



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Biologia da Conservação

Dissertação

**Previsão do risco de colisão de aves de rapina migradoras
com aerogeradores anteriormente à instalação de parques
eólicos**

João Filipe da Costa Barata

Orientador(es) | Rui Lourenço

Évora 2025



Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Biologia da Conservação

Dissertação

**Previsão do risco de colisão de aves de rapina migradoras
com aerogeradores anteriormente à instalação de parques
eólicos**

João Filipe da Costa Barata

Orientador(es) | Rui Lourenço

Évora 2025





A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Paulo Sá-Sousa (Universidade de Évora)

Vogais | Ricardo Tomé () (Arguente)
Rui Lourenço (Universidade de Évora) (Orientador)

Entidades envolvidas

A presente dissertação abrange o estudo da influência de parques eólicos sobre um determinado grupo de aves, estudo esse que só foi possível recorrendo à consulta de dados recolhidos pela empresa ECOSATIVA – Consultoria Ambiental Lda., no âmbito da produção de programas e relatórios de monitorização. Estes documentos respondem às condicionantes impostas pelos processos de Avaliação de Impacte Ambiental de vários parques eólicos, posteriormente especificados. A empresa promotora desses parques eólicos e proprietária de tais documentos é a EDP Renewables.



Agradecimentos

A concretização da presente dissertação não teria sido possível sem o apoio de diversas entidades e pessoas, às quais expresso a minha sincera gratidão.

Agradeço à EDP Renewables pela colaboração com a ECOSATIVA, nomeadamente pela disponibilização de dados e de documentos essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, que reflete um compromisso com o avanço do conhecimento científico na área da conservação da biodiversidade. À ECOSATIVA e à sua gerente, Teresa Saraiva, reconheço não só o financiamento do meu mestrado, mas também a flexibilidade concedida para que pudesse frequentar as aulas, focar-me nas avaliações e concretizar esta dissertação. Agradeço também aos colegas que asseguraram a continuidade do trabalho na minha ausência, bem como a todos os colaboradores envolvidos nos projetos de monitorização mencionados nesta dissertação pela dedicação e contributos prestados.

A todos os autores dos trabalhos consultados no âmbito da elaboração da presente dissertação, agradeço a disponibilização do conhecimento adquirido. Aos professores e investigadores com quem tive oportunidade de aprender ao longo deste percurso académico, agradeço o conhecimento transmitido e o incentivo à reflexão crítica. Em particular, ao meu orientador, Rui Lourenço, expresso o meu reconhecimento pela constante disponibilidade e pelo acompanhamento técnico prestado. Apesar das minhas limitações de tempo, soube sempre adaptar a sua agenda às minhas necessidades e esclarecer as minhas dúvidas com objetividade e eficiência.

Aos meus amigos e familiares, que suportaram as minhas inúmeras conversas sobre o mestrado e ajustaram frequentemente as suas agendas para poderem estar comigo nos momentos mais exigentes, expresso a minha gratidão. Saliento o meu amigo Vasco Mendes, cujas revisões e partilha de conhecimento tiveram um impacto notório sobre os trabalhos que desenvolvi. Da minha família, destaco a minha mãe, a quem agradeço profundamente pelos inúmeros e atentos contributos ao longo deste percurso.

É à minha esposa que dedico um agradecimento especial. Pela paciência e compreensão nos momentos de maior pressão, pelo apoio constante quando tentei equilibrar o desenvolvimento académico com o profissional, mas sobretudo pelos compromissos pessoais que teve de gerir sozinha para que eu pudesse focar-me no mestrado. Além disso, a sua leitura crítica e sugestões valiosas foram fundamentais para o aprimoramento deste trabalho.

A todos, o meu sincero obrigado.

Prefácio

A presente dissertação foi elaborada no âmbito da concretização do mestrado em Biologia de Conservação da Universidade de Évora (MBC-UÉ). Para contextualizar a escolha do tema no qual se fundamenta a dissertação, interessa referir que anteriormente à minha inscrição no mestrado, que viria a iniciar-se em setembro de 2022, já participava num programa de minimização de impactos de parques eólicos sobre aves planadoras, nomeadamente desde que comecei a trabalhar na empresa ECOSATIVA, em 2018. Entre esses anos, desempenhei várias funções contributivas para a efetivação do referido programa, desde técnico operador de radar, passando por observador, coordenador de campo e coautor de programas e relatórios de monitorização, até dar apoio à gestão da implementação do programa a uma escala mais abrangente. Embora não excluísse outros temas como opções para explorar na dissertação que começaria a escrever, tinha como principal hipótese o aprofundamento científico de tal programa. Depois de muito aprender com variados temas abordados em diversas disciplinas, a decisão sobre o tema da dissertação viria a efetivar-se principalmente pelo meu genuíno interesse pela otimização de técnicas de conservação da biodiversidade a nível prático, particularmente caso envolvam a conservação de aves. Tal decisão foi cimentada pela necessidade de conciliação entre o meu desenvolvimento académico e profissional, uma vez que se tratava de um tema com o qual já estava bastante familiarizado tanto a nível teórico, como empírico.

Curiosamente, acabei por constatar que o meu nível de familiaridade com o tema era um «pau de dois bicos». Por um lado, facilitou-me em termos de pesquisa bibliográfica e de conhecimento, tanto a nível das espécies como no que concerne a conceitos pertinentes para o desenvolvimento de um estudo científico. Por outro lado, dificultou-me no que toca a definir um objetivo concreto para explorar, bem como a limitar de forma concreta os aspetos cuja investigação era pertinente. Tive oportunidade de explorar o tema por diferentes ângulos em várias avaliações integradas em Unidades Curriculares que constituem o plano de estudos do MBC-UÉ, tendo sido naquela intitulada de “Projeto e Seminário II” que mais perto cheguei do meu objetivo final e da forma como o alcançaria. Nomeadamente, “contribuir para a criação de uma ferramenta de implementação acessível que ambicione a avaliação prévia dos potenciais impactos negativos de parques eólicos sobre as aves planadoras migradoras”, cujo cumprimento seria composto por dois objetivos específicos: “(1) criar um modelo preditor do risco de colisão sem recorrer a dados de mortalidade; e (2) testar o modelo preditor com recurso aos dados recolhidos através da implementação do PPSAR”. Embora o objetivo geral da dissertação tenha sofrido apenas

alterações de pormenor, os objetivos específicos foram consideravelmente repensados e alterados, porque eram demasiado ambiciosos.

Assim, a presente dissertação procura a elaboração de uma ferramenta útil para avaliação prévia de impactes negativos de parques eólicos sobre um determinado grupo de aves, porém principalmente através de uma revisão bibliográfica profunda sobre o tema. O nível de profundidade dessa revisão resultou na reunião de uma grande quantidade de informação, que para ser legível precisou de ser devidamente organizada. Este moroso processo de organização da informação compilada através da leitura e análise de publicações engloba dois ramos: a estrutura textual da dissertação e a apresentação de resultados.

Relativamente ao primeiro ramo, o capítulo 1 (respeitante à introdução) foi subdividido e redigido de forma a afunilar o tema do trabalho naquilo que consistem os objetivos do mesmo. Já o capítulo 2 (relativo aos métodos) está separado em subcapítulos não só explicativos da forma como foi procurado o cumprimento dos objetivos específicos, mas também descritivos de um estudo de caso, sem o qual não seria possível atingir o objetivo geral da dissertação. Os subcapítulos de resultados (capítulo 3) e discussão foram incorporados num só, uma vez que a revisão bibliográfica efetuada se subdivide em várias vertentes de conhecimento, todas relativas ao risco de colisão de aves de rapina com aerogeradores de parques eólicos. Além disso, dividir o capítulo 3 em dois diferentes obrigaria o leitor a consultar diferentes subcapítulos sucessivamente, levando facilmente a distrações consecutivas. Finalmente, o capítulo 4 é intitulado de “Considerações finais” e não de “Conclusões” uma vez que o segundo é um termo mais adequado a estudos que testem hipóteses empíricas e que chegam a resultados que permitem a afirmação, negação, ou confirmação dessas hipóteses. Além disso, o capítulo 4 inclui informações que não são conclusivas, como possíveis linhas futuras de investigação.

No que concerne ao segundo ramo, interessa referir que os principais resultados da dissertação são apresentados textualmente, bem como em forma de tabelas. Dada a quantidade da informação obtida mediante a revisão bibliográfica efetuada, sumariá-la na forma de tabelas foi a forma mais simples e legível de organizar tanto conhecimento. Embora tenha sido efetuado um grande esforço para tornar essas tabelas o mais concisas possível, o receio de se perder informação útil leva à presença de páginas em orientação horizontal, bem como de páginas A3 com orientação horizontal no caso dos Anexos.

Espero que o leitor aprenda tanto com esta leitura como eu aprendi com a redação!

Resumo

As aves de rapina são dos grupos de animais mais afetados pela presença de parques eólicos localizados em terra, particularmente por mortalidade por colisão com aerogeradores. Recorrendo à revisão bibliográfica relacionada com esse impacte, foram identificadas variáveis e estudadas abordagens para sua integração em modelos preditivos do risco de colisão. A apreciação da relevância de 62 variáveis permitiu identificar 29 cuja consideração é importante para realizar tal predição. Foi realizada uma análise comparativa entre modelos do tipo referido por forma a seleccionar o mais adequado a um estudo de caso focado na aplicação de uma medida de minimização em parques eólicos situados no sudoeste de Portugal. É neste âmbito que se sugere a aplicação de um modelo preditivo concreto, bem como se propõem adaptações para integrar as variáveis mais apropriadas. Assim, foi construída uma ferramenta contributiva para a avaliação prévia do risco de colisão de aves de rapina com aerogeradores.

Palavras-chave: aves planadoras; migração; risco de colisão; parques eólicos; processo de AIA.

Predicting the Collision Risk of Migratory Raptors with Wind Turbines Prior to Wind Farm Installation

Abstract

Raptors are among the animal groups most affected by onshore wind farms, particularly due to mortality by collision with wind turbines. A literature review on this impact identified specific variables with the potential for integration into predictive collision risk models, although their importance may vary. Assessing the relevance of 62 variables highlighted 29 as crucial for accurate predictions. A comparative analysis of predictive collision risk models was conducted to determine the most suitable one for a case study. This case study focused on applying a mitigation measure whose main goal was to reduce collisions of soaring birds in wind farms on Portugal's southwest coast. In this context, a specific predictive model is proposed, along with adaptations to incorporate the most relevant variables. As a result, a tool was developed to support the preliminary assessment of raptor collision risk with wind turbines.

Keywords: soaring birds; migration; collision risk; windfarm; EIA.

Índice

Entidades envolvidas	I
Agradecimentos	II
Prefácio.....	III
Resumo	V
Abstract.....	VI
Índice	VII
Lista de figuras	IX
Lista de tabelas	X
Lista de siglas e acrónimos	XII
1 Introdução	13
1.1 Contexto global e nacional da energia eólica.....	13
1.2 Impactos negativos de PE sobre a biodiversidade.....	14
1.3 Conciliação entre a energia eólica e a conservação de aves de rapina.....	17
1.4 Enquadramento do estudo de caso	20
1.5 Descrição e justificação dos objetivos.....	24
2 Métodos.....	26
2.1 Revisão bibliográfica	26
2.1.1 Variáveis que influenciam o risco de colisão	26
2.1.2 Ferramentas para avaliação do risco de colisão em fase de pré-construção	27
2.2 Análise e tratamento de informação.....	28
2.2.1 Variáveis que influenciam o risco de colisão	28
2.2.2 Ferramentas para avaliação do risco de colisão em fase de pré-construção	30
2.3 Descrição do estudo de caso	31
2.3.1 Área de estudo	31
2.3.2 Desenho experimental.....	33
2.3.2.1 Pontos de observação	33

2.3.2.2	Prospecção de mortalidade	38
2.3.3	Espécies de aves registadas	38
3	Resultados e discussão	40
3.1	Revisão bibliográfica das variáveis que influenciam o risco de colisão.....	40
3.1.1	Fatores específicos ao nível da espécie.....	55
3.1.1.1	Morfologia	55
3.1.1.2	Perceção sensorial.....	57
3.1.1.3	Comportamento	59
3.1.1.4	Idade	62
3.1.1.5	Fenologia	63
3.1.1.6	População	64
3.1.1.7	Reprodução.....	66
3.1.2	Fatores específicos ao nível da área de estudo	67
3.1.2.1	Qualidade do habitat	67
3.1.2.2	Meteorologia	69
3.1.2.3	Orografia	70
3.1.3	Fatores específicos ao nível da tipologia do PE	71
3.2	Revisão bibliográfica de ferramentas para avaliação do risco de colisão em fase de pré-construção	73
3.3	Seleção do CRM mais adequado aos dados do estudo de caso	79
4	Considerações finais	85
5	Referências	89
Anexos.....		1a
Anexo A		1a
Anexo B		1b
Anexo C		1c
Anexo D		1d

Lista de figuras

Figura 1 – Enquadramento geográfico dos PE monitorizados entre 2010 e 2024.....	23
Figura 2 – Enquadramento geográfico do PE Barão de São João (AG 1 a 25) e Seq. Barão de São João (AG 26 e 27).	32
Figura 3 – Registo fotográfico do decorrer dos trabalhos num ponto de observação, no âmbito da aplicação do SPAAR.....	33
Figura 4 – Desenho experimental do SPAAR, incluindo as localizações dos pontos fixos de observação, bem como as áreas visíveis e não visíveis de acordo com a cobertura visual de cada ponto.	35
Figura 5 – Número de variáveis analisadas por classe de relevância atribuída.	51
Figura 6 – Gráfico de barras representativo do número de variáveis por classe de relevância atribuída para cada um dos CRM analisados.	80

Lista de tabelas

Tabela 1 – Cronograma dos anos de implementação dos programas SPAAR, PPSAR e PMIMOCS.....	21
Tabela 2 – Critérios para a paragem de AG do PE Barão de São João e do Seq. Barão de São João, mediante aplicação do SPAAR.....	37
Tabela 3 – Lista total de espécies registadas no âmbito do SPAAR e respetivos estatutos de conservação a nível global (ECG) e a nível nacional (ECN). Legenda de estatutos de conservação: “LC” – Pouco Preocupante”; “NT” – Quase ameaçada; “EN” – Em perigo; “CR” – criticamente em perigo; “RE” – regionalmente extinta.	39
Tabela 4 – Análise de variáveis, distribuídas pelos respetivos fatores e categorias, que podem integrar ferramentas de avaliação do risco de colisão de aves de rapina com AG (PE onshore), em fase de pré-construção. A avaliação da sua relevância foi realizada de acordo com quatro classes (nada relevante a muito relevante). A associação de cada variável à(s) fase(s) do cálculo preditivo da probabilidade de colisão foi feita considerando as seguintes fases: 1 – probabilidade temporal de uma ave atravessar (dimensões horizontal e vertical) a área em que se considera existir risco de colisão; 2 – probabilidade de uma ave exposta ao risco de colisão efetivamente colidir (2.1 – probabilidade da ave se aperceber do obstáculo; 2.2 – probabilidade de uma ave exposta ao risco de colisão e que se apercebeu do obstáculo colidir). A relação entre cada variável e a probabilidade de colisão foi realizada com base nas descrições das referências consultadas, ou, quando não encontrada tal descrição, através de raciocínio lógico assente na revisão bibliográfica, associada tanto a conhecimento teórico como empírico. São individualmente apresentadas as referências utilizadas para a análise de cada variável. Os resultados relativos aos restantes parâmetros enunciados no subcapítulo 2.2 encontram-se apresentados no Anexo A (Tabela A 2).....	41
Tabela 5 – Análise de CRM realizada com base em Masden & Cook (2016) e Rodrigues et al. (2018), bem como nos documentos citados na respetiva coluna. O âmbito de utilização do CRM é relativo à distinção entre os níveis do indivíduo e da população, bem como entre PE offshore e onshore. O tipo de modelos é relativo à distinção entre modelos determinísticos, estocásticos ou que incluem elementos estocásticos. São apresentadas as categorias de variáveis incluídas como parâmetros de input do modelo. É referida a forma como é apresentado o resultado (output) de cada CRM. É referido se o CRM foi ou não validado (o «não» não deve ser interpretado como absoluto neste caso, pois pode ser referente apenas à ausência de validação estatística). É mencionado se o CRM se adequa	

a processos de AIA ou não. Os resultados relativos aos restantes parâmetros enunciados no subcapítulo 2.2 encontram-se apresentados no Anexo B (Tabela B 2).....	78
Tabela B 1 – Representação da legenda da Tabela B 2 em forma de tabela. São mencionados os parâmetros que estão na base da análise comparativa entre diferentes CRM. São referidas as categorias que cada parâmetro pode tomar. Nos casos em que tais categorias não existam (e.g. suposições), é descrito o raciocínio lógico que teve na base do preenchimento da coluna.....	1b
Tabela B 2 – Versão completa da Tabela 5 do subcapítulo 3.2; análise comparativa de CRM, com base em Masden & Cook (2016) e Rodrigues et al. (2018), bem como nos documentados citados na respetiva coluna.	2b
Tabela D 1 – Listagem de variáveis cujos dados são recolhidos (ou estão disponíveis por outras vias) no âmbito do estudo de caso. É sintetizada a abordagem de utilização a cada variável e/ou o modo de obtenção dos dados. As variáveis assinaladas com (*) referem-se àquelas que podem ser influenciadas pela presença do PE.	1d

Lista de siglas e acrónimos

AG – Aerogeradores

AIA – Avaliação de Impacte Ambiental

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CRM – *Collision risk models* (modelos preditivos do risco de colisão)

DCAPE – Decisão sobre a Conformidade Ambiental do Projeto de Execução

DIA – Declaração de Impacte Ambiental

ECG – Estatuto de conservação a nível global

ECN – Estatuto de conservação a nível nacional

EIA – Estudo de Impacte Ambiental

GPS – *Global Positioning System*

IA – Inteligência Artificial

ICNF – Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas

PE – Parque eólico (sempre que a sigla ocorra isoladamente, refere-se a parques eólicos situados em terra)

PEE – Pacto Ecológico Europeu

PMIMOCS – Programa de minimização de impactes sobre a migração outonal na costa sudoeste

PNEC 2030 – Plano Nacional de Energia e Clima de Portugal 2030

PPSAR – Programa de Aplicação do Sistema de Paragem Seletiva de Aerogeradores Assistida por Radar

RECAPE –

SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SPAAR – Sistema de Paragem de Aerogeradores Assistido por Radar

UE – União Europeia

WWF – *World Wide Fund for Nature*

ZEC – Zona Especial de Conservação

1 Introdução

1.1 Contexto global e nacional da energia eólica

Vive-se atualmente um cenário mundial em que existe uma extrema necessidade de mitigar as alterações climáticas e a poluição ambiental, procurando métodos sustentáveis para a crescente demanda de produção de energia. A União Europeia (UE) prioriza esta necessidade, tendo criado instrumentos legais com o principal objetivo de atingir a neutralidade climática até 2050, nomeadamente a Diretiva Europeia 2023/2413 e o Pacto Ecológico Europeu (Comissão Europeia, 2019). Estes instrumentos legais definem uma meta intermediária da redução das emissões líquidas de gases de efeito de estufa em pelo menos 55% comparativamente aos níveis de 1990 até 2030, enfatizando a obrigação dos Estados-Membros em concretizar um Plano Nacional integrado de Energia e Clima para o horizonte 2021 – 2030 para ser apresentado à Comissão Europeia (Comissão Europeia, 2019; Diretiva Europeia 2023/2413). Como Estado-Membro, Portugal iniciou a transposição parcial da Diretiva Europeia 2023/2413 para a sua legislação nacional, integrando as disposições da diretiva nas leis nacionais existentes, como o Decreto-Lei n.º 151-B/2013, que regula o processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA). Neste caso, tal integração teve como principal objetivo agilizar os procedimentos de autorização para projetos de energia renovável, acelerando a sua implementação. Além disso, foi elaborado o Plano Nacional de Energia e Clima de Portugal 2030 (PNEC 2030; estabelecido na Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020), que serve como estrutura estratégica que orienta a transição energética do país. O PNEC 2030 descreve o compromisso de Portugal em reduzir as emissões de gases de efeito estufa, aumentar a eficiência energética e expandir a participação de energia renovável no seu cenário de produção de energia.

Tendo por base este contexto legal, o desenvolvimento de infraestruturas para a produção de energia renovável tem, de facto, registado um crescimento contínuo na Europa, com a energia eólica desempenhando um papel central nesta transição (Energy Institute, 2024). É importante referir que o avanço tecnológico tem sido um fator determinante no aumento da eficiência e na viabilidade de PE, tanto *onshore* (*i.e.* localizados em terra) como *offshore* (*i.e.* localizados no mar), pois permite uma maior produção de eletricidade com menores custos operacionais (Firoozi *et al.*, 2024). Com efeito, prevê-se que a capacidade energética de parques eólicos (PE) aumente para mais do dobro entre os anos de 2018 e de 2030, tanto considerando os Estados-Membros da UE, como no resto da Europa (Costanzo & Brindley, 2024). Embora em 2023 a Dinamarca tenha sido o país da UE que mais se destacou pela proporção de energia eólica consumida

face ao consumo energético total nesse ano (56%), Portugal também se encontra bem posicionado considerando o paradigma europeu, na medida em que a energia eólica representou 26% do seu consumo energético nesse ano, podendo ser considerado um exemplo internacional deste setor (Costanzo & Brindley, 2024; Santos *et al.*, 2018).

Apesar dos esforços investidos no sentido de aumentar a velocidade e eficácia da transição energética a nível global, as metas estabelecidas para 2030, como a limitação do aumento da temperatura global a 1,5°C, consagrada no Acordo de Paris (Comissão Europeia, s.d.), e a reversão da perda de biodiversidade, conforme os objetivos da Convenção sobre a Diversidade Biológica (Comissão Europeia, 2022), estão longe de serem alcançadas. De acordo com a edição de 2024 do *Living Planet Report*, publicado pela *World Wide Fund for Nature* (WWF), a inversão desta trajetória exige transformações profundas nos sistemas de produção e distribuição alimentar, na economia global, na transição energética e na conservação da biodiversidade (Abdelli *et al.*, 2024). O presente trabalho centra-se na complementaridade entre os dois últimos aspetos, na medida em que contribui para o estudo da minimização dos impactes da implementação de PE sobre a biodiversidade. De facto, estas infraestruturas não são livres de impactes ao nível da biodiversidade, podendo afetar vários grupos taxonómicos distintos (Dai *et al.*, 2015; Lovich & Ennen, 2013; Schuster *et al.* 2015).

1.2 Impactos negativos de PE sobre a biodiversidade

Embora a produção de energia elétrica por meio da energia eólica se destaque como a tecnologia que mais substancialmente se expandiu a nível global nas últimas décadas (Kumar *et al.*, 2016), a preocupação a respeito dos impactes provocados pela implementação de PE sobre a biodiversidade tem sido crescente, destacando-se as aves e os morcegos como os grupos animais mais afetados (Arnett & Baerwald, 2013; Marques *et al.*, 2018; Saidur *et al.*, 2011; Tellería, 2009b), embora não sejam os únicos (Ferrão da Costa *et al.*, 2018). De entre esses impactes, a mortalidade de aves provocada não só pela colisão com os aerogeradores (AG) constituintes de PE, mas também pela eletrocussão, caso se considerem outras infraestruturas elétricas associadas a PE, são dos mais bem documentados (Drewitt & Langston 2006, 2008; Marques *et al.*, 2014). Adicionalmente, quando os PE são implementados em áreas onde habitats naturais ou seminaturais são representativos, estas infraestruturas modificam a paisagem, promovendo a perda e/ou fragmentação de habitat, podendo ainda alterar o comportamento das espécies (Drewitt & Langston 2006; May *et al.*, 2015). Particularizando para o caso das aves, a presença de PE possibilita a ocorrência de efeitos de evitação a diferentes escalas, podendo até causar o

efeito de deslocação (Marques *et al.*, 2020, 2021). É importante referir que além dos impactes referidos, relativamente recorrentes em PE *onshore*, podem ser considerados outros, caso analisados PE *offshore* (Baisner *et al.*, 2010). No entanto, o presente trabalho cinge-se à análise do risco de colisão com AG de PE *onshore* (sempre que a sigla PE ocorra de forma isolada no presente trabalho, refere-se a este tipo de infraestruturas). É ainda de ter em conta que os impactes anteriormente descritos podem originar múltiplas implicações ecológicas, inclusivamente ao nível da população de determinadas espécies (Carrete *et al.*, 2009; Thaker *et al.*, 2018).

