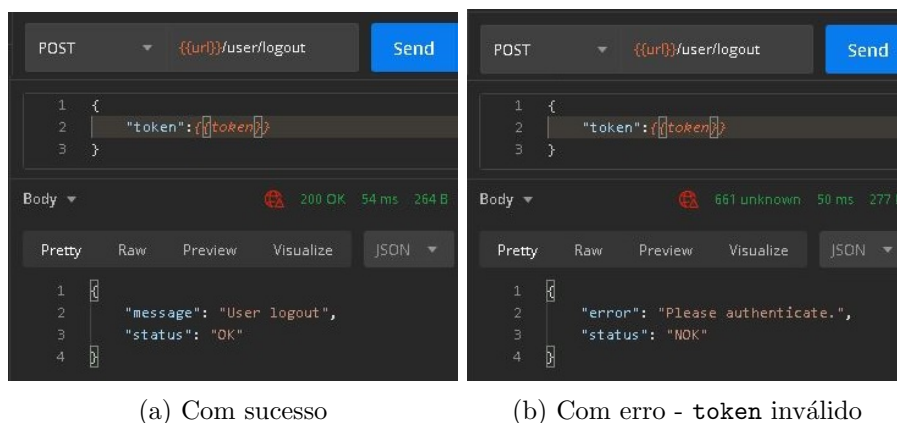
Para o caso de uma tentativa (Figura 4.1b) em que exista erros nos campos enviados, o *Back-end* retorna o erro, com o `status` da mensagem “66*” informando que foi um erro de validação.

Tabela 4.1: Testes funcionais realizados - 10 pedidos cada

Casos de uso	Resultado	Tamanho	Latência	
			μ	σ
<i>login</i> com utilizar e senha (Figura 4.1a)	Parâmetros do utilizador	467 B	142 ms	15 ms
<i>login</i> com erro no utilizador e/ou senha (Figura 4.1b)	Erro de <i>login</i>	272 B	114 ms	2 ms
Pedido de desconexão do utilizador (Figura 4.2a)	Confirmação	264 B	56 ms	2 ms
Pedido de desconexão com <i>token</i> inválido (Figura 4.2b)	Erro de autenticação	276 B	58 ms	2 ms
Leitura de acessos do utilizador (Figura 4.3a)	Acessos do utilizador e listagem de espécies de aves (4 registos)	1,14 kB	66 ms	7 ms
Leitura de acessos do utilizador com manipulação do <i>token</i> (Figura 4.3b)	Erro autenticação	277 B	53 ms	4 ms
Verificação da comunicação com o <i>Back-end</i> (Figura 4.4)	Confirmação da comunicação	239 B	54 ms	8 ms
Envio de comandos de paragem/arranque (Figura 4.5)	Dados do comando, número da ordem e <i>feedback</i>	307 B	70 ms	8 ms
Envio do motivo do comando paragem (Figura 4.6)	Confirmação e validação dos dados enviados	467 B	148 ms	14 ms
Criação/Modificação de grupos de aerogeradores (Figura 4.7)	Lista de grupos do parque eólico atualizado (5 registos)	1,11 kB	72 ms	7 ms
Eliminação de grupos de aerogeradores (Figura 4.8)	Lista de grupos do parque eólico atualizada sem o grupo eliminado (4 registos)	1,11 kB	73 ms	7 ms
Criação de utilizadores (Figura 4.9)	Confirmação da criação	265 B	179 ms	16 ms
Criação de utilizadores por utilizador sem permissões (Figura 4.11a)	Erro de autenticação	278 B	54 ms	5 ms
Criação de utilizadores com nomes duplicados (Figura 4.11b)	Erro de criação	277 B	142 ms	8 ms
Obtenção de dados para criação de utilizadores (Figura 4.12)	Estrutura de dados contendo países e parques eólicos (44 registos)	36,05 kB	1,52 s	196 ms
Obtenção de relatório de comandos próprios (Figura 4.13a)	Estrutura de dados dos comandos (4 registos)	794 B	86 s	13 ms
Obtenção de relatório de comandos globais (Figura 4.13b)	Estrutura de dados dos comandos (32 registos)	4,10 kB	85 ms	13 ms
Obtenção de relatório de comandos globais sem permissões (Figura 4.14)	Erro autenticação	277 B	53 ms	5 ms
Pedido dados análise Avifauna (Figura 4.15a)	Estrutura de dados análise Avifauna dos últimos 7 d (72 registos)	9,36 kB	4,02 s	172 ms
Pedido dados análise Avifauna com intervalo de datas (Figura 4.15b)	Estrutura de dados análise Avifauna filtrados pelo intervalo de datas (166 registos)	30,09 kB	4,24 s	282 ms
Pedido de dados tempo real de um parque eólico (Figura 4.16)	Medições de cada aerogerador do parque eólico (100 registos)	5,77 kB	78 ms	4 ms

Figura 4.1: Postman - *login*

O utilizador ao realizar o pedido de *logout* da Avifauna, o `token` é apagado da base de dados MongoDB e recebe confirmação (Figura 4.2a). Na Figura 4.2b é repetido o pedido com os mesmos parâmetros, mas recebe-se erro de autenticação porque o `token` enviado já não existe no MongoDB.

Figura 4.2: Postman - *logout*

Após a obtenção dos parâmetros do utilizador é enviado um pedido para leitura aos parques eólicos que o utilizador tem acesso e listagem das espécies de aves (Figura 4.3a) e é iniciado o processo de constante verificação da comunicação entre o *Front-end* e o *Back-end* (Figura 4.4).

Qualquer erro no `token` enviado pelo utilizador, como a manipulação ou até a extinção (duração de 12 h), resulta numa resposta de erro do *Back-end* (Figura 4.3b).

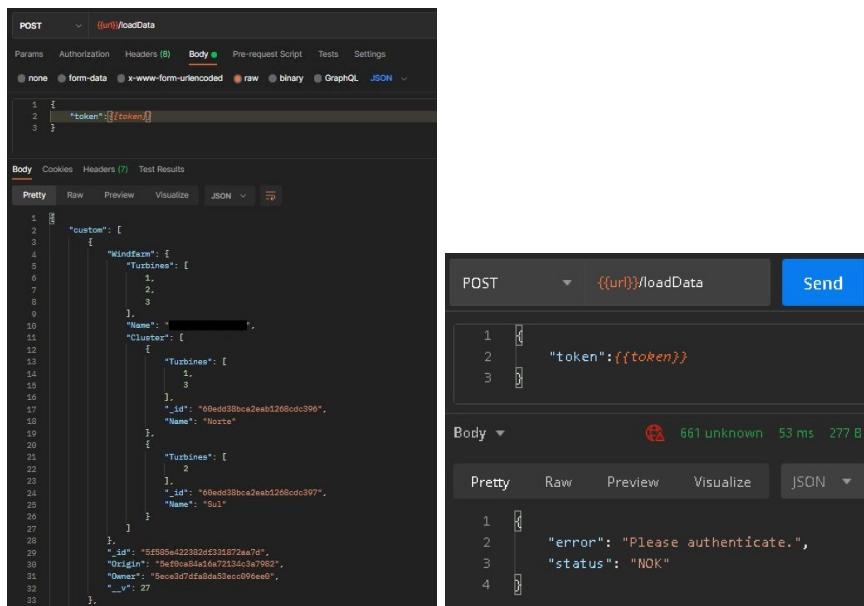


Figura 4.3: Postman - Leitura parques eólicos

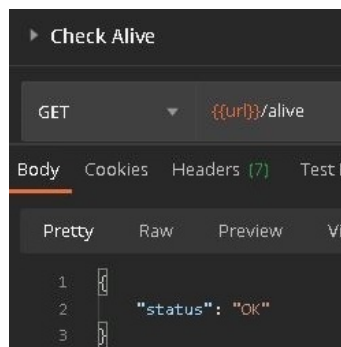


Figura 4.4: Postman - Confirmação da comunicação

4.1.2 Interação com os Aerogeradores

O envio de comandos (Figura 4.5) contém o tipo de comando, o nome do parque eólico e um vetor com o número dos aerogeradores.

No caso de envio do comando de paragem, é recebido o ID do registo (Figura 4.5a) para que posteriormente seja enviado o motivo da paragem (Figura 4.6) para atualização no respetivo registo de paragem.

Caso seja possível averiguar, através dos métodos FTP/OPC ou OPC, que o comando foi enviado com sucesso ao servidor OPC, é respondido pelo *Back-end* com valor `true` ou `false` no caso de erro (Figura 4.5).

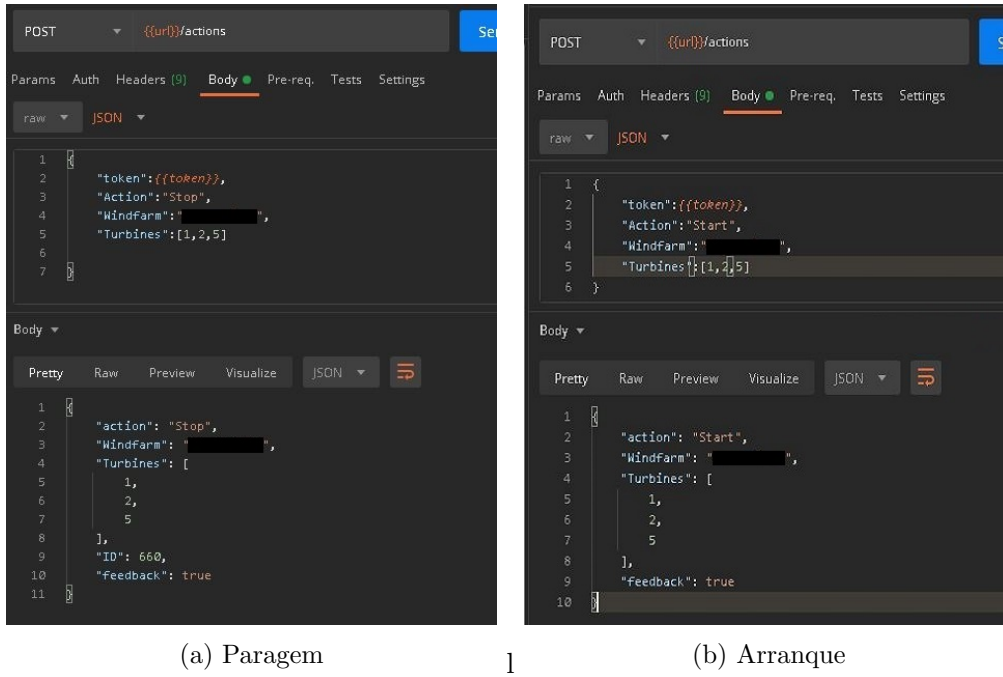


Figura 4.5: Postman - Envio de comandos

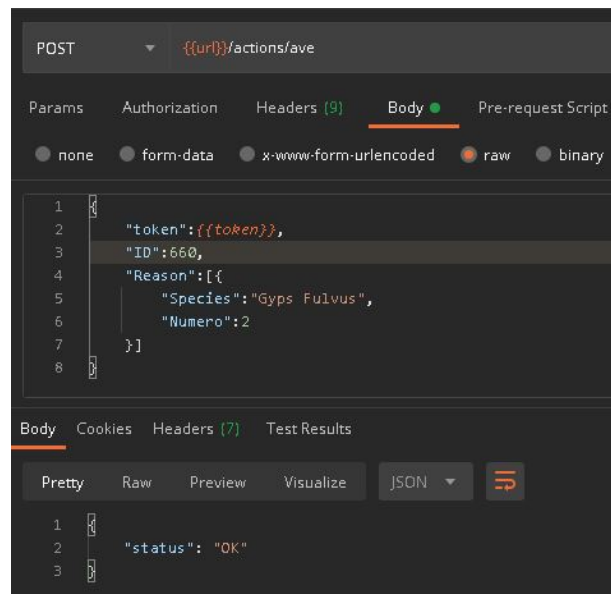
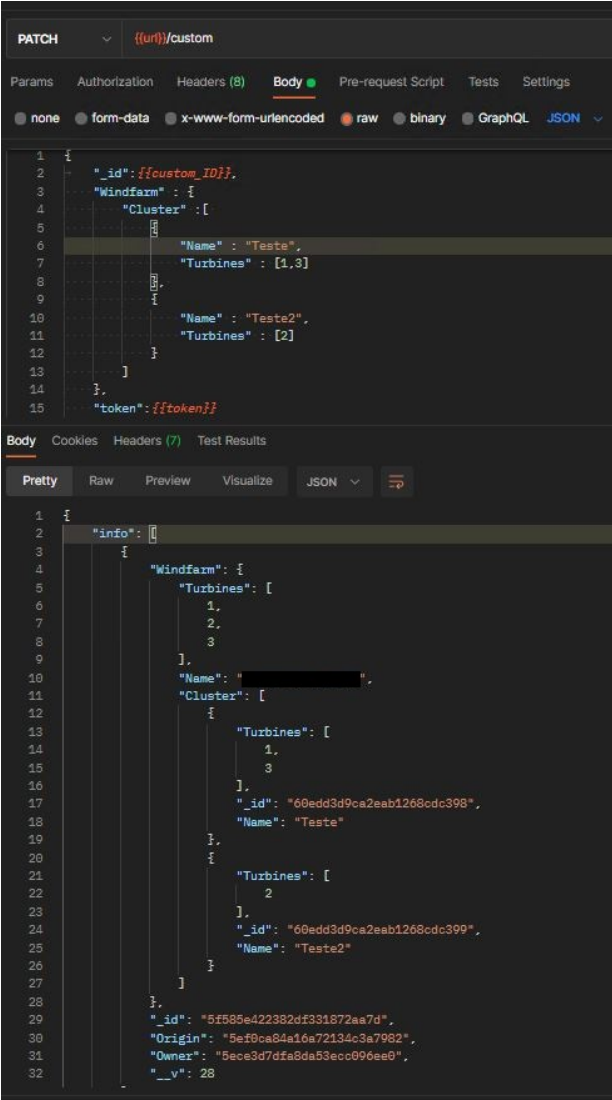


Figura 4.6: Postman - Envio do motivo da paragem

4.1.3 Grupos de Aeroogeradores

Os grupos de aeroogeradores são registos individuais, pelo que cada utilizador cria/modifica/elimina os próprios registos. A estrutura de dados enviada para o *Back-end* é constituída pelo objeto “Windfarm” que possui a informação relativa aos grupos do parque e pelo `_id` do registo a que pertence.



```
PATCH {{url}}/custom

Params Authorization Headers (8) Body Pre-request Script Tests Settings
none form-data x-www-form-urlencoded raw binary GraphQL JSON

1 {
2   "_id": {{custom_ID}},
3   "Windfarm": {
4     "Cluster": [
5       {
6         "Name": "Teste",
7         "Turbines": [1,3]
8       },
9       {
10        "Name": "Teste2",
11        "Turbines": [2]
12      }
13     ]
14   },
15   "token": {{token}}
}

Body Cookies Headers (7) Test Results
Pretty Raw Preview Visualize JSON

1 {
2   "info": [
3     {
4       "Windfarm": {
5         "Turbines": [
6           1,
7           2,
8           3
9         ],
10        "Name": " ",
11        "Cluster": [
12          {
13            "Turbines": [
14              1,
15              3
16            ],
17            "_id": "60edd3d9ca2eab1268cdc398",
18            "Name": "Teste"
19          },
20          {
21            "Turbines": [
22              2
23            ],
24            "_id": "60edd3d9ca2eab1268cdc399",
25            "Name": "Teste2"
26          }
27        ]
28      },
29      "_id": "5f585e422382df331872aa7d",
30      "Origin": "5ef8ca84a16a72134c3a7982",
31      "Owner": "5ece3d7dfa8da53ecc096ee8",
32      "_v": 28
33    }
34  ]
35}
```

Figura 4.7: Postman - Criação/Modificação de um grupo de aeroogeradores

Existe também a opção para apagar que envia para o *Back-end* o `_id` do registo e a posição no vetor a que esse grupo pertence.