Existe um amplo consenso na literatura científica de que as aves planadoras, incluindo aves de rapina, cegonhas e outras aves de grande porte, constituem o grupo de aves mais vulnerável a colisões com AG (Barrios & Rodriguez, 2004; Estellés-Domingo & López-López, 2024; Madders & Whitfield, 2006; Watson *et al.*, 2018). No que concerne às aves de rapina, esta vulnerabilidade é, em parte, justificada pelo facto de, geralmente, apresentarem longas taxas de maturidade, baixa produtividade reprodutora (*i.e.* poucas crias nascidas por época de reprodução) e elevada longevidade, podendo baixas taxas de mortalidade ter um impacto significativo a nível populacional (Carrete *et al.*, 2009; Estellés-Domingo & López-López, 2024; Marques *et al.*, 2014; Tapia & Zuberogoitia, 2018). Além destas características, o estilo de voo das aves de rapina também é um dos fundamentos da sua vulnerabilidade à colisão com AG. Embora o estilo de voo das aves de rapina varie consoante a espécie, bem como consoante a relação entre a sua fenologia e a sazonalidade, muitas destas aves, particularmente as de menor manobrabilidade de voo e/ou as com necessidade de voar longas distâncias, recorrem ao voo planado como um dos principais estilos de voo por forma a minimizar o dispêndio energético (Duriez *et al.*, 2014; Pennycuik, 1975; Rayner, 1988). Este estilo de voo depende de correntes de ar ascendente, que são relativamente escassas e dispersas pela paisagem (Horvitz *et al.*, 2014). As referidas correntes de ar ascendente têm como principais fontes a formação de massas de ar quente sobre o solo dada a influência da irradiação solar (doravante denominadas por «térmicas») e a deflexão do vento ao atingir determinado obstáculo orográfico, como montanhas (Péron *et al.*, 2017). Assim, a vulnerabilidade das aves de rapina ao risco de colisão deve-se, pelo menos parcialmente, à sobreposição de locais que não só apresentam características ao nível da paisagem que potenciam um melhor desempenho de um dos seus estilos de voo predominantes, mas que simultaneamente constituem os locais com atributos muito procurados para o desenvolvimento de infraestruturas produtoras de energia eólica (Gauld *et al.*, 2022; Katzner *et al.*, 2012; Marques *et al.*, 2020; Martín *et al.*, 2018). As aves de rapina constituem um grupo

diversificado de espécies, podendo muitas delas ser consideradas «espécies guarda-chuva», termo frequentemente utilizado para espécies cuja proteção pode beneficiar inúmeras outras (Donázar *et al.*, 2016). Dado o crescente aumento da demanda de energia, bem como da necessidade de acelerar a transição energética, é crucial compreender os efeitos negativos que os PE podem ter sobre espécies mais vulneráveis (Fernandez-Bellon *et al.*, 2019), tais como as aves de rapina (Estellés-Domingo & López-López, 2024).

É de notar que o grau de vulnerabilidade das aves de rapina à colisão com AG depende de múltiplos fatores aos níveis da espécie, bem como da área onde se situa o PE e sua tipologia (Estellés-Domingo & López-López, 2024; Drewitt & Langston 2008; Marques *et al.*, 2014; Watson *et al.*, 2018). Além destes fatores poderem compreender uma larga gama de variáveis, estas não são independentes, uma vez que podem ser influenciadas umas pelas outras, elevando a complexidade da compreensão das causas que levam aves a colidir com AG (Marques *et al.*, 2014). Facilmente se realiza um exercício demonstrativo de tal complexidade analisando, por exemplo, as variáveis que podem estar relacionadas com o seu tipo de voo. Por um lado, esta variável é influenciada por diversas outras: pela espécie em causa, porque apresenta características morfológicas específicas, relacionadas com a manobrabilidade de voo (Herrera-Alsina *et al.*, 2013; Janss, 2000); pela região e altura do ano em que a ave se encontra, uma vez que a sua fenologia pode variar, sendo que aves migradoras e residentes podem apresentar padrões comportamentais distintos (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023); pelas condições meteorológicas que a ave encontra (*e.g.* direção e velocidade do vento [Barrios & Rodríguez, 2004], disponibilidade de térmicas [Péron *et al.*, 2017]); pelas características biofísicas da área em que a ave se encontra e na qual o PE será instalado (*e.g.* orografia [De Lucas *et al.*, 2012b], disponibilidade de alimento [Hoover & Morrison, 2005]); pela configuração dos AG nessa mesma área (De Lucas *et al.*, 2012a); entre outras variáveis que possam ser desconhecidas. Por outro lado, a variável tipo de voo influencia outras variáveis que, por sua vez, influenciam o risco de colisão, por exemplo: distância entre a ave e o AG mais próximo e altura de voo da ave (Masden & Cook, 2016); velocidade de voo da ave (Masden *et al.*, 2021); orientação de voo da ave relativamente ao AG ou PE (Masden & Cook, 2016); e o comportamento de evitação da ave (Garvin *et al.*, 2011). De notar que podem, ainda, haver relações entre as variáveis que influenciam e que são influenciadas pelo tipo de voo, por exemplo a direção e velocidade do vento podem influenciar tanto a altura (Langston & Pullan, 2003), como a velocidade de voo (Masden *et al.*, 2021), bem como podem haver relações entre as variáveis referidas e outras que não tenham sido consideradas no presente exercício, por exemplo a nebulosidade pode afetar a visibilidade de obstáculos no

terreno (Langston & Pullan, 2003), o que pode influenciar mais ou menos o tipo de voo de determinada espécie, dependendo da sua acuidade visual (Martin *et al.*, 2012). As relações entre variáveis anteriormente descritas foram abordadas com foco na compreensão da variável tipo de voo para explicar o risco de colisão, uma vez que esta é relativa a um dos fatores mais frequentemente estudadas como possível causa de colisões de aves com AG (Marques *et al.*, 2014). No entanto, podia ter-se realizado o mesmo tipo de análise de forma dirigida a outras variáveis (*e.g.* abundância relativa). Assim, a análise das relações potencialmente existentes entre o tipo de voo e outras variáveis serve de premissa para argumentar que as variáveis que explicam o risco de colisão se relacionam de forma complexa entre si, tal como Marques *et al.* (2014) muito bem demonstram (*vide* figura 1 da publicação mencionada). É com base neste contexto que o presente estudo se foca nos impactos diretos dos PE *onshore* sobre as aves de rapina, particularmente na compreensão das causas de mortalidade por colisão com AG.

1.3 Conciliação entre a energia eólica e a conservação de aves de rapina

Existem atualmente várias soluções propostas para a mitigação de impactes da implementação de PE sobre aves, tendo já sido efetuadas avaliações da sua utilidade em vários estudos (*e.g.* Marques *et al.*, 2014; May *et al.*, 2015), inclusivamente considerando apenas os impactes sobre as aves de rapina em particular (Estellés-Domingo & López-López, 2024). Resumidamente, podem ser considerados três tipos diferentes de soluções, hierarquicamente organizadas consoante o seu foco (Langston & Pullan, 2003): prevenção de impactes; minimização de impactes; e compensação de impactes. Destas soluções, as de prevenção são as mais importantes para a mitigação de impactes, uma vez que podem levar à evitação da necessidade de aplicação de medidas de minimização ou de compensação (Langston & Pullan, 2003; Marques *et al.*, 2014).

As soluções baseadas na prevenção enquadram-se na fase de planeamento inicial do PE, fase esta que inclui a escolha do tipo e localização das infraestruturas que o constituem, ambas características que influenciam o risco de colisão, tal como explicado em maior detalhe no subcapítulo 3.1.3. Inicialmente, a decisão quanto à localização de um PE deve ser tomada considerando uma ampla escala geográfica, por forma a selecionar uma área onde seja evitado o maior número possível de impactes ambientais negativos (Northrup & Wittemyer, 2013). Quanto à decisão relativa às localizações dos AG, deve ser realizada uma caracterização local da área de estudo por forma a compreender onde tais infraestruturas serão menos impactantes. Relativamente à mitigação das colisões de aves de rapina com AG, esta caracterização pode ser realizada recorrendo a variadas

ferramentas de avaliação do risco de colisão (como as enunciadas no subcapítulo 3.2). Deste tipo de ferramentas, no presente trabalho é dado destaque a modelos preditivos do risco de colisão (*collision risk models*; CRM). De forma sumária, e de acordo com Masden & Cook (2016), muitos dos modelos preditivos utilizados calculam as probabilidades de uma ave colidir com um AG considerando duas fases: (1) estimar o número de aves que atravessa a área do rotor e de rotação das pás; e (2) prever qual a proporção das aves estimadas anteriormente que colidem com uma das pás do rotor. É de ter em conta que a fase (2) pode ser dividida em duas subfases distintas: (2.1) prever qual a proporção estimada das aves que atravessam a área do rotor que não se apercebem do obstáculo; e (2.2) prever qual a proporção destas aves estimadas que se apercebem do obstáculo, mas ainda assim acabam por colidir com alguma das estruturas constituintes do AG. No entanto, Masden & Cook (2016) demonstram que as fases (1) e (2) estão sujeitas a algum enviesamento, por inclusão de suposições demasiado simplistas, relacionadas com vários fatores, dos quais se destaca o comportamento das aves. Assim, os autores sugerem que incorporar variáveis representativas do comportamento individual das aves, da fenologia, do tipo de paisagem, das condições meteorológicas e, ainda, da distribuição espacial dos AG em modelos preditivos do risco de colisão poderia levar a um maior grau de certeza quanto à relação entre a abundância de aves obtida em EIA e o número de eventos de colisão registado após construção do PE (de Lucas *et al.*, 2008; Ferrer *et al.*, 2012; Marques *et al.*, 2014; Masden & Cook, 2016). Deste modo, torna-se importante perceber em que fase determinada variável pode ser integrada num CRM.

Nos casos em que, após aplicadas soluções de prevenção, subsistam alguns impactes, pode ser possível diminuir a sua magnitude por meio da implementação de medidas de minimização que reduzam o risco de colisão com AG (Estellés-Domingo & López-López, 2024). A necessidade de aplicação de medidas de minimização deve ser equacionada na fase de planeamento de um PE, bem como tendo por base os resultados obtidos após a sua construção, que podem ser indicativos de impactes imprevistos (Marques *et al.*, 2014). Existem diversas medidas de minimização no que toca à redução do risco de colisão de aves de rapina com AG, tais como: remoção de ninhos desocupados anteriormente à época de reprodução, por forma a prevenir a utilização da área do PE (Allison *et al.*, 2017); utilização de medidas que dissuadam aves de rapina de utilizar a área do PE por vias sensoriais (Hunt *et al.*, 2015); remoção de fontes de alimentação para aves de rapina (Pescador *et al.*, 2019); aplicação de programas de paragem seletiva de AG em tempo real (De Lucas *et al.*, 2012a; Ferrer *et al.*, 2022; Tomé *et al.*, 2017).

Já as medidas de compensação devem ser utilizadas apenas como último recurso, particularmente nos casos em que as medidas de prevenção e de minimização tomadas não sejam suficientes para evitar impactes significativos (Langston & Pullan, 2003). De forma geral, este tipo de medidas pode ser alcançado através do aumento das populações de aves ou minimizando outros impactes recorrendo a restrições da atividade humana, podendo ser aplicadas tanto de forma dirigida a infraestruturas do PE, como a outras ameaças (Marques *et al.*, 2014). Alguns exemplos de ações deste âmbito são a expansão, criação ou restauro de habitats, o fomento de presas, a remoção de espécies exóticas e/ou invasoras, a reintrodução de espécies ou a alimentação suplementar (Cole, 2011; Marques *et al.*, 2014; U.S. Fish and Wildlife Service, 2013).

Para compreender como estas soluções de mitigação de impactes negativos produzidos pela implementação de PE podem ser aplicadas, é importante enquadrar como se inserem no contexto de AIA. Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 151-B/2013, atualmente em vigor, “estabelece o cumprimento do regime jurídico da avaliação de impacte ambiental (AIA) dos projetos públicos e privados suscetíveis de produzirem efeitos significativos no ambiente, transpondo a Diretiva Europeia 2011/92/UE, relativa à avaliação dos efeitos de determinados projetos públicos e privados no ambiente”. De acordo com este diploma legal, o aproveitamento de energia eólica para produção de eletricidade pode ser sujeito ao processo de AIA, dependendo da tipologia e localização da implementação das infraestruturas. De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), o objetivo do processo de AIA é aferir a viabilidade ambiental de um projeto, previamente ao seu licenciamento ou autorização. De forma sucinta, este processo é constituído por duas etapas: definição do âmbito do Estudo de Impacte Ambiental (EIA), onde devem ser identificadas e analisadas as vertentes ambientais que podem ser afetadas pelo projeto, bem como selecionadas aquelas que devem ser abrangidas pelo EIA; e processo de AIA propriamente dito (*i.e.* concretização do EIA), que constitui uma etapa fundamental na qual é avaliada a viabilidade ambiental de um projeto, podendo compreender procedimentos distintos consoante a fase em que o projeto seja submetido. O processo de AIA culmina com a emissão da decisão sobre a viabilidade ambiental, expressa na Declaração de Impacte Ambiental (DIA), que pode ser complementada pela Decisão sobre a Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (DCAPE) caso o projeto seja submetido em fase de estudo prévio ou anteprojecto (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021). Sucintamente, a DIA consiste num documento com valor legal onde são expressas a descrição e características gerais do projeto, as sínteses dos pareceres apresentados pelas entidades consultadas e do resultado da consulta pública, medidas de minimização durante as fases

de pré-construção, construção, exploração e desativação do projeto, bem como variados planos e programas de monitorização que deverão decorrer em fase de pós-avaliação. Este documento expõe, desta forma, as justificações que constituem a decisão relativamente à implementação do projeto, que pode ser desfavorável, favorável condicionada, ou, em raros casos, simplesmente favorável.

1.4 Enquadramento do estudo de caso

O estudo de caso analisado no presente trabalho teve por base o “Programa de Minimização de Impactes sobre a Migração Outonal na Costa Sudoeste” (PMIMOCS), aplicado de forma a dar cumprimento às condicionantes impostas por várias DIA, individualmente associadas a cada um dos projetos envolvidos. Este programa, constituído em 2024 pela empresa ECOSATIVA – Consultoria Ambiental Lda. (ECOSATIVA, 2024a), integra dois programas semelhantes, ambos implementados em fase de exploração, que até esse ano decorriam de forma paralela, nomeadamente:

- “Programa de Aplicação do Sistema de Paragem Seletiva de Aerogeradores Assistida por Radar (PPSAR)”, parte integrante do plano de monitorização de avifauna e quirópteros do PE de Guerreiros (constituído por seis AG) e respetivo sobreequipamento (que inclui dois AG), e PE de Corte dos Álamos (formado por três AG);
- “Sistema de Paragem de Aerogeradores Assistido por Radar (SPAAR)”, parte integrante do plano de monitorização de avifauna e quirópteros do PE Barão de São João (que compreende 25 AG).

É importante referir que, além destes programas terem sido aplicados por empresas diferentes até 2022, as datas da sua implementação também variaram consoante os respetivos períodos de construção e processos de AIA associados (Tabela 1). Enquanto o PPSAR foi implementado pela empresa ECOSATIVA no PE Guerreiros e respetivo sobreequipamento (Seq. Guerreiros) e no PE Corte dos Álamos em 2014 e decorreu até 2023, o SPAAR foi aplicado pela empresa STRIX no PE Barão de São João entre 2009 e 2022. O SPAAR foi, ainda, estendido a outros PE situados na mesma região: a partir de 2021 passou a ser aplicado nos cinco AG que constituem o PE de Espinhaço de Cão; e em 2023 foi implementado nos dois AG constituintes do sobreequipamento de Barão de São João (Seq. Barão de São João). É de ter em conta que foram desprezados os dados recolhidos em fase de pré-construção nos PE referidos, por serem menos acessíveis e cobrirem um menor período de tempo comparativamente aos da fase de exploração.

Tabela 1 – Cronograma dos anos de implementação dos programas SPAAR, PPSAR e PMIMOCS

Anos	Programas implementados	PE	Número de AG monitorizados
2010 – 2014	SPAAR	PE Barão de São João	25
2015 – 2021	SPAAR	PE Barão de São João	25
	PPSAR	PE Guerreiros	6
	PPSAR	Seq. Guerreiros	2
	PPSAR	PE Corte dos Álamos	3
2022	SPAAR	PE Barão de São João	25
	PPSAR	PE Guerreiros	6
	PPSAR	Seq. Guerreiros	2
	PPSAR	PE Corte dos Álamos	3
	PPSAR	PE Espinhaço de Cão	5
2023	SPAAR	PE Barão de São João	25
	PPSAR	PE Guerreiros	6
	PPSAR	Seq. Guerreiros	2
	PPSAR	PE Corte dos Álamos	3
	PPSAR	PE Espinhaço de Cão	5
	SPAAR	Seq. Barão de São João	2
2024	PMIMOCS	PE Barão de São João	25
		PE Guerreiros	9
		Seq. Guerreiros	2
		PE Corte dos Álamos	3
		PE Espinhaço de Cão	5
		Seq. Barão de São João	2
		PE Bordeira	12

É ainda de ter em conta que ocorreram alterações metodológicas em ambos os programas ao longo destes anos. Por exemplo, tanto o SPAAR como o PPSAR foram aplicados entre os dias 15 de agosto e 30 de novembro até 2015, mas entre os dias 1 de setembro e 15 de dezembro a partir de 2016. Em ambos os casos, as alterações do período de aplicação da medida de minimização foram acordadas com as entidades licenciadoras competentes, nomeadamente o Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e a APA, uma vez que os dados obtidos as justificavam. De facto, os resultados indicavam maior riqueza e/ou abundância de determinadas espécies na primeira quinzena de dezembro comparativamente à última de agosto. Outras alterações metodológicas, também acordadas com tais entidades, cingiram-se a realocações de determinados pontos fixos de observação, integrantes das redes de amostragem dedicadas à aplicação da medida de minimização segundo cada um dos programas. Estas realocações ocorreram devido à maior familiaridade da equipa para com a área de estudo, que possibilitou a descoberta de locais com maior cobertura visual comparativamente aos iniciais (ECOSATIVA, 2024a).

O ano de 2023 tratou-se de um ano de transição, na medida em que, embora todos os 43 AG incluídos nos referidos PE e respetivos sobreequipamentos fossem monitorizados pela mesma empresa pela primeira vez, eram aplicados dois programas distintos, que só se viriam a uniformizar em 2024, através da implementação do PMIMOCS. Apesar dos programas mencionados anteriormente resultarem de condicionantes de diferentes DIA, ambos se materializam como medidas de minimização da implementação de PE sobre a comunidade de aves planadoras migradoras da região do sudoeste de Portugal, apresentando objetivos gerais idênticos e o mesmo período temporal de implementação desde 2017. Além do objetivo do PMIMOCS no que toca à integração do SPAAR e do PPSAR num único programa, foi segundo o mesmo que a paragem seletiva de AG mediante atravessamento de aves planadoras migradoras passou a abranger AG que nunca haviam sido alvo de tal medida de minimização, nomeadamente o PE Bordeira, constituído por 12 AG, e 3 AG adicionais constituintes do PE Guerreiros. Desta forma, foi a partir de 2024 que todos os 58 AG representados na Figura 1 passaram a ser monitorizados no âmbito de um único programa (ECOSATIVA, 2024a).

Ao longos dos anos referidos têm sido anualmente realizados relatórios de monitorização de aves planadoras migradoras que, além de avaliarem a eficácia da medida de minimização aplicada segundo cada um dos programas anteriormente referidos, caracterizam os movimentos migratórios das aves planadoras registadas na área de influência dos PE durante a época de migração outonal (ECOSATIVA, 2023; STRIX, 2022). Estes relatórios não foram publicados, sendo geralmente de difícil consulta e obtenção, portanto os dados apresentados nos mesmos nunca foram analisados com objetivo específico de contribuir para o conhecimento científico das causas que levam à colisão de aves planadoras com AG (contudo *vide* Nabo, 2020; Tomé *et al.*, 2017). Ainda assim, os resultados de tais relatórios podem acrescentar informação relevante nesse sentido (Cook *et al.*, 2025; Marques *et al.*, 2014; Northrup & Wittemyer, 2013). Com base numa perspetiva de aplicação prática da ciência da conservação, surge o interesse em analisar os dados recolhidos no âmbito do programa mencionado por forma a contribuir para o conhecimento das implicações de PE sobre várias espécies de aves planadoras. Tal interesse intensifica-se pelo facto do PMIMOCS ser aplicado de forma integrada para 58 AG situados no sudoeste de Portugal, sendo que os PE em Portugal são normalmente constituídos por poucos AG (média de 10 por PE) comparativamente a outros países (Marques *et al.*, 2018). No entanto, os dados recolhidos em 2024 não estão atualmente disponíveis, uma vez que não foram totalmente inseridos e tratados. Assim se constata a necessidade de selecionar um dos programas implementados anteriormente a 2024 para análise no presente trabalho.

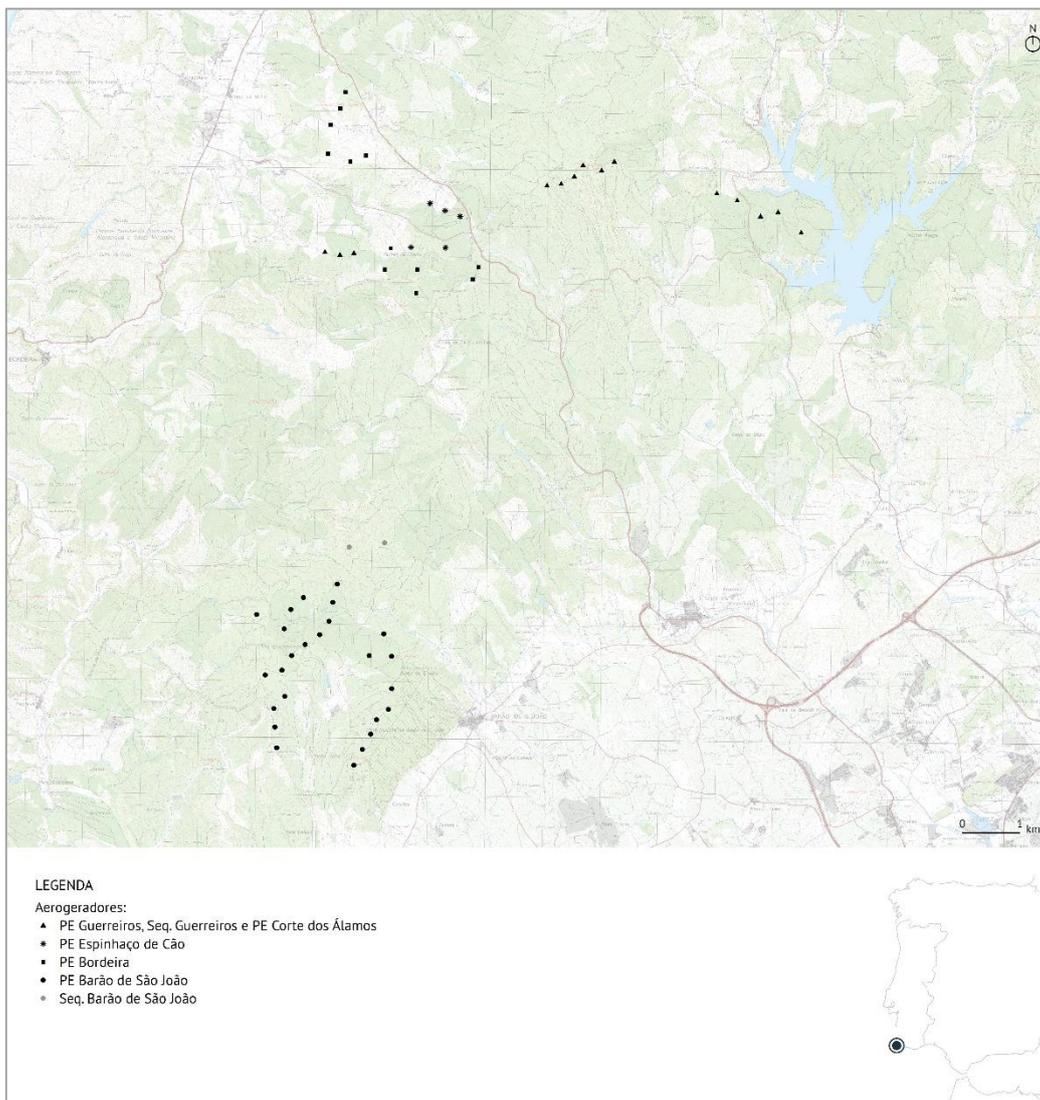


Figura 1 – Enquadramento geográfico dos PE monitorizados entre 2010 e 2024.

Para compreender as razões que motivam a seleção dos dados recolhidos no PE Barão de São João no âmbito do SPAAR como o estudo de caso a analisar no presente trabalho, interessa referir algumas diferenças no que toca às condicionantes impostas pela DIA associadas aos PE englobados pelos programas. A construção do PE Barão de São João foi condicionada não só à implementação da medida de minimização referida, como também à aplicação de planos de monitorização dirigidos à comunidade de avifauna e quirópteros e, ainda, à monitorização da linha elétrica associada ao PE. Condicionantes estas previstas para durar toda a fase de exploração do PE, de acordo com a DIA associada ao projeto. Estas imposições da DIA levaram à obrigatoriedade de monitorizar os impactes diretos sobre os grupos faunísticos referidos, incluindo a mortalidade de aves causada por colisão com AG, durante todo o ano e em todos os anos desde que o SPAAR foi implementado (ECOSATIVA, 2024c). Já as DIA associadas aos PE englobados pelo PPSAR apenas condicionavam o projeto a esse tipo de monitorizações durante os primeiros três anos da fase de exploração, embora a aplicação da medida de minimização estivesse,

também neste caso, prevista para toda a vida útil do projeto. Por essas razões, a partir de 2012 a metodologia de prospeção de mortalidade em redor dos AG deixou de ser realizada durante todo o ano nos PE abrangidos pelo PPSAR (ECOSATIVA, 2024a). Além da disponibilidade de dados de mortalidade recolhidos no PE Barão de São João durante um maior número de anos, existem outros factos contributivos para a constituição do estudo de caso analisado no presente trabalho com base no SPAAR: dura há mais tempo do que o PPSAR; envolve a comparação dos dados recolhidos na área do PE com os obtidos através de um ponto de controlo (ECOSATIVA, 2024a); e engloba um número superior de AG, tratando-se do maior PE do sudoeste de Portugal (Tomé *et al.*, 2017).

1.5 Descrição e justificação dos objetivos

A apresentação dissertação tem como objetivo geral o seguinte: contribuir para o desenvolvimento de uma ferramenta de consulta e implementação acessíveis que ambicione a avaliação prévia dos potenciais impactos negativos de PE sobre as aves de rapina, nomeadamente os associados à mortalidade por colisão com AG. Para cumprir este objetivo, são apresentados os resultados relativos aos três seguintes exercícios realizados (*i.e.* objetivos específicos): (1) realização de uma revisão bibliográfica e análise crítica das variáveis que podem influenciar o risco de colisão destas aves com AG; (2) execução de uma revisão bibliográfica de ferramentas úteis à tomada de decisão em fase de pré-construção, considerando o impacte direto provocado por colisões com AG, sendo focados CRM; e (3) seleção da ferramenta de avaliação do risco de colisão de aves de rapina com AG previamente à construção do PE (um dos CRM analisados) que mais se adequa aos dados obtidos no âmbito do estudo de caso, sugerindo as adaptações necessárias (adicionar ou eliminar variáveis, ou alterar a forma como são integradas no modelo).

Embora os dados do estudo de caso tenham sido recolhidos de forma complementar à aplicação de uma medida de minimização em fase de pós-avaliação, podem ser utilizados por forma a contribuírem para um melhor planeamento no que toca à tomada de decisão relativa à construção de outros PE, particularmente no sentido de otimizar a escolha dos locais de implementação dos seus AG. Existem várias ferramentas úteis para auxiliar este tipo de decisões em fase de pré-construção, por exemplo os CRM. Este tipo de modelos varia bastante quer na forma de cálculo, quer nos parâmetros de *input* necessários e *output* fornecido (Masden & Cook, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018). Apesar disso, de forma geral, os CRM baseiam-se na análise de movimentos de aves durante a fase de pré-construção para estimar o risco de colisão previsto, o que os torna amplamente utilizados não só em contexto de investigação, como também em processos de AIA (Cook *et al.*, 2025). No

entanto, parâmetros como a evitação de aves de determinado PE ou AG podem ser mais facilmente calculados após a construção destas infraestruturas (Garvin *et al.*, 2011). Além disso, atualmente existe a necessidade do desenvolvimento de estudos em que seja realizada uma validação dos resultados obtidos por CRM com base em dados de mortalidade, sendo que estes só estão disponíveis depois da fase de construção (Cook *et al.*, 2025; Masden & Cook, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018).

A pertinência de aplicar um CRM aos dados obtidos no âmbito de um projeto eólico em Portugal é reforçada considerando o desenvolvimento deste tipo de estudos no país. Apesar deste tipo de ferramentas ser frequentemente aplicado em fase de EIA noutros países, inclusivamente na Europa, em Portugal são raros os casos em que tal sucede (Masden & Cook, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018). Além disso, considerando a aplicação de um CRM aos dados obtidos através do SPAAR em particular, seria possível contribuir para o conhecimento das limitações anteriormente mencionadas, na medida em que estão disponíveis dados, incluindo de mortalidade, de múltiplos anos e de várias espécies de aves de rapina. No entanto, realizar tal exercício é um processo complexo por vários motivos: existem lacunas de informação ao nível da influência de determinadas variáveis sobre o risco de colisão com AG (Masden & Cook, 2016); há uma grande diversidade de fatores que influenciam o risco de colisão, não só de forma direta, mas também indiretamente por se relacionarem entre si (Marques *et al.*, 2014); um modelo com demasiadas variáveis pode tornar-se demasiado complexo e menos transferível para outros estudos, o que pode por em causa a sua exequibilidade (Getz *et al.*, 2018; Schuwirth *et al.*, 2019); foi desenvolvido um grande número de CRM, bem como adaptações por autores alternativos (Cook *et al.*, 2025). Assim, tanto a escolha das variáveis mais adequadas para prever o risco de colisão como a seleção do CRM mais apropriado para realizar tal cálculo devem ser ponderadas caso a caso, na medida em que dependem dos dados disponíveis, das espécies-alvo, da área de estudo e das características do PE.

Considerando os objetivos anteriormente apresentados e justificados, no presente trabalho são descritas relações entre variáveis que podem afetar a forma como estas interagem com o risco de colisão. Também é discutida a integração destas variáveis em ferramentas de avaliação do risco de colisão, particularmente dos CRM mais adequados ao estudo de caso. Adicionalmente, são identificadas lacunas de conhecimento e possíveis linhas futuras de investigação não só em relação às variáveis potencialmente integrantes de ferramentas de avaliação do risco de colisão, como também no que toca à aplicação de CRM num contexto de AIA.

2 Métodos

2.1 Revisão bibliográfica

Foi realizada uma revisão de uma ampla variedade de artigos científicos revistos por pares e não revistos por pares, relatórios técnicos e atas de conferências sobre temas relacionados com mortalidade de aves por colisão com várias infraestruturas (janelas, linhas elétricas e AG). Embora a pesquisa se tenha iniciado de forma abrangente, recorrendo às palavras-chave seguidamente elencadas, tornou-se progressivamente mais concreta e focada no tema em análise.

A literatura, independentemente de focada nas variáveis que influenciam o risco de colisão ou nas ferramentas para avaliação do risco de colisão em fase de pré-construção, foi procurada sempre recorrendo à língua inglesa, através do motor de pesquisa Google Académico. As pesquisas efetuadas nunca foram limitadas consoante a data das publicações. Interessa, ainda, referir que a pesquisa efetuada foi complementada pelas referências citadas em vários documentos, particularmente naqueles cujo tema mais se aproximava do exposto no presente trabalho. Dado o elevado número de documentos encontrados não só nas pesquisas efetuadas, como também nas referências citadas pelos mesmos, nunca foi considerada nenhuma página posterior à primeira, independentemente das palavras utilizadas para as várias pesquisas efetuadas.

2.1.1 Variáveis que influenciam o risco de colisão

Em relação à revisão bibliográfica das variáveis que influenciam o risco de colisão, a pesquisa foi iniciada pelas seguintes palavras: “*birds collision risk windfarm*”. Depois de selecionados alguns documentos com base nessa pesquisa, foram realizadas sucessivas pesquisas de refinamento, nas quais eram utilizadas palavras-chave tais como: “*behaviour*”; “*bird avoidance*”; “*bird thermal soaring*”; “*meteorology*”; “*morphology*”; “*orography*”; “*phenology*”; “*raptors*”; “*soaring birds*”; “*wind conditions*”; “*wind direction*”; “*wind speed*”; “*wind turbine*”; entre outros termos relativos a potenciais causas do risco de colisão.

Considerando a diversidade de variáveis e de objetivos consoante o estudo encontrado, para avaliação dos parâmetros de análise descritos no subcapítulo 2.2.1 e Anexo A, foi dada prioridade à informação encontrada em determinados documentos. Para seleção dos 66 documentos que constituíram a base de tal avaliação, embora não tenha sido realizado um exercício de priorização seguindo regras totalmente objetivas, seguiram-se os seguintes pressupostos:

- Tendo em conta que o presente estudo se foca nos impactos diretos dos PE *onshore* sobre as aves de rapina, particularmente na mortalidade por colisão com AG, documentos relativos a outras infraestruturas humanas foram descartados, quer fossem complementares ao funcionamento de um PE (e.g. linhas aéreas de transporte de energia, torres meteorológicas), ou não (e.g. janelas de edifícios).
- Pelos mesmos motivos, não foram considerados documentos referentes a colisões em PE *offshore*, nem focados em espécies de aves que não fossem de rapina ou planadoras.
- Dada a grande quantidade de informação existente sobre o tema, para seleccionar as variáveis a analisar foi dada prioridade à informação constante em artigos de revisão bibliográfica e de meta-análise, porque normalmente compilam uma grande quantidade de informação por forma a preencher lacunas de informação sobre determinado tópico (Ocaña-Fernández & Fuster-Guillén, 2021).
- Por forma a proceder à avaliação da relevância de cada variável, foi dada prioridade à informação encontrada em estudos que avaliassem a capacidade explicativa ou preditiva dessa variável em concreto para compreender as causas do risco de colisão, particularmente (e de forma decrescente em relação ao nível de prioridade) aqueles cuja área de estudo se situava na Península Ibérica ou na Europa.
- Foi dada prioridade à informação encontrada em documentos publicados no formato de artigo científico publicado em revistas internacionais com revisão por pares.

As raras exceções aos pressupostos descritos ocorreram apenas nos casos em que determinada variável foi considerada como potencial causa do risco de colisão com AG, embora tenha sido exclusivamente estudada noutros âmbitos (e.g. em linhas elétricas, em PE *offshore*, considerando outros grupos de espécies de aves). De qualquer forma, interessa referir que o termo «risco de colisão», sempre que ocorra de forma isolada no texto, é relativo à colisão de aves de rapina com AG pertencentes a PE *onshore*.

2.1.2 Ferramentas para avaliação do risco de colisão em fase de pré-construção

No que concerne à revisão bibliográfica de ferramentas dirigidas à avaliação pré-construção do risco de colisão de aves de rapina com AG, foi realizada apenas uma pesquisa com recurso às seguintes palavras: “*collision risk models review wind farm*”.

Salienta-se que, mesmo considerando apenas ferramentas úteis para avaliar o risco de colisão em determinado PE durante a fase de pré-construção, descartando as dirigidas à avaliação de impactos durante ou posteriormente à construção, existem atualmente múltiplos CRM, bem como uma grande variedade de outras ferramentas (Cook *et al.*, 2025). Além disso, muitas dessas ferramentas são de difícil acesso, requerem um esforço de amostragem em campo elevado e a sua aplicação pode envolver uma elevada complexidade em termos de cálculo e de codificação informática (Rodrigues *et al.*, 2018; Schuwirth *et al.*, 2019). Por estes motivos, os resultados apresentados no subcapítulo 3.2 basearam-se exclusivamente nos modelos analisados por Masden & Cook (2016) e por Rodrigues *et al.* (2018). As restantes referências encontradas na pesquisa dirigida às análises efetuadas no âmbito do referido subcapítulo foram utilizadas apenas de forma complementar para escrever o texto sobre este tipo de ferramentas, incluindo o referente à seleção do CRM mais adequado aos dados do estudo de caso.

2.2 Análise e tratamento de informação

2.2.1 Variáveis que influenciam o risco de colisão

Para compreender as causas do risco de colisão é necessário priorizar, categorizar e sistematizar a forma como são utilizadas e/ou interpretadas as variáveis que podem ser utilizadas para prever o risco de colisão de aves de rapina com AG. Assim, as variáveis analisadas no presente trabalho foram agrupadas em fatores, por sua vez, agrupados em categorias. Esta categorização foi efetuada adaptando os fatores e categorias descritos por Marques e colegas (2014). Os autores elencaram, descreveram e agruparam as variáveis explicativas do risco de colisão com AG em três categorias, nomeadamente: variáveis específicas ao nível da espécie; variáveis específicas ao nível da área de estudo; e variáveis específicas ao nível da tipologia do PE (Marques *et al.*, 2014). Os resultados relativos à análise de variáveis apresentados no presente trabalho refletem essa categorização das variáveis que podem afetar o risco de colisão por diferentes vias, porém com diferentes terminologias. Embora sejam apresentados fatores integrantes de categorias, tal como no estudo publicado por Marques *et al.* (2014), no presente é exibida uma separação dos fatores em diferentes variáveis. É importante referir que os termos utilizados no presente trabalho para definir categorias, fatores e variáveis podem surgir na bibliografia com termos alternativos. Por exemplo a variável presentemente descrita como “atividade desempenhada em voo” é comumente designada como “tipo de voo” (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023), ou como “comportamento de voo” (Barrios & Rodríguez, 2004; Garvin *et al.*, 2011), enquanto no presente trabalho o termo “comportamento”

corresponde a um fator integrante de diversas variáveis.

Após identificadas e categorizadas as variáveis potencialmente preditivas do risco de colisão, foi realizada uma sistematização da informação recolhida de forma dirigida a cada variável com base em parâmetros concretos (para compreender como foi recolhida a informação relativa a cada parâmetro, *vide* Tabela A 1, Anexo A), nomeadamente:

- Interações entre variáveis que podem influenciar o risco de colisão;
- Variáveis possivelmente correlacionadas (ou eventuais *proxies*);
- Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão que a variável pode integrar;
- Adequação a um modelo dirigido a uma espécie e/ou a um grupo de espécies;
- Definição da abordagem de utilização da variável;
- Probabilidade de colisão associada à distribuição ou a cada categoria da variável, dependendo da abordagem;
- Necessidade de recolha de dados em campo específicos para o PE em análise e variações metodológicas;
- Escala geográfica de análise para a qual a variável tem utilidade.

A avaliação da relevância das variáveis foi realizada não só com base no número e tipo de documentos que utilizaram cada variável para explicar ou prever o risco de colisão, como também na região geográfica e elenco de espécies de cada estudo. Ou seja, quanto maior o número de documentos (particularmente artigos científicos publicados internacionalmente, revistos por pares) que se expressasse em relação a determinada variável como importante, mais relevante foi considerada a variável. Nos casos em que foram encontrados resultados contraditórios em diferentes documentos para a mesma variável, foi tido em conta o grau de semelhança entre a região geográfica e elenco de espécies do presente estudo de caso e a região e elenco de tal documento. Além disso, a relevância de determinada variável foi menor sempre que se encontrou outra que fornecesse o mesmo tipo de informação, mas mais rigorosa. Assim, foi realizada uma avaliação da relevância para prever risco de colisão de aves de rapina com AG de PE *onshore* em fase de pré-construção com base em 4 classes: nada relevante; pouco relevante; relevante; e muito relevante.

Recorrendo a métodos de estatística descritiva, são apresentados os resultados globais da avaliação da relevância das variáveis integrantes de cada categoria, tendo em conta as 4 classes definidas. Além disso, são apresentados e discutidos os resultados da revisão bibliográfica efetuada para cada um dos fatores considerados, sendo destacadas as variáveis mais e menos relevantes.

2.2.2 Ferramentas para avaliação do risco de colisão em fase de pré-construção

Por forma a compreender como as variáveis que interagem com o risco de colisão podem ser utilizadas de forma prática, nomeadamente para realizar uma previsão da magnitude desse impacte, foi realizada uma análise comparativa entre 10 diferentes CRM. Essa análise teve por base a revisão bibliográfica dirigida à pesquisa de ferramentas de avaliação do risco de colisão de aves de rapina com AG em fase de pré-construção, sendo apresentados os seguintes parâmetros para cada CRM (Tabela B 1, Anexo B):

- Âmbito de utilização (PE *offshore* ou *onshore*; CRM dirigido ao nível do indivíduo ou ao nível da população);
- Tipo de modelo (determinístico ou estocástico);
- Dados de *input* requeridos;
- Dados de *output*;
- Pontos fracos e fortes;
- Suposições relativas à incorporação de determinadas variáveis;
- Existência de resultados de validação;
- Aplicabilidade em processos de AIA.

Com base na análise comparativa efetuada, foi realizado um exercício de seleção do CRM mais adequado aos dados do estudo de caso. O processo de seleção foi estruturado da seguinte forma: em primeiro lugar, foi avaliada a relevância das variáveis necessárias como dados de *input* para cada CRM, de acordo com a respetiva revisão bibliográfica; em segundo lugar, foi feita uma verificação dos dados obtidos mediante aplicação do SPAAR, de modo a confirmar se estão disponíveis os dados de *input* requeridos; e, por fim, foram comparadas as variáveis necessárias como parâmetros de *input* para aplicação de cada CRM com aquelas para as quais foi recolhida informação no âmbito do estudo de caso. Para apresentar os resultados da avaliação da relevância das variáveis necessárias como dados de *input* para cada CRM foram utilizados métodos de estatística descritiva. Para a verificação dos dados obtidos mediante aplicação do SPAAR, foi tida em conta a totalidade dos dados obtidos para aves de rapina no âmbito do programa, desde 2011 até 2023.

2.3 Descrição do estudo de caso

2.3.1 Área de estudo

O PE Barão de São João localiza-se numa zona florestal, que apresenta alguma abundância de matos e pequenas manchas de montado, situada no sudoeste litoral de Portugal, nomeadamente na união das freguesias de Bensafrim e de Barão de São João do concelho de Lagos, distrito de Faro, região do Algarve (37°08'N e 8°48'W). O PE é constituído por 25 AG aos quais foram adicionados 2 AG (pertencentes ao SEBSJ) em 2023, sendo que a distância entre AG varia entre os 273 e os 623 m. Cada um dos AG que constitui o PE Barão de São João tem uma capacidade de 2 MW e uma área de varrimento das pás desde os 35 aos 125 m de altura desde o nível do solo, enquanto no caso dos AG englobados pelo SEBSJ estes parâmetros correspondem a 5 MW e 42 – 200 m (o PE Barão de São João e Seq. Barão de São João totalizam respetivamente 50 e 10 MW de capacidade). Como referido no subcapítulo 1.4, o PE Barão de São João e Seq. Barão de São João estão, desde 2009 e 2023 respetivamente, associados a um protocolo de paragem seletiva de AG (SPAAR).

No que respeita a áreas classificadas, 24 dos 25 AG do PE Barão de São João e ambos os AG do Seq. Barão de São João estão inseridos na Zona Especial de Conservação (ZEC) Costa Sudoeste (PTCON0012), área que, segundo o Decreto-Lei n.º 242/2015, integra a Rede Natura 2000 e o Sistema Nacional de Áreas Classificadas (Figura 2). Além das áreas classificadas, todos os 27 AG se inserem numa área crítica para aves planadoras migradoras, o que se deve à importância destas áreas para aves de rapina e outras planadoras na fase de migração pós-nupcial (Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas & Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, 2020). Esta classificação também define áreas muito críticas para rapinas com estatuto de ameaça, estando os AG 13, 14 e 15 do PE Barão de São João incluídos em tal área, devido à sua proximidade a um ninho de águias-perdigueiras (*Aquila fasciata*).

A área de estudo caracteriza-se ainda por uma elevada densidade de movimentos migratórios de aves de rapina e outras planadoras durante o período de migração outonal (ECOSATIVA, 2024b). Pelo menos parte de tais movimentos migratórios podem ser explicados pela proximidade da área de estudo à região de Sagres. Embora exista variabilidade interespecífica no que toca ao comportamento de voo de aves de rapina e outras planadoras no decorrer da migração de longa distância, estas aves raramente atravessam extensões superiores a algumas dezenas de quilómetros de mar (Agostini *et al.*, 2015; Bildstein, 2006; Meyer *et al.*, 2000), o que propicia o seu agrupamento em grandes

números em passagens marítimas estreitas, bem como a coadunação entre a travessia marítima e condições meteorológicas favoráveis (Bildstein *et al.*, 2009; Mellone *et al.*, 2012; Miller *et al.*, 2016). O Estreito de Gibraltar é um exemplo ilustrativo desta situação, na medida em que, durante o período de migração outonal, reúne uma elevada abundância de aves de rapina e outras planadoras oriundas não só de populações estabelecidas na Península Ibérica, como também de populações do centro e do noroeste da Europa que têm como destino África (Newton, 2008). No entanto, as rotas de tais aves podem sofrer desvios por diferentes razões, por exemplo pelo arrasto causado por ventos fortes (Santos *et al.*, 2020) ou, pelo menos no caso particular do Estreito de Gibraltar, por desorientação associada à inexperiência de aves juvenis e/ou imaturas (Mellone *et al.*, 2011). Neste caso, este desvio de rota migratória pode resultar no aumento do número de aves na região de Sagres, sendo esta uma hipótese explicativa dos elevados números de aves de rapina e outras planadoras detetadas nessa época (Tomé *et al.*, 2017).

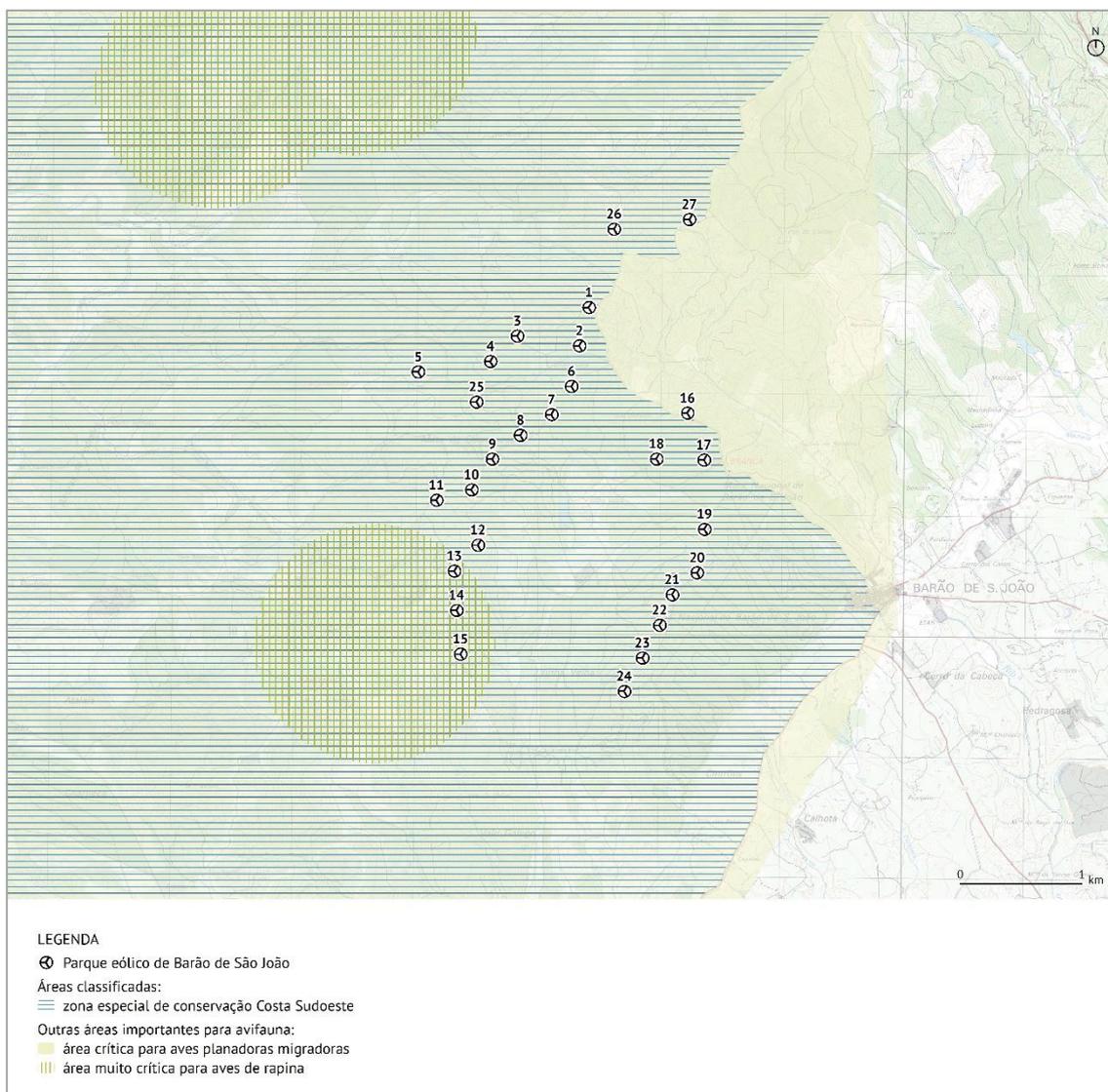


Figura 2 – Enquadramento geográfico do PE Barão de São João (AG 1 a 25) e Seq. Barão de São João (AG 26 e 27).