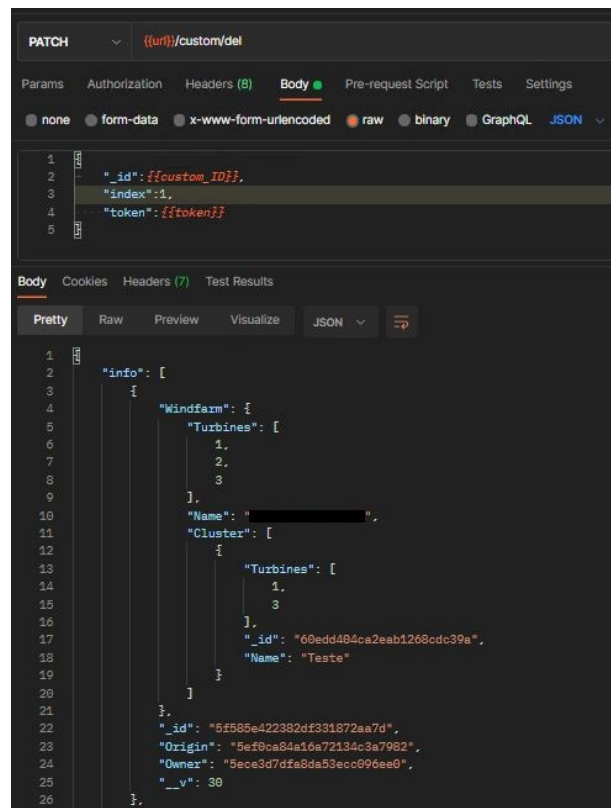


Figura 4.8: Postman - Apagar um grupo de aerogeradores

4.1.4 Gestão de Utilizadores

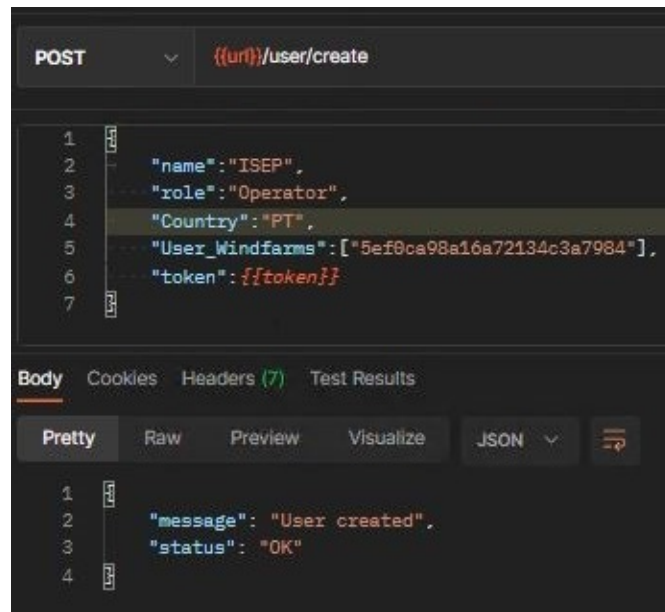
O processo de criação do utilizador carece do envio do nome do novo utilizador, nível de acesso e os `_ids` de todos os parques eólicos a que o utilizador deve ter acesso (Figura 4.9). O utilizador que faz o pedido de criação tem de ter acesso de administrador.

No momento de entrada no menu de criação do utilizador no *Front-end* é enviado um pedido ao *Back-end* para carregamento de toda a informação necessária (Figura 4.10).

Caso seja enviado por um utilizador que não tenha acesso de administrador, o pedido resulta em erro (Figura 4.11a).

No caso de já existir um utilizador com o nome introduzido (Figura 4.11b), o *Back-end* responde com erro para que o administrador tenha conhecimento e altere o nome para conseguir concluir o processo.

O novo utilizador ao fazer o *login* tem o campo `first` a `true` para que altere a senha pré-definida (Figura 4.12).



```
POST {{url}}/user/create

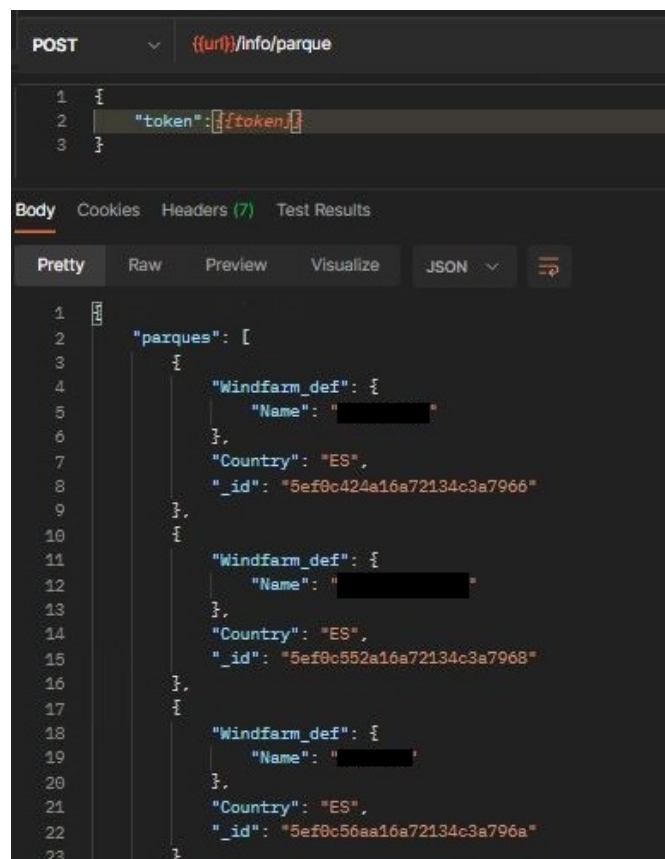
1
2   "name": "ISEP",
3   "role": "Operator",
4   "Country": "PT",
5   "User_Windfarms": ["5ef0ca98a16a72134c3a7984"],
6   "token": {{token}}
7

Body Cookies Headers (7) Test Results

Pretty Raw Preview Visualize JSON

1
2   "message": "User created",
3   "status": "OK"
4
```

Figura 4.9: Postman - Criação utilizador



```
POST {{url}}/info/parque

1 {
2   "token": {{token}}
3 }

Body Cookies Headers (7) Test Results

Pretty Raw Preview Visualize JSON

1
2   "parques": [
3     {
4       "Windfarm_def": {
5         "Name": " "
6       },
7       "Country": "ES",
8       "_id": "5ef0c424a16a72134c3a7966"
9     },
10    {
11     "Windfarm_def": {
12       "Name": " "
13     },
14     "Country": "ES",
15     "_id": "5ef0c552a16a72134c3a7968"
16    },
17    {
18     "Windfarm_def": {
19       "Name": " "
20     },
21     "Country": "ES",
22     "_id": "5ef0c56aa16a72134c3a796a"
23    }
24  ]
```

Figura 4.10: Postman - Informação para criação de utilizador

para a informação requisitada.

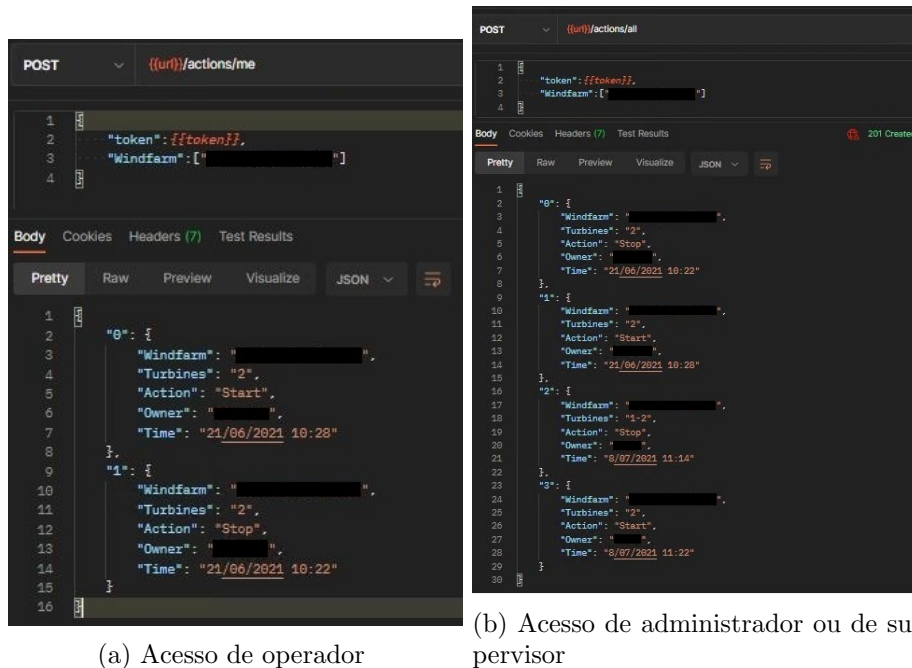


Figura 4.13: Postman - Pedido de dados do relatório de comandos

Com um utilizador sem acessos de administrador ou de supervisor um pedido de informação geral resulta em erro (Figura 4.14).

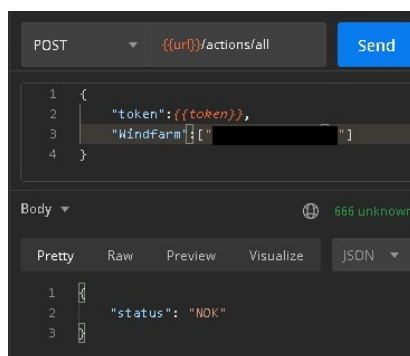


Figura 4.14: Postman - Pedido de dados sem acesso

O pedido do relatório sobre a Avifauna exige apenas o envio do intervalo de datas pretendido e o `token`. Na Figura 4.15a está presente a resposta com um exemplo de estimativa de perda de produção de energia, duração e o motivo da paragem.

Alterando o intervalo de datas (Figura 4.15b), recebe-se todos os registos compreendidos no intervalo.

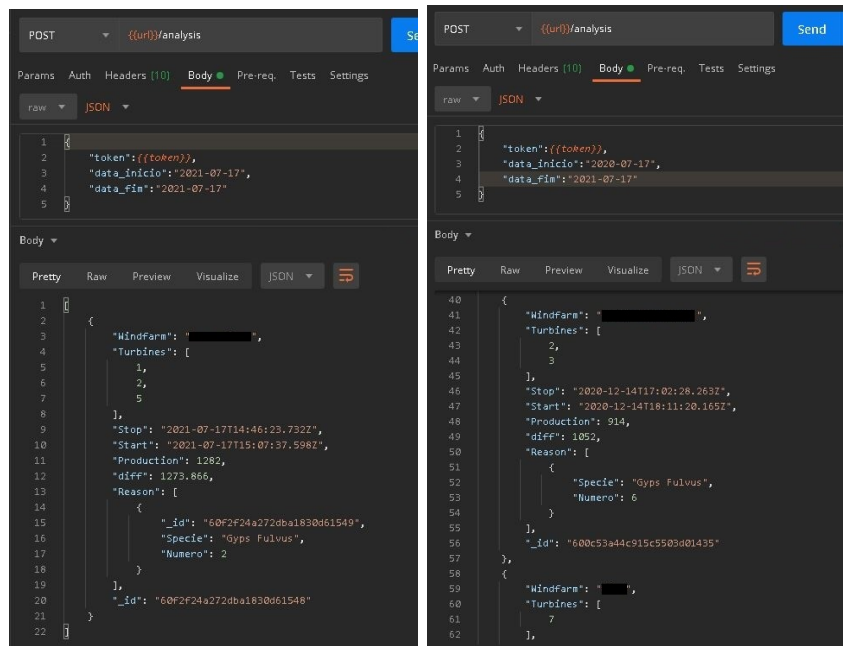


Figura 4.15: Postman - Pedido de dados do relatório de análise Avifauna

4.1.6 Obtenção de Dados em Tempo Real

Quando presente no menu individual de aerogeradores, inicia-se a aquisição de dados em tempo real (Figura 4.16). O *Front-end* inicia uma função cíclica que envia um pedido ao *Back-end* com o nome do parque eólico que pretende obter os valores. Na resposta consta os estados e as medições dos anemómetros dos aerogeradores.

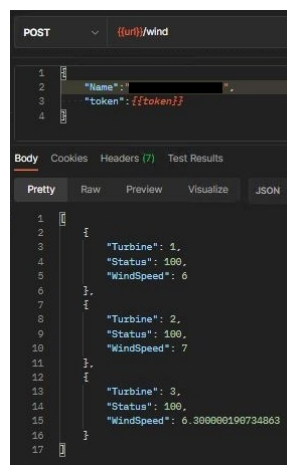


Figura 4.16: Postman - Pedido dados tempo real

4.2 Teste de Carga

A ferramenta Apache JMeter [34] é capaz de realizar testes de carga e de stress de forma a averiguar a capacidade de resposta. Analisando o sistema, o processo que possui o maior número de execuções possíveis em simultâneo é o pedido de leitura em tempo real, pois cada utilizador no menu de paragem individual de aerogeradores faz este pedido a cada 10 s, independentemente do seu nível de acesso. De todos os parques eólicos, o maior possui 100 aerogeradores pelo que um pedido de leitura de dados para esse parque eólico representa o maior pedido de dados.

Os testes realizados sumariados na Tabela 4.2 variam o número de **threads** a fazer pedidos ao *Back-end*, em que todos as **threads** foram iniciadas em 1 s. O relatório de sumário permite obter:

- **Sample** - número de pedidos enviados;
- **Avg** - média de tempo de resposta para todos os pedidos;
- **Minimal response time (ms)** - mínimo tempo de resposta verificado em milissegundos;
- **Maximum response time (ms)** - máximo tempo de resposta verificado em milissegundos;
- **Deviation** - desvio padrão do tempo dos pedidos;
- **Error %** - percentagem de erro;
- **Throughput** - número de pedidos que o *Back-end* assegura por segundo;
- **Received kB/s** - velocidade de receção de informação;
- **Sent kB/s** - velocidade de envio de informação;
- **Avg. size** - média de dados recebidos.

Analisando para um caso contínuo de cinco pedidos por segundo durante 1 min o resultado é o apresentado na Tabela 4.3 e Figura 4.17.

Tabela 4.3: Resultado de 5 pedidos por segundo

Sample	Avg	Min	Max	Std. Dev.	Error %
5/s	91	52	499	61,53	0

Sample	Throughput	Received kB/s	Sent kB/s	Avg. size
5/s	28,80	168,23	10,88	5990

Tabela 4.2: Resultado dos pedidos instantâneos ao *Back-end*

Sample	Avg	Min	Max	Std. Dev.	Error %
25	302	208	376	45,85	0
50	514	243	882	136,15	0
100	1459	278	2009	584,14	0
200	3726	381	5374	1198,72	0
400	7376	300	11008	3044,51	0

Sample	Throughput	Received kB/s	Sent kB/s	Avg. size
25	20,33	120,42	7,68	6067
50	31,21	184,92	11,8	6067
100	33,26	197,26	12,57	6074
200	32,17	190,79	12,16	6074
400	34,45	204,58	13,02	6081

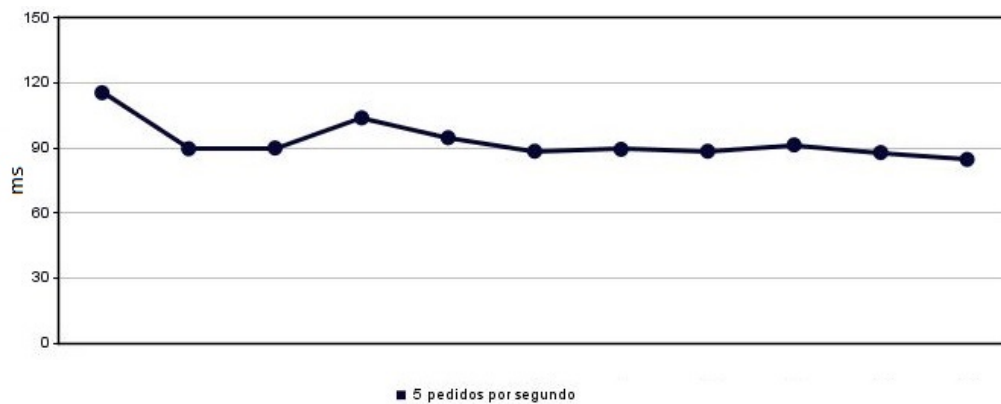


Figura 4.17: Jmeter - velocidade da resposta para cada 5 pedidos por segundo

4.3 Conclusão

Neste capítulo é validada a interação entre o *Front-end* e o *Back-end* e a capacidade de resposta do sistema a vários pedidos simultâneos. Na interação, demonstrou-se as respostas consoante os parâmetros enviados, testando vários cenários e validando as funcionalidades do sistema. No teste de carga do sistema, é feita uma simulação de vários pedidos em simultâneo, verificando que não ocorrem erros nem perdas de desempenho. No próximo capítulo, após testes realizados com sucesso, é avaliado o impacto da Avifauna nos parques eólicos.

Capítulo 5

Resultados da Avifauna

A análise dos dados permite avaliar o impacto das paragens dos aerogeradores para mitigar as colisões de aves com aerogeradores na indisponibilidade de produção, assim como também identificar zonas dos parques eólicos com maior incidência de aves.

Para a análise dos resultados é tido como objetivo:

- Identificar grupos de aerogeradores de cada parque eólico com maior número de paragens;
- Número de paragens de aerogeradores por parque eólico, por mês;
- Obtenção do valor percentual de indisponibilidade por aerogerador e por parque eólico;
- Tempo médio de paragem de aerogeradores por parque eólico;
- Tempo médio de resposta do aerogerador ao envio de um comando.

Os resultados recolhidos estão compreendidos entre 11 de novembro de 2020 a 27 de julho de 2021, existindo 207 aerogeradores, em 13 parques eólicos, com 32 527 registos de comandos enviados desde a Avifauna. Os dados são extraídos para Microsoft Excel e são processados com Visual Basic for Applications (VBA).

Embora exista a funcionalidade de inserção do tipo de espécies e número de espécimes, essa informação não foi inserida por parte dos utilizadores, logo não será abordado esse tema nos resultados.

5.1 Pós-Processamento

Os registos armazenados na base de dados da Avifauna são resultantes do envio de comandos de paragem e de arranque dos aerogeradores ou de grupo de aerogeradores. A primeira fase passa por individualizar os registos de grupos. A divisão de registos é feita com a separação da *string* exemplo “8-10,20,50-52” para registos individuais de “8”, “9”, “10”, “20”, “50”, “51” e “52”.