2.3.2 Desenho experimental

2.3.2.1 Pontos de observação

A monitorização das aves planadoras no âmbito do SPAAR foi realizada com recurso a pontos fixos de observação, método este que permite detetar tendências populacionais tanto à escala regional, como à escala continental (Agostini *et al.*, 2007; Martín *et al.*, 2016). Tendo em conta que as aves de rapina e outras planadoras apresentam baixas densidades durante a época de reprodução, o que dificulta a sua observação (particularmente considerando grandes escalas espaciais), a sua agregação em bando para realizar a migração facilita a efetivação do método referido, tornando-o um dos mais eficientes em termos de custo-benefício (Bildstein, 2006; Farmer *et al.*, 2007). Além de adequado à monitorização da migração outonal de aves planadoras, este método permite a caracterização da utilização da área ocupada pelos PE referidos por parte das espécies registadas, nomeadamente no que se refere a quantitativos por espécie, rotas de atravessamento e comportamento de voo (Bildstein *et al.*, 2009; Panuccio *et al.*, 2018). A monitorização permite, assim, compreender a importância da área onde se situam os PE enquanto corredor migratório, caracterizando simultaneamente o comportamento de voo na proximidade dos AG, de modo a avaliar o risco de colisão das aves com estas infraestruturas (ECOSATIVA, 2024a). As observações foram efetuadas com o auxílio de binóculos e de telescópios, e a comunicação entre observadores foi realizada com recurso a rádios, de modo a acompanhar a totalidade dos movimentos de forma eficaz e a evitar contagens duplicadas. Na Figura 3 encontra-se um registo fotográfico de um colaborador (João Barata) enquanto desempenha a função de observador de acordo com este método.



Figura 3 – Registo fotográfico do decorrer dos trabalhos num ponto de observação, no âmbito da aplicação do SPAAR.

Locais, período e frequência de amostragem

O número total de pontos de observação dirigidos à aplicação do programa foi de sete. Do total de pontos, dois situavam-se dentro da área central do PE (P1 e P3; Figura 4), onde podia ser tomada a decisão de paragem e arranque de AG (dependendo do local onde se encontrasse o coordenador da equipa de monitorização), e os restantes cinco (situados a uma distância da área central do PE variável entre 1,4 e 4,5 km) consistiam em pontos de segurança para aumentar o nível de deteção de aves na área envolvente ao PE (PS1 a PS5; Figura 4). O número de pontos de apoio variou consoante o período e ano de monitorização, o que se deveu à variabilidade dos períodos de maior e menor fluxo migratório consoante o ano monitorizado (STRIX, 2023). Em 2009, funcionaram os cinco pontos de apoio, porém em 2011 só estiveram os cinco ativos entre 15 de setembro e 14 de novembro, sendo que durante o restante período apenas dois estiveram operacionais. Já entre 2012 e 2015 só esteve um ponto em funcionamento durante a primeira quinzena monitorizada, mas o resto do período de monitorização deu-se nos mesmos moldes que os estabelecidos em 2011. A partir de 2016, o período de funcionamento dos cinco pontos de apoio manteve-se entre 15 de setembro e 15 de novembro, enquanto entre 1 e 14 de setembro e entre 16 e 30 de novembro funcionaram apenas dois pontos, e o período de funcionamento de apenas um ponto de apoio passou para o intervalo de 1 a 15 de dezembro (STRIX, 2023). Além dos pontos de observação, por forma a antecipar eventuais aproximações de aves ou bandos da área do PE, foi utilizado um radar marítimo, cujo modelo variou aquando da mudança de empresas que aplicava o programa, durante todo o período de monitorização, independentemente do ano monitorizado. No entanto, o sistema funcionava exclusivamente como forma de apoio aos observadores, não sendo foco dos relatórios de monitorização produzidos analisar dados captados pelo sistema SPAAR (ECOSATIVA, 2024b). Por esse motivo, a sua localização, que também foi alterada quando o programa passou a ser aplicado por uma empresa diferente, não se encontra representada na Figura 4. Como referido no subcapítulo 1.4, entre 2009 e 2015 o programa foi aplicado entre 15 de agosto e 30 de novembro (108 dias), enquanto entre 2016 e 2023 foi aplicado entre 1 de setembro e 15 de dezembro (106 dias). Independentemente do ano monitorizado, cada ponto de observação foi ocupado diariamente por um ornitólogo durante aproximadamente nove horas por dia, tendo sido este período variável não só consoante as condições meteorológicas, mas também considerando a presença de aves em áreas de pernoita próximas de algum AG.

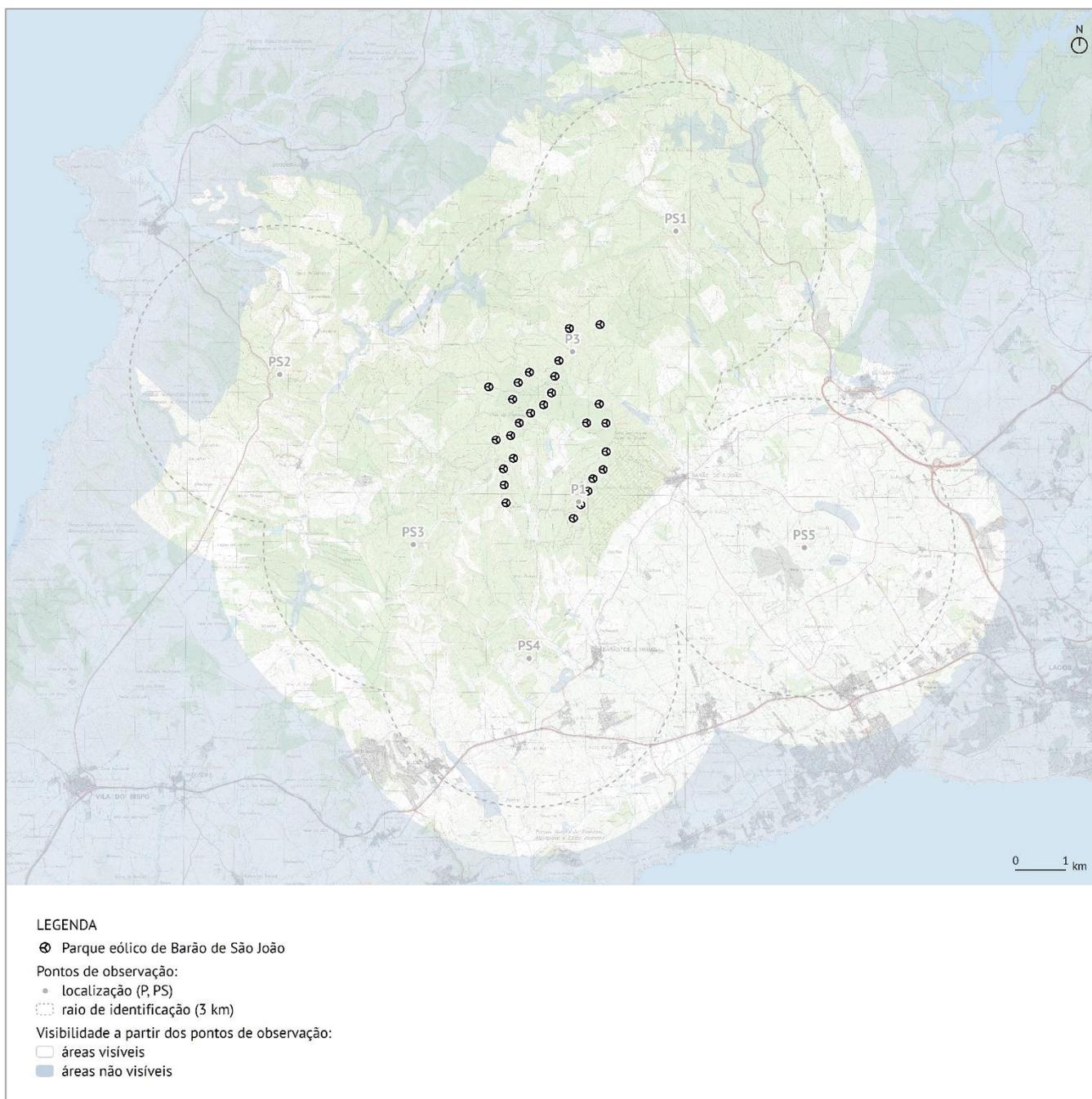


Figura 4 – Desenho experimental do SPAAR, incluindo as localizações dos pontos fixos de observação, bem como as áreas visíveis e não visíveis de acordo com a cobertura visual de cada ponto.

Dados recolhidos

Foram desenhados da forma mais precisa possível os movimentos das aves planadoras (aves de rapina e cegonhas), com recurso a fichas de campo onde se encontravam representadas as cartas militares correspondentes à área envolvente a cada ponto de observação (Figura C 1, Anexo C). Além da espécie e número de indivíduos associados a cada movimento, cada registo compreendia informação quanto à hora da observação, ao comportamento (*i.e.* variável atividade desempenhada em voo, posteriormente mencionada no subcapítulo 3.1.1.3), à altura de voo e, sempre que possível,

à classe etária e sexo das aves, bem como às suas características individuais (e.g. falta de penas, anomalias anatómicas) ou marcações (e.g. aves anilhadas, com marcas alares ou com emissores de GPS). Além disso, os movimentos migratórios foram classificados como sendo de entrada ou saída na região de Sagres, bem como se apresentavam ou não alteração de rota. Foram, ainda, registados parâmetros relativos aos eventos de paragem dos AG, nomeadamente o número de eventos, o número de horas de paragem por AG e o tempo de resposta de paragem e arranque dos AG após serem dadas as ordens (ECOSATIVA, 2024b). Até 2023, só foram registados e tratados os dados obtidos no P1 e P3 (Figura 4), ano a partir do qual passaram a ser também analisados os recolhidos nos pontos de apoio.

Relativamente às classes utilizadas para registo dos parâmetros descritos, a altura de voo foi registada entre 2009 e 2022 através das seguintes: (1) < 20 m; (2) 20 – 60 m; (3) 60 – 100 m; (4); 100 – 200 m; e (5) > 200 m. No entanto, devido à mudança da empresa que aplicava o programa, bem como à forma como era calculada a suscetibilidade à colisão por parte das diferentes empresas (ECOSATIVA, 2024b; STRIX, 2023), a partir de 2023 passaram a ser registadas segundo classes diferentes, nomeadamente: (1) < 20 m; (2) 20 – 150 m; (3) 150 – 300 m; (4) 300 – 500 m; (5) 500 – 1500 m; e (6) > 1500 m. Já o comportamento foi registado segundo as seguintes classes: voo de passagem; voo de caça; voo circular; voo territorial; repouso. Para o registo da idade foram consideradas as classes etárias juvenil, imaturo, subadulto ou adulto.

Além de registados o número de movimentos e número de aves para cada espécie, foi também estimado o número de indivíduos que atravessaram a área do PE. No entanto, essa estimativa não correspondia necessariamente ao número real de aves na região, uma vez que certas aves eram observadas em direção a Sagres e na direção contrária (entre outras direções), enquanto outras permaneciam na região por vários dias, aumentando a probabilidade de observação repetida de indivíduos. Este parâmetro foi registado diariamente em forma de intervalo, ou seja, foram registados os números mínimo e máximo de indivíduos por espécie a cada dia (ECOSATIVA, 2024b).

Por forma a compreender a influência da meteorologia sobre os dados recolhidos, os relatórios anuais de monitorização realizados no âmbito do SPAAR incluem análises baseadas em correlações entre os dados recolhidos e variáveis meteorológicas, nomeadamente a direção e velocidade de vento, bem como a temperatura (ECOSATIVA, 2024b). Os dados relativos a tais variáveis são captados de 10 em 10 minutos por um anemómetro instalado área do PE Barão de São João. Anualmente são disponibilizados

pelo promotor os dados recolhidos durante o período de monitorização.

Protocolo de paragem de AG

Quanto ao protocolo de paragem de AG, interessa referir que só o ornitólogo que desempenhava a função de coordenador de campo tinha a responsabilidade de decidir quando efetivar as ordens de paragem e de arranque de AG. Assim que era observada uma ave ou bando em classe de altura de risco de colisão a aproximar-se de AG ou conjunto de AG, o coordenador estava preparado para dar a ordem de paragem. No entanto, não era qualquer ave ou bando que podia originar um evento de paragem, mas apenas as incluídas nos critérios de paragem estabelecidos na DIA do projeto (Tabela 2), que tiveram por base as espécies avaliadas como muito ameaçadas no Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal (Cabral, 2005).

Tabela 2 – Critérios para a paragem de AG do PE Barão de São João e do Seq. Barão de São João, mediante aplicação do SPAAR.

Critérios	Descrição
A	Número de aves planadoras migradoras superior a 10, movimentando-se em direção ao PE
B	Bando de aves migradoras planadoras movimentando-se em direção ao PE
C1	Movimento de cegonha-preta <i>Ciconia nigra</i> em direção ao PE
C2	Movimento de águia-imperial-ibérica <i>Aquila adalberti</i> em direção ao PE
C3	Movimento de águia-real <i>Aquila chrysaetos</i> em direção ao PE
C4	Movimento de abutre-preto <i>Aegypius monachus</i> em direção ao PE
C5	Movimento de águia-pesqueira <i>Pandion haliaetus</i> em direção ao PE
C6	Movimento de francelho <i>Falco naumanni</i> em direção ao PE
C7	Movimento de águia-perdigueira <i>Aquila fasciata</i> não residentes em direção ao PE
D	Outro (movimento avaliado como associado a risco iminente de colisão)

Entre 2009 e 2012, as ordens de paragem e arranque de AG eram realizadas via contacto telefónico, nomeadamente entre o coordenador e o técnico do PE responsável pelo procedimento. Entre 2013 e 2022, os AG passaram a ser desligados e ligados diretamente pelo coordenador, utilizando acesso remoto ao sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) através da internet. O sistema SCADA permite acesso em tempo real e gestão remota de AG. A partir de 2023, o sistema SCADA passou a ser operado apenas pelo promotor do PE, tendo sido constituída uma aplicação diferente por parte do mesmo, por forma a manter o acesso do coordenador a uma aplicação de gestão remota de AG em tempo real. A duração da paragem dos AG não foi definida *a priori*, estando dependente diariamente da verificação dos critérios definidos. Após a paragem dos AG por verificação dos critérios de paragem, a equipa de campo avaliava no terreno a probabilidade da manutenção dos movimentos migratórios e, conseqüentemente, dos

riscos de colisão, durante o resto do dia. A reativação do funcionamento de todos ou de parte dos AG foi decidida igualmente pelo coordenador de campo, sempre que se confirmasse a ausência de cumprimento dos critérios que levaram à paragem do(s) AG, e que não estivesse prevista a sua repetição nos 30 minutos seguintes.

2.3.2.2 Prospecção de mortalidade

A prospecção de mortalidade foi realizada de forma pedestre, em redor de todos os AG pertencentes ao PE Barão de São João e Seq. Barão de São João, num raio de 70 m centrado em cada AG. Considerando a irregularidade do habitat, cada uma das áreas prospectadas foi dividida em quadrantes, que foram sequencialmente prospectados. Sempre que foi detetado um cadáver ou vestígio, a sua localização exata foi registada e procedeu-se à sua remoção da área. Caso não tenha sido possível a identificação dos cadáveres encontrados *in situ*, estes foram fotografados para posterior análise. Para minimizar a remoção dos mesmos por predadores diurnos, a prospecção iniciou-se sempre no período entre o nascer-do-sol e a hora seguinte, quando as condições de luminosidade facilitam a observação de cadáveres. Estes trabalhos ocorreram todos os anos, com uma frequência quinzenal nos meses de janeiro, fevereiro e entre agosto e dezembro, e mensal nos restantes meses (ECOSATIVA, 2024b).

2.3.3 **Espécies de aves registadas**

Uma vez que o presente trabalho se foca na compreensão do risco de colisão de aves de rapina em PE *onshore* e que esse risco depende de variáveis específicas ao nível da espécie (Marques *et al.*, 2014), interessa mencionar quais as espécies que já foram registadas no âmbito do estudo de caso. Na Tabela 3 encontram-se apresentadas as espécies observadas considerando a totalidade dos anos monitorizados no âmbito do SPAAR (ECOSATIVA, 2024b). Os termos taxonómicos utilizados no presente estudo, nomeadamente nomes comuns, científicos, ordens e famílias, seguem as regras de taxonomia utilizadas na plataforma eBird, baseadas na versão de 2024 da *Clements Checklist* (Clements *et al.*, 2024). Apesar da Tabela 3 incluir espécies que não são aves de rapinas, o estudo de caso cinge-se às aves de rapina e não a todas as aves planadoras registadas. Esta restrição deve-se, por um lado, à necessidade de manter os objetivos focados num tipo de espécies em particular e, por outro, ao facto de haver apenas 2 em 31 espécies de aves planadoras registadas que não são aves de rapina, nomeadamente as do género *Ciconia* sp. São, ainda, apresentados os estatutos de conservação das espécies, tanto a nível nacional, de acordo com a Lista Vermelha das Aves de Portugal Continental

(Almeida *et al.*, 2022), como a nível global, de acordo com a *International Union for Conservation of Nature* (2025).

É de notar que embora o programa decorra numa altura do ano concreta, a fenologia das espécies registadas na área de estudo varia não só consoante a espécie, mas, para determinadas espécies, também de forma intraespecífica. A classificação da fenologia das aves observadas pode ser efetuada com base em diferentes categorizações, podendo, por exemplo, distinguir-se aves migradoras de passagem, migradoras nidificantes, invernantes ou residentes (Cabral, 2005). No presente trabalho, esta classificação é realizada de forma discriminada para cada espécie, seguindo-se os termos propostos por Rappole (2013) para distinguir tipos de migração (Tabela 3). Este autor distinguiu os seguintes tipos de movimentos migratórios (Rappole, 2013): movimentos sazonais locais (realizados principalmente por espécies sedentárias, mas incluem, por exemplo, movimentos dispersivos pós-reprodução, ou procura de alimento em grandes distâncias); migração parcial (determinada população é composta por uma fração migratória e uma residente, sendo que alguns indivíduos realizam migrações regulares enquanto outros permanecem no local de reprodução durante o período de não reprodução); e migração de longo-curso (de forma geral, todos os indivíduos da população migram para uma área específica de não reprodução, geralmente a mais de 2 000 km de distância, e frequentemente atravessam grandes barreiras ou deslocam-se para um continente diferente). Utilizando estes 3 termos, foram adaptadas as classificações das espécies atribuídas por Balmori-de la Puente & Balmori (2023). Não só nos casos de espécies não classificadas pelos autores, como também nos casos de espécies que apresentam variabilidade intraespecífica quanto à sua fenologia considerando a área e o período de estudo, recorreu-se a De Juana & Garcia (2015).

Tabela 3 – Lista total de espécies registadas no âmbito do SPAAR e respetivos estatutos de conservação a nível global (ECG) e a nível nacional (ECN). Legenda de estatutos de conservação: “LC” – Pouco Preocupante”; “NT” – Quase ameaçada; “EN” – Em perigo; “CR” – criticamente em perigo; “RE” – regionalmente extinta.

Nome comum	Nome científico	ECN	ECG	Tipo de migração
Accipitriformes				
Accipitridae				
Abutre-preto	<i>Aegypius monachus</i>	EN	NT	Movimentos sazonais locais
Açor	<i>Astur gentilis</i>	VU	LC	Movimentos sazonais locais
Águia-caçadeira	<i>Circus pygargus</i>	EN	LC	Migração de longo-curso
Águia-calçada	<i>Hieraaetus pennatus</i>	LC	LC	Migração de longo-curso
Águia-cobreira	<i>Circaetus gallicus</i>	NT	LC	Migração de longo-curso
Águia-d'asa-redonda	<i>Buteo buteo</i>	LC	LC	Migração parcial
Águia-da-pomerânia	<i>Clanga pomarina</i>	-	LC	Migração de longo-curso

Nome comum	Nome científico	ECN	ECG	Tipo de migração
Águia-imperial-ibérica	<i>Aquila adalberti</i>	CR	VU	Movimentos sazonais locais
Águia-perdigueira	<i>Aquila fasciata</i>	VU	LC	Movimentos sazonais locais
Águia-real	<i>Aquila chrysaetos</i>	EN	LC	Movimentos sazonais locais
Águia-sapeira	<i>Circus aeruginosus</i>	NT/NT	LC	Migração parcial
Britango	<i>Neophron percnopterus</i>	EN	EN	Migração de longo-curso
Bútio-vespeiro-ocidental	<i>Pernis apivorus</i>	NT	LC	Migração de longo-curso
Gavião	<i>Accipiter nisus</i>	LC	LC	Migração parcial
Grifo-comum	<i>Gyps fulvus</i>	LC	LC	Migração parcial
Grifo-pedrês	<i>Gyps rueppelli</i>	-	CR	Migração parcial
Milhafre-preto	<i>Milvus migrans</i>	LC	LC	Migração de longo-curso
Milhafre-real	<i>Milvus milvus</i>	CR/LC	LC	Migração parcial
Tartaranhão-cinzento	<i>Circus cyaneus</i>	CR/EN	LC	Migração parcial
Elanidae				
Peneireiro-cinzento	<i>Elanus caeruleus</i>	LC	LC	Movimentos sazonais locais
Pandionidae				
Águia-pesqueira	<i>Pandion haliaetus</i>	CR/VU	LC	Migração de longo-curso
Ciconiformes				
Ciconiidae				
Cegonha-branca	<i>Ciconia ciconia</i>	LC	LC	Migrador de longo-curso
Cegonha-preta	<i>Ciconia nigra</i>	EN	LC	Migrador de longo-curso
Falconiformes				
Falconidae				
Alfaneque	<i>Falco biarmicus</i>	-	LC	Migrador parcial
Esmerilhão	<i>Falco columbarius</i>	EN	LC	Migrador de longo-curso
Falcão-vespertino	<i>Falco vespertinus</i>	-	VU	Migrador de longo-curso
Falcão-da-rainha	<i>Falco eleonorae</i>	RE	LC	Migrador de longo-curso
Falcão-peregrino	<i>Falco peregrinus</i>	VU	LC	Migrador parcial
Francelho	<i>Falco naumanni</i>	EN	LC	Migrador de longo-curso
Ógea	<i>Falco subbuteo</i>	VU	LC	Migrador de longo-curso
Peneireiro-de-dorso-malhado	<i>Falco tinnunculus</i>	VU	LC	Migrador parcial

3 Resultados e discussão

3.1 Revisão bibliográfica das variáveis que influenciam o risco de colisão

Os próximos subcapítulos devem ser interpretados como uma desconstrução do conceito «risco de colisão» no maior número de variáveis possível. Tal desconstrução encontra-se representada de forma na Tabela 4, na medida em que são sumarizados, de forma individual para cada uma das variáveis, alguns dos parâmetros especificados no subcapítulo 2.1.1. Para facilitar a leitura dos resultados, foram excluídos parâmetros da Tabela 4, apresentando-se no Anexo A (Tabela A 2) a totalidade dos mesmos.

Tabela 4 – Análise de variáveis, distribuídas pelos respectivos fatores e categorias, que podem integrar ferramentas de avaliação do risco de colisão de aves de rapina com AG (PE *onshore*), em fase de pré-construção. A avaliação da sua relevância foi realizada de acordo com quatro classes (nada relevante a muito relevante). A associação de cada variável à(s) fase(s) do cálculo preditivo da probabilidade de colisão foi feita considerando as seguintes fases: 1 – probabilidade temporal de uma ave atravessar (dimensões horizontal e vertical) a área em que se considera existir risco de colisão; 2 – probabilidade de uma ave exposta ao risco de colisão efetivamente colidir (2.1 – probabilidade da ave se aperceber do obstáculo; 2.2 – probabilidade de uma ave exposta ao risco de colisão e que se apercebeu do obstáculo colidir). A relação entre cada variável e a probabilidade de colisão foi realizada com base nas descrições das referências consultadas, ou, quando não encontrada tal descrição, através de raciocínio lógico assente na revisão bibliográfica, associada tanto a conhecimento teórico como empírico. São individualmente apresentadas as referências utilizadas para a análise de cada variável. Os resultados relativos aos restantes parâmetros enunciados no subcapítulo 2.2 encontram-se apresentados no Anexo A (Tabela A 2).