Mesmo quando o utilizador recebe confirmação do envio de um comando, se o resultado tarda, o utilizador tende a reenviar o mesmo comando, originando registos duplicados. A segunda fase de tratamento dos dados consiste na identificação do instante do envio do comando de paragem de cada aerogerador e, posteriormente, o momento do envio do comando de arranque, descartando assim qualquer registo duplicado. Esta abordagem deve-se ao facto de o primeiro envio do comando de paragem significar que havia necessidade de paragem e o primeiro envio do comando de arranque significar que a causa da paragem já não se verificava, logo o aerogerador estava em condições de voltar ao funcionamento..

A terceira fase consiste na obtenção da hora de confirmação do SCADA da paragem e do arranque pesquisando na base de dados em tempo real OSI-PI. A pesquisa na base de dados em tempo real é feita com os seguintes argumentos:

- *Tag* OSI-PI (Capítulo 3.3);
- Data de início para a pesquisa;
- Data de fim para a pesquisa;
- Granularidade da informação.

A resposta da pesquisa é um vetor, com um certo número de posições consoante a granularidade e os intervalos de datas definidos, com uma numeração identificativa do estado do aerogerador no momento (Capítulo 3.5.7).

Exceções:

- Em caso de falha de acesso à aplicação *Web* Avifauna, os utilizadores contactam o centro de despacho para atuar nos aerogeradores conforme o necessário. Nestes casos não existe registo das atuações, porque nunca foi enviado qualquer comando da Avifauna;
- Na tentativa de obtenção de horas de paragem e arranque do aerogerador na base de dados OSI-PI:

- Caso o aerogerador já estivesse parado, não é possível obter a hora efetiva da paragem após envio de comando da Avifauna, no entanto só no envio do comando de paragem pelo utilizador é que existiu necessidade de paragem do aerogerador, pelo que se considera esse momento. Estes casos são descartados do cálculo do intervalo de tempo de paragem após envio do comando.
- No caso de tentar arrancar o aerogerador e não ser possível, na base de dados em tempo real OSI-PI o aerogerador permanece com o estado de paragem, pelo que não é possível obter a hora de arranque. Nestes casos, a hora de envio do comando de arranque é considerada como a hora de arranque, mas estes registos são descartados do cálculo do intervalo de tempo de arranque do aerogerador após envio do comando.
- No caso de apenas ser enviado o comando de paragem do aerogerador, é pesquisado na base de dados em tempo real OSI-PI para verificar se o aerogerador arrancou numa hora próxima, obtendo assim os valores de intervalos pretendidos apenas com a hora de envio do comando de paragem registada na Avifauna.
- Sempre que no vetor de resposta da base de dados é verificado um estado que identifica que o aerogerador entrou em estado de manutenção, caso o aerogerador não arranque alguns minutos depois do envio do comando da Avifauna, esse registo não é considerado para o cálculo da demora de arranque do aerogerador.

Após estas etapas, obtém-se o número de paragens de aerogeradores, duração das paragens, percentagem de indisponibilidade de produção provocada do parque eólico, tempos médios de resposta aos comandos e, em alguns casos, os seus desvios padrão. O período analisado decorre de 11 de novembro de 2020 até 27 de julho de 2021. Os valores são obtidos mensal e/ou globalmente, por parque eólico, sendo n o número total de registos:

- A contagem do número de paragens é obtida para cada parque eólico através do número de registos que foram processados nas exceções;
- O tempo total das paragens (T_{total}) é o somatório das diferenças, entre as datas de arranque (D_f) e as datas de paragem (D_i) respetivamente, para cada aerogerador:
- A indisponibilidade do parque eólico (I) reflete a percentagem do tempo total mensal que o parque eólico não esteve com os aerogeradores em produção, dividindo o tempo total de paragem (T_i) pela multiplicação do tempo anual (T_t) pelo número de aerogeradores (N):

$$T_{total} = \sum_{x=1}^n (D_f - D_i) \quad (5.1)$$

$$I = \frac{T_i}{T_t \cdot N} \cdot 100 (\%) \quad (5.2)$$

- Os tempos médios de resposta (Δ) são obtidos através da diferença entre a confirmação da mudança de estado do aerogerador (D_f) pela base de dados em tempo real e o envio do comando da Avifauna (D_i) a dividir pelo número de paragens (N):

$$\Delta = \frac{\sum_{x=1}^n (D_f - D_i)}{N} \quad (5.3)$$

5.2 Análise dos Resultados Globais

Analisando a Tabela 5.1, verifica-se que a partir do mês de fevereiro se inicia o período com maior incidência de aves, com um aumento significativo do número de paragens. De todos os parques eólicos, o M, com 100 aerogeradores, apresenta 50% das paragens da Avifauna (7991), totalizando 2780 h 30 min e 44 s de tempo de paragens 5.2. Embora o M seja o parque eólico com maior número de paragens, apresenta 75 paragens por aerogerador, sendo o 7.º parque em termos do número de paragens por aerogerador (Tabela 5.3). O parque eólico com maior número de paragens por aerogerador é o G (3 aerogeradores) com 264 paragens por aerogerador, seguido do parque eólico E (6 aerogeradores), com 149 paragens por aerogerador.

Analisando a Tabela 5.4, o aerogerador 1 do parque eólico E possui o maior tempo de paragem com 57 h 30 min e 09 s, seguido do aerogerador 3 do parque eólico D 53 h 10 min e 29 s.

Já no caso de maior número de paragens (Tabela 5.5), o aerogerador 6 do G possui o maior número de paragens (330), seguido do aerogerador 15 do I (236).

As Tabelas 5.6 e 5.7 apresentam o valor médio μ e o desvio padrão σ dos tempos de resposta. A contabilização do tempo de resposta inicia-se no momento

Tabela 5.1: Número de paragens por mês

Mês	Ano	N.º de Paragens
Novembro ¹	2020	33
Dezembro	2020	92
Janeiro	2021	89
Fevereiro	2021	504
Março	2021	2 494
Abril	2021	3 143
Maio	2021	2 633
Junho	2021	3 108
Julho ²	2021	2 895
Total		14 991

¹ Medidas desde 11 de novembro de 2020

² Medidas até 27 de julho de 2021

Tabela 5.2: Número e duração de paragens por parque eólico

Parque Eólico	Paragens	
	Número	Duração
A	70	07 h 43 min 07 s
B	13	00 h 32 min 09 s
C	326	91 h 19 min 48 s
D	1113	344 h 02 min 49 s
E	895	315 h 47 min 35 s
F	1598	395 h 17 min 25 s
G	792	95 h 41 min 34 s
H	328	26 h 28 min 14 s
I	1 034	166 h 19 min 15 s
J	142	07 h 02 min 41 s
K	121	23 h 35 min 18 s
L	517	63 h 35 min 24 s
M	7 499	2 780h 30 min 44 s
N	542	50 h 31 min 59 s
Total	14 991	4 368h 42 min 18 s

do envio do comando pela Avifauna conforme a Figura 3.3, até ao momento da alteração de estado do aerogerador ser carregado para base de dados OSI-PI.

Da análise das tabelas, verifica-se que os parques eólicos J, M e N possuem os maiores tempos médios de paragem, mas relativamente às médias de tempo de arranque, apenas o M apresenta uma média elevada. Conclui-se que os parques eólicos mencionados, dado que apresentam tempos de resposta elevados, necessitam de uma análise mais aprofundada sobre a razão dos valores elevados.

Analisando os tempos de paragem dos aerogeradores, a média é de 10 min e 52s, com um desvio padrão de 18 min e 07s (Tabela 5.8), com a maior média pertencer ao parque eólico M com 22 min e 17s, seguido do parque eólico E com 21 min e 10s, enquanto que a menor pertence ao parque eólico B com 02 min e 28s.

Tabela 5.3: Média de paragens por aerogerador e parque eólico

Parque Eólico	Aerogeradores	Paragens/Aerogerador
A	4	17,5
B	3	4,3
C	3	108,7
D	14	79,5
E	6	149,2
F	18	88,8
G	3	264,0
H	3	109,3
I	14	73,9
J	9	15,8
K	6	20,2
L	8	64,6
M	100	75,0
N	16	33,9
Total	207	72,4

Tabela 5.4: Aerogerador, por parque eólico, com maior tempo de paragem

Parque Eólico	Aerogerador	Tempo de Paragem	Paragens
A	4	01 h 57 min 39 s	18
B	2	00 h 12 min 41 s	6
C	16	30 h 53 min 16 s	109
D	3	53 h 10 min 29 s	184
E	1	57 h 30 min 09 s	176
F	18	35 h 42 min 06 s	122
G	6	40 h 03 min 40 s	330
H	5	09 h 31 min 51 s	112
I	15	38 h 18 min 43 s	236
J	2	01 h 11 min 39 s	19
K	1	04 h 08 min 39 s	21
L	4	12 h 31 min 13 s	113
M	46	56 h 53 min 59 s	163
N	16	05 h 48 min 40 s	57

A indisponibilidade de produção dos parques eólicos (Tabela 5.9) possui valores superiores a partir de maio devido ao número de paragens ser superior nesse período em relação aos restantes meses (Tabela 5.1). O maior valor de indisponibilidade de produção foi para o parque eólico E, com 1,388% para o período de maio a julho, enquanto que o menor valor, para o mesmo período, foi para o parque eólico B com 0,008%. Durante os meses de novembro a janeiro as indisponibilidades de produção foram todas inferiores a 0,012% devido aos períodos de inverno e do início do processo de uso da Avifauna.

Tabela 5.5: Aerogerador, por parque eólico, com maior número de paragens

Parque Eólico	Aerogerador	Tempo de Paragem	Paragens
A	3	01 h 57 min 39 s	18
B	2	00 h 12 min 41 s	6
C	16	30 h 53 min 16 s	109
D	3	53 h 10 min 29 s	184
E	1	57 h 30 min 09 s	176
F	18	35 h 42 min 06 s	122
G	6	40 h 03 min 40 s	330
H	5	09 h 31 min 51 s	112
I	15	38 h 18 min 42 s	236
J	2	01 h 11 min 39 s	19
K	4	04 h 04 min 41 s	23
L	4	12 h 31 min 13 s	113
M	46	56 h 53 min 59 s	163
N	16	05 h 48 min 40 s	57

Tabela 5.6: Latência de paragem dos aerogeradores por parque eólico

Parque Eólico	Latência de Paragem	
	μ	σ
A	00 min 36 s	06 s
B	00 min 55 s	07 s
C	01 min 06 s	08 s
D	01 min 01 s	08 s
E	00 min 56 s	08 s
F	00 min 59 s	08 s
G	00 min 55 s	07 s
H	00 min 54 s	07 s
I	01 min 00 s	08 s
J	02 min 19 s	12 s
K	01 min 01 s	08 s
L	00 min 56 s	07 s
M	03 min 34 s	15 s
N	01 min 42 s	10 s
Média global	01 min 17 s	11 s

Tabela 5.7: Latência de arranque dos aerogeradores por parque eólico

Parque Eólico	Latência de Arranque	
	μ	σ
A	00 min 40 s	00 min 18 s
B	00 min 57 s	00 min 15 s
C	00 min 56 s	00 min 45 s
D	00 min 50 s	00 min 29 s
E	01 min 17 s	00 min 41 s
F	01 min 18 s	00 min 41 s
G	01 min 00 s	00 min 46 s
H	00 min 53 s	00 min 16 s
I	01 min 14 s	00 min 30 s
J	01 min 21 s	01 min 42 s
K	01 min 00 s	00 min 26 s
L	01 min 14 s	00 min 29 s
M	03 min 57 s	01 min 41 s
N	01 min 04 s	00 min 33 s
Média global	01 min 16 s	02 min 03 s

Tabela 5.8: Tempo de paragem por parque eólico

Parque Eólico	Tempo de Paragem	
	μ	σ
A	06 min 37 s	07 min 00 s
B	02 min 28 s	01 min 00 s
C	16 min 49 s	16 min 00 s
D	18 min 33 s	16 min 00 s
E	21 min 10 s	17 min 00 s
F	14 min 51 s	10 min 00 s
G	07 min 15 s	07 min 03 s
H	04 min 51 s	03 min 34 s
I	09 min 39 s	09 min 34 s
J	02 min 58 s	05 min 57 s
K	11 min 42 s	10 min 57 s
L	07 min 23 s	05 min 45 s
M	22 min 17 s	19 min 02 s
N	05 min 36 s	06 min 07 s
Total	10 min 52 s	18 min 07 s

Tabela 5.9: Indisponibilidade de produção dos parques eólicos

Parque Eólico	Nov-Jan	Fev-Abr	Mai-Jul	Total
A	0,012 %	0,041 %	0,037 %	0,031 %
B	0,001 %	0,000 %	0,008 %	0,003 %
C	0,000 %	0,271 %	1,154 %	0,490 %
D	0,002 %	0,510 %	0,646 %	0,395 %
E	0,001 %	1,075 %	1,388 %	0,847 %
F	0,004 %	0,308 %	0,715 %	0,353 %
G	0,001 %	0,809 %	0,646 %	0,513 %
H	0,003 %	0,241 %	0,170 %	0,142 %
I	0,000 %	0,230 %	0,326 %	0,191 %
J	0,001 %	0,011 %	0,025 %	0,013 %
K	0,000 %	0,040 %	0,143 %	0,063 %
L	0,000 %	0,111 %	0,261 %	0,128 %
M	0,003 %	0,642 %	0,657 %	0,447 %
N	0,000 %	0,026 %	0,122 %	0,050 %

5.3 Conclusão

Os resultados mostram que, a partir do mês de fevereiro, houve uma subida de número de paragens relativamente aos meses anteriores e, a partir do mês de março (primavera), verificou-se números semelhantes de paragens (Tabela 5.1). A definição das zonas de maior incidência de aves é obtida cruzando o número de paragens por aerogerador com a localização dos aerogeradores no parque eólico.

Desde o início da operação até ao momento da análise dos resultados, obteve-se um total de 14911 paragens de aerogeradores, totalizando 182 d 42 min e 18 s. M, com 100 aerogeradores, possui o maior número de paragens com 7499, totalizando 115 d 20 h 30 min e 44 s (Tabela 5.2). O aerogerador com maior tempo de paragem pertence ao parque eólico E, totalizando 2 d 9 h 10 min e 29 s (Tabela 5.4). O aerogerador com maior número de paragens pertence ao parque eólico G com 330 paragens (Tabela 5.5). A maior média de paragens por aerogerador pertence também ao G com 264 paragens por aerogerador (Tabela 5.3).

O parque E obteve a maior indisponibilidade de produção de 2,554 % em abril (Tabela B.18), com 4 d 14 h 21 min e 1 s segundo de tempo de paragens. De todos os parques eólicos, apenas o G, o C e o E obtiveram mais que 1 % de indisponibilidade em pelo menos um dos meses analisados, no entanto, indisponibilidade de produção global foi inferior a 1 % (Tabela 5.9).

Capítulo 6

Conclusões

Atualmente, os aerogeradores tornaram-se numa das tecnologias produtoras de energia mais disseminadas, tanto em terra como no mar, com estrutura fixa ou flutuante. Com o evoluir da tecnologia, os aerogeradores apresentam alturas superiores, maior comprimento das pás, potência e eficiência. Um dos problemas criados por esta tecnologia é o impacto gerado na fauna, com especial foco na avifauna. Surge então a necessidade de mitigar este problema, não só para reduzir a pegada ecológica, mas também as multas elevadas aplicadas.

O estudo dos vários métodos de mitigação de colisões (Capítulo 2.2) sugere a contratação de ornitólogos para detetar e identificar aves assim como atuar sobre os aerogeradores. O projeto Avifauna foi então desenvolvido com a capacidade de registar e enviar comandos para os aerogeradores, informar as entidades envolvidas das ações efetuadas, gerar relatórios e obter dados em tempo real.

Por ser um sistema utilizado por utilizadores de diferentes países e com diferentes dispositivos, foi desenvolvida uma aplicação *Web* compatível com variados dispositivos e sistemas operativos, mantendo a mesma estrutura e desenho. O *Front-end* foi desenvolvido com a *framework* Vue.js e o *Back-end* em Node.js.

Os testes permitiram validar as funcionalidades e demonstrar a troca de informação entre *Front-end* e *Back-end*, com ênfase na utilização de *tokens* para validação da sessão dos utilizadores. Já o teste de carga permitiu avaliar a capacidade de resposta do sistema a vários pedidos em simultâneo, concluindo que, mesmo com um número elevado de utilizadores, a Avifauna continua a responder sem erros e sem degradação de desempenho.

Durante um período de aproximadamente 9 meses (desde 11 de novembro de 2020 a 27 de julho de 2021) foram efetuadas 14 991 paragens em 207 aerogeradores de 14 diferentes parques eólicos, totalizando 182 dias, 42 minutos e 18 segundos.

A grande incidência de aves nos parques eólicos, neste período, ocorreu na primavera. A Avifauna induziu uma perda de disponibilidade de produção inferior a 1 % nos meses analisados. A exceção ocorreu nos parques G, C e E, com uma indisponibilidade ligeiramente superior em alguns meses, tendo o maior valor sido 2,554 %, obtido no E no mês de abril.

Os registos das paragens, quando cruzados com informação obtida da base de dados em tempo real OSI-PI e com o mapa geográfico do parque eólico, permitiram definir zonas críticas dos parques eólicos, ou seja, onde ocorreram um elevado número de paragens de aerogeradores face aos restantes. Estes padrões permitiram definir zonas preferenciais de posicionamento de ornitólogos e de estudo da melhor metodologia de mitigação. A análise das paragens da Avifauna permitiu caracterizar o tempo de resposta dos sistemas SCADA, desde o envio do pedido até à confirmação da alteração de estado do aerogerador. Três parques eólicos apresentam tempos de resposta mais elevados, devendo ser analisados.

A utilização da Avifauna está planeada para ser expandida, subindo o número total de aerogeradores integrados para 224 em 18 parques eólicos. A evolução prevista da Avifauna inclui fornecer mais informação dos aerogeradores em tempo real, permitir a criação e partilha de notas, mostrar os locais de incidência de aves nos diferentes parques eólicos, configurar o servidor OPC e novos parques eólicos.

Conclui-se que a aplicação *Web Avifauna*, conjuntamente com os ornitólogos, cumpre os objetivos estabelecidos, causando uma indisponibilidade de produção global abaixo do 1 %.

Bibliografia

- [1] J. Gauthreaux, Sidney A. and C. G. Belser, “Radar Ornithology and Biological Conservation,” *The Auk*, vol. 120, pp. 266–277, 04 2003. [citado na p. v, 6]
- [2] C. Wasserzier, D. Fischer, and T. Rheinhard, “Development of a radar sensor for reducing the risk of bird collisions with wind turbines,” in *2017 18th International Radar Symposium (IRS)*, pp. 1–9, 2017. [citado na p. v, 7]
- [3] M. DESHOLM, A. D. FOX, P. D. L. BEASLEY, and J. KAHLERT, “Remote techniques for counting and estimating the number of bird–wind turbine collisions at sea: a review,” *Ibis*, vol. 148, no. s1, pp. 76–89, 2006. [citado na p. v, 6, 8, 9]
- [4] L. Wei, G. Mirzaei, M. W. Majid, M. M. Jamali, J. Ross, P. V. Gorsevski, and V. P. Bingman, “Birds/bats movement tracking with ir camera for wind farm applications,” in *2014 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, pp. 341–344, 2014. [citado na p. v, 8, 9, 10]
- [5] J. Lüdeke, “Review of 10 years of research of offshore wind farms in germany: The state of knowledge of ecological impacts,” in *Proceedings of the 8th International Conference on Environmental and Geological Science and Engineering (EG '15), Salerno, Italy*, Advances in Environmental and Geological Science and Engineering, pp. 25–37, 2015. [citado na p. v, 10, 11]
- [6] R. F. May, Ø. Hamre, R. Vang, and T. Nygård, “Evaluation of the dtbird video-system at the smøla wind-power plant. detection capabilities for capturing near-turbine avian behaviour,” *NINA rapport*, 2012. [citado na p. v, 11, 12]
- [7] R. Yoshihashi, R. Kawakami, M. Iida, and T. Naemura, “Construction of a bird image dataset for ecological investigations,” in *2015 IEEE International*

- Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 4248–4252, 2015. [citado na p. v, 13, 14]
- [8] S. Wagner, R. Bareib, and G. Guidati, *Wind Turbine Noise*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1 ed., 1996. [citado na p. v, 14, 15]
- [9] W. Hodos, “Minimization of motion smear: reducing avian collisions with wind turbines,” *Report NREL/ SR-500-33249*. Washington, DC: National Renewable Energy Laboratory, 2003. [citado na p. v, 17, 18]
- [10] OPC Foundation, “OPC.” http://wiki.opcfoundation.org/index.php?title=Data_Access, 2015. Acedido em junho 2021. [citado na p. 1]
- [11] M. Collier, S. Dirksen, and K. Krijgsveld, “A review of methods to monitor collisions or micro-avoidance of birds with offshore wind turbines. part 1: Review,” Tech. Rep. 11-078, Bureau Waardenburg, Culemborg, Netherlands, 2011. [citado na p. 5, 8, 10]
- [12] E. F. Knott, J. F. Schaeffer, and M. T. Tulley, *Radar cross section*. SciTech Publishing, 2 ed., 2004. [citado na p. 7]
- [13] J. N. Briggs, *Target Detection by Marine Radar*. IEE Radar Series, Institution of Engineering and Technology, 2004. [citado na p. 7, 13]
- [14] J. Moll, A. T. Zadeh, M. Mälzer, J. Simon, V. Krozer, C. Kramer, H. Friedmann, A. Nuber, M. Dürr, D. Pozdniakov, and R. Salman, “Radar-based detection of birds at wind turbine installations: Results from a field study,” in *2020 23rd International Microwave and Radar Conference (MIKON)*, pp. 285–288, 2020. [citado na p. 7]
- [15] P. Viola and M. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” in *Proceedings of the 2001 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. CVPR 2001*, vol. 1, pp. I–I, Ieee, 2001. [citado na p. 13]
- [16] M. de Lucas, M. Ferrer, M. J. Bechard, and A. R. Muñoz, “Griffon vulture mortality at wind farms in southern spain: Distribution of fatalities and active mitigation measures,” *Biological Conservation*, vol. 147, no. 1, pp. 184–189, 2012. [citado na p. 14]
- [17] J. Bishop, H. McKay, D. Parrott, and J. Allan, “Review of international research literature regarding the effectiveness of auditory bird scaring techniques and potential alternatives,” *Food and Rural Affairs, London*, pp. 1–53, 2003. [citado na p. 16, 17]

- [18] F. M. M. V. e F. J. M. Rojo, “Consejería de medio ambiente y ordenación del territorio.” http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/biodiversidad/6_habitats_y_ecosistemas/2_actuaciones_parques_eolicos/instruccion_parques_eolicos.pdf, 2018. Acedido em maio 2021. [citado na p. 17]
- [19] G. R. Martin, S. J. Portugal, and C. P. Murn, “Visual fields, foraging and collision vulnerability in gyps vultures,” *Ibis*, vol. 154, no. 3, pp. 626–631, 2012. [citado na p. 17]
- [20] E. B. Arnett and R. F. May, “Mitigating wind energy impacts on wildlife: approaches for multiple taxa,” *Human–Wildlife Interactions*, vol. 10, no. 1, p. 5, 2016. [citado na p. 17, 19]
- [21] H. P. McIsaac, “Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity,” in *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting IV (ed. PNAWPPM-IV)*, pp. 59–87, 2001. [citado na p. 17]
- [22] J. M. Northrup and G. Wittemyer, “Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation,” *Ecology Letters*, vol. 16, no. 1, pp. 112–125, 2013. [citado na p. 18]
- [23] D.-G. for Environment, “Wind energy developments and natura 2000,” European Commission, 2013. Acedido em maio 2021. [citado na p. 18]
- [24] D. E. Chamberlain, M. R. Rehfisch, A. D. Fox, M. Desholm, and S. J. Anthony, “The effect of avoidance rates on bird mortality predictions made by wind turbine collision risk models,” *Ibis*, vol. 148, pp. 198–202, 2006. [citado na p. 18]
- [25] M. de Lucas, M. Ferrer, and G. F. E. Janss, “Using wind tunnels to predict bird mortality in wind farms: The case of griffon vultures,” *PLOS ONE*, vol. 7, pp. 1–7, 11 2012. [citado na p. 18]
- [26] R. M. Barclay, E. Baerwald, and J. Gruver, “Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height,” *Canadian Journal of Zoology*, vol. 85, no. 3, pp. 381–387, 2007. [citado na p. 19]
- [27] K. S. Smallwood and B. Karas, “Avian and bat fatality rates at old-generation and repowered wind turbines in california,” *The Journal of Wildlife Management*, vol. 73, no. 7, pp. 1062–1071, 2009. [citado na p. 19]
- [28] Vue.js, “Vue.js.” <https://vuejs.org/>, 2021. Acedido em junho 2021. [citado na p. 25]

- [29] Vuetify, “Vuetify.” <https://vuetifyjs.com/>, 2021. Acedido em junho 2021. [citado na p. 26]
- [30] KEYMETRICS, “PM2.” <https://pm2.keymetrics.io/>, 2021. Acedido em junho 2021. [citado na p. 27]
- [31] Microsoft, “DCOM.” [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-2000-server/cc958799\(v=technet.10\)?redirectedfrom=MSDN](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-2000-server/cc958799(v=technet.10)?redirectedfrom=MSDN), 2012. Acedido em junho 2021. [citado na p. 31]
- [32] OpenJS Foundation, “Express.js.” <https://expressjs.com/>, 2017. Acedido em junho 2021. [citado na p. 32]
- [33] Postman, Inc., “Postman.” <https://www.postman.com/>, 2021. Acedido em junho 2021. [citado na p. 51]
- [34] Apache Software Foundation, “Apache JMeter.” <https://jmeter.apache.org/>, 2021. Acedido em junho 2021. [citado na p. 62]

Anexos

Anexo A

Algoritmos

Algoritmo 1: Autenticação

```
input : nome, password, chave
output: user, token, Error
try
  user ← PesquisarUsario(nome);
  if bcrypt.match(password, user.password) and user != undefined then
    | token ← user.gerarToken({key:chave, expiresIn:12h});
    | return {user, token};
  else
    | return Error ← false;
  end
catch
  | return Error ← false;
end
```

Algoritmo 2: Função validação do utilizador

```
input : token, chave
output: Error
try
  _id = jwt.verificar(token, chave);
  user = PesquisarUser({_id, 'tokens.token' : token});
  if match(token, user.token) && user != undefined then
    | return true;
  else
    | return Error ← false
  end
catch
  | return Error ← false
end
```

Algoritmo 3: Envio do comando

```

input : comando, user._id, windfarm._id, turbinas, token
output: registo._id, Error
try
  if validar_usuario({user._id, token}) then
    ID ← contarRegistoComandos();
    registo ← criarRegisto(windfarm._id, turbinas, comando, user._id, ID, getTime());
    enviarComandoSCADA(comando, windfarm._id, turbinas);
    return registo._id;
  else
    return Error ← false;
  end
catch
  return Error ← false;
end

```

Algoritmo 4: Envio do motivo paragem

```

input : registo._id, user._id, token, motivo
output: Error
try
  if validar_usuario({user._id, token}) then
    registo ← PesquisarRegisto(registo._id);
    registo.motivo ← motivo;
    return true;
  else
    return Error ← false;
  end
catch
  return Error ← false;
end

```

Algoritmo 5: Envio do comando OPC

```

input : IP_OPC, PROG_ID, USER_OPC, PASS_OPC, TAG_START, TAG_STOP, Ordem
try
  data ← Ordem.ID + ';' + Name_OPC + ';' + IP_OPC + ';' + PROG_ID;
  if Ordem.Action === 'Start' then
    TAG ← TAG_Start;
  else
    TAG ← TAG_Stop;
  end
  foreach (Turbine in Ordem.Turbines) do
    if TAG.indexOf('@') !== -1 then
      data ← data + ';' + TAG.replace('@', Ordem.Turbines) + '';
    end
    if TAG.indexOf('?2') !== -1 then
      data ← data + ';' + TAG.replace('?2', ("0" + Ordem.Turbines).slice(-2)) + '';
    end
  end
  process ← exec('PsExec64.exe -u ' + USER_OPC + ' -p ' + PASS_OPC + './driver.exe' + data,
    error => {
  if error then
    throw error;
  end
  })
catch error
  throw error ;
end

```

Algoritmo 6: Envio do comando FTP/OPC

```

input : IP_FTP,IP_OPC,PROG_ID,Name_OPC,TAG_START,
TAG_STOP,Ordem,USER_FTP,PASS_FTP
try
  | Client ← require('FTP');
  | ftp ← new Client();
  | fs ← require('fs');
  | data ← Ordem.ID + ';' + IP_OPC + ';' + PROG_ID + '\r\n';
  | if Ordem.Action === 'Start' then
  | | TAG ← TAG_Start;
  | else
  | | TAG ← TAG_Stop;
  | end
  | foreach (Turbine in Ordem.Turbines) do
  | | if TAG.indexOf('@') !== -1 then
  | | | data ← data + TAG.replace('@',Ordem.Turbines) + '\r\n';
  | | end
  | | if TAG.indexOf('?2') !== -1 then
  | | | data ← data + TAG.replace('?2','0'+ Ordem.Turbines.slice(-2)) + '\r\n';
  | | end
  | end
  | ficheiro ← './Commands.FTP/' + Ordem.ID + '_' + Name_OPC + '.txt';
  | fs.writeFile(ficheiro, data);
  | ftp.on('ready',function(){
  | | ftp.put(ficheiro);
  | | ftp.end();
  | | ftp.connect({host:IP_FTP,user:USER_FTP,pass:PASS_FTP});
  | catch error
  | | throw error ;
  | end

```

Algoritmo 7: Alteração de grupos de aerogeradores

```

input : user._id, token,windfarm,grupo,pretendido
output: Error
try
  | registroGrupo = PesquisarGruposUsuario(user._id,windfarm);
  | if validar_usuario({user._id,token}) then
  | | if pretendido ← 'Criar' then
  | | | registroGrupo.adicionar(grupo);
  | | else
  | | | if pretendido = 'Alterar' then
  | | | | registroEspecifico ← PesquisarGrupo(grupo._id);
  | | | | registroEspecifico.gravar();
  | | | else
  | | | | registroGrupo.apagar(grupo._id);
  | | | end
  | | end
  | else
  | | return Error ← false;
  | end
  | user.grupos(windfarm) ← registroGrupo;
  | user.gravar();
  | return true;
  | catch
  | | return Error ← false;
  | end

```

Algoritmo 8: Gestão de utilizadores

```

input : user_id, token, usuario, pretendido
output: Error, Status
try
  if validar_usuario(user_id, token) && user.role  $\leftarrow$  'Administrador' then
    if pretendido = 'Criar' then
      novo_usuario  $\leftarrow$  novoUsuario(usuario.nome, usuario.Windfarm, usuario.role,
        usuario.Country);
      novo_usuario.gravar();
    else
      modificar_usuario  $\leftarrow$  procurarUsuario(usuario_id);
      modificar_usuario.gravar();
      Status  $\leftarrow$  true;
    end
  else
    return Error  $\leftarrow$  false;
  end
catch
  return Error  $\leftarrow$  false;
end

```

Algoritmo 9: Alteração da senha

```

input : user_id, token, password
output: Error, Status
try
  if validar_usuario({user_id, token}) then
    user.password  $\leftarrow$  password.encryptar({key:'chave'});
    if user.first  $===$  true then
      user.first  $\leftarrow$  false;
    end
    user.gravar();
    return Status  $\leftarrow$  true;
  else
    return Error  $\leftarrow$  false;
  end
catch
  return Error  $\leftarrow$  false;
end

```

Algoritmo 10: Pedido de relatório

```

input : user._id, token, vetor_parques_id
output: data, Error
try:
  registos ← [];
  if validar_usuario(user._id, token) then
    if user.role = 'Operador' then
      registos ←
        action.PesquisarRegistos(usuario:user._id, vetor_parques_id);
    else
      registos ←
        action.PesquisarRegistos(vetor_parques_id);
    end
    foreach (registos.data ∈ registos) do
      registos.data ←
        registro.data.converterData(fuso_horario:user.Country);
    end
    return {data:registos};
  else
    return Error ← 200;
  end
catch:
  return Error ← 201;
end

```

Algoritmo 11: Registos para análise

```

input : user._id, token, action._id, motivo
output: Error
try
  operation ← action.PesquisarRegisto({action._id});
  if validar_usuario({user._id, token}) then
    if operation.action ← 'Stop' then
      registro_analise ← analise.criarRegisto({
        Action_Stop: operation._id, Stop: operation.Time, Windfarm_id:
        operation.Windfarm_id, Turbines: operation.Turbines});
    else
      registro_analise ← analise.procurarRegistoCorrespondente({Parque:
        operation.Windfarm, Turbinas: operation.Turbines});
      diff ← operation.Time - registro_analise.Stop;
      production ← OSIPL.obterEnergia({
        Turbinas: registro_analise.Turbinas, Parque: registro_analise.Windfarm, Stop:
        registro_analise.Stop, Start: registro_analise.Start});
      registro_analise :{
        Action_Start: operation._id
        Start: operation
        diff
        production
      }
    end
    registro_analise.gravar();
    return true;
  else
    return Error ← 200;
  end
catch
  return Error ← 201;
end