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Fatores específicos ao nível da espécie				
Morfologia				
Área da asa	Nada relevante	Fase 1 Fase 2.2	Tendo em conta que quanto maior a área da asa, menor o <i>wing loading</i> e, portanto, maior a manobrabilidade voo, o aumento da área da asa pode levar a uma diminuição do risco de colisão.	Janss (2000), Rayner (1988)
Comprimento da cauda	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.2	Tendo em conta que quanto maior o comprimento da cauda, maior a manobrabilidade de voo, presumivelmente o aumento do comprimento da cauda leva a uma diminuição do risco de colisão.	Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014)
Comprimento total da ave	Nada relevante	Fase 1 Fase 2.2	As espécies de aves de rapina com maior probabilidade de colisão são normalmente de maior comprimento.	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014)
Envergadura	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.2	Tendo em conta que quanto maior a envergadura menor a manobrabilidade de voo, o aumento da envergadura pode levar a um aumento do risco de colisão.	Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014), Rayner (1988)
Massa corporal	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.2	Tendo em conta que quanto maior a massa corporal menor a manobrabilidade voo, o aumento da massa/peso pode levar a um aumento do risco de colisão.	Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014), Péron <i>et al.</i> (2017)
Proporção da asa (<i>Aspect ratio</i>)	Relevante	Fase 1 Fase 2.2	Quanto menor o <i>aspect ratio</i> , menor a envergadura e/ou maior a área da asa. Portanto, valores baixos desta variável poderão estar associados a valores baixos de manobrabilidade de voo, o que resulta num presumível aumento do risco de colisão.	De Lucas <i>et al.</i> (2008), Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015), Noguera <i>et al.</i> (2010), Péron <i>et al.</i> (2017), Rayner (1988)

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Proximidade filogenética entre espécies	Nada relevante	-	Pode ser útil para segregar espécies por grupos, possibilitando uma análise comparativa do risco de colisão com base em características morfológicas e comportamentais.	Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Linder <i>et al.</i> (2022a)
Relação peso/área da asa (<i>Wing loading</i>)	Relevante	Fase 1 Fase 2.2	Maior <i>wing loading</i> implica um maior peso do corpo, asas pequenas ou uma combinação de ambas as características, logo maior a probabilidade de colisão.	De Lucas <i>et al.</i> (2008), Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015), Noguera <i>et al.</i> (2010), Péron <i>et al.</i> (2017), Rayner (1988),
Sexo dos indivíduos	Relevante	Fase 2.1	Tipicamente os machos apresentam maior atividade na época de reprodução e podem iniciar atividades em voo mais arriscados.	Heuck <i>et al.</i> (2020), Morinha <i>et al.</i> (2014), Stienen <i>et al.</i> (2008)
Percepção sensorial				
Acuidade visual	Relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Quanto menor o ângulo de visão frontal das aves, maior o risco de colisão. Quanto mais frontal estiver a zona de maior resolução, menor o risco de colisão. Quanto menos as aves olharem para baixo, menor a probabilidade de colisão.	Fernandez-Juricic <i>et al.</i> (2020), Marques <i>et al.</i> (2014), Martin (2011), Martin <i>et al.</i> (2012), Martin & Shaw (2010), May <i>et al.</i> (2015)
Capacidade auditiva	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Presumivelmente, quanto maior o ruído provocado pelos AG, maior a facilidade de detecção dos obstáculos, portanto maior o comportamento de evitação e menor o risco de colisão.	Fernandez-Juricic <i>et al.</i> (2020), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015)
Capacidade olfativa	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1	-	May <i>et al.</i> (2015)
Receção magnética	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1	-	May <i>et al.</i> (2015)
Sensibilidade a perturbações externas	Nada relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	-	Madders & Whitfield (2006)

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Comportamento				
Altura de voo	Muito relevante	Fase 1	Quanto mais próximas as aves estejam das pás do AG maior a probabilidade de colisão de uma ave, particularmente se entram na zona de perigo vindas de baixo das pás.	Barrios & Rodríguez (2004), Linder <i>et al.</i> (2022a, 2022b), Marques <i>et al.</i> (2014), Masden <i>et al.</i> (2021), Masden & Cook (2016), Noguera <i>et al.</i> (2010), Rodrigues <i>et al.</i> (2018)
Atividade desempenhada em voo	Muito relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Quanto menos atenção exigir a atividade desempenhada em voo, menor o risco de colisão.	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Barrios & Rodríguez (2004), Krijgsveld <i>et al.</i> (2009), Linder <i>et al.</i> (2022b), Marques <i>et al.</i> (2014)
Comportamento social	Relevante	Fase 1 Fase 2.1	Presumivelmente, quanto maior a tendência de agregação das aves, maior o seu grau de exposição ao risco de colisão, logo maior a probabilidade de uma ave colidir.	Carrete <i>et al.</i> (2012), Croft <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014)
Comprimento do movimento	Relevante	Fase 1	Presumivelmente, quando maior o número de AG por movimento, maior o risco de colisão. Ou quanto mais (especialmente) longo um movimento dentro de uma área de perigo, maior o risco de colisão.	Rodrigues <i>et al.</i> (2018)
Duração do movimento	Pouco relevante	Fase 1	Quanto mais (temporalmente) longo um movimento dentro de uma área de perigo, maior o risco de colisão.	Masden & Cook (2016)
Evitação	Muito relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Quanto maior a capacidade de evitação de uma ave de um AG ou de um PE, menor o risco de colisão.	Cook <i>et al.</i> (2014), Dahl <i>et al.</i> (2013), Garvin <i>et al.</i> (2011), Marques <i>et al.</i> (2020, 2021), Masden & Cook (2016), May <i>et al.</i> (2015)
Orientação de voo	Relevante	Fase 2.1 Fase 2.2	Caso a ave se situe dentro de uma área de perigo e a sua orientação de voo seja em direção a um AG, maior será o risco de colisão.	Masden & Cook (2016)
Sinuosidade do movimento	Relevante	Fase 1 Fase 2.2	Considerando uma área de perigo, quanto maior a tortuosidade de um movimento dentro da mesma, maior o risco de colisão.	Katzner <i>et al.</i> (2012), Linder <i>et al.</i> (2022a, 2022b), Masden & Cook (2016)

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Tipo de voo	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Considerando uma área de perigo, quanto maior a tortuosidade de um movimento dentro da mesma, maior o risco de colisão. O mesmo efeito se verifica com o aumento do comprimento/duração do movimento. Quanto menos atenção exigir a atividade desempenhada em voo, menor o risco de colisão.	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Linder <i>et al.</i> (2022a, 2022b), Noguera <i>et al.</i> (2010), Péron <i>et al.</i> (2017)
Velocidade de voo	Relevante	Fase 1 Fase 2.2	Quanto maior a velocidade de atravessamento de uma área de perigo, menor o risco de colisão.	Alerstam <i>et al.</i> (2007), Madders & Whitfield (2006), Masden <i>et al.</i> (2021), Masden & Cook (2016), Péron <i>et al.</i> (2017)
Idade				
Idade dos indivíduos	Relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Presume-se que quanto maior a idade da ave, maior a possibilidade de habituação às infraestruturas e maior a experiência de voo da ave, logo menor o risco de colisão.	Dahl <i>et al.</i> (2013), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Everaert & Stienen (2007), Fielding <i>et al.</i> (2022), Hunt (2002), Morinha <i>et al.</i> (2014), Watson <i>et al.</i> (2018)
Longevidade dos indivíduos	Nada relevante	-	-	Carrete <i>et al.</i> (2009)
Taxa de sobrevivência	Nada relevante	-	-	Carrete <i>et al.</i> (2009)
Fenologia				
Tipo de movimento sazonal	Relevante	Fase 1 Fase 2.1	Presumivelmente, aves locais estão sob um maior grau de exposição ao risco de colisão, portanto uma ave migradora estará associada a um menor risco de colisão.	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Barrios & Rodríguez (2004), Carrete <i>et al.</i> (2012), Dahl <i>et al.</i> (2013), De Lucas <i>et al.</i> (2008), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Katzner <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Péron <i>et al.</i> (2017)
População				
Abundância relativa	Muito relevante	Fase 1	Presumivelmente, quanto maior a abundância, maior o número de indivíduos expostos ao risco de colisão, aumentando a probabilidade de aves colidirem.	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Barrios & Rodríguez (2004), Carrete <i>et al.</i> (2012), De Lucas <i>et al.</i> (2008, 2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López (2024), Ferrer <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Noguera <i>et al.</i> (2010)

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Densidade relativa	Relevante	Fase 1	Presumivelmente, quanto maior a densidade, maior o número de indivíduos expostos ao risco de colisão, aumentando a probabilidade de aves colidirem.	Khosravifard <i>et al.</i> (2020), Kitano & Shiraki (2013), Marques <i>et al.</i> (2014), Smallwood & Karas (2009)
Intensidade de uso do espaço (Densidade de <i>kernel</i>)	Muito relevante	Fase 1	Presumivelmente, quanto maior a densidade <i>kernel</i> , maior o número de indivíduos expostos ao risco de colisão, aumentando a probabilidade de aves colidirem.	Fleming <i>et al.</i> (2015), Katajisto & Moilanen (2006), Khosravifard <i>et al.</i> (2020), Kitano & Shiraki (2013), Marques <i>et al.</i> (2014), Smallwood & Karas (2009)
Reprodução				
Distância a colónias	Relevante	Fase 1	Quanto menor a distância de um PE de determinada espécie à colónia populacional da qual faz parte ou ao seu local de nidificação, presumivelmente maior a sua abundância, logo maior a sua exposição ao risco de colisão.	Bright <i>et al.</i> (2008), Carrete <i>et al.</i> (2009, 2012), Ferrer <i>et al.</i> (2012), Tellería (2009a)
Sucesso de reprodução	Pouco relevante	Fase 1	Quanto maior o número de crias nascidas em áreas próximas às do PE, maior o número de aves em movimentos dispersivos próximos dos AG, logo maior a probabilidade de colisão. Mesmo que ocorra elevado sucesso reprodutor numa área longe do PE, caso a espécie migre, haverá um maior número de indivíduos a atravessar o PE em certa época fenológica.	Carrete <i>et al.</i> (2009), Tapia & Zuberogoitia (2018)
Taxa de maturidade sexual	Nada relevante	-	-	Carrete <i>et al.</i> (2009), Estellés-Domingo & López-López (2024), Marques <i>et al.</i> (2014), Tapia & Zuberogoitia (2018)
Fatores específicos ao nível da área de estudo				
Qualidade do habitat				
Adequabilidade do habitat para caça	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1	Quanto mais adequada uma área próxima a AG seja para o comportamento de caça, maior a probabilidade de aves utilizarem o espaço enquanto desempenham uma atividade que as pode expor a um maior risco de colisão.	Barrios & Rodríguez (2004), Carrete <i>et al.</i> (2009), Jones (2016), Marques <i>et al.</i> (2014) Morant <i>et al.</i> (2024), Pescador <i>et al.</i> (2019), Thaker <i>et al.</i> (2018)

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Disponibilidade de alimento	Relevante	Fase 1 Fase 2.1	Quanto maior a disponibilidade de alimento numa área próxima a AG, maior a probabilidade de aves utilizarem o espaço enquanto desempenham uma atividade que as pode expor a um maior risco de colisão.	Barrios & Rodríguez (2004), Carrete <i>et al.</i> (2009), Dierschke <i>et al.</i> (2016), Hoover & Morrison (2005), Jones (2016), Krijgsveld <i>et al.</i> (2009), Marques <i>et al.</i> (2014, 2021), Morant <i>et al.</i> (2024), Pescador <i>et al.</i> (2019), Winkelman (1985)
Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos	Pouco relevante	Fase 1	Quanto maior a disponibilidade de locais para a instalação de ninhos numa área próxima a um PE, maior o sucesso reprodutor das aves que os utilizem, o que poderá aumentar o número de indivíduos a circular nessa área, o que aumenta a probabilidade de algum colidir.	Carrete <i>et al.</i> (2009)
Perturbação externa ao PE	Nada relevante	Fase 1	-	-
Presença de outras infraestruturas	Nada relevante	Fase 1	-	-
Meteorologia				
Direção do vento	Relevante	Fase 1 Fase 2.2	A direção do vento deve ser interpretada em conjunto com a velocidade do vento, a orografia do terreno, a orientação do rotor e orientação de voo das aves para compreender como esta variável interage com o risco de colisão. De notar, ainda, que a direção do vento afeta a orientação das pás do AG, o que pode influenciar o risco de colisão.	De Lucas <i>et al.</i> (2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López (2024), Drewitt & Langston (2008), Johnston <i>et al.</i> (2014), Marques <i>et al.</i> (2014), Masden <i>et al.</i> (2021), Scacco <i>et al.</i> (2019), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2006)
Humidade relativa	Nada relevante	Fase 1	-	Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2017)
Nebulosidade	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.2	Presumivelmente, quanto maior a intensidade da nebulosidade e menor a sua altura (nevoeiro), menor a visibilidade, logo maior o risco de colisão. De notar que esta variável interage com a altura de voo, uma vez que as aves podem voar a alturas que lhe sejam mais favoráveis.	Barrios & Rodríguez (2004), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Johnston <i>et al.</i> (2014), Linder <i>et al.</i> (2022b), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2006)

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Potencial de ascensão em térmicas	Relevante	Fase 1 Fase 2.2	Quanto maior a disponibilidade de térmicas e o seu potencial de ascensão, maior a probabilidade das aves atravessarem o PE a elevadas alturas, diminuindo o seu risco de colisão. No entanto, em meses em que estes fenómenos sejam menos frequentes, mais as espécies vão depender das condições orográficas, o que pode aumentar o seu risco de colisão. Além disso, caso sejam frequentemente geradas térmicas em redor de AG, o efeito de atratividade poderá aumentar o risco de colisão.	Péron <i>et al.</i> (2017), Rodrigues <i>et al.</i> (2018), Scacco <i>et al.</i> (2019)
Sazonalidade	Relevante	Fase 1	Presumivelmente, quando a estação do ano for mais propícia a um aumento da abundância e de movimentos, maior o risco de colisão. A sazonalidade afeta, ainda, padrões meteorológicos que podem influenciar o comportamento de voo das aves e, portanto, o risco de colisão.	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Barrios & Rodríguez (2004), De Lucas <i>et al.</i> (2008), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Katzner <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Noguera <i>et al.</i> (2010), Péron <i>et al.</i> (2017), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2017)
Temperatura	Pouco relevante	Fase 1	O gradiente de temperatura em função da altura influencia o potencial de ascensão em térmicas que, por sua vez, afeta o risco de colisão.	Linder <i>et al.</i> (2022b), Scacco <i>et al.</i> (2019), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2017)
Velocidade do vento	Relevante	Fase 1 Fase 2.2	As aves seguem as rotas que mais lhes poupem energia, logo terão tendência em viajar ao longo dos locais mais propícios à ocorrência de maiores velocidades de vento na direção que mais lhes for favorável. Esta variável deve ser interpretada em conjunto com a direção do vento, orografia do terreno e orientação de voo das aves. De notar que a velocidade do vento afeta a velocidade de rotação das pás do AG, o que pode influenciar o risco de colisão.	De Lucas <i>et al.</i> (2012a, 2012b), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Johnston <i>et al.</i> (2014), Linder <i>et al.</i> (2022b), Marques <i>et al.</i> (2014), Péron <i>et al.</i> (2017), Scacco <i>et al.</i> (2019), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2006)

Orografia

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Altura do solo	Relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	A orografia influencia o potencial de ascensão em térmicas, bem como afeta o comportamento do vento nessa mesma área. As aves, particularmente as planadoras obrigatórias, terão tendência em seguir rotas que lhes poupem energia, utilizando térmicas ou correntes de vento ascendentes para ganhar altura. Caso a orografia do terreno apresente tais características em locais próximos de AG, o risco de colisão será maior. Assim, a altura do solo não deve ser tida em conta isoladamente de outras variáveis orográficas, como o declive do terreno e a orientação das encostas.	Barrios & Rodríguez (2004), De Lucas <i>et al.</i> (2008, 2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López (2024), Katzner <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Morant <i>et al.</i> (2024), Péron <i>et al.</i> (2017), Scacco <i>et al.</i> (2023)
Declive do terreno	Relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Seguindo o raciocínio anterior, caso o declive do terreno propicie uma maior concentração de aves em locais próximos a AG, maior o risco de colisão.	Barrios & Rodríguez (2004), De Lucas <i>et al.</i> (2008, 2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López (2024), Katzner <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Morant <i>et al.</i> (2024), Péron <i>et al.</i> (2017), Scacco <i>et al.</i> (2023)
Orientação da encosta	Relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Seguindo o raciocínio anterior, caso a orientação da encosta propicie uma maior concentração de aves em locais próximos a AG, maior o risco de colisão.	Barrios & Rodríguez (2004), De Lucas <i>et al.</i> (2008, 2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López (2024), Katzner <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Morant <i>et al.</i> (2024), Péron <i>et al.</i> (2017), Scacco <i>et al.</i> (2023)

Fatores específicos ao nível da tipologia do PE

Características do PE

Altura do AG	Relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Quanto maior a altura do AG, maior a área de varrimento das pás e, portanto, maior o risco de colisão.	De Lucas <i>et al.</i> (2008), Marques <i>et al.</i> (2014)
Área de varrimento das pás	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Quanto maior a área de varrimento das pás, maior o risco de colisão.	De Lucas <i>et al.</i> (2008), Marques <i>et al.</i> (2014)
Atividade do rotor	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Quando o rotor está ativo, o risco de colisão é superior.	Masden & Cook (2016)

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Configuração espacial dos AG	Muito relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Seguindo o raciocínio para o fator orografia, caso o a configuração espacial dos AG corresponda aos locais da área do PE propícios a uma maior concentração de aves, maior o risco de colisão.	Barrios & Rodríguez (2004), Cárcamo <i>et al.</i> (2011), De Lucas <i>et al.</i> (2012a, 2012b), Marques <i>et al.</i> (2014)
Diâmetro do rotor	Nada relevante	Fase 2.1 Fase 2.2	Influencia a velocidade de rotação do rotor. Quanto maior a velocidade de rotação do rotor, maior a probabilidade de colisão.	Barrios & Rodríguez (2004), Marques <i>et al.</i> (2014)
Espessura das pás	Pouco relevante	Fase 2.1 Fase 2.2	Quanto maior a espessura das pás, maior a probabilidade de colisão.	Masden & Cook (2016)
Forma da torre	Nada relevante	Fase 2.1 Fase 2.2	Não parece haver uma relação significativa entre a forma da torre e a mortalidade por colisão. Talvez fosse uma variável mais relevante quando a forma da torre variava mais consoante o fabricante de AG, mas atualmente são todos muito idênticos.	Barrios & Rodríguez (2004)
Forma do rotor	Nada relevante	Fase 2.1 Fase 2.2	Não parece haver uma relação significativa entre a forma do rotor e a mortalidade por colisão. Talvez fosse uma variável mais relevante quando a forma do rotor variava mais consoante o fabricante de AG, mas atualmente são todos muito idênticos.	Barrios & Rodríguez (2004)
Luminosidade do PE	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1	A luminosidade emitida pelos AG podem influenciar o comportamento de atração ou afastamento das aves ao AG, influenciado o seu grau de exposição ao risco de colisão, particularmente para aves que migrem em condições desfavoráveis de visibilidade.	Fernandez-Juricic <i>et al.</i> (2020), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015)
Ruído provocado pelos AG	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1	O ruído emitido pelos AG podem influenciar o comportamento de atração ou afastamento das aves ao AG, influenciado o seu grau de exposição ao risco de colisão.	Fernandez-Juricic <i>et al.</i> (2020), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015)
Visibilidade das pás	Pouco relevante	Fase 2.1	A visibilidade das pás de um AG podem influenciar o comportamento de atração ou afastamento das aves do mesmo, influenciado o seu grau de exposição ao risco de colisão.	Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015)
Tamanho das pás	Pouco relevante	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Quanto maior o tamanho das pás, maior a área de varrimento das mesmas e, conseqüentemente, maior o risco de colisão.	Marques <i>et al.</i> (2014)

Variável	Relevância	Fase do cálculo preditivo	Probabilidade de colisão	Referências
Velocidade de rotação do rotor	Relevante	Fase 2.1 Fase 2.2	Quanto maior a velocidade de rotação do rotor, maior o risco de colisão.	Marques <i>et al.</i> (2014), Masden & Cook (2016), Thelander <i>et al.</i> (2003)

De acordo com os resultados relativos à avaliação da relevância das variáveis, de um ponto de vista global, verifica-se que a maioria das variáveis analisadas no presente capítulo se associam às classes de relevância intermédias (Figura 5), tendo sido as proporções de variáveis avaliadas como pouco relevantes e como relevantes respetivamente de 32% e 37% (20 e 23 em 62 variáveis). Já as variáveis avaliadas como muito relevantes representam 10% do total, sendo que 5 das 6 variáveis assim avaliadas são específicas ao nível da espécie. Verifica-se ainda que, apesar da categoria de variáveis específicas ao nível da área de estudo ser a única que não inclui variáveis com esse nível de relevância, foi a que aglomerou maior proporção de variáveis classificadas como relevantes (Figura 5). Os resultados demonstram, também, que a proporção de variáveis avaliadas como nada relevantes se distribuiu de forma relativamente uniforme entre as diferentes categorias, enquanto a maioria das variáveis classificadas como pouco relevantes são específicas ao nível da tipologia do PE (Figura 5).

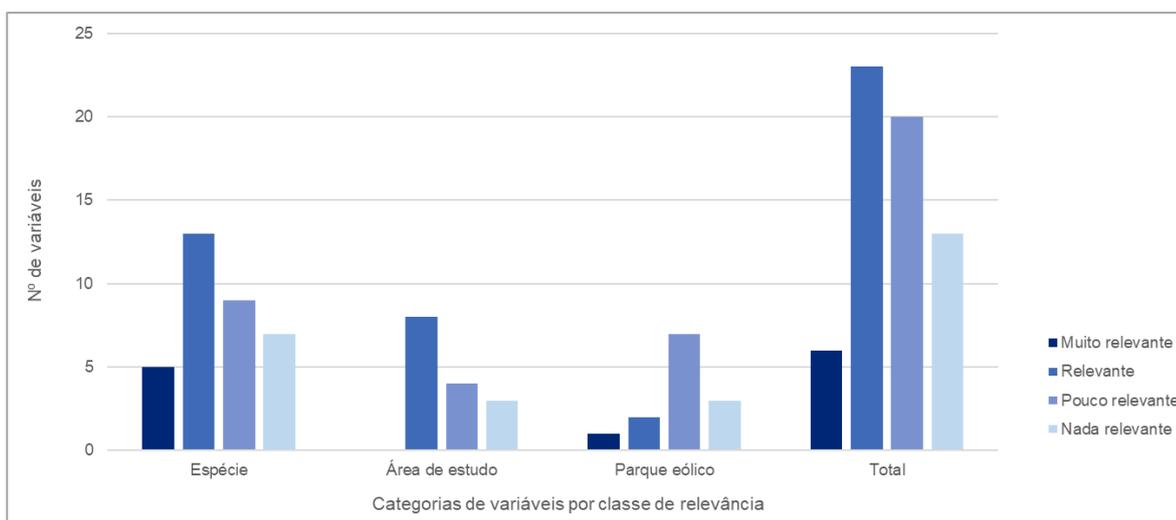


Figura 5 – Número de variáveis analisadas por classe de relevância atribuída.

Além da relevância de cada variável, é importante ter em conta que existem aspetos importantes para utilização das variáveis avaliadas com o objetivo de prever o risco de colisão, por exemplo a complexidade das relações entre elas (*vide* subcapítulo 1.2), a escala geográfica e temporal em que se planeia utilizá-las, a sua abordagem num CRM, entre outros.

Determinadas variáveis podem ser consideradas a diferentes escalas, sendo disso exemplo a distinção de comportamento de evitação à macroescala (evitação do PE), à mesoescala (evitação de um AG ou agrupamento de AG) e, à microescala (evitação recorrendo a manobras de voo reativas e instantâneas, seja de um AG, seja das estruturas que o compõem) proposta por vários autores (Marques *et al.*, 2021; May *et al.*, 2015). Ou seja, pode ser calculado o perigo da implementação de parques eólicos para regiões

geográficas de diferentes escalas, tal como pode ser calculado o perigo associado a localizações específicas de determinados AG dentro da área de um PE específico. Por um lado, em relação ao cálculo da vulnerabilidade de aves à colisão a amplas escalas geográficas, Gauld *et al.* (2022) recorreram a dados provenientes de emissores acoplados a aves de 27 diferentes espécies para identificar as áreas da Europa e do norte de África onde a existência de PE e linhas elétricas representa maior risco de colisão. Os autores apresentam no seu estudo mapas de vulnerabilidade não só à escala de toda a região mencionada, mas também à escala dos *hotspots* que identificaram (e.g. estreito de Gibraltar; *vide* secção 9 da informação suplementar S1 em Gauld *et al.*, 2022). Por outro lado, no que concerne ao cálculo da vulnerabilidade de aves à colisão à escala de determinado parque eólico, Noguera *et al.* (2010) adaptaram os índices de vulnerabilidade propostos por Garthe & Hüppop (2004), dirigidos a parques eólicos *offshore* para identificar as aves de rapina mais suscetíveis à colisão com AG, bem como para detetar áreas de elevada vulnerabilidade para a construção de parques eólicos *onshore*. Através do índice de sensibilidade espacial construído, os autores demonstraram quais as áreas de um PE constituído por 59 AG que representam risco baixo, moderado e elevado (Noguera *et al.*, 2010). Assim, é fundamental que a escala geográfica para a qual se pretende validar determinada hipótese científica seja coerente com as variáveis utilizadas no(s) modelo(s) a que se recorre para realizar tal demonstração. Por exemplo, utilizar a abundância relativa de uma determinada espécie num país como uma das variáveis para explicar o risco de colisão dessa espécie com o conjunto de AG de um determinado PE situado no mesmo país levaria à falta de ajustamento da variável ao modelo que integraria, o que por sua vez resultaria num erro conceptual ecológico, uma vez que essa abundância pode não estar igualmente distribuída por todo o país. De facto, este parâmetro relativo à abundância populacional varia de forma espacial e temporal, estando dependente das dinâmicas de movimentação ao nível de cada espécie, o que é particularmente complexo para espécies de elevada mobilidade, como são as aves migratórias (Johnston *et al.*, 2020). Além da escala geográfica, é importante ter ainda em conta que também pode ser analisado o risco de colisão considerando diferentes escalas temporais. Pode ser interessante perceber, por exemplo, os momentos do dia em que o risco de colisão é mais ou menos elevado, uma vez que a disponibilidade de térmicas varia com as condições meteorológicas, como o gradiente de temperatura em função da altura (oscilante consoante a hora do dia; Mellone *et al.*, 2012; Shamoun-Baranes *et al.*, 2003) o que por sua vez influencia a altura de voo das aves e, portanto, o risco de colisão (Péron *et al.*, 2017). Sob outra perspetiva, podem ser comparados dados entre diferentes estações do ano ou entre épocas fenológicas, uma

vez que a sazonalidade pode influenciar não só as condições meteorológicas de determinada área de estudo (Péron *et al.*, 2017), como também a presença de determinadas espécies e ausência de tantas outras, devido à sua fenologia (Balmori De-la Puente & Balmori, 2023). Outra abordagem para estudo do risco de colisão pode ser uma que aglomere os dados obtidos em cada ano, recorrendo à sazonalidade não como a escala temporal de análise dos dados, mas como uma variável, tal como posteriormente expresso nos subcapítulos 3.1.1.5 e 3.1.2.2.

Outro tipo de escala que deve ser considerada para a seleção de variáveis a utilizar com o objetivo de prever ou explicar o risco de colisão está relacionada com o objeto de estudo. Uma investigação pode focar-se, por exemplo, na compreensão do risco de colisão de uma determinada espécie numa área de estudo concreta (*e.g.* grifo-comum *Gyps fulvus*; De Lucas *et al.*, 2012a), ignorando por isso variáveis que a distinguiriam de outras espécies que também podem influenciar o risco de colisão, por exemplo a manobrabilidade de voo, que varia notavelmente consoante a espécie (Herrera-Alsina *et al.*, 2013). Já uma investigação que se foque em distinguir como o risco de colisão está relacionado com cada espécie para um grupo de espécies abrangente que inclua vários *taxa*, deverá considerar variáveis específicas ao nível da espécie além da sua morfologia, como o seu tipo de voo, a sua abundância ou a sua fenologia (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023). Também existem investigações dirigidas a grupos de espécies menos abrangentes, que procuram, por exemplo, identificar a variação do risco de colisão por espécie exclusivamente para aves de rapina (Garvin *et al.*, 2011; Linder *et al.*, 2022b; Péron *et al.*, 2017), o que leva a um processo de seleção de variáveis específicas ao nível da espécie mais particular. De facto, uma variável, mesmo que presumivelmente muito importante, pode não ser suficiente para explicar o risco de colisão, tal como demonstra De Lucas *et al.* (2008) em relação à abundância das aves (fator analisado em detalhe no subcapítulo 3.1.1.6).

É importante referir, ainda, que após definição das variáveis a utilizar para calcular o risco de colisão previsto para determinada área, é necessário identificar o espectro de valores ou classes que a variável pode assumir. Enquanto os valores que determinadas variáveis podem manifestar têm uma interpretação direta, como as quantitativas (*e.g.* envergadura média de uma espécie, comprimento do movimento de uma ave), outras variáveis podem não estar associadas a valores numéricos concretos, levando à necessidade de criar uma categorização para identificar que classes essa variável pode assumir, como as qualitativas (*e.g.* atividade desempenhada em voo, tipo de movimento sazonal). Existem, ainda, variáveis que podem ser interpretadas como quantitativas e como

qualitativas, consoante, por exemplo, o método adotado para fazer a recolha de dados. Por um lado, através de métodos mais sofisticados, como os que permitem a recolha de dados de telemetria através de emissores GPS acoplados a aves (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023; Péron *et al.*, 2017), ou através de outro tipo de sensores (Linder *et al.*, 2022a; 2022b), podem ser obtidos dados quantitativos da altura a que as aves viajam. Por outro lado, para métodos mais clássicos, como os baseados em pontos fixos de observação ocupados por técnicos experientes na deteção e identificação de aves através de material óptico apropriado, pode ser mais adequado utilizar classes que compreendam diferentes intervalos de alturas para minimizar o erro do observador (Barrios & Rodríguez, 2004; Ferrer *et al.*, 2012). Contudo, é de ter em conta que mesmo variáveis para as quais é possível obter dados quantitativos, pode fazer mais sentido agrupar os valores em classes, dependendo do objetivo do estudo. Ainda considerando o exemplo da variável altura de voo, existem vários estudos que a relacionam com o risco de colisão recorrendo a classes idênticas, como «abaixo da área de varrimento das pás do AG», «dentro da área de varrimento das pás do AG» e «acima da área de varrimento das pás do AG» (Barrios & Rodríguez, 2004; Noguera *et al.*, 2010; Rodrigues *et al.*, 2018, Winkelman, 1985), interpretando-a como qualitativa, mesmo quando estão disponíveis dados quantitativos (Linder *et al.*, 2022a; 2022b). A distinção entre variáveis qualitativas e quantitativas é, por vezes, considerada rudimentar, pois pode provocar dúvidas quanto aos métodos de tratamento de dados a utilizar em determinado estudo (Allwood, 2012). Porém, a compreensão do risco de colisão de determinada(s) espécie(s) ou grupo de espécies para uma área de estudo em particular requer a definição da abordagem a utilizar para cada uma das variáveis constituintes do modelo a construir, o que justifica que se recorra à distinção entre variáveis qualitativas e quantitativas no presente trabalho.

Além de ser essencial definir qual a abordagem para cada variável a incluir num CRM, é ainda fundamental determinar como cada variável contribui para a estimativa global do risco de colisão. Neste sentido, enquanto para variáveis quantitativas deve ser selecionada uma distribuição de probabilidades que reflita a variabilidade e incerteza associada aos valores que a variável pode assumir, no caso de variáveis qualitativas as classificações categóricas assumidas devem ser associadas a valores probabilísticos que representem a sua contribuição relativa para o risco de colisão. Recorrendo ao exemplo da altura de voo como variável contributiva para explicar ou prever o risco de colisão (posteriormente analisada em detalhe no subcapítulo 3.1.1.3), é presumível que, quanto mais próximas estiverem as aves das pás de um AG, maior a probabilidade de colisão de uma ave (Masden & Cook, 2016). Portanto, é expectável que a classe de altura correspondente à área de

varrimento das pás de um AG seja a que está associada a uma maior probabilidade de colisão. Assumindo esta variável como qualitativa e composta pelas três classes anteriormente descritas, surge então a necessidade de compreender o seu comportamento para a totalidade das classes e não apenas para uma, o que pode ser feito com recurso à revisão de bibliografia. Por exemplo, Barrios & Rodríguez (2004), demonstram que o índice de risco associado ao voo à altura da área de varrimento das pás é superior comparativamente ao voo acima ou abaixo dos AG, particularmente para aves que entram na área de varrimento das pás dos AG vindas de cima. Assim, é possível compreender que a altura de voo é uma variável cuja integração num CRM é fundamental, apesar do seu tratamento como variável qualitativa ou quantitativa depender do tipo de modelo (Rodrigues *et al.*, 2018). Embora uma abordagem que defina a variável como quantitativa permita uma estimativa detalhada da probabilidade de colisão por aves que voam a uma altura incluída na zona de varrimento das pás, interpretando a variável como qualitativa é possível atribuir classes (intervalos de valores) que a variável toma que não apresentam risco de colisão, potenciando uma interpretação mais prática dos resultados e igualmente precisa. Desta forma, pode ser adequado integrar ambas as abordagens num modelo, recorrendo a uma distribuição de probabilidade contínua para os valores tomados pela variável altura de voo, mas aplicando limites de risco categóricos para promover uma melhor avaliação da relação entre a variável e o risco de colisão (Linder *et al.*, 2022b).

3.1.1 Fatores específicos ao nível da espécie

3.1.1.1 Morfologia

Tal como documentado por diversos autores, o estilo de voo diverge consoante os aspetos morfológicos de cada espécie, uma vez que resulta da evolução desses aspetos a diferentes pressões seletivas (Hedenström, 2002; Newton, 2008; Vansteelant *et al.*, 2015). Considerando que o presente estudo se foca sobre aves de rapina, interessa referir dois dos estilos de voo mais comumente utilizados por tais espécies, nomeadamente o voo batido e o voo planado (Williams *et al.*, 2015). O voo batido, que depende do bater de asas constante para manter a altura de voo, requerendo uma elevada taxa metabólica e um gasto de energia variável de acordo com outros aspetos morfológicos da espécie, é particularmente utilizado por espécies de menores dimensões e com maior manobrabilidade de voo (Agostini *et al.*, 2015; Hedenström, 1993; Nourani *et al.*, 2021). Já o voo planado é frequentemente utilizado por aves planadoras, incluindo aves de rapina (Duerr *et al.*, 2012), particularmente para voos de longas distâncias (Marques *et al.*, 2014). Este estilo de voo é caracterizado pela utilização sucessiva de correntes de ar ascendente

(formadas por ação da radiação solar ou do comportamento do vento) por parte das aves para manter ou aumentar a altura de voo, intervalada por voos de deslize, que resultam numa diminuição da altura de voo mais ou menos acentuada (Williams *et al.*, 2015).

É de ter em conta, no entanto, que os estilos de voo referidos podem ser utilizados complementarmente consoante a espécie, sendo o grau dessa complementaridade principalmente influenciado por características morfológicas representativas da manobrabilidade de voo (Mandel *et al.*, 2008), por exemplo o *wing loading*, *i.e.* peso da ave dividido pela área da asa, e o *aspect ratio*, *i.e.* quadrado da envergadura dividido pela área da asa. Com o objetivo de estudar a relação entre variáveis morfológicas e o tipo de voo, Rayner (1988) recorreu a uma análise de componentes principais à morfologia das asas para demonstrar a ocorrência de medidas estatisticamente independentes de tamanho e proporções de asas. Este autor agrupou os principais *taxa* de aves em seis classes, determinadas pelas diferenças no seu desempenho aerodinâmico, salientando que as espécies por si designadas como “voadores pobres” devem ser consideradas como um grupo de elevada suscetibilidade à colisão com infraestruturas (May *et al.*, 2015; Rayner, 1988). Não só por estas razões, mas também pelo facto dos dados relativos a variáveis morfológicas estarem disponíveis para consulta bibliográfica para uma grande variedade de espécies (*e.g.* Cramp, 1985; ou outras edições desse manual), é possível afirmar que a integração do *wing loading* e do *aspect ratio* num CRM é presentemente considerada relevante (Tabela 4). No entanto, uma vez que estas são variáveis representativas da manobrabilidade de voo (ou do desempenho aerodinâmico), caso estejam disponíveis dados relativos ao comportamento recolhidos em terreno, a relevância da inclusão do *wing loading* e do *aspect ratio* num CRM decresce. Neste caso, tal informação pode ser mais útil para agrupar espécies consoante o seu desempenho aerodinâmico, de forma a possibilitar uma comparação da capacidade de um modelo para prever o risco de colisão consoante o grupo em análise, tal como sugerido por Rayner (1988) e enfatizado por May *et al.* (2015).

Além das variáveis morfológicas anteriormente referidas, e embora também sejam avaliadas outras potencialmente integrantes de um modelo de previsão do risco de colisão, apenas o sexo foi avaliado como uma variável relevante (Tabela 4), uma vez que foram encontrados estudos que demonstram uma predominância de mortalidade em indivíduos machos (Morinha *et al.*, 2014; Stienen *et al.*, 2008). Embora Morinha *et al.* (2014) e Stienen *et al.* (2008) não tenham dirigido os seus estudos a aves de rapina, esta variável pode manter-se importante para investigações dirigidas à previsão ou explicação de colisões com AG em áreas de estudo onde ocorram populações residentes, particularmente em

determinadas épocas do ano, como a de reprodução, porque alguns indivíduos podem desempenhar comportamentos de maior risco (Heuck *et al.*, 2020).

De notar que as três variáveis morfológicas consideradas relevantes podem ser utilizadas tanto para prever o risco de colisão à escala de um PE, como à escala de um AG. No entanto, variam em relação ao seu enquadramento nas diferentes fases do modelo, no âmbito do mesmo, na abordagem de utilização e probabilidade associada a cada valor ou classe, e, ainda, quanto à necessidade de recolha de dados em campo (Anexo A).

Por um lado, o sexo enquadra-se exclusivamente na fase 2.1, uma vez que pode influenciar o risco de colisão por poder estar na origem de comportamentos mais arriscados (Morinha *et al.*, 2014; Stienen *et al.*, 2008), podendo integrar um modelo preditivo dirigido tanto a uma única espécie como a um grupo de espécies, sendo a única abordagem possível a utilização de duas classes (macho ou fêmea), o que requer a recolha de dados em campo (Tabela A 2, Anexo A). Por outro lado, as variáveis *aspect ratio* e *wing loading* podem enquadrar-se nas fases 1, na medida em que as aves podem estar mais ou menos dependentes das condições meteorológicas e orográficas da área de estudo, e 2.2, porque ambas as variáveis influenciam a manobrabilidade de voo e, portanto, o comportamento de evitação (Marques *et al.*, 2014). Embora estas variáveis não estejam dependentes da recolha de dados de campo, só podem integrar modelos preditivos que tenham como objetivo comparar diferentes espécies, uma vez que pouco diferem intraespecificamente (Herrera-Alsina *et al.*, 2013). Caso o modelo seja dirigido à comparação entre espécies, a abordagem mais correta é a utilização de uma escala quantitativa contínua (atribuindo um valor a cada espécie), mas no caso da comparação entre grupos de espécies (*e.g.* grupos taxonómicos, guildas), pode fazer sentido agrupar as espécies com base em intervalos de valores das variáveis (Janss, 2000), ou seja criando classes e tratando a variável como qualitativa nominal (Tabela A 2, Anexo A).

3.1.1.2 Perceção sensorial

Para compreender a variação interespecífica da sensibilidade das aves a perturbações externas, pode não ser suficiente investigar aspetos morfológicos como os anteriormente descritos, uma vez que a ecologia sensorial das espécies influencia a perceção das aves relativamente a obstáculos (May *et al.*, 2015) e, consecutivamente, a sua capacidade de evitação (Martin, 2011).

A visão é o sentido dominante da maior parte das espécies de aves (May *et al.*, 2015), facto este aparentemente contraditório com a elevada mortalidade de aves decorrente da

existência de infraestruturas criadas pelo homem (Drewitt & Langston, 2008; Serratosa *et al.*, 2024). Apesar desta contradição poder ser parcialmente explicada pela adversidade das condições de visibilidade, nem sempre é esse o caso (Krijgsveld *et al.*, 2009). A acuidade visual pode influenciar o risco de colisão por diferentes vias: tamanho do campo de visão frontal binocular, visto que as espécies que apresentam uma reduzida dimensão deste parâmetro são particularmente suscetíveis à colisão (Marques *et al.*, 2014; Martin & Shaw, 2010; Martin, 2011); área do campo de visão onde a resolução é mais elevada, porque aves com maior acuidade visual no campo de visão lateral terão menor tendência a olhar em frente durante o voo em espaço aéreo aberto (Martin, 2011; May *et al.*, 2015); e comportamento visual das aves, uma vez que determinadas espécies têm tendência em olhar para baixo enquanto voam, colocando a sua direção de voo completamente dentro da sua zona cega (Marques *et al.*, 2014; Martin, 2011, May *et al.*, 2015). Por exemplo, o grifo-comum apresenta um campo de visão com extensas zonas cegas acima, abaixo e atrás da sua cabeça, o que, de forma combinada com a sua tendência em voar olhando para baixo, pode ajudar a explicar a elevada taxa de mortalidade que apresenta devido à colisão com AG comparativamente a outras espécies de aves de rapina (Marques *et al.*, 2014; Martin *et al.*, 2012). Assim, é possível compreender que a multiplicidade de abordagens a esta variável leva a divergências quanto à necessidade de recolha de dados em campo, à escala a que é abordada e ao nível da probabilidade de colisão (Tabela A 2, Anexo A).

As aves são capazes de reconhecer diferentes tipos de informação consoante o som emitido por outros indivíduos da mesma ou de diferentes espécies, o que demonstra a capacidade e importância deste sentido para grande parte das aves, particularmente no caso de espécies mais dependentes de sons (May *et al.*, 2015; Nagel *et al.*, 2011). No entanto, a capacidade auditiva foi considerada pouco relevante para prever o risco de colisão (Tabela 4), o que se deve ao facto de não ter sido encontrado nenhum estudo que testasse se a frequência de colisões de aves de rapina é ou não afetada pelo nível de ruído emitido pelos AG (Marques *et al.*, 2014). É de ter em conta que a elevada velocidade a que estas aves comumente voam pode dificultar a sua perceção auditiva, graças ao ruído provocado pelo contacto entre o vento e a plumagem e cavidades auditivas enquanto realizam movimentos desse tipo. Ainda assim, esta é uma área da ecologia sensorial a desenvolver no futuro, uma vez que pode potenciar o desenvolvimento de medidas de minimização inovadoras (Fernandez-Juricic *et al.*, 2020).

Pela mesma razão que no caso da audição, outros sentidos, nomeadamente o olfato e a receção magnética das aves, foram considerados como variáveis pouco relevantes para

prever o risco de colisão. Ainda assim, importa referir que o olfato pode atrair aves para determinadas áreas, bem como as pode repelir (May *et al.*, 2015), o que pode influenciar a sua abundância em determinada área de estudo e, conseqüentemente, o seu risco de colisão (como clarificado posteriormente no subcapítulo 3.1.1.6). Já no caso da receção magnética, este é um sentido normalmente utilizado para navegação e orientação das aves através da interação entre o campo magnético da Terra, particularmente quando têm de percorrer longas distâncias (Lohmann, 2010). Assim, é uma possibilidade que campos eletromagnéticos associados a infraestruturas humanas, como é o caso das que compreendem um PE gerem a desorientação das aves (May *et al.*, 2015).

3.1.1.3 Comportamento

O tipo de voo desempenha um papel importante no que toca à compreensão das possíveis causas que expliquem a colisão de aves com AG (Drewitt & Langston, 2008; Marques *et al.*, 2014). No entanto, o tipo de voo enquadra-se na definição de variável composta de Ley (1972): variável formada por duas ou mais variáveis ou métricas que estão altamente relacionadas entre si, seja de forma conceptual, seja estatisticamente. Portanto, esta variável pode ser decomposta em múltiplas outras, o que justifica a sua avaliação como pouco relevante (Tabela 4). De facto, o termo «tipo de voo» pode ser referente ao estilo de voo normalmente adotado pelas aves (*e.g.* classes de tipo de voo adotadas por Balmori-De la Puente & Balmori, 2023), à atividade concreta desempenhada em voo aquando de determinada observação (*e.g.* classes de tipo de voo adotadas por Barrios & Rodríguez, 2004), bem como pode concernir a parâmetros mais concretos relativos aos movimentos efetuados pelas aves, por exemplo sinuosidade, comprimento, duração, altura, velocidade, ou orientação de voo (Linder *et al.*, 2022b). A atividade desempenhada em voo é presentemente classificada como muito relevante (Tabela 4), uma vez que diversos estudos a relacionam com a variação de colisões de diversas espécies, muitas vezes argumentando que quanto mais atenção determinada atividade requerer (*e.g.* disputa de território, caça, exibição para reprodução), maior a probabilidade de colisão do movimento associado a essa atividade (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023; Barrios & Rodríguez, 2004; Krijgsveld *et al.*, 2009; Marques *et al.*, 2014).

Já em relação aos restantes parâmetros, destaca-se a altura de voo como a variável mais relevante (Tabela 4), uma vez que está diretamente relacionada com a probabilidade de colisão (Rodríguez *et al.*, 2017; Masden *et al.*, 2021; Masden & Cook, 2016), no sentido em que as aves que voem à altura da área de varrimento das pás de um AG apresentam maior risco de colisão comparativamente às que voem acima ou abaixo (Barrios &

Rodríguez, 2004; Marques *et al.*, 2014; Noguera *et al.*, 2010). Assim, mesmo quando se encontram disponíveis métodos mais sofisticados para a recolha de dados no âmbito de determinado estudo (e.g. que determinem a posição, velocidade e trajetória de uma ave em 3 dimensões; *vide* IdentiFlight, s.d.), é recomendado que se aborde esta variável qualitativamente, através da categorização de valores numéricos da altura de voo (Linder *et al.*, 2022a, 2022b). Além da distância vertical entre as aves e os AG influenciarem o risco de colisão, a distância horizontal também afeta esse risco de forma óbvia, na medida em que aves que não atravessem horizontalmente a área de determinado PE nunca estarão expostos a uma probabilidade de colisão. Deste modo, esta métrica pode ser útil para definir qual a área em que se considera haver risco de colisão (e.g. 500 metros de distância; Garvin *et al.*, 2011), sendo que fora da mesma todos os movimentos terão uma probabilidade de colisão igual a 0. De acordo com a Tabela 4 existem medidas de distância horizontal ou tridimensional relevantes, nomeadamente o comprimento (Rodrigues *et al.*, 2018) e a sinuosidade dos movimentos (Linder *et al.*, 2022a, 2022b), ambas variáveis que podem estar não só correlacionadas entre si, mas também com a duração do movimento, outra variável que pode integrar modelos preditivos do risco de colisão (Masden & Cook, 2016). Uma abordagem diferente que pode ser utilizada para ter esta informação em conta na construção de um modelo preditivo é mediante um parâmetro que estime a soma do número médio de AG encontrados por movimento, como proposto por Smales *et al.* (2013). Outras variáveis respeitantes à posição espacial das aves relevantes para prever o risco de colisão com AG são a orientação e velocidade de voo (Tabela 4). Por um lado, o atravessamento da área de varrimento das pás de um AG no sentido perpendicular corresponde ao ângulo de maior risco de colisão para a ave (Masden & Cook, 2016). Por outro lado, a velocidade desse atravessamento também influencia o risco de colisão (Masden *et al.*, 2021), embora não linearmente, porque as aves não viajam sempre a velocidades constantes, mas sim dependendo da sua atividade em voo, da sua altura de voo, da velocidade e direção do vento, entre outros fatores (Madders & Whitfield, 2006).

O risco de colisão também é influenciado por um comportamento específico, nomeadamente o de evitação, que deve ser distinguido do efeito de deslocação (normalmente correspondentes aos termos «*avoidance*» e «*displacement*» encontrados na bibliografia; e.g. Marques *et al.*, 2021). Furness *et al.* (2013) definiu evitação a dois níveis: a nível macro, em que as aves alteram o seu movimento para que não atravessem um parque eólico na sua totalidade; e a nível micro, que ocorre quando as aves se desviam de AG individuais. Posteriormente, May *et al.* (2015) propuseram a adição de um nível, nomeadamente a evitação a nível meso, em que as aves evitam AG individuais ou secções

de um PE (e.g. AG em formato de linha ao longo de uma mesma cumeada), bem como sugeriram a alteração da definição do nível micro para que correspondesse a desvios de último segundo de partes constituintes de um AG (e.g. pás, rotor). Considerando estas definições, Marques *et al.* (2021) distingue o comportamento de evitação do comportamento de deslocação, conceptualizando o segundo como a redução da densidade de aves na área de um PE e sua envolvente, devido a uma perturbação de longo-prazo, *i.e.* efeito conjunto da evitação aos níveis macro e meso que leva à perda de habitat funcional (Marques *et al.*, 2020, 2021). Um exemplo do efeito de deslocação é o reportado por Dahl *et al.* (2013), nomeadamente em relação aos indivíduos adultos de uma população da espécie águia-rabalva *Haliaeetus albicilla* num PE situado na Noruega. Efetivamente, os autores verificaram maior abundância de aves subadultas na área do PE comparativamente aos adultos, que podem ter sofrido o efeito mencionado (Dahl *et al.*, 2013). Apesar da grande relevância que a evitação pode ter para prever o risco de colisão (Tabela 4), existem muitos poucos dados disponíveis relativamente a taxas de evitação e estimativas da sua variabilidade não só interespecífica, mas particularmente, intraespecífica (Cook *et al.*, 2014; Masden & Cook, 2016). Garvin *et al.* (2011) fornecem um exemplo de abordagem da variável evitação, tendo considerado como comportamento de evitação a alteração de altura ou direção de voo no momento de aproximação aos AG ou às respetivas pás. Além disso, os autores calculam taxas de evitação específicas para cada uma das espécies de aves de rapina que registaram na sua área de estudo, nomeadamente um parque eólico norte-americano (Garvin *et al.*, 2011).