```

Algoritmo 12: Filtros dos registros para análise

```

input : registos, vetor_filtro_especie, vetor_filtro_windfarm, date_begin, date_end
output: paragens, production, species, Error
try
  resultado ← [];
  sum_stops ← [];
  sum_prod ← [];
  registos ← registos.filter(function(registo){return registo.Stop ≥ date_begin && registo.Start ≤
    date_end});
  resultado ← registos;
  if vetor_filtro_windfarm ≠ [] then
    | resultado ← resultado.filter(function(registo){return vetor_filtro_windfarm.includes(registo.windfarm)});
  end
  if vetor_filtro_especie ≠ [] then
    | resultado ← resultado.filter(function(registo){return vetor_filtro_especie.includes(registo['Reason.Specie'])});
  end
  foreach (registo ∈ resultado) do
    | if existe(sum_stops[registo.windfarm]) then
      | | sum_stops[registo.windfarm] ← sum_stops[registo.windfarm] + 1;
      | | sum_prod[registo.windfarm] ← sum_prod[registo.windfarm] + registo.production;
    | else
      | | sum_stops[registo.windfarm] ← 1;
      | | sum_prod[registo.windfarm] ← registo.production;
    | end
  end
  foreach (windfarm ∈ sum_stops) do
    | paragens ← popular_paragens({
      | label : windfarm, data : [sum_stops[windfarm]]});
    | paragens ← popular_paragens({label : windfarm, data : [sum_prod[windfarm]]});
  end
  sum_aves ← [];
  nomes_especies ← [];
  foreach (registo ∈ registos.Reason) do
    | if existe(sum_aves[registo.Specie]) then
      | | sum_aves[registo.Specie] ← sum_aves[registo.Specie] + registo.Numero;
    | else
      | | sum_aves[registo.Specie] ← registo.Numero;
      | | nomes_especies ← registo.Specie;
    | end
  end
  species ← {labels : nomes_especies, datasets : sum_aves};
  return {paragens, species};
catch
  | return {Error : 201};
end

```

Anexo B

Resultados por Parque Eólico

B.1 Parque Eólico A

O parque eólico A (Figura B.1), constituído por 4 aerogeradores, apresenta-se como o 13.º parque eólico em número de paragens, 2.º parque com menor número, 70 paragens (Tabela 5.2) em 7 h 43 min e 7 s de duração total de paragens (Tabela 5.2), obtendo uma indisponibilidade de produção de 0,045 % (Tabela 5.9) entre 1 de março e 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,039 % no período compreendido entre o dia 1 a 27 de julho (Tabela B.2). Em 24 % das paragens o vento encontrava-se entre os 120° to 180° e 40 % entre 60° to 120° e 240° to 300° (Figura B.2a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.2b), em 33 % das paragens encontrava-se entre 3 m/s to 6 m/s e 24 % entre 6 m/s to 9 m/s. A média do número de paragens por aerogerador é 17,5 (Tabela 5.3), com uma média de tempo de paragem de 6 min e 37 s e desvio padrão de 7 min e 39 s (Tabela 5.8), maior tempo total de paragem de 1 h 38 min e 33 s ocorre no aerogerador 3 (Tabela 5.4), assim como 18 paragens, o maior número de paragens (Tabela 5.5).

Tabela B.1: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem (%)
3	18	25,714
4	18	25,714
1	17	24,286
2	17	24,286

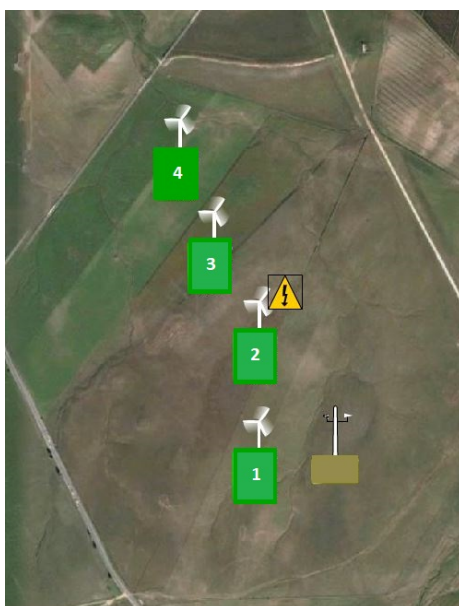


Figura B.1: Parque eólico A

Tabela B.2: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade (%)	Duração
11/2020	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
12/2020	7	0,011 %	00 h 19 min 49 s
01/2021	7	0,023 %	00 h 41 min 51 s
02/2021	4	0,007 %	00 h 11 min 20 s
03/2021	20	0,090 %	02 h 41 min 20 s
04/2021	7	0,023 %	00 h 39 min 41 s
05/2021	8	0,007 %	00 h 13 min 16 s
06/2021	7	0,006 %	00 h 10 min 18 s
07/2021	10	0,093 %	00 h 45 min 32 s

Tabela B.3: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	0	0	0	0	0
12/2020	0	1	3	0	0	3
01/2021	5	0	0	0	2	0
02/2021	0	2	1	0	1	0
03/2021	4	8	4	2	2	0
04/2021	1	1	2	1	2	0
05/2021	0	2	2	2	1	1
06/2021	0	0	2	2	1	2
07/2021	0	0	3	2	5	0

Tabela B.4: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	0	0	0	0	0
12/2020	0	7	0	0	0	0
01/2021	4	1	2	0	0	0
02/2021	0	0	0	0	4	0
03/2021	4	0	3	8	2	3
04/2021	0	4	3	0	0	0
05/2021	0	3	1	2	2	0
06/2021	0	4	3	0	0	0
07/2021	1	4	5	0	0	0

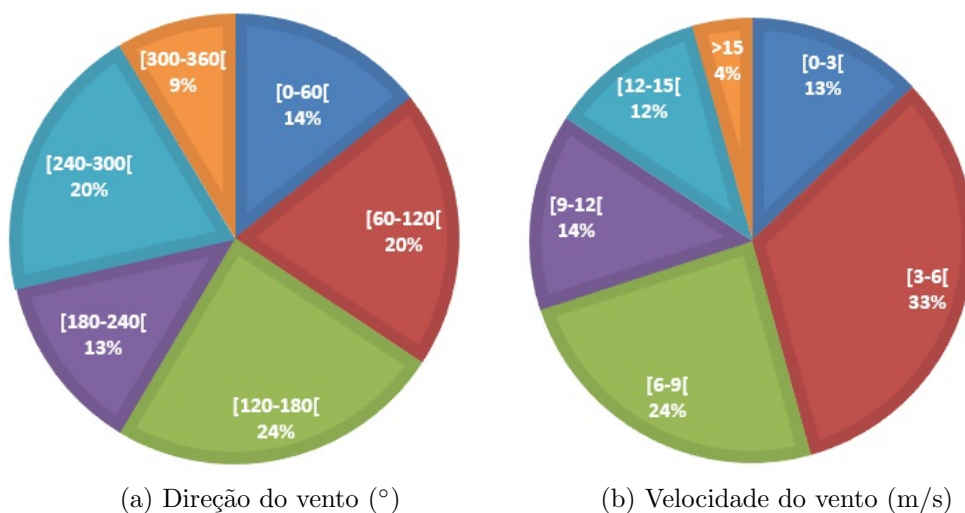


Figura B.2: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.3 e B.4

O parque eólico apresenta uma distribuição homogénea de paragens (Tabela B.1) porque contém apenas 4 aerogeradores e a curta distância entre si (Figura B.1), provocando paragens em todos os aerogeradores devido ao raio de segurança sempre que se detetam aves na rota de pelo menos um dos aerogeradores. Na paragem mais longa é possível que tenha havido aves em risco de colisão. Conclui-se que é um parque com pouca e rápida passagem de aves, apresentando apenas 6 min e 17 s de tempo médio de paragem.

B.2 Parque Eólico B

O parque eólico B (Figura B.3), constituído por 3 aerogeradores, apresenta apenas 13 paragens com duração total de 32 min e 9 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,005 % (Tabela 5.9) entre 1 de março e 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,021 % no período compreendido entre o dia 1 a 27 de julho (Tabela B.6). Em 69 % das paragens o vento encontrava-se entre

os 240° to 300° seguido de 15 % entre 60° to 120° (Figura B.4a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.4b), em 54 % das paragens encontrava-se entre 6 m/s to 9 m/s e 31 % entre 3 m/s to 6 m/s. A média de paragens por aerogerador é de apenas 4,3 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 2 min e 28 s e desvio padrão de 1 min e 7 s (Tabela 5.8) e o maior tempo total de paragem com 12 min e 41 s pertence ao aerogerador 2 (Tabela 5.4), assim como o maior número de paragens (Tabela 5.5).



Figura B.3: Parque eólico B

Tabela B.5: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
2	6	46,154 %
3	4	30,769 %
4	3	23,077 %

Tabela B.6: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	3	0,002 %	00 h 02 min 40 s
12/2020	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
01/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
02/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
03/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
04/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
05/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
06/2021	1	0,001 %	00 h 01 min 31 s
07/2021	9	0,021 %	00 h 27 min 58 s

Tabela B.7: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores ($^{\circ}$)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	2	1	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	0	0	0	0	0	0
03/2021	0	0	0	0	0	0
04/2021	0	0	0	0	0	0
05/2021	0	0	0	0	0	0
06/2021	0	0	0	1	0	0
07/2021	0	0	0	0	9	0

Tabela B.8: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	1	1	1	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	0	0	0	0	0	0
03/2021	0	0	0	0	0	0
04/2021	0	0	0	0	0	0
05/2021	0	0	0	0	0	0
06/2021	1	0	0	0	0	0
07/2021	0	3	6	0	0	0

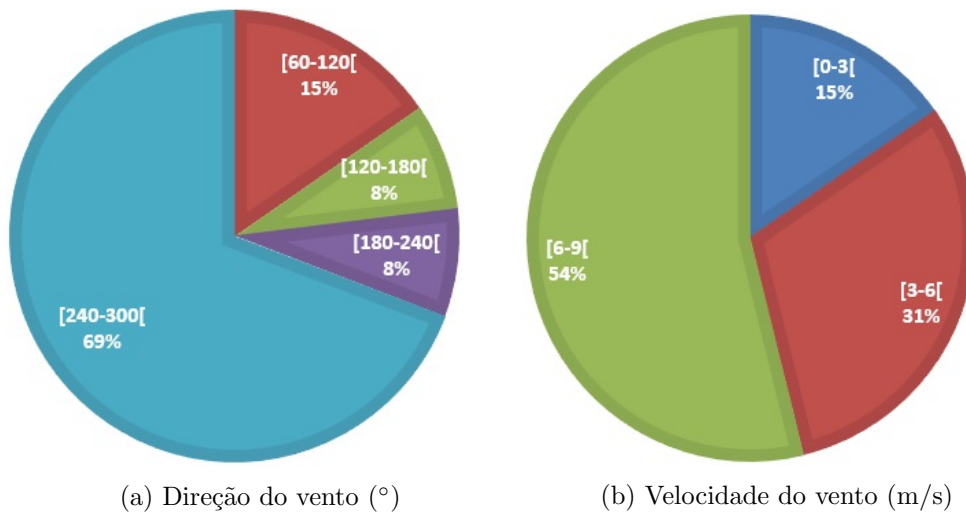


Figura B.4: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.7 e B.8

Com uma amostra tão pequena (13 paragens) não foi possível identificar pontos críticos no parque eólico nem padrões de incidência. Com um tempo médio de duração de paragem de 2 min e 18 s, conclui-se que é um parque eólico com pouca incidência de aves, apresentando passagem rápida de poucos espécimens.

Relativamente ao número de paragens por mês, a maior contagem foi no mês de julho (Tabela B.6).

B.3 Parque Eólico C

O parque eólico C (Figura B.5), constituído por 3 aerogeradores, apresenta 326 paragens com duração total de 3 d 19 h 19 min e 48 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,851 % (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, tendo o máximo de 1,263 % ocorrido no mês de maio de 2021 (Tabela B.10). Em 27 % das paragens o vento encontrava-se entre os 240° to 300° seguido de 20 % entre 180° to 240° (Figura B.6a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.6b), em 32 % das paragens encontrava-se entre 3 m/s to 6 m/s e 31 % entre 6 m/s to 9 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 108,7 (Tabela 5.3), com um tempo médio de 16 min e 49 s e desvio padrão de 16 min e 29 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem é de 30 h 53 min e 16 s pertencente ao aerogerador 16 (Tabela 5.4). Os aerogeradores com maior número de paragens foram o 14 e o 16, com 109 paragens (Tabela 5.5).

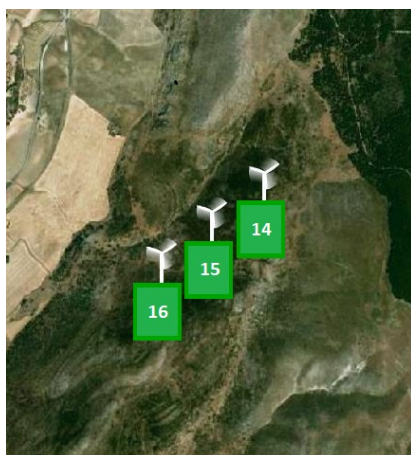


Figura B.5: Parque eólico C

Tabela B.9: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
14	109	33,436 %
16	109	33,436 %
15	108	33,129 %

Tabela B.10: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	1	0,001%	00 h 00 min 49 s
12/2020	0	0,000%	00 h 00 min 00 s
01/2021	0	0,000%	00 h 00 min 00 s
02/2021	0	0,000%	00 h 00 min 00 s
03/2021	6	0,169%	03 h 46 min 02 s
04/2021	56	0,630%	13 h 36 min 17 s
05/2021	87	1,263%	28 h 11 min 32 s
06/2021	90	1,148%	24 h 47 min 45 s
07/2021	86	0,939%	20 h 57 min 23 s

Tabela B.11: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	1	0	0	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	0	0	0	0	0	0
03/2021	2	1	3	0	0	0
04/2021	10	8	10	12	14	2
05/2021	17	17	4	13	14	22
06/2021	8	8	12	24	28	10
07/2021	10	12	5	17	33	9

Tabela B.12: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	1	0	0	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	0	0	0	0	0	0
03/2021	0	1	5	0	0	0
04/2021	5	9	27	10	1	4
05/2021	16	32	26	11	2	0
06/2021	13	29	32	11	2	3
07/2021	29	33	12	7	4	1

O parque eólico C é o terceiro parque com maior média de paragens por aerogerador (108,7) e com uma distribuição homogénea (Tabela B.9) devido à proximidade dos aerogeradores (Figura B.5), não sendo possível distinguir a criticidade dos aerogeradores. Conclui-se que apresenta uma grande incidência de aves nos meses de maio, junho e julho, seguidos de abril, com menos 30% de incidência. Relativamente à média do tempo de paragem, é o quarto parque com maior média de tempo, indicando possivelmente bandos de passagem.

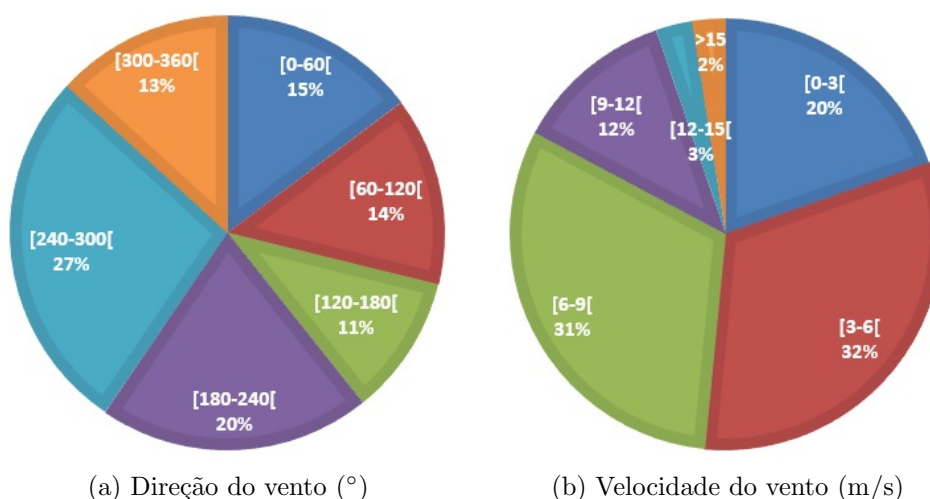


Figura B.6: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.11 e B.12

B.4 Parque Eólico D

O parque eólico D (Figura B.7), constituído por 14 aerogeradores, apresenta 1113 paragens, sendo o 3.º parque com maior número de paragens (Tabela 5.2), totalizando 14 d e 8 h 2 min e 49 s e resultando numa indisponibilidade de produção de 0,686 % (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,877 % no mês de março de 2021 (Tabela B.14). Em 34 % das paragens o vento encontrava-se entre os 120° to 180° seguido de 27 % entre 60° to 120° (Figura B.8a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.8b), em 56 % das paragens encontrava-se entre 3 m/s to 6 m/s e 6 m/s to 9 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 79,5 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 18 min e 33 s e desvio padrão de 16 min e 59 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 2 d e 5 h 10 min e 29 s pertence ao aerogerador 3 (Tabela 5.4) e o maior número de paragens (184) pertencente ao aerogerador 3 (Tabela 5.5).