Croft *et al.* (2013) demonstram que as interações sociais e o tamanho dos bandos também afetam consideravelmente o risco de colisão. Carrete *et al.* (2012) também referem que a agregação de aves em redor de AG ajuda a explicar elevadas taxas de mortalidade por colisão. Assim, pode ser considerada relevante uma variável representativa da variabilidade da tendência das aves para se agregarem em bandos ou para viajarem de forma isolada, denominada no presente estudo por comportamento social (Tabela 4). Por um lado, é presumível que quanto maior a tendência de agregação das aves, maior a probabilidade de um movimento de um bando numeroso cruzar a área de perigo de colisão e, conseqüentemente, maior o risco de colisão de alguma ave. Por outro lado, a formação de bandos pode resultar na diminuição da atenção das aves aos obstáculos que as rodeiam, influenciando o risco de colisão (Janss, 2000). É importante referir, no entanto, que Janss (2000) estudou o risco de colisão com linhas elétricas, o que não deve ser negligenciado, uma vez que determinadas espécies aparentam ser suscetíveis à colisão com linhas elétricas, mas não com AG (Marques *et al.*, 2014).

3.1.1.4 Idade

O risco de colisão pode ser influenciado pela variação de comportamentos consoante a idade das aves (Marques *et al.*, 2014). Por exemplo, Morinha *et al.* (2014) demonstraram que a mortalidade de laverças (*Alauda arvensis*) por colisão num parque eólico em Portugal foi particularmente notória para machos adultos. Outro exemplo ocorreu num parque eólico situado na Bélgica, onde Everaert & Stienen (2007) reportaram que todos os cadáveres encontrados de andorinhas-do-mar (*Sterna hirundo*) eram adultos.

Também no caso de espécies de aves de rapina, Hunt (2002) reportou uma predominância dos eventos de mortalidade em determinadas idades em águia-real num parque eólico de grande dimensão situado em Altamont (California, Estados Unidos da América). Neste caso, o autor demonstrou que houve maior mortalidade em indivíduos subadultos do que em adultos ou juvenis, tendo relacionado esse resultado com o maior risco de colisão decorrente do tempo que os subadultos demoravam em busca de presas na área do PE (Hunt, 2002; Drewitt & Langston, 2008; Watson *et al.*, 2018). No entanto, Fielding *et al.* (2022) apresentou resultados que contradizem os anteriores, pois referem a inexistência de diferença na suscetibilidade à colisão consoante a classe etária de águias-reais, neste caso num PE localizado na Escócia. Além disso, os autores testaram a hipótese de ocorrer habituação por parte de indivíduos adultos e rejeitaram-na, uma vez que os indivíduos adultos não voavam mais proximamente aos AG comparativamente aos restantes (Fielding *et al.*, 2022). Estes resultados são concordantes com os relativos aos de outra espécie de ave de rapina (águia-rabalva), reportados por Dahl *et al.*, 2013, uma vez que os autores reportaram a inexistência de comportamentos de evitação por parte de indivíduos adultos e subadultos. Esta falta de consenso entre resultados justifica a necessidade de desenvolvimento de estudos específicos ao nível da espécie para compreender como a idade pode ser, pelo menos parcialmente, uma causa da variação do risco de colisão de aves com AG (Estellés-Domingo & López-López, 2024), o que explica a sua avaliação como relevante (Tabela 4).

Outras variáveis referentes ao fator idade que foram tidas em conta, mas avaliadas como irrelevantes para sua integração num CRM, são a longevidade e a taxa de sobrevivência das espécies (Tabela 4). É de notar, no entanto, que estas variáveis específicas ao nível da espécie podem ser interessantes para estudos com outros objetivos, podendo ser utilizadas, por exemplo, para argumentar que a mortalidade por colisão com AG pode ser ameaçadora ao nível de populações, aumentando o risco de extinção de determinada espécie (Carrete *et al.*, 2009).

3.1.1.5 Fenologia

Embora seja consensual que a fenologia das aves de rapina pode ser útil para ajudar a explicar a variabilidade de colisões das mesmas com AG (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023; Barrios & Rodríguez, 2004), a relação entre a fenologia e o risco de colisão é complexa e não deve ser tida em conta de forma absoluta (Marques *et al.*, 2014). Se por um lado indivíduos residentes podem estar mais familiarizados com o terreno (Drewitt & Langston, 2008), o que teoricamente diminuiria o seu risco de colisão, por outro, cruzam a área do PE mais frequentemente (Katzner *et al.*, 2012), bem como apresentam comportamentos de voo mais arriscados com maior regularidade (Dahl *et al.*, 2013), levando a um maior grau de exposição das aves ao risco de colisão. Efetivamente, na atualidade não existe consenso se são as aves locais ou as migradoras as mais afetadas por impactes negativos provocados por PE (Estellés-Domingo & López-López, 2024).

Uma das variáveis que deve ser considerada de forma conjunta à fenologia para compreender como esta afeta o risco de colisão é a sazonalidade (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023). Por exemplo, considerando os dados de dois PE situados no estreito de Gibraltar, Barrios & Rodríguez (2004) demonstraram que a maioria dos grifos-comuns colidiram com AG durante o inverno, tendo relacionado esse resultado com a abundância das aves durante essa estação. É importante referir que o aumento de grifos-comuns observado no estreito referido que ocorre durante o inverno se deve ao facto de se tratar de um migrador-parcial, ou seja, embora a espécie esteja presente no território durante todo o ano, durante o inverno existem grandes números de indivíduos (principalmente imaturos) que realizam migrações de curta distância pré-saarianas (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023; De Juana & Garcia, 2015). No entanto, De Lucas *et al.* (2008) demonstrou que a relação entre a abundância de aves e a mortalidade por colisão não deve ser assumida como certa, referindo que outros fatores devem ser conjuntamente tidos em conta, como condições meteorológicas e orográficas. Resultados estes discordantes dos obtidos por Carrete *et al.* (2012), que demonstram que informação precisa relativa à distribuição e abundância de aves de rapina, se baseada em estimativas populacionais de larga escala, pode ser um dos melhores parâmetros biológicos para avaliar os impactes da instalação de um PE em determinado local. Além da relação entre a fenologia das aves e a sazonalidade poder influenciar a abundância de aves em determinado local, a sazonalidade influencia ainda as condições meteorológicas e, conseqüentemente, as condições de vento e disponibilidade de térmicas (Péron *et al.*, 2017). Assim, espécies mais dependentes desse efeito meteorológico, como o grifo-comum (De Lucas *et al.*, 2008; Tucker, 1971), poderão

apresentar diferentes padrões comportamentais consoante a estação. Por exemplo, Péron *et al.* (2017) referem que o risco de colisão diminui constantemente à medida que o potencial de desenvolvimento de térmicas aumenta, o que indica que o aproveitamento das correntes de vento ascendentes de acordo com a orografia do terreno leva a uma maior vulnerabilidade.

Recorrendo a um grande número de colisões (3 130 aves mortas ao longo de 16 anos, num total de 243 diferentes PE), Balmori-De la Puente & Balmori (2023) analisaram como a relação entre a fenologia, a sazonalidade, o tipo de voo, entre outras variáveis que consideraram menos significativas (*e.g.* tamanho das aves), interação com a variabilidade de colisões para várias espécies. Os autores demonstraram que determinadas estações levam a mais colisões e que, em qualquer uma das estações, o número de colisões foi influenciado pelo tipo de movimentos sazonais (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023). Abordando a variável «tipo de movimentos sazonais» como qualitativa, na medida em que categorizaram as aves como estivais, sedentárias e migradoras parciais, Balmori-De la Puente & Balmori (2023) demonstraram que espécies migradoras parciais apresentaram picos de colisões significativos durante a primavera e outono, enquanto aves sedentárias colidiram com menor regularidade durante o verão. Já as aves estivais colidiram mais frequentemente no verão e no outono (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023). A variável representativa da fenologia utilizada pelos autores supracitados demonstra a importância deste fator para prever o risco de colisão de aves de rapina com AG (Tabela 4), particularmente se for considerada de forma conjunta com outros fatores, como o comportamento e a sazonalidade.

3.1.1.6 População

Os estudos que avaliam variáveis ao nível populacional das espécies como possíveis fatores explicativos da mortalidade por colisão de AG têm demonstrado resultados distintos, por vezes contraditórios (Estellés-Domingo & López-López, 2024; Marques *et al.*, 2014). Por exemplo, Barrios & Rodríguez (2004) mencionam que a ocorrência de grandes abundâncias de indivíduos constitui um fator determinante na variabilidade do risco de colisão, aumentando particularmente a taxa de mortalidade caso ocorram numerosos movimentos a uma distância igual ou menor a 5 m do AG. De facto, a maioria dos grifos-comuns encontrados mortos na área do PE ocorreu nas épocas em que a sua abundância aumentava e em que as condições de vento os forçava a voar de forma mais próxima aos AG, nomeadamente durante o inverno (Barrios & Rodríguez, 2004). No entanto, De Lucas *et al.* (2008) chegou a um resultado antagónico ao realizar um estudo comparativo entre a

abundância de aves de diferentes espécies e os registos de mortalidade por colisão obtidos ao longo de 9 anos. Com efeito, os autores verificaram que a mortalidade e a abundância variaram consideravelmente ao longo das estações, mas que o aumento de cada um desses parâmetros não foi coincidente. Este resultado foi particularmente notório para o grifo-comum, espécie que é frequentemente reportada com elevados níveis de mortalidade por colisão com AG (Barrios & Rodríguez, 2004; De Lucas *et al.*, 2008, 2012a, 2012b; Estellés-Domingo & López-López, 2024), podendo até levar ao enviesamento de resultados que analisem várias espécies de aves de rapina se forem consideradas conjuntamente (Balmori-De la Puente & Balmori, 2023). Resultados concordantes com os obtidos por De Lucas *et al.* (2008) são os publicados em Ferrer *et al.* (2012), estudo este com objetivos distintos do anterior. Ferrer *et al.* (2012) analisaram dados de 53 EIA de forma a compreender se um dos métodos mais amplamente utilizados nesse âmbito, nomeadamente baseado em pontos de observação para registo cartográfico dos movimentos de aves na fase prévia à construção, era ou não eficaz para prever o risco de colisão associado a novas instalações de PE. Ao comparar os dados obtidos nos EIA com os números de colisões de aves de rapina (entre outras espécies) por AG e por ano durante a fase de exploração dos PE desenvolvidos posteriormente ao respetivo EIA, os autores não encontraram uma relação estatisticamente significativa (Ferrer *et al.*, 2012).

No entanto, Carrete *et al.* (2012) propõe que as incoerências entre os resultados obtidos por Barrios & Rodríguez (2004) e por De Lucas *et al.* (2008) possam ser consequência dos protocolos de amostragem tomados pelos autores. Carrete *et al.* (2012) particulariza que a principal conclusão de De Lucas *et al.* (2008) foi baseada numa falta de correlação entre taxas de mortalidade obtidas ao longo de 9 anos e a abundância local obtida num único ano, bem como no número de estações do ano que tiveram em conta. Além disso, de forma concordante com Ferrer *et al.* (2012), Carrete *et al.* (2012) sugerem que, de forma a aumentar o poder preditivo relativo ao risco de colisão, devem ser utilizadas estimativas de abundância de aves e/ou de distribuição espacial de escala geográfica adequada, em detrimento de utilizar contabilizações de aves efetuadas em pontos específicos durante períodos particulares. Particularmente nos casos em que as espécies em estudo sejam fiéis ao seu território, colónia ou área de invernada, como são as aves de rapina (Carrete *et al.*, 2012). Desta forma, mesmo que a abundância não seja uma variável suficiente para prever o risco de colisão, verificando-se importante ter em conta outros fatores (e.g. comportamento, características ambientais da área de estudo e tipológicas do PE; Marques *et al.*, 2014), existem resultados que demonstram de forma clara que é uma variável com elevado nível de relevância (Tabela 4).

É importante referir que existem outros indicadores correlacionados com a abundância que também podem ser relevantes, como estimativas de densidade ou taxas de utilização do espaço (Khosravifard *et al.*, 2020; Kitano & Shiraki, 2013; Marques *et al.*, 2014; Smallwood & Karas, 2009). Por exemplo, a densidade *kernel* (ou distribuição da utilização *kernel*) resulta de um cálculo da densidade de registos, efetuados em formato de pontos ou linhas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), numa determinada área em redor desses recursos. Este indicador é medido em número de indivíduos por unidade de área, aumentando paralelamente ao número de indivíduos e/ou à proximidade entre eles (Esri, s.d.-b). Esta métrica é amplamente utilizada em estudos relacionados com ecologia considerando duas dimensões horizontais (Fleming *et al.*, 2015; Katajisto & Moilanen, 2006; Khosravifard *et al.*, 2020). No caso de Khosravifard *et al.* (2020), os autores abordam este indicador tridimensionalmente, de modo a prever o risco de colisão de forma comparativa entre AG, considerando a ocorrência de aves. Khosravifard *et al.* (2020) demonstram que a utilização do espaço, caso seja considerada a três dimensões, é uma boa ferramenta para identificar os momentos e AG associados a maior risco de colisão. Assim, os autores propõem que esta abordagem seja considerada mais frequentemente para prever o risco de colisão associado a localizações onde esteja prevista a implementação de novos PE (Khosravifard *et al.*, 2020), o que justifica a avaliação da variável «densidade *kernel*» como muito relevante no presente trabalho (Tabela 4).

3.1.1.7 Reprodução

Não foram encontrados estudos que relacionassem a taxa de maturidade sexual de determinada espécie de ave de rapina com o seu risco de colisão com AG, o que justifica a sua avaliação como uma variável irrelevante para prever esse risco (Tabela 4). Esta variável foi considerada na avaliação, uma vez que é comumente retratada como uma característica que expõe as aves de rapina a uma maior vulnerabilidade aos impactes provocados pela implementação de PE (Estellés-Domingo & López-López, 2024; Marques *et al.*, 2014). No entanto, não é útil para prever o risco de colisão de aves de rapina com AG, mas sim para compreender a influência desses impactes ao nível da população (Carrete *et al.*, 2009)

Relativamente a outras variáveis relacionadas com a reprodução das espécies que podem ter influência sobre o risco de colisão, no presente trabalho foi avaliada a importância do sucesso reprodutor, bem como da distância das aves a colónias (Tabela 4). O sucesso reprodutor foi considerado pouco relevante, porque, tal como para a taxa de maturidade sexual, não foram encontrados estudos que o relacionassem de forma direta

com o risco de colisão. No entanto, caso aumente o sucesso reprodutor de determinada colônia que esteja relativamente próxima de um PE, pode presumir-se que aumente a abundância da espécie pertencente a essa colônia (Carrete *et al.*, 2009; Tapia & Zuberogoitia, 2018). Considerando a explicação anteriormente dada para a relação entre a abundância e o risco de colisão no subcapítulo 3.1.1.6, pode inferir-se que o sucesso reprodutor influencie indiretamente o risco de colisão, o que justifica que a sua relevância tenha sido considerada superior à da taxa de maturidade sexual (Tabela 4). Ainda assim, é importante referir que a utilização do sucesso reprodutor como uma variável depende da fenologia das espécies para as quais se pretende prever ou explicar o risco de colisão, na medida em que a variável só se adequa a casos em que os indivíduos estudados sejam reprodutores na área do PE ou sua envolvente.

A relação entre a abundância e distribuição de espécies sensíveis ao risco de colisão com AG (e.g. aves de rapina de grandes dimensões) é um dos melhores indicadores biológicos para avaliar o risco de implementação de um PE em determinada localização (Bright *et al.*, 2008; Tellería, 2009a). É na tentativa de abordar esta temática que muitos EIA avaliam a distância aos ninhos de determinadas espécies de aves e/ou às suas colônias, porém nem sempre essa avaliação recorre a critérios objetivos e sistematizados, o que pode levar à implementação de PE em locais onde o risco de colisão de aves de rapina com AG é elevado (Ferrer *et al.*, 2012). Desta forma, é possível compreender que embora a distância a colônias seja uma variável relevante para prever o risco de colisão de determinada espécie com AG (Tabela 4), deve ser abordada a uma escala geográfica abrangente (ao nível da decisão relativa à localização do PE), bem como de forma conjunta com algum indicador de abundância (Carrete *et al.*, 2012). Um exemplo dessa abordagem baseia-se na utilização de mapas de sensibilidade que identifiquem zonas de elevado risco para a construção de PE, ferramenta essa cuja aplicação tem sido consensualmente investigada dentro da comunidade científica (Estellés-Domingo & López-López, 2024).

3.1.2 Fatores específicos ao nível da área de estudo

3.1.2.1 Qualidade do habitat

A construção de um PE em determinada área leva a modificações da paisagem existente, podendo promover a degradação, fragmentação e, em último caso, perda de habitat, particularmente quando tal paisagem alberga habitats naturais ou seminaturais, o que está associado a múltiplos impactes negativos ao nível da ecologia (Marques *et al.*, 2020; May *et al.*, 2015; Thaker *et al.*, 2018), como por exemplo o eventual efeito de

deslocação de populações dessa área (Marques *et al.*, 2021). Desta forma, é possível compreender que a qualidade do habitat de uma certa área afeta a abundância das espécies ao nível local, o que pode ter influência no risco de colisão. Existem diversas variáveis que influenciam a qualidade do habitat para aves de rapina, desde a presença de infraestruturas humanas na paisagem à adequabilidade do habitat para caça e disponibilidade de alimento, que podem produzir impactes negativos de forma cumulativa (Jones, 2016).

Uma das características do habitat que mais contribui para a sua qualidade em termos de uso por aves de rapina é a disponibilidade de alimento, o que justifica que a gestão desse recurso seja muitas vezes utilizada para minimizar ou compensar impactes decorrentes da implementação de um PE (Allison *et al.*, 2017; Pescador *et al.*, 2019). Além disso, a disponibilidade de alimento pode afetar o risco de colisão de determinadas espécies, na medida em que se for muito elevada pode aumentar o número de colisões (Marques *et al.*, 2014), particularmente para aves que estejam menos cientes dos AG durante a atividade de caça (Barrios & Rodríguez *et al.*, 2004; Krijgsveld *et al.*, 2009; Winkelman, 1985). De facto, está descrito o efeito de atração, particularmente utilizado em estudos cujos dados são recolhidos em PE *offshore* (Dierschke *et al.*, 2016), que resulta das boas condições para presas se estabelecerem na área do PE, mas que pode não ser positivo para aves por aumentar o seu risco de colisão (Marques *et al.*, 2021). Embora o efeito referido seja normalmente associado à abundância de peixe, pode presumir-se que para aves necrófagas ou oportunistas, a abundância de carcaças que constituam a sua dieta na área de determinado PE pode influenciar o risco de colisão. Por exemplo, os grifos-comuns prosperam áreas em busca de alimento mais frequentemente e a menores alturas de voo em áreas onde ocorra elevada abundância de ungulados (Morant *et al.*, 2024). A disponibilidade de presas também pode influenciar o risco de colisão para aves predatórias, particularmente para as que frequentemente pairam ou circulam a baixas alturas de voo em busca de presas (*e.g.* peneireiro-de-dorso-malhado *Falco tinnunculus*, francelho; Barrios & Rodríguez *et al.*, 2004; Pescador *et al.*, 2019). Assim se justifica a classe de relevância atribuída à variável «disponibilidade de alimento» (Tabela 4). Porém, a variável «adequabilidade do habitat para caça», que só é aplicável a predadores e que pode ser medida da mesma forma que a disponibilidade de alimento (*e.g.* abundância de presas; Thaker *et al.*, 2018), foi, por estas razões, considerada pouco relevante (Tabela 4).

Das restantes variáveis ao nível da qualidade do habitat que potencialmente influenciam o risco de colisão de aves de rapina, interessa referir que a disponibilidade de

locais para a instalação de ninhos foi avaliada como pouco relevante por poder estar correlacionada com outras variáveis avaliadas no âmbito do fator reprodução, como a distância a colônias, referida anteriormente no subcapítulo 3.1.1.7). Existem, ainda, outras variáveis que influenciam a qualidade do habitat, mas enquadradas noutros subcapítulos, uma vez que são abrangidos por outros fatores (e.g. orografia do terreno, disponibilidade de térmicas).

3.1.2.2 Meteorologia

As condições meteorológicas influenciam de forma direta tanto o grau de exposição das aves ao risco de colisão, como o próprio risco de colisão com AG (De Lucas *et al.*, 2012b; Péron *et al.*, 2017; Marques *et al.*, 2014). Por um lado, as aves de rapina, particularmente as de maior porte, estão dependentes de condições meteorológicas (e.g. gradiente de temperatura em função da altura, direção e velocidade do vento) que promovam o potencial de ascensão em térmicas de determinada área, portanto tais condições influenciam a densidade de aves nessa área, de forma variável consoante a espécie (Scacco *et al.*, 2019), tendo implicações no risco de colisão. Por outro lado, condições meteorológicas que afetem a visibilidade ou a manobrabilidade de voo (por exemplo, elevada nebulosidade ou ventos fortes, respetivamente) podem afetar o comportamento de evitação de obstáculos (incluindo AG) por parte das aves (Estellés-Domingo & López-López, 2024; Johnston *et al.*, 2014), bem como levar a alterações de altura de voo (Shamoun-Baranes *et al.*, 2006), influenciando por isso o risco de colisão de forma direta (Drewitt & Langston, 2008).

Relativamente ao potencial de ascensão em térmicas, Péron *et al.* (2017) estimaram a relação entre parâmetros de movimentação vertical (e.g. velocidade de ascensão em térmicas), recorrendo a dados de GPS emitidos por sistemas acoplados a três diferentes espécies de aves de rapina de grande dimensão, e variáveis meteorológicas contributivas para o cálculo do potencial de ascensão em térmicas (e.g. temperatura). Os resultados obtidos pelos autores demonstram que o risco de colisão foi menor para valores mais elevados do potencial de desenvolvimento de térmicas, particularmente para espécies mais dependentes deste fenómeno, provando que o potencial de ascensão em térmicas é um *proxy* das condições de ascensão reais experienciadas pelas aves estudadas (Péron *et al.*, 2017).

Tal como o potencial de ascensão em térmicas, a direção e velocidade do vento foram também avaliadas como relevantes (Tabela 4). Efetivamente, o vento afeta particularmente

o risco de colisão de aves de rapina com AG (Estellés-Domingo & López-López, 2024; Marques *et al.*, 2014). Por exemplo, De Lucas *et al.* (2012b) recorreram a um modelo à escala da área do PE num túnel de vento aerodinâmico, com vista à compreensão da influência dos fluxos de vento da área de estudo sobre as trajetórias tomadas por grifos-comuns. Os autores criaram simulações de correntes de vento sobre o modelo aerodinâmico idealizado, o que possibilitou a sua comparação com as trajetórias observadas em terreno tomadas pelas aves estudadas (De Lucas *et al.*, 2012b). Os resultados obtidos por De Lucas *et al.* (2012b) mostram que as aves não se moveram aleatoriamente, mas sim em função da velocidade e direção do vento, por sua vez, dependentes da orografia subjacente. Além dos autores terem mostrado que as aves eram registadas a sair da área de estudo aproximadamente nos mesmos locais onde as maiores velocidades de vento eram alcançadas, indicaram a existência de uma correlação positiva entre a proporção de aves prevista a atravessar os locais da área de estudo onde existem AG e os registos de mortalidade de grifos-comuns nesses locais (De Lucas *et al.*, 2012b). Desta forma, é possível compreender que, embora as variáveis direção e velocidade de vento sejam relevantes, é crucial que seja considerada não só a relação entre estas, como também a sua interação com a orografia (Estellés-Domingo & López-López, 2024; De Lucas *et al.*, 2012a, 2012b).

Considerando que a sazonalidade além de influenciar as variáveis meteorológicas referidas anteriormente e presentemente classificadas como relevantes (Shamoun-Baranes *et al.*, 2017), está relacionada com a fenologia das aves, esta variável também foi considerada relevante para prever o risco de colisão de aves de rapina com AG (Tabela 4).