Figura B.7: Parque eólico D

Tabela B.13: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
3	184	16,532 %
5	180	16,173 %
4	173	15,544 %
2	111	9,973 %
1	88	7,907 %
11	52	4,672 %
10	50	4,492 %
12	47	4,223 %
13	47	4,223 %
8	41	3,684 %
14	41	3,684 %
9	39	3,504 %
6	33	2,965 %
7	27	2,426 %

Tabela B.14: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	5	0,001 %	00 h 04 min 40 s
12/2020	1	0,001 %	00 h 09 min 12 s
01/2021	9	0,002 %	00 h 15 min 19 s
02/2021	4	0,001 %	00 h 06 min 21 s
03/2021	143	0,877 %	91 h 19 min 21 s
04/2021	248	0,584 %	58 h 53 min 25 s
05/2021	259	0,866 %	90 h 10 min 37 s
06/2021	231	0,522 %	52 h 38 min 44 s
07/2021	213	0,484 %	50 h 24 min 50 s

Tabela B.15: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	2	3	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	1
01/2021	2	4	1	0	0	2
02/2021	1	0	0	0	2	1
03/2021	2	49	82	10	0	0
04/2021	7	37	106	37	42	19
05/2021	18	80	71	14	35	41
06/2021	7	76	54	35	36	23
07/2021	16	53	60	8	53	23

Tabela B.16: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	2	2	1	0	0
12/2020	1	0	0	0	0	0
01/2021	4	3	2	0	0	0
02/2021	0	4	0	0	0	0
03/2021	5	4	27	37	51	19
04/2021	11	82	77	39	16	23
05/2021	33	69	97	39	13	8
06/2021	43	80	58	37	12	1
07/2021	45	72	53	15	17	11

O parque eólico D é o 3.º parque com maior número de paragens e 6.º maior em número de paragens por aerogerador, com variações no número de paragens que indicam padrões de rotas de aves. Analisando a Tabela B.13 verifica-se um número maior de paragens nos aerogeradores 1, 2, 3, 4 e 5 em relação ao restantes, o grupo de maior risco do parque eólico. Este grupo crítico, situado a norte (Figura B.7), os aerogeradores 3, 4 e 5 são os mais críticos com cerca de 48,25 % das paragens.

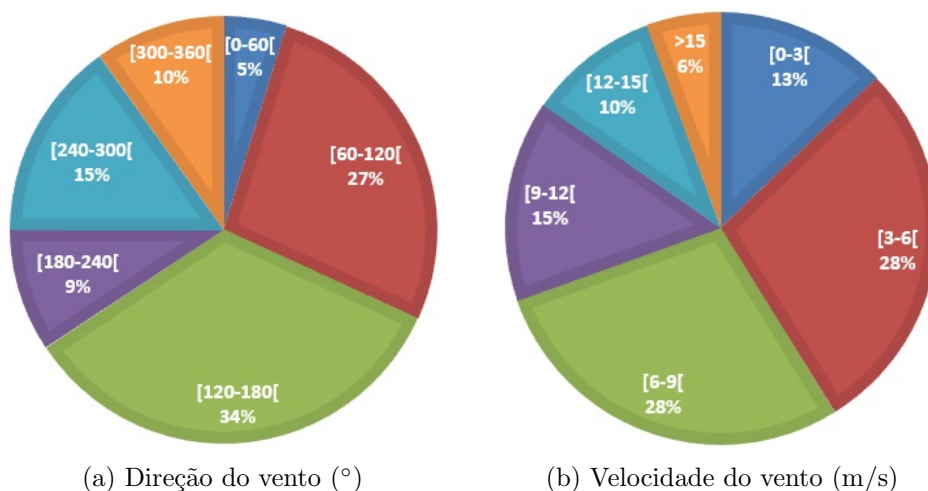


Figura B.8: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.15 e B.16

B.5 Parque Eólico E

O parque eólico E (Figura B.9), constituído por 6 aerogeradores, apresenta 895 paragens com duração total de 13 d e 3 h 47 min e 35 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 1,422 % (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 2,554 % no mês de abril de 2021 (Tabela B.18). Em 44 % das paragens o vento encontrava-se entre os 240° to 300° seguido de 25 % entre 180° to 240° (Figura B.10a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.10b), em 40 % das paragens encontrava-se entre 6 m/s to 9 m/s e 37 % entre 3 m/s to 6 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 149,2 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 21 min e 10 s e desvio padrão de 17 min e 2 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem (2 d e 9 h 30 min e 9 s) e o maior número de paragens (176) pertence ao aerogerador 1 (Tabela 5.4 e Tabela 5.5).

Tabela B.17: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
1	176	19,665 %
2	171	19,106 %
3	168	18,771 %
4	128	14,302 %
5	127	14,19 %
6	125	13,966 %



Figura B.9: Parque eólico E

Tabela B.18: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	2	0,002 %	00 h 04 min 20 s
12/2020	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
01/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
02/2021	36	0,263 %	10 h 36 min 42 s
03/2021	41	0,377 %	16 h 50 min 08 s
04/2021	277	2,554 %	110 h 21 min 01 s
05/2021	157	1,155 %	51 h 33 min 19 s
06/2021	224	1,681 %	72 h 36 min 13 s
07/2021	158	1,204 %	53 h 45 min 52 s

Tabela B.19: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	1	1	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	12	7	5	0	11	1
03/2021	1	0	7	12	19	2
04/2021	2	11	29	95	128	12
05/2021	9	11	15	33	61	28
06/2021	7	15	34	50	104	14
07/2021	6	19	20	34	72	7

Tabela B.20: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	1	0	1	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	12	6	1	8	8	1
03/2021	2	25	11	2	1	0
04/2021	28	97	121	19	4	8
05/2021	10	53	60	23	6	5
06/2021	15	96	94	16	0	3
07/2021	11	55	70	8	0	14

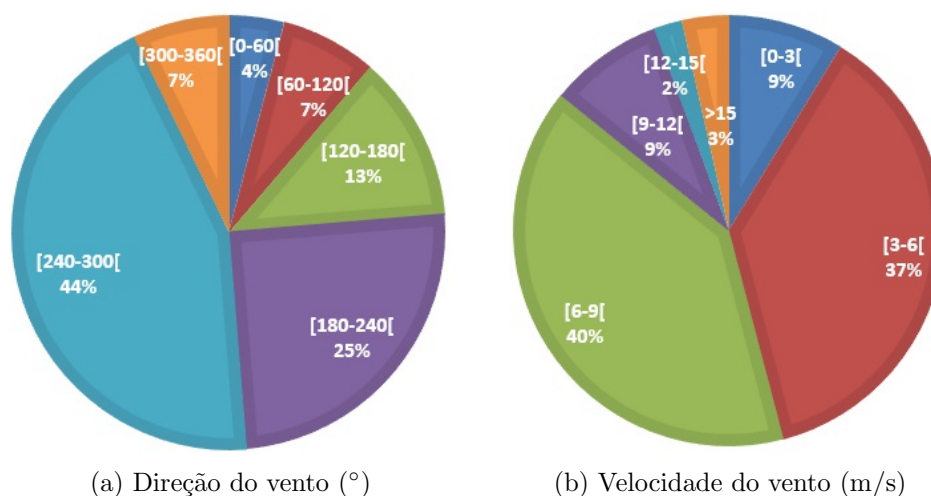


Figura B.10: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.19 e B.20

O parque eólico E é o 5.º parque eólico com maior número de paragens e o 2.º com maior média de paragens por aerogerador, resultando na maior indisponibilidade de produção de todos os parques eólicos entre abril e finais de julho de 2021. Analisando a Tabela B.17) conclui-se que existe uma diferença de pelo menos 4% entre os aerogeradores a sul (1, 2 e 3) e os aerogeradores a norte (4, 5 e 6). O grupo dos aerogeradores a sul apresenta 30% mais paragens (515 paragens) relativamente ao grupo a norte (394 paragens), caracterizando-o como o grupo mais crítico. Dentro do grupo dos aerogeradores a sul, o aerogerador 1 é o que possui mais paragens, indicando que as aves entram no raio de segurança desse aerogerador e não tanto no raio dos restantes 2 e 3. No entanto, a diferença de paragens é pouco significativa para atribuir criticidade ao aerogerador 1. O parque eólico é o mais afetado pela prevenção de colisões da avifauna devido à maior indisponibilidade de produção entre abril e finais de julho de 2021, com especial foco na zona sul do parque eólico. Assim, possui a 2.º maior média de tempo de paragem por aerogerador com 21 min e 10 s 21:10 minutos, indicando que as aves permanecem algum tempo.

B.6 Parque Eólico F

O parque eólico F (Figura B.11), constituído por 18 aerogeradores, apresenta 1598 paragens com duração total de 16 d e 11 h 17 min e 25 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,608 % (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,776 % no mês de junho de 2021 (Tabela B.22). Em 25 % das paragens o vento encontrava-se entre os 60° to 120° seguido de 42 % entre 120° to 180° e 240° to 300° (Figura B.12a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.12b), em 37 % das paragens encontrava-se entre 3 m/s to 6 m/s e 29 % entre 6 m/s to 9 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 88,8 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 14 min e 51 s e desvio padrão de 10 min e 52 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 1 dia e 11 h 42 min e 6 s pertence ao aerogerador 18 (Tabela 5.4), assim como o maior número (122) de paragens (Tabela 5.5).

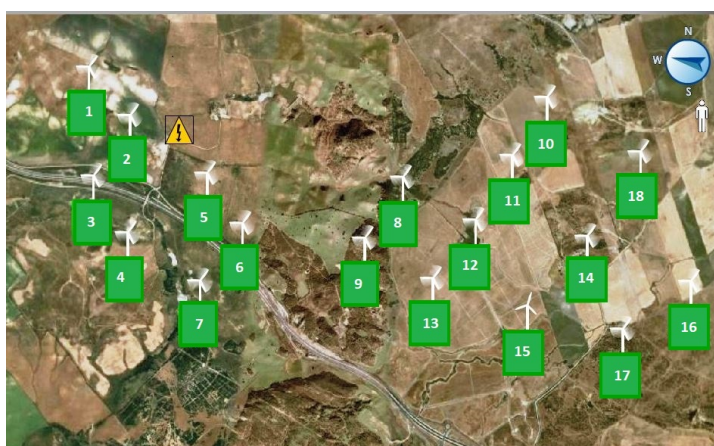


Figura B.11: Parque eólico F

Tabela B.21: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
4	134	8,385%
18	122	7,635%
10	113	7,071%
11	113	7,071%
8	110	6,884%
5	109	6,821%
9	105	6,571%
6	104	6,508%
3	100	6,258%
7	93	5,820%
12	90	5,632%
14	83	5,194%
2	74	4,631%
1	71	4,443%
13	71	4,443%
15	66	4,130%
16	20	1,252%
17	20	1,252%

Tabela B.22: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	4	0,003%	00 h 21 min 50 s
12/2020	4	0,005%	00 h 37 min 30 s
01/2021	9	0,005%	00 h 39 min 58 s
02/2021	10	0,019%	02 h 15 min 19 s
03/2021	252	0,505%	67 h 35 min 18 s
04/2021	240	0,376%	48 h 44 min 39 s
05/2021	331	0,629%	84 h 10 min 34 s
06/2021	418	0,776%	100 h 36 min 36 s
07/2021	330	0,674%	90 h 15 min 41 s

Tabela B.23: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores(°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	1	2	1	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	4	0
01/2021	0	0	0	3	4	2
02/2021	0	3	7	0	0	0
03/2021	16	117	59	11	27	22
04/2021	10	52	79	43	51	5
05/2021	45	82	36	13	26	129
06/2021	35	54	83	76	141	29
07/2021	16	82	78	27	83	44

Tabela B.24: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	1	0	2	0	1	0
12/2020	0	4	0	0	0	0
01/2021	0	5	4	0	0	0
02/2021	0	1	6	1	2	0
03/2021	35	56	70	56	27	8
04/2021	24	58	99	29	22	8
05/2021	33	159	76	34	24	5
06/2021	76	186	118	23	14	1
07/2021	44	125	81	30	18	32

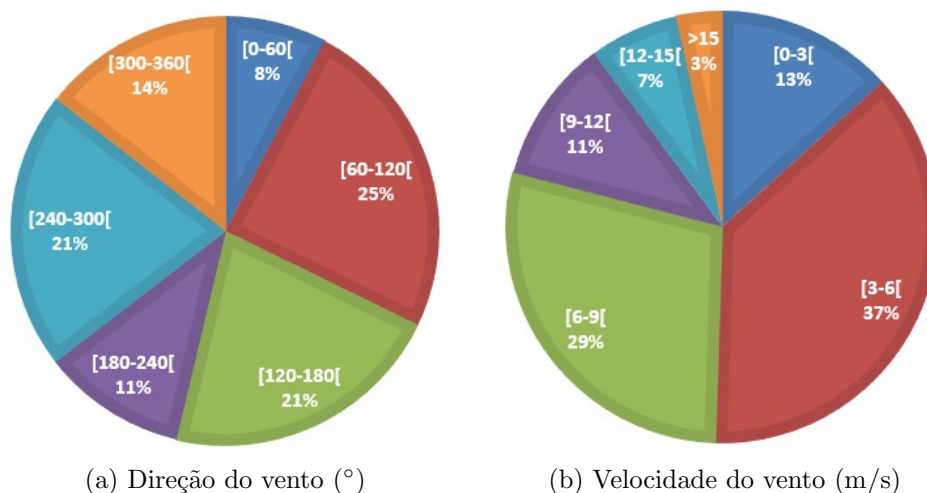


Figura B.12: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.23 e B.24

O parque eólico F é o 2.º parque eólico com maior número de paragens e 5.º com maior média de paragens por aerogerador, resultando numa média de 0,592 % de indisponibilidade de produção desde março a 27 de julho de 2021. Analisando a Tabela B.21 verifica-se que o aerogerador 4 é o que possui mais paragens (Figura B.11). Os seus vizinhos apresentam menos 23 % de paragens. Os aerogeradores a noroeste (8, 9, 11, 10 e 18) são o grupo com mais paragens, mais 10 % que os outros grupos do parque eólico. Os aerogeradores 16 e 17 destacam-se pela positiva pois individualmente apresentam menos 77 % que a média do parque eólico.

B.7 Parque Eólico G

O parque eólico G (Figura B.13), constituído por 3 aerogeradores, apresenta 792 paragens com duração total de 3 d e 23 h 41 min e 34 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,875 % (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 1,227 % no mês de março

de 2021 (Tabela B.26). Em 56 % das paragens o vento encontrava-se entre os 60° to 120° seguido de 16 % entre 240° to 300° (Figura B.14a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.14b), em 28 % das paragens encontrava-se entre 6 m/s to 9 m/s e 21 % entre 3 m/s to 6 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 264 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 7 min e 15 s e desvio padrão de 7 min e 3 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 1 dia e 16 h 3 min e 40 s e o número de paragens (330) pertencente ao aerogerador 6 (Tabela 5.4 e Tabela 5.5).



Figura B.13: Parque eólico G

Tabela B.25: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
6	330	41,667 %
7	237	29,924 %
8	225	28,409 %

Tabela B.26: Indisponibilidade mensal

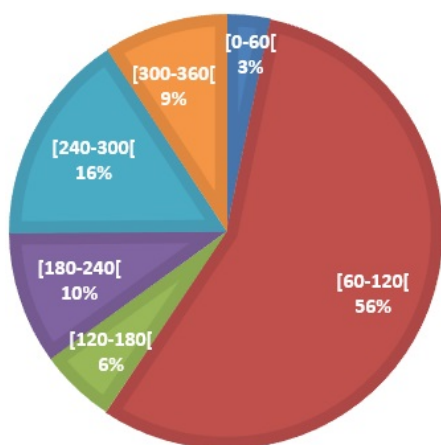
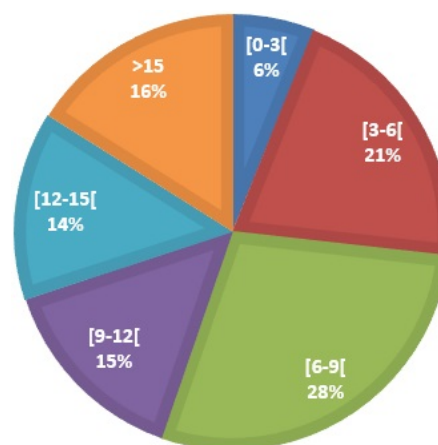
Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	2	0,002 %	00 h 02 min 21 s
12/2020	2	0,001 %	00 h 01 min 07 s
01/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
02/2021	13	0,089 %	01 h 47 min 28 s
03/2021	222	1,227 %	27 h 22 min 37 s
04/2021	179	1,049 %	22 h 38 min 57 s
05/2021	176	1,149 %	25 h 38 min 09 s
06/2021	67	0,245 %	05 h 17 min 04 s
07/2021	131	0,578 %	12 h 53 min 51 s

Tabela B.27: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores ($^{\circ}$)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	2	0	0	0	0
12/2020	0	0	0	1	0	1
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	0	13	0	0	0	0
03/2021	7	182	8	1	11	13
04/2021	5	82	17	25	49	1
05/2021	5	91	13	13	10	44
06/2021	1	13	4	18	28	3
07/2021	8	61	3	20	28	11

Tabela B.28: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	1	0	1	0	0
12/2020	1	0	0	1	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	0	0	1	0	3	9
03/2021	13	15	32	51	55	56
04/2021	9	45	60	18	21	26
05/2021	6	42	62	26	23	17
06/2021	9	22	29	4	1	2
07/2021	10	39	42	15	8	17

(a) Direção do vento ($^{\circ}$)

(b) Velocidade do vento (m/s)

Figura B.14: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.27 e B.28

O parque eólico G com 792 paragens e apenas 3 aerogeradores no parque eólico, possui a maior média de paragens por aerogerador (264). Possui o terceiro menor tempo médio de paragem 7 min e 15s. Devido ao número elevado de paragens por aerogerador, a indisponibilidade é superior a 1% de março a abril

de 2021. O aerogerador 6 apresenta-se como o mais crítico com cerca de 40 % mais de paragens que os restantes aerogeradores.

B.8 Parque Eólico H

O parque eólico H (Figura B.15), constituído por 3 aerogeradores, apresenta 328 paragens com duração total de 1 dia e 2 h 28 min e 14 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,242 % (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,387 % no mês de abril de 2021 (Tabela B.30). Em 37 % das paragens o vento encontrava-se entre os 60° to 120° seguido de 30 % entre 240° to 300° (Figura B.16a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.16b), em 32 % das paragens encontrava-se entre 3 m/s to 6 m/s e 30 % entre 6 m/s to 9 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 109,3 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 4 min e 51 s e desvio padrão de 3 min e 34 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 9 h 31 min e 51 s pertence ao aerogerador 5 (Tabela 5.4), partilhando o maior número de paragens (112) com o aerogerador 1 (Tabela 5.5).



Figura B.15: Parque eólico H

Tabela B.29: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
1	112	34,146 %
5	112	34,146 %
2	104	31,707 %

Tabela B.30: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	5	0,004 %	00 h 05 min 31 s
12/2020	4	0,003 %	00 h 04 min 36 s
01/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
02/2021	5	0,015 %	00 h 17 min 39 s
03/2021	84	0,304 %	06 h 46 min 44 s
04/2021	84	0,387 %	08 h 21 min 12 s
05/2021	67	0,221 %	04 h 55 min 44 s
06/2021	55	0,198 %	04 h 16 min 07 s
07/2021	24	0,075 %	01 h 40 min 41 s

Tabela B.31: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	3	2	0	0	0
12/2020	0	3	0	0	1	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	0	5	0	0	0	0
03/2021	7	40	3	3	17	14
04/2021	8	28	1	12	31	4
05/2021	0	26	4	5	13	19
06/2021	2	13	6	8	24	2
07/2021	4	4	3	1	12	0

Tabela B.32: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	3	1	1	0	0
12/2020	0	1	3	0	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	0	0	0	1	1	3
03/2021	5	33	26	12	5	3
04/2021	24	19	20	3	6	12
05/2021	9	21	21	8	4	4
06/2021	5	18	21	7	3	1
07/2021	7	9	7	1	0	0

O parque eólico H é o 9.º parque eólico em número de paragens com 328. Como tem apenas 3 aerogeradores, é o 3.º parque eólico em termos da média de paragens por aerogerador (109,3). Analisando a Tabela B.25 verifica-se uma distribuição homogénea do número de paragens por aerogerador com uma diferença de menos 7 paragens no aerogerador 2. A época de incidência de aves inicia-se em março, sendo mais baixa em julho.

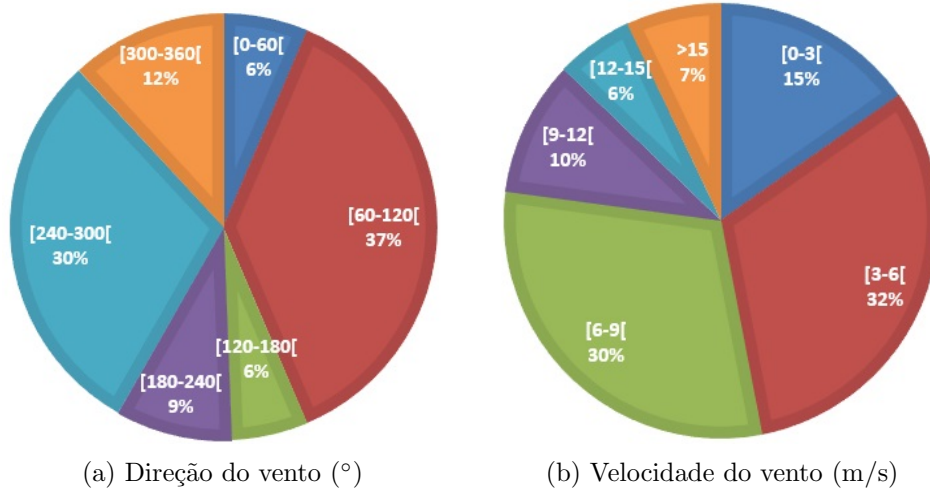


Figura B.16: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.31 e B.32

B.9 Parque Eólico I

O parque eólico I (Figura B.17), constituído por 14 aerogeradores, apresenta 1034 paragens com duração total de 6 d e 22 h 19 min e 15 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,327% (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,424% no mês de maio de 2021 (Tabela B.34). Em 21% das paragens o vento encontrava-se entre os 120° to 180° seguido de 19% entre 0° to 60° (Figura B.18a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.18b), em 36% das paragens encontrava-se entre 3 m/s to 6 m/s e 31% entre 6 m/s to 9 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 73,9 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 9 min e 39 s e desvio padrão de 9 min e 34 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 1 dia e 14 h 18 min e 42 s pertence ao aerogerador 15 (Tabela 5.4) e número de paragens (236) (Tabela 5.5).



Figura B.17: Parque eólico I

Tabela B.33: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
15	236	22,824 %
14	206	19,923 %
13	116	11,219 %
8	54	5,222 %
7	52	5,029 %
9	48	4,642 %
11	48	4,642 %
6	43	4,159 %
10	43	4,159 %
3	42	4,062 %
5	40	3,868 %
4	39	3,772 %
1	34	3,288 %
2	33	3,191 %

Tabela B.34: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	1	0,000 %	00 h 01 min 41 s
12/2020	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
01/2021	3	0,001 %	00 h 03 min 09 s
02/2021	8	0,029 %	02 h 40 min 53 s
03/2021	204	0,365 %	00 h 38 min 01 s
04/2021	187	0,280 %	28 h 11 min 38 s
05/2021	233	0,424 %	44 h 09 min 24 s
06/2021	177	0,240 %	24 h 09 min 34 s
07/2021	221	0,279 %	29 h 02 min 55 s

Tabela B.35: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores ($^{\circ}$)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	1	0	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	3	0	0
02/2021	2	1	3	0	2	0
03/2021	48	67	45	7	13	24
04/2021	21	20	55	18	65	8
05/2021	63	29	43	18	27	53
06/2021	37	32	35	35	32	6
07/2021	24	32	40	42	51	32

Tabela B.36: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	0	0	1	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	3	0	0	0	0
02/2021	0	2	0	4	2	0
03/2021	14	42	67	52	20	9
04/2021	27	43	78	18	11	10
05/2021	14	95	85	23	9	7
06/2021	42	82	44	8	1	0
07/2021	27	110	42	17	12	13

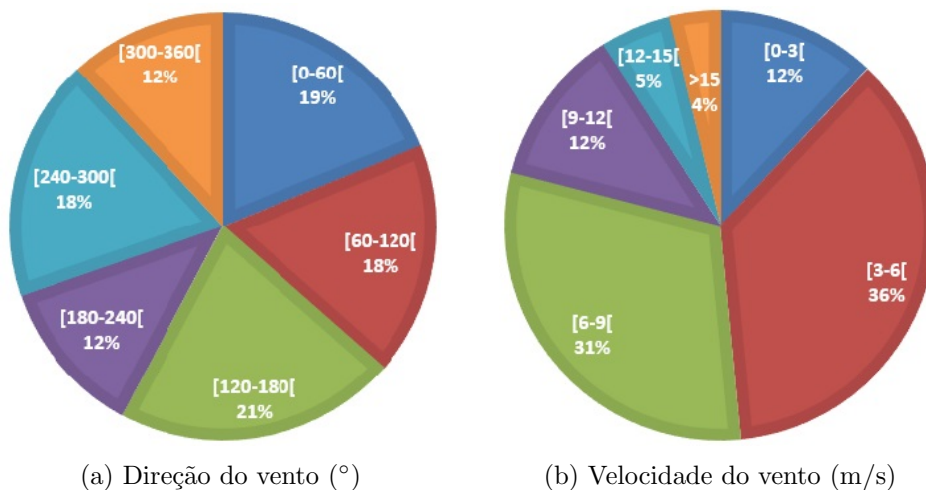


Figura B.18: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.35 e B.36

O parque eólico I é o 4.^o parque eólico com maior número de paragens e o 8.^o em termos da média de paragens por aerogerador. Analisando a Tabela B.33 destacam-se os aerogeradores 13, 14 e 15 com cerca de 54% das paragens do parque eólico. Em particular, os aerogeradores 14 e 15, com 42,7%, são os

mais críticos. O restantes apresentam entre 3,191 % e 5,222 % de paragens, por aerogerador. Conclui-se então que existe grande incidência de aves na zona este.

B.10 Parque Eólico J

O parque eólico J (Figura B.19), constituído por 9 aerogeradores, apresenta 142 paragens com duração total de 7 h 2 min e 41 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de apenas 0,021 % (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,058 % no mês de maio de 2021 (Tabela B.38). Em 33 % das paragens o vento encontrava-se entre os 60° to 120° seguido de 23 % entre 240° to 300° (Figura B.20a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.20b), em 29 % das paragens encontrava-se entre 3 m/s to 6 m/s e 27 % entre 6 m/s to 9 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 15,8 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de apenas 2 min e 58 s e desvio padrão de 5 min e 57 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 1 h 11 min e 39 s pertence ao aerogerador 2 (Tabela 5.4) que partilha o maior número de paragens (19) com o aerogerador 1 (Tabela 5.5).



Figura B.19: Parque eólico J

Tabela B.37: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
1	19	13,38%
2	19	13,38%
3	17	11,972%
9	16	11,268%
4	15	10,563%
5	15	10,563%
6	15	10,563%
7	13	9,155%
8	13	9,155%

Tabela B.38: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	0	0,000%	00 h 00 min 00 s
12/2020	10	0,001%	00 h 04 min 56 s
01/2021	6	0,001%	00 h 03 min 48 s
02/2021	6	0,000%	00 h 01 min 29 s
03/2021	31	0,016%	01 h 04 min 20 s
04/2021	24	0,015%	00 h 58 min 24 s
05/2021	26	0,058%	03 h 54 min 34 s
06/2021	22	0,008%	00 h 32 min 44 s
07/2021	17	0,006%	00 h 22 min 06 s

Tabela B.39: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	0	0	0	0	0
12/2020	0	6	0	0	3	1
01/2021	2	0	0	0	0	4
02/2021	0	3	0	0	2	1
03/2021	0	21	4	0	3	3
04/2021	0	4	7	5	5	3
05/2021	4	10	0	0	6	6
06/2021	0	0	10	5	7	0
07/2021	0	3	3	1	7	3

Tabela B.40: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	0	0	0	0	0
12/2020	0	5	5	0	0	0
01/2021	0	6	0	0	0	0
02/2021	0	1	5	0	0	0
03/2021	4	2	9	7	4	5
04/2021	10	7	4	3	0	0
05/2021	1	7	5	10	3	0
06/2021	7	7	4	2	2	0
07/2021	3	6	6	2	0	0

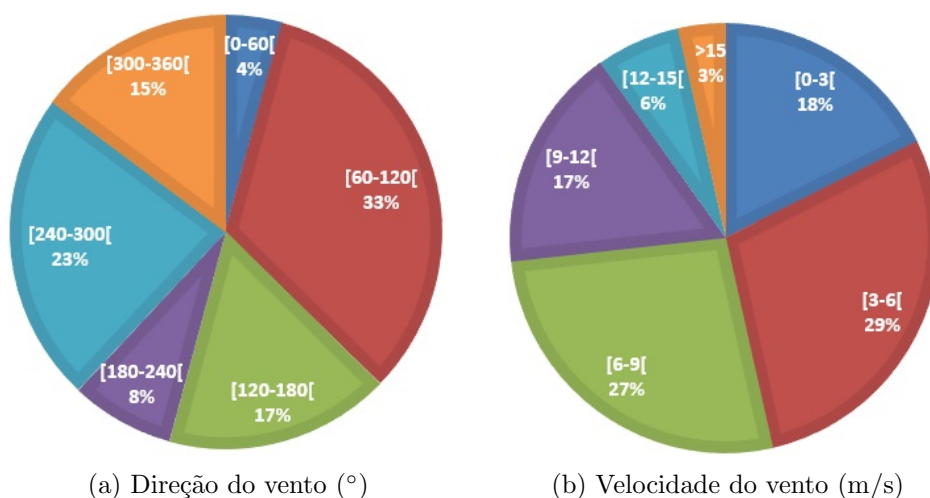


Figura B.20: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.39 e B.40

O parque eólico J é o 11.º parque eólico com maior número de paragens e 12.º em termos da média de paragens por aerogerador. Analisando a Tabela B.33 destacam-se valores baixos com pouca diferença entre si, com o grupo aerogeradores 1, 2, 3 e 9 a apresentarem o maior número de paragens. Conclui-se que é o 2.º parque eólico com menor grau de incidência de aves e, relativamente à média de paragens por aerogerador com a média de paragem de 2 min e 58 s, resultou em indisponibilidades de produção inferiores a 0,016 %, excepto para o mês de maio que obteve 0,058 %.

B.11 Parque Eólico K

O parque eólico K (Figura B.21), constituído por 6 aerogeradores, apresenta 121 paragens com duração total de 23 h 35 min e 18 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,092 % (Tabela 5.9) entre o período de 1 de fevereiro a 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,250 % no mês de abril de 2021 (Tabela B.42). Em 29 % das paragens o vento encontrava-se entre os

0° to 60° seguido de 19% entre 180° to 240° (Figura B.22a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.22b), em 32% das paragens encontrava-se entre 3 m/s to 6 m/s e 31% entre 0 m/s to 3 m/s. A média de paragens por aerogerador é de apenas 20,2 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 11 min e 42 s e desvio padrão de 10 min e 57 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 4 h 8 min e 39 s pertence ao aerogerador 1 (Tabela 5.4) e o maior número de paragens de 23 no aerogerador 4 (Tabela 5.5).

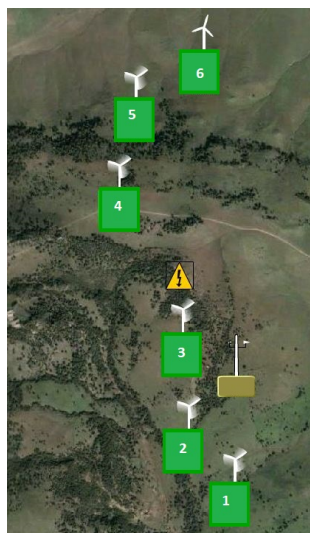


Figura B.21: Parque eólico K

Tabela B.41: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
4	23	19,008 %
5	22	18,182 %
1	21	17,355 %
2	21	17,355 %
3	19	15,702 %
6	15	12,397 %

Tabela B.42: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	2	0,001 %	00 h 02 min 02 s
12/2020	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
01/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
02/2021	20	0,113 %	04 h 33 min 05 s
03/2021	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
04/2021	6	0,015 %	00 h 38 min 10 s
05/2021	17	0,077 %	03 h 27 min 27 s
06/2021	45	0,250 %	10 h 48 min 41 s
07/2021	31	0,092 %	04 h 05 min 53 s

Tabela B.43: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	1	1	0	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	5	0	2	4	6	3
03/2021	0	0	0	0	0	0
04/2021	0	2	1	2	0	1
05/2021	8	5	1	0	0	3
06/2021	12	8	9	8	1	7
07/2021	9	5	5	9	2	1

Tabela B.44: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	1	0	1	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	0	0	0
02/2021	16	4	0	0	0	0
03/2021	0	0	0	0	0	0
04/2021	0	1	5	0	0	0
05/2021	0	1	4	4	6	2
06/2021	20	18	6	1	0	0
07/2021	2	14	7	2	3	3

O parque eólico K é o 3.º parque eólico com menor número de paragens e o 4.º em termos da média de paragens por aerogerador. Analisando a Tabela B.41 destacam-se valores baixos com pouca diferença absoluta entre si, à excepção do aerogerador 6, situado no norte, que é o que possui menos paragens. Conclui-se que existe baixo grau de criticidade, homogéneo entre os aerogeradores, e sem prevalências de incidência em certas zonas do parque eólico.

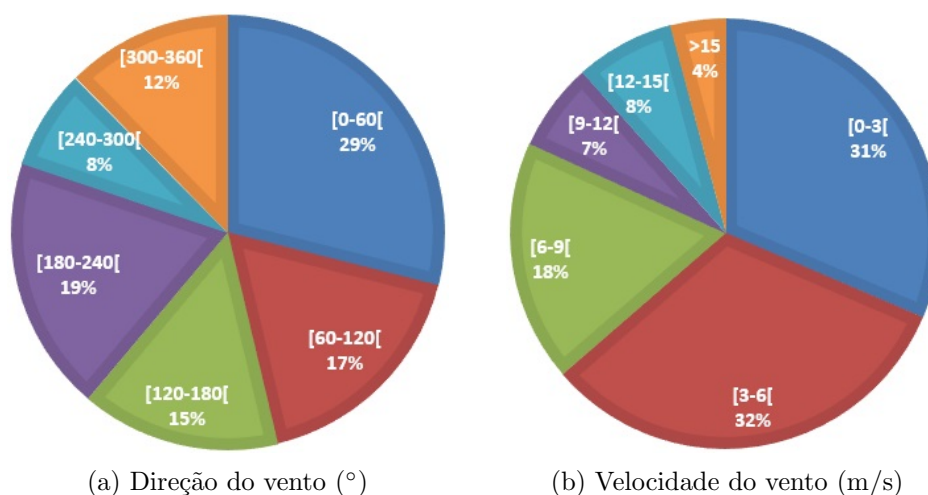


Figura B.22: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.43 e B.44

B.12 Parque Eólico L

O parque eólico L (Figura B.23), constituído por 8 aerogeradores, apresenta 517 paragens com duração total de 2 d e 15 h 35 min e 24 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,218 % (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,390 % desde 1 a 27 de julho de 2021 (Tabela B.46). Em 33 % das paragens o vento encontrava-se entre os 60° to 120° seguido de 19 % entre 120° to 180° (Figura B.24a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.24b), em 31 % das paragens encontrava-se entre 3 m/s to 6 m/s e 25 % entre 6 m/s to 9 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 64,6 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 7 min e 23 s 07:23 minutos e desvio padrão de 5 min e 45 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 12 h 31 min e 13 s pertence ao aerogerador 4 (Tabela 5.4) assim como o maior número de paragens (113) (Tabela 5.5).

Tabela B.45: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
4	113	21,857 %
6	80	15,474 %
3	79	15,28 %
5	78	15,087 %
2	53	10,251 %
1	45	8,704 %
8	35	6,77 %
7	34	6,576 %



Figura B.23: Parque eólico L

Tabela B.46: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	1	0,000 %	00 h 01 min 30 s
12/2020	0	0,000 %	00 h 00 min 00 s
01/2021	1	0,000 %	00 h 01 min 10 s
02/2021	19	0,023 %	01 h 12 min 44 s
03/2021	103	0,229 %	13 h 36 min 11 s
04/2021	47	0,071 %	04 h 06 min 32 s
05/2021	124	0,245 %	14 h 34 min 20 s
06/2021	88	0,118 %	06 h 49 min 00 s
07/2021	134	0,390 %	23 h 13 min 57 s

Tabela B.47: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	0	1	0	0	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	0	1	0	0
02/2021	0	16	1	0	2	0
03/2021	7	44	20	17	9	6
04/2021	1	12	8	7	17	2
05/2021	22	39	23	7	11	22
06/2021	13	27	34	5	9	0
07/2021	30	32	10	19	16	27

Tabela B.48: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	0	0	0	1	0
12/2020	0	0	0	0	0	0
01/2021	0	0	1	0	0	0
02/2021	0	2	0	3	9	5
03/2021	4	21	29	19	18	12
04/2021	2	15	17	7	4	2
05/2021	4	39	37	29	13	2
06/2021	9	25	26	16	9	3
07/2021	10	60	20	18	14	12

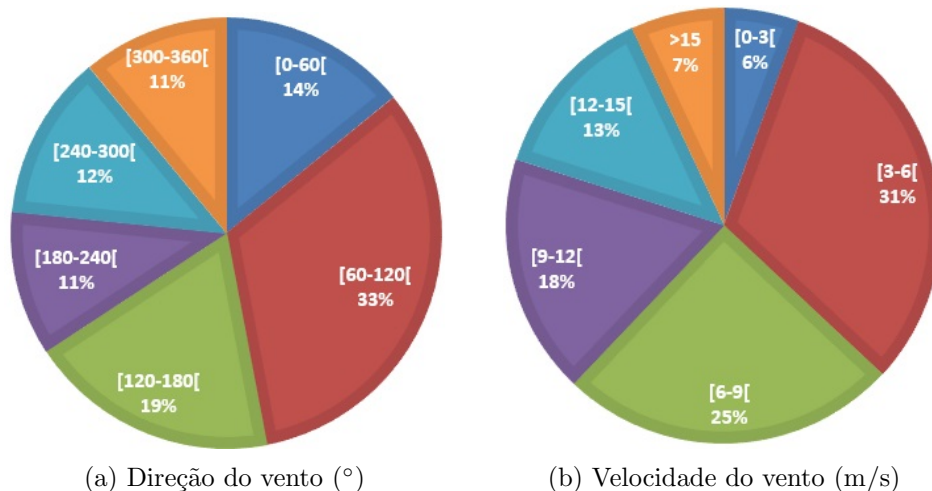


Figura B.24: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.47 e B.48

O parque eólico L é o 9.º parque eólico com maior número de paragens e o 9.º em termos da média de paragens por aerogerador. Analisando a Tabela B.45 conclui-se que o aerogerador 4 apresenta o maior número de paragens seguido dos aerogeradores mais próximos do seu raio de segurança (3, 5 e 6). Os restantes aerogeradores apresentam números de paragens com pouca variação, representando apenas 32,3% das paragens totais do parque eólico. O parque eólico possui dois níveis de criticidade, nível médio para o grupo constituído pelos aerogeradores 3, 4, 5 e 6 e nível baixo para os restantes aerogeradores. A maior incidência de aves deu-se a partir do mês de março.

B.13 Parque Eólico M

O parque eólico M (Figura B.25), constituído por 100 aerogeradores, apresenta 7499 paragens com duração total de 115 d e 20 h 30 min e 44 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,738% (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,968% no

mês de abril de 2021 (Tabela B.50). Não foi possível identificar a direção do vento no momento das paragens porque a base de dados tempo real OSI-PI não possui registo das medições. Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.26), em 33% das paragens encontrava-se entre 6 m/s to 9 m/s e 21% entre superior a 15 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 75 (Tabela 5.3), com um tempo médio de paragem de 22 min e 17s e desvio padrão de 19 min e 2s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 2 d e 8 h 53 min e 59s pertence ao aerogerador 46 (Tabela 5.4) assim como o maior número de paragens (163)(Tabela 5.5).



Figura B.25: Parque eólico M

Tabela B.49: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º AEG	N.º Paragens	Percentagem	N.º AEG	N.º Paragens	Percentagem
43	163	2,178%	45	163	2,178%
46	163	2,178%	47	163	2,178%
42	162	2,164%	48	162	2,164%
41	161	2,151%	44	160	2,138%
97	134	1,79%	95	132	1,764%
96	132	1,764%	94	131	1,75%
40	117	1,563%	35	116	1,55%
36	116	1,55%	32	115	1,536%
33	115	1,536%	37	115	1,536%
39	115	1,536%	34	111	1,483%
38	109	1,456%	78	99	1,323%
76	98	1,309%	77	98	1,309%
75	94	1,256%	72	93	1,242%
74	93	1,242%	73	92	1,229%
81	85	1,136%	79	84	1,122%
80	84	1,122%	82	84	1,122%
83	84	1,122%	85	84	1,122%
84	83	1,109%	89	83	1,109%
90	83	1,109%	91	83	1,109%
92	82	1,096%	93	82	1,096%
11	80	1,069%	14	80	1,069%
12	79	1,055%	13	79	1,055%
15	79	1,055%	1	66	0,882%
3	66	0,882%	4	66	0,882%
5	66	0,882%	2	65	0,868%
6	65	0,868%	7	65	0,868%
8	65	0,868%	9	65	0,868%
10	63	0,842%	26	49	0,655%
27	49	0,655%	28	49	0,655%
16	48	0,641%	17	48	0,641%
18	48	0,641%	19	48	0,641%
20	48	0,641%	21	48	0,641%
22	48	0,641%	23	48	0,641%
25	48	0,641%	29	48	0,641%
30	48	0,641%	31	48	0,641%
58	48	0,641%	24	47	0,628%
86	44	0,588%	87	44	0,588%
88	44	0,588%	71	43	0,574%
70	42	0,561%	49	41	0,548%
55	41	0,548%	56	41	0,548%
57	41	0,548%	63	41	0,548%
65	41	0,548%	66	41	0,548%
67	41	0,548%	68	41	0,548%
69	41	0,548%	50	40	0,534%
51	40	0,534%	52	40	0,534%
53	40	0,534%	54	40	0,534%
64	40	0,534%	98	35	0,468%
99	34	0,454%	100	34	0,454%
62	32	0,428%	59	31	0,414%
60	31	0,414%	61	31	0,414%

Tabela B.50: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	2	0,000 %	00 h 02 min 42 s
12/2020	60	0,005 %	03 h 32 min 16 s
01/2021	52	0,004 %	03 h 90 min 59 s
02/2021	379	0,200 %	134 h 39 min 20 s
03/2021	1 347	0,725 %	539 h 10 min 28 s
04/2021	1 729	0,968 %	697 h 11 min 56 s
05/2021	1 077	0,689 %	512 h 29 min 06 s
06/2021	1 481	0,640 %	460 h 46 min 14 s
07/2021	1 358	0,577 %	429 h 28 min 43 s

Tabela B.51: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	1	0	0	1	0
12/2020	0	11	42	7	0	0
01/2021	0	19	33	0	0	0
02/2021	27	6	20	16	101	209
03/2021	117	108	193	147	265	517
04/2021	83	481	621	156	vi	285
05/2021	52	188	234	248	163	192
06/2021	118	214	672	320	65	92
07/2021	46	280	623	117	44	248

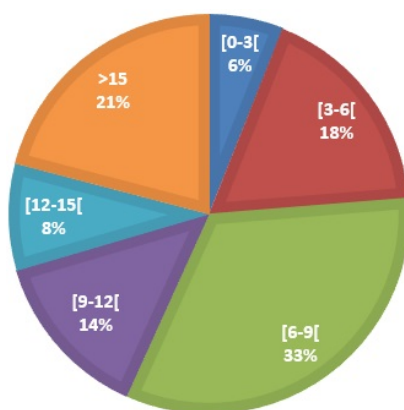


Figura B.26: Gráfico com distribuição percentual da Tabela B.51

O parque eólico M possui o maior número de paragens, mas apenas o 7.º em termos de média de paragens por aerogerador. Analisando a Tabela B.49 verifica-se que o grupo de aerogeradores do 41 ao 48 são o grupo com maior número de paragens, com uma diferença máxima de 3 paragens entre si. Do lado este, o grupo do aerogerador 94 ao 97 são o segundo grupo com maior número de paragens. Estes dois grupos, constituídos por 13 aerogeradores localizados na

zona sul, contabilizam 1 826 paragens, ou seja, 24,34% das paragens do parque eólico em 13% dos aerogeradores. Seguem-se os grupos 32-37 e 72-85, 86-88 e 89-93, situados perto do grupo crítico, excetuando-se o grupo 72-85 situado na zona sudeste.

B.14 Parque Eólico N

O parque eólico N (Figura B.27), constituído por 16 aerogeradores, apresenta 542 paragens com duração total de 2 d e 2 h 31 min e 59 s (Tabela 5.2), resultando numa indisponibilidade de produção de 0,088% (Tabela 5.9) entre o período de 1 de março a 27 de julho de 2021, com um máximo de 0,179% no mês de junho de 2021 (Tabela B.53). Em 46% das paragens o vento encontrava-se entre os 240° to 300° seguido de 15% entre 60° to 120° (Figura B.28a). Relativamente à velocidade do vento no momento das paragens (Figura B.28b), em 84% das paragens encontrava-se entre 6 m/s to 9 m/s e 3 m/s to 6 m/s. A média de paragens por aerogerador é de 33,9 (Tabelas 5.3), com um tempo médio de paragem de 5 min e 36 s e desvio padrão de 6 min e 7 s (Tabela 5.8). O maior tempo total de paragem de 5 h 48 min e 40 s pertence ao aerogerador 16 (Tabela 5.4) assim como o maior número de paragens (57) (Tabela 5.5).

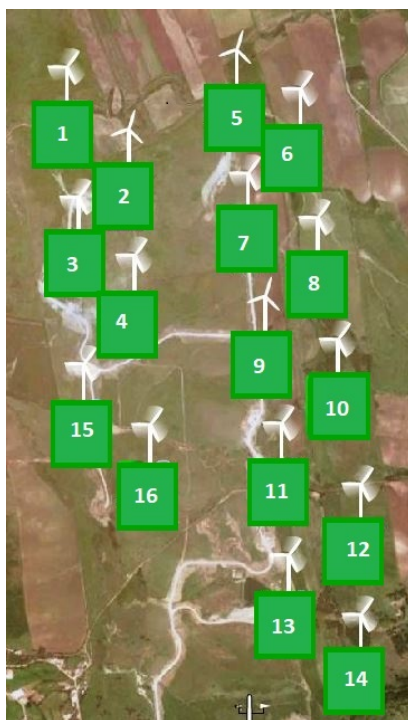


Figura B.27: Parque eólico N

Tabela B.52: Distribuição de paragens por aerogerador

N.º Aerogerador	N.º Paragens	Percentagem
15	61	11,255%
16	57	10,517%
12	43	7,934%
11	41	7,565%
14	39	7,196%
10	37	6,827%
13	35	6,458%
9	33	6,089%
8	32	5,904%
1	31	5,72%
4	30	5,535%
2	27	4,982%
6	20	3,69%
7	20	3,69%
3	18	3,321%
5	18	3,321%

Tabela B.53: Indisponibilidade mensal

Mês	N.º Paragens	Indisponibilidade	Duração
11/2020	5	0,001%	00 h 04 min 04 s
12/2020	4	0,000%	00 h 01 min 26 s
01/2021	2	0,000%	00 h 02 min 02 s
02/2021	0	0,000%	00 h 00 min 00 s
03/2021	41	0,019%	02 h 16 min 55 s
04/2021	59	0,056%	06 h 28 min 17 s
05/2021	57	0,017%	02 h 00 min 12 s
06/2021	201	0,179%	20 h 37 min 00 s
07/2021	173	0,160%	19 h 02 min 03 s

Tabela B.54: Direção do vento aquando da paragem dos aerogeradores (°)

Mês	[0-60[	[60-120[	[120-180[	[180-240[	[240-300[	[300-360[
11/2020	0	3	2	0	0	0
12/2020	0	0	0	1	3	0
01/2021	0	0	0	0	0	2
02/2021	0	0	0	0	0	0
03/2021	1	10	5	0	17	8
04/2021	0	4	8	18	27	2
05/2021	0	23	1	4	5	24
06/2021	5	27	18	31	98	22
07/2021	0	14	25	17	99	18

Tabela B.55: Velocidade do vento aquando da paragem dos aerogeradores (m/s)

Mês	[0-3[	[3-6[	[6-9[	[9-12[	[12-15[	>15
11/2020	0	3	0	2	0	0
12/2020	0	3	1	0	0	0
01/2021	0	2	0	0	0	0
02/2021	0	0	0	0	0	0
03/2021	3	14	11	12	1	0
04/2021	1	16	37	4	1	0
05/2021	4	30	22	1	0	0
06/2021	7	70	101	17	6	0
07/2021	16	88	59	8	2	0

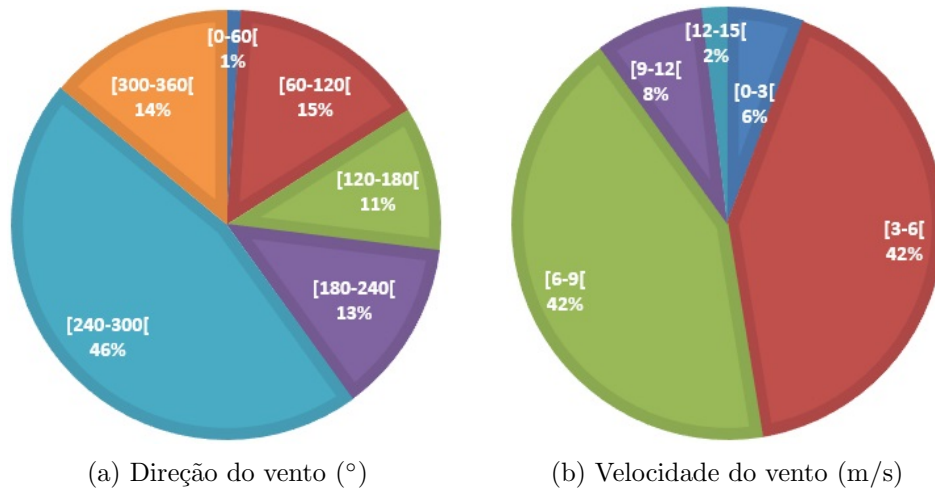


Figura B.28: Distribuição percentual dos dados das Tabelas B.54 e B.55

O parque eólico N o 7.º parque eólico com maior número de paragens e o 10.º em termos da média de paragens por aerogerador. Analisando a Tabela B.52 destacam-se os aerogeradores 15 e 16 com o maior número de paragens com 21,8% das paragens totais e os aerogeradores 3, 5, 6 e 7 com menor número de paragens com apenas 14%. Conclui-se que os aerogeradores mais críticos, 15 e 16, situam-se na zona sudoeste no parque eólico e que a incidência de aves inicia-se a partir do mês de março, com o pico nos meses de junho e julho.