3.1.2.3 Orografia

A suscetibilidade a colisões com AG depende das características orográficas da área onde se situa um PE, particularmente para aves de rapina de grande porte que recorram frequentemente a correntes ascendentes de vento (De Lucas *et al.*, 2012b; Marques *et al.*, 2014), o que ocorre mais frequentemente na ausência de condições que propiciem uma elevada disponibilidade de térmicas (Estellés-Domingo & López-López, 2024; Péron *et al.*, 2017). Além de Péron *et al.* (2017) terem estudado a influência do potencial de ascensão em térmicas com o risco de colisão (relação esta analisada no subcapítulo 3.1.2.2), propuseram que esse potencial é preferencial para aves de rapina de grande porte comparativamente ao potencial de ascensão recorrendo a correntes de vento ascendentes determinadas pela orografia do terreno. No entanto, Péron *et al.* (2017) não verificaram uma relação entre as taxas de movimentação vertical das três espécies estudadas (condor-dos-

andes *Vultur gryphus*, grifo-comum e águia-real) e o potencial de ascensão recorrendo à orografia, justificando essa ausência por, entre outros motivos, não terem considerado determinadas variáveis que podem afetar a altura de voo diretamente (e.g. condições de vento, altura do solo em relação ao nível do mar). Ainda assim, os dados obtidos pelos autores revelam diferenças ao nível da espécie no que toca à sua dependência de correntes de ar ascendente formadas pelo comportamento entre o vento e a orografia (Péron *et al.*, 2017). De facto, De Lucas *et al.* (2012b) demonstram a existência de uma relação entre as condições de vento subjacentes à orografia da área de estudo e o risco de colisão para o grifo-eurasiático, mesmo sem incorporar simulações do potencial de ascensão em térmicas no seu modelo.

Outros estudos também relacionam a existência de cumeadas, vales, ou declives acentuados com o risco de colisão, sendo frequentemente sugerido que os PE mais perigosos para as aves de rapina são aqueles cujos AG se situam ao longo de cumeadas de montanhas (Barrios & Rodríguez, 2004; Estellés-Domingo & López-López, 2024; Katzner *et al.*, 2012; Morant *et al.*, 2024; Péron *et al.*, 2017). De facto, áreas abertas e planas, onde as condições para formação de térmicas são mais propícias provavelmente por apresentarem maior refletância (Scacco *et al.*, 2023), podem levar à diminuição da vulnerabilidade para aves mais dependentes dessas condições para ganhar altura (Péron *et al.*, 2017). No entanto, esta relação não deve ser considerada de forma absoluta, uma vez que áreas abertas e planas também são normalmente mais propícias à existência de carcaças que constituam a dieta de aves de rapina necrófagas ou oportunistas (Arrondo *et al.*, 2019), o que pode influenciar diretamente o comportamento e altura de voo dessas aves e, conseqüentemente, aumentar a sua vulnerabilidade (Morant *et al.*, 2024).

Assim, é possível compreender que variáveis relacionadas com a orografia da área onde se preveja a instalação de um PE (e.g. altura do solo, declive, orientação das encostas) devem ser incorporadas num modelo de previsão do risco de colisão com AG (Tabela 4), de forma conjunta com outras variáveis, específicas tanto ao nível da área de estudo como ao nível das espécies em análise.

3.1.3 Fatores específicos ao nível da tipologia do PE

Embora a configuração espacial dos AG seja uma variável específica ao nível da tipologia de um PE, está profundamente relacionada com a orografia do terreno na área onde o mesmo se situa, uma vez que o facto de características orográficas influenciarem o risco de colisão com AG pressupõe que a configuração espacial dessas infraestruturas também influencie. De facto, De Lucas *et al.* (2012b) reportaram uma sobreposição das

áreas onde era prevista maior intensidade de atravessamentos de AG e onde foram registados eventos de colisão, o que se deveu, pelo menos parcialmente, à orografia da área onde se situavam os AG (*vide* subcapítulo 3.1.2.2). De forma concordante, De Lucas *et al.* (2012a) verificaram diferenças significativamente elevadas das taxas de mortalidade de grifos-comuns consoante o AG, o que lhes permitiu afirmar que as condições locais de AG individuais influenciam o risco de colisão, tal como já tinha sido proposto noutros estudos (*e.g.* Barrios & Rodríguez, 2004; De Lucas *et al.*, 2008). Também já foi demonstrado por outros autores que PE linearmente distribuídos de forma perpendicular a corredores de passagem de aves constituem um arranjo de AG perigoso para aves de rapina (Marques *et al.*, 2014). Outro exemplo demonstrativo da importância da configuração espacial dos AG no que respeita ao risco de colisão é o de Cárcamo *et al.* (2011), que, ao avaliar o impacto de nove PE instalados em Thrace (Grécia), verificou que quanto maior a distância entre AG, maior a probabilidade de aves de rapina tentarem o atravessamento nessa área.

Além da configuração espacial dos AG, existem outras características destas infraestruturas que afetam o risco de colisão, devendo por isso ser consideradas para prever esse risco previamente à implementação de um PE (Tabela 4). Embora características como a forma da torre ou do rotor dos AG não aparentem afetar de forma significativa o risco de colisão (Barrios & Rodríguez, 2004), outras, como a altura do AG e a dimensão das pás e respetiva área de varrimento, influenciam a área onde existe risco de colisão e, portanto, o grau de exposição das aves ao mesmo (Masden & Cook, 2016). É importante referir, no entanto, que estas três variáveis estão normalmente correlacionadas, uma vez que quanto mais alto o AG, maiores as suas pás e, conseqüentemente, a sua área de varrimento (Marques *et al.*, 2014), o que justifica o facto de só uma delas ter sido considerada relevante (Tabela 4). Outra variável que pode estar correlacionada com as três descritas é a velocidade de rotação do rotor, também já referida como responsável por elevadas taxas de mortalidade por colisão (Thelander *et al.*, 2003).

Existem outras variáveis relativas à tipologia do PE que podem ser consideradas em determinados estudos, nomeadamente as que interagem com a perceção sensorial das aves: visibilidade das pás; ruído provocado pelos AG; e luminosidade emitida pelo PE (May *et al.*, 2015). Embora não tenham sido encontrados resultados demonstrativos da sua relevância, o que levou à sua classificação como variáveis pouco relevantes (Tabela 4), é importante referir que a falta de estudos que avaliem a sua capacidade explicativa ou preditiva do risco de colisão pode corresponder a uma atual lacuna de conhecimento

(Marques *et al.*, 2014).

Apesar da clara relevância da tipologia do PE e características dos AG, é de salientar que não devem ser consideradas de forma absoluta, uma vez que outras variáveis (específicas aos níveis da espécie e da área de estudo) também podem interagir com o risco de colisão, devendo sempre ser consideradas (Estellés-Domingo & López-López, 2024; Drewitt & Langston, 2008; Marques *et al.*, 2014; May *et al.*, 2015).

3.2 Revisão bibliográfica de ferramentas para avaliação do risco de colisão em fase de pré-construção

Os CRM desempenham um papel crucial na previsão de potenciais interações entre aves e AG, na medida em que são úteis para o processo de tomada de decisão na fase anterior à de construção de um PE, tanto em relação à permissão da construção, como no que concerne à localização individual dos AG e eventuais medidas de minimização de impactes (Rodrigues *et al.*, 2018). No entanto, estes modelos variam amplamente na sua estrutura, desde abordagens determinísticas com pressupostos fixos (Band *et al.*, 2005; Tucker, 1996a, 1996b), até abordagens probabilísticas mais sofisticadas que incorporam variabilidade e incerteza (Desholm, 2006; Eichhorn *et al.*, 2012). Além disso, os modelos variam em termos de cálculo e respetivo grau de complexidade, bem como em relação aos dados de *input* necessários acerca das características das aves, da área de estudo e do PE, podendo diferir o tipo de *output* representativo do risco de colisão (Masden & Cook, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018). Os CRM também podem ser aplicados em diferentes âmbitos, podendo, por um lado, ser dirigidos a PE *offshore* ou *onshore* ou, por outro, ao nível do indivíduo ou da população (respetivamente, McAdam, 2015; Smales *et al.*, 2013). A variabilidade de pressupostos que estão na base da construção destes modelos, aliada ao facto da sua utilização poder ou não já ter sido validada, possibilita uma análise comparativa das vantagens, desvantagens, suposições e aplicabilidade em processos de AIA entre diferentes CRM. Exemplos desse tipo de análises podem ser encontrados nos estudos realizados por Masden & Cook (2016) e por Rodrigues *et al.* (2018). De facto, estes autores descreveram sucintamente 10 modelos do risco de colisão e realizaram uma análise comparativa entre os mesmos (Masden & Cook, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018), embora com objetivos diferentes. Enquanto o estudo mais antigo dos dois se foca nas variações dos dados de *input* que servem de base a cada modelo, nos *outputs* produzidos e nas principais limitações e suposições de cada um (Masden & Cook, 2016), Rodrigues *et al.* (2018) agregam os modelos e comparam-nos de forma mais sucinta não só entre si, mas também com outro tipo de ferramentas para avaliação do risco de colisão, como

índices de vulnerabilidade (e.g. Noguera *et al.*, 2010). Embora o processo de desenvolvimento de novos modelos de risco de colisão tenha sido crescente nos últimos tempos (Cook *et al.*, 2025), no presente capítulo é realizada uma análise comparativa semelhante às efetuadas por Masden & Cook (2016) e por Rodrigues *et al.* (2018) apenas para esses mesmos 10 modelos (Tabela 5).

Apesar das variações de cálculo existentes entre modelos, todos os apresentados incorporam a probabilidade de colisão de um atravessamento da área de varrimento das pás de um AG por parte de uma ave, podendo variar a forma como essa probabilidade é estimada ou incluída no modelo. Além disso, a maioria destas ferramentas segue uma regra comum, nomeadamente relativa à separação do cálculo do risco de colisão em duas fases, uma que prevê o número de aves expostas ao risco de colisão e outra cujo objetivo é calcular a probabilidade de uma ave colidir (*vide* subcapítulo 3.1.), verificando-se a maioria das diferenças de cálculo entre CRM relacionadas com a primeira fase (Masden & Cook, 2016). Um exemplo representativo destas diferenças pode obter-se comparando os modelos de Tucker (1996a), de Band *et al.* (2007) e de outros modelos que se baseiam em algum destes (respetivamente, Holmstorm *et al.*, 2011; Eichhorn *et al.*, 2012). Enquanto o modelo construído por Tucker (1996a) calcula a probabilidade de colisão considerando sobretudo variáveis específicas (principalmente relativas à morfologia) aos níveis da espécie e do PE (exclusivamente relativas às características dos AG), Band *et al.* (2007) recorreram a variáveis integradas nessas mesmas categorias para estimar o número de aves que colide com AG em determinado PE. Já Holmstorm *et al.* (2011), por um lado, basearam-se no modelo de Tucker (1996a), por forma a incluir ângulos oblíquos de aproximação da ave relativamente ao AG. Por outro lado, Eichhorn *et al.* (2012) recorreram ao método de cálculo da segunda fase (probabilidade de colisão associada a um atravessamento da área de varrimento das pás de um AG) do modelo de Band *et al.* (2007), com o objetivo de calcular a taxa de mortalidade de milhafres-reais *Milvus milvus*. No entanto, Eichhorn *et al.* (2012) adaptaram a primeira fase (estimativa de aves expostas ao risco de colisão) do modelo de Band *et al.* (2007) de forma a incluir variáveis como a distância da ave ao seu ninho, a qualidade do habitat, a probabilidade de evitação, entre outras.

Outros modelos, como os de Desholm (2006) e de Bolker *et al.* (2014), assumem uma probabilidade de colisão fixa e conhecida, utilizando-a como constante em detrimento do cálculo de uma probabilidade variável. No caso do modelo de Desholm (2006), dirigido a PE *offshore*, embora o valor da probabilidade de colisão seja fixo e baseado no modelo de

Tucker (1996a), incorpora diversas variáveis ao nível da espécie (e.g. abundância de aves migradoras, proporção de aves que atravessa a área vertical e horizontal considerada de perigo sem comportamento de evitação), assumindo uma perspectiva estocástica, ou seja, considerando variabilidade nos dados de *input* (Tabela B 2, Anexo B). Já Bolker *et al.* (2014) construiu um modelo determinístico, aplicado no âmbito de PE *onshore*, que incorpora a configuração espacial dos AG como uma variável para estimar o número médio de AG que uma ave encontra durante o seu atravessamento por um PE.

Uma abordagem diferente é a tomada pela *U. S. Fish and Wildlife Service* (2013), que desenvolveu um modelo com base em estatística Bayesiana. Neste modelo, aplicado pelos autores às espécies águia-real e pigargo-americano *Haliaeetus leucocephalus*, o resultado é obtido com base na taxa de aves expostas ao risco de colisão, na probabilidade de colisão dada a exposição a esse risco de acordo com Whitfield (2009) e num fator de expansão que escala a taxa de mortalidade para um número estimado de aves que colidem anualmente. Embora o modelo não inclua detalhes mecânicos relativos ao evento de colisão, permite a atualização da probabilidade de colisão à medida que são incorporados novos dados relativos à mortalidade observada (Rodrigues *et al.*, 2018; *U. S. Fish and Wildlife Service*, 2013). No entanto, caso não exista oportunidade para obter esse tipo de dados, o modelo mantém-se simplista (Masden & Cook, 2016).

É importante referir que, embora os CRM constituam um tipo ferramenta muito útil para estimar colisões de aves com AG, providenciando informação relativa a potenciais impactes provocados pela implementação de PE, apresentam algumas limitações de forma relativamente generalizada. Uma das limitações mais comuns entre diferentes CRM é o facto de ser considerada uma relação linear entre a abundância e o risco de colisão, o que nem sempre é um facto (*vide* subcapítulo 3.1.1.6), uma vez que tanto a abundância como o risco de colisão interagem com uma grande diversidade de variáveis (Marques *et al.*, 2014). Outras limitações são relativas ao comportamento de voo das aves: a maioria dos modelos assume que o comportamento de evitação é constante entre todos os indivíduos de determinada espécie, o que é improvável (Masden & Cook, 2016); alguns modelos assumem um fluxo constante de aves que atravessa a área do PE, o que pode levar uma sobrestimação do número de aves que atravessa o PE em casos em que as aves não se deslocam à velocidade considerada no cálculo do fluxo, bem como em casos em que as aves se deslocam erraticamente dentro da área do PE, como acontece com frequência (Linder *et al.*, 2022b); muitos modelos requerem dados da velocidade de voo como *input*, sendo recorrente a utilização de valores fixos (e.g. velocidade média por espécie) com base

na simples consulta de referências bibliográficas como Alerstam *et al.* (2007), porém as velocidades tomadas pelas aves não são fixas e dependem de outras variáveis, como as condições meteorológicas e a sua atividade em cada momento (Masden *et al.*, 2021). Os métodos utilizados para obter os dados de *input* para cada modelo também podem constituir uma limitação. Por exemplo, pode ser difícil distinguir se duas observações de uma ave, realizadas mediante o método dos pontos fixos de observação, correspondem ao mesmo indivíduo ou a indivíduos diferentes, distinção esta importante, uma vez que cada ave só pode colidir uma vez (assumindo que uma colisão equivale a um evento de mortalidade) e que a sobrestimação do número de aves que utiliza determinada área pode levar à sobrestimação do número de colisões (Masden e Cook, 2016). Outra grande limitação dos CRM é a falta de validação estatística de resultados, sendo esta uma das que exige atualmente maior urgência para mitigar (Cook *et al.*, 2025). O modelo da U.S. Fish and Wildlife Service (2013) pode constituir uma possível solução, uma vez que, embora não englobe a validação dos resultados produzidos pelo modelo, permite um constante refinamento dos mesmos por integração de dados empíricos relativos a colisões. Finalmente, existe a necessidade de os modelos serem mais transparentes e reproduzíveis por outras partes, sendo importante a admissão de incerteza associada aos valores dos parâmetros e aos cálculos necessários para desenvolvimento do modelo (Masden & Cook, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018).

É importante referir que existem outras ferramentas além de CRM que podem ser úteis para a avaliação do risco de colisão de aves de rapina com AG. Por exemplo, a utilidade de mapas de sensibilidade para identificar zonas de elevado risco para a implementação de PE é consensual (Estellés-Domingo & López-López, 2024). Estes mapas podem ser construídos tendo como foco o estudo de diferentes fatores, tais como: a presença de aves, incluindo aves de rapina, a alturas de voo consideradas de risco (Gauld *et al.*, 2022; Khosravifard *et al.*, 2020; Vignali *et al.*, 2022); os recursos de vento em áreas frequentadas por aves de rapina (Miller *et al.*, 2014; Balotari-Chiebao *et al.*, 2018); a abundância de aves de rapina suscetíveis à colisão e a proximidade tanto a áreas de reprodução ou de alimentação (Percival, 2005), como a áreas de acentuados declives (Singh *et al.*, 2016; Poessel *et al.*, 2018). Tal como referido anteriormente, Rodrigues *et al.* (2018) realizaram uma análise comparativa entre algumas ferramentas deste tipo, salientando o índice de perigo de colisão desenvolvido pela Bio3 (2008) como uma das ferramentas mais úteis para o processo de tomada de decisão, considerando o contexto de AIA em Portugal. Os autores justificam essa seleção de ferramentas úteis principalmente pelos resultados produzidos em forma de mapas intuitivos, que podem apoiar a decisão quanto à seleção dos locais

ideais para implementação de AG, mas também por não precisarem de um grande esforço de amostragem (Rodrigues *et al.*, 2018). Rodrigues *et al.* (2018) referem, ainda, que a integração do índice de risco de fatalidade para espécies ibéricas criado por Soares (2014) na aplicação da ferramenta da Bio3 (2008) poderia melhorar significativamente as avaliações de risco de colisão em PE. O motivo da abordagem sugerida pelos autores consiste no facto da ferramenta de Soares (2014) poder ajudar a direccionar esforços de conservação para espécies mais sensíveis, uma vez que é capaz de classificar espécies mais propensas a serem afetadas, bem como permite a incorporação de novos dados de mortalidade para ajuste dos resultados (Rodrigues *et al.*, 2018). De forma a demonstrar como uma destas ferramentas é útil no contexto de processos de AIA em Portugal, Rodrigues *et al.* (2018) aplica um dos índices analisados (Bio3, 2008) a um estudo de caso, aplicando a ferramenta referida aos dados recolhidos num PE situado do Parque Natural da Serra de Aire e Candeeiros, com o objetivo de estimar as áreas de maior risco de colisão para a população de peneireiros-de-dorso-malhado residente na área do PE. Embora os resultados obtidos pelos autores não tenham sido estatisticamente validados, indicam uma relação entre as áreas associadas ao elevado risco de colisão e as áreas onde foram encontrados maiores números de cadáveres da espécie (Rodrigues *et al.*, 2018). No entanto, segundo Cook *et al.* (2025), este tipo de abordagens é mais simples e deve ser utilizada apenas em caso de ausência de dados, situação que pode ser mais frequente, por exemplo, em países onde o estado de desenvolvimento de PE não é tão elevado como na Europa e América do Norte, mas para os quais se estima que o crescimento será rápido nos próximos anos (Ram *et al.*, 2022). Efetivamente, este tipo de ferramentas funciona normalmente como um índice, ou seja, produz um resultado relativo que permite identificar áreas e/ou espécies mais vulneráveis à colisão do que outras, mas não um número estimado de colisões ou uma probabilidade de colisão (Rodrigues *et al.*, 2018).

Deste modo, apesar das limitações atuais dos CRM, no presente trabalho considera-se que este tipo de modelos constitui uma melhor ferramenta para apoiar a tomada de decisão, uma vez que permite às entidades licenciadoras dos processos de AIA tomar conhecimento de um número previsto de colisões por espécie, podendo esse número ser ou não aceitável consoante, entre outras características, o grau de ameaça da espécie ou das suas populações em território nacional. Este é o principal motivo pelo qual a Tabela 5 inclui apenas a análise a CRM, bem como constitui a justificação de que o próximo capítulo seja dirigido exclusivamente a esses modelos e não a outras ferramentas de avaliação do risco de colisão.

Tabela 5 – Análise de CRM realizada com base em Masden & Cook (2016) e Rodrigues *et al.* (2018), bem como nos documentos citados na respetiva coluna. O âmbito de utilização do CRM é relativo à distinção entre os níveis do indivíduo e da população, bem como entre PE *offshore* e *onshore*. O tipo de modelos é relativo à distinção entre modelos determinísticos, estocásticos ou que incluem elementos estocásticos. São apresentadas as categorias de variáveis incluídas como parâmetros de *input* do modelo. É referida a forma como é apresentado o resultado (*output*) de cada CRM. É referido se o CRM foi ou não validado (o «não» não deve ser interpretado como absoluto neste caso, pois pode ser referente apenas à ausência de validação estatística). É mencionado se o CRM se adequa a processos de AIA ou não. Os resultados relativos aos restantes parâmetros enunciados no subcapítulo 2.2 encontram-se apresentados no Anexo B (Tabela B 2).

CRM	Âmbito de utilização	Tipo de modelo	Dados de <i>input</i>	Dados de <i>output</i>	Validação	Aplicabilidade em AIA
Band <i>et al.</i> (2007)	Dirigido a uma população <i>Onshore</i>	Determinístico	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível do PE	Número de aves que colide	Não	Sim
Band (2012a, 2012b)	Dirigido a uma população <i>Offshore</i>	Inclui elementos estocásticos	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível do PE	Número de aves que colide	Não	Sim
Bolker <i>et al.</i> (2014)	Dirigido ao indivíduo <i>Onshore</i>	Determinístico	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível da área de estudo Variáveis ao nível do PE	Número de AG encontrados pelas aves	Não	Não
Desholm (2006)	Dirigido a uma população <i>Offshore</i>	Estocástico	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível da área de estudo Variáveis ao nível da tipologia do PE	Número de aves que colide	Sim	Sim
Eichhorn <i>et al.</i> (2012)	Dirigido ao indivíduo <i>Onshore</i>	Estocástico	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível da área de estudo Variáveis ao nível do parque eólico	Taxa de mortalidade	Sim	Sim
Holmstrom <i>et al.</i> (2011)	Dirigido ao indivíduo <i>Offshore/onshore</i>	Determinístico	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível da área de estudo Variáveis ao nível do PE	Probabilidade de colisão	Não	Não
McAdam (2005)	Dirigido ao indivíduo <i>Offshore</i>	Inclui elementos estocásticos	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível da área de estudo Variáveis ao nível do PE	Número de aves que colide	-	Sim
Podolsky (2008)	Dirigido ao indivíduo <i>Onshore</i>	Determinístico	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível do PE	Probabilidade de colisão	Não	Sim
Smales <i>et al.</i> (2013)	Dirigido a uma população <i>Onshore</i>	Determinístico	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível da tipologia do PE	Número de aves que colide	Sim	Sim
Tucker (1996a, 1996b)	Dirigido ao indivíduo <i>Offshore/onshore</i>	Determinístico	Variáveis ao nível da espécie Variáveis ao nível da área de estudo Variáveis ao nível do PE	Probabilidade de colisão	Não	Não
U.S. Fish & Wildlife Service (2013)	Dirigido a uma população <i>Onshore</i>	Estocástico	Taxa de aves expostas ao risco de colisão Probabilidade de colisão Fator de expansão que escala a taxa de mortalidade	Número de aves que colide	Não	Não

3.3 Seleção do CRM mais adequado aos dados do estudo de caso

O objetivo final do presente estudo é selecionar a ferramenta de avaliação de impactos de um PE sobre aves de rapina que mais se adeque aos dados obtidos no âmbito do estudo de caso, sugerindo as adaptações para que tal aplicação seja apropriada. Contudo, é importante ter em conta que, embora estes dados tenham sido recolhidos na fase de AIA de pós-avaliação, as ferramentas referidas no capítulo anterior foram analisadas com base numa perspetiva de aplicação na fase de pré-construção de um PE, uma vez que é nessa fase que é possível tomar decisões relativamente à implementação e à localização dos AG. Assim, deve ser tida em conta a possibilidade de influência da presença do PE sobre os valores tomados por determinadas variáveis que constituam parâmetros de *input* da ferramenta selecionada como mais adequada.

De qualquer forma, a aplicação da ferramenta selecionada sobre os dados do estudo de caso poderia ser útil por mais do que um motivo: a mesma ferramenta seria adequada para qualquer estudo de pré-avaliação que seja realizado de modo a recolher dados relativos a variáveis semelhantes à do estudo de caso; determinados dados, que podem ou não ser necessários como parâmetros de *input*, só podem ser recolhidos caso o PE já esteja construído (e.g. taxas de mortalidade, taxas de evitação); e não é conhecido de forma precisa o nível de intensidade de influência da presença do PE sobre as variáveis influenciadas e nem todas essas variáveis foram consideradas de integração relevante ou muito relevante num CRM.

Tal como descrito no subcapítulo 2.2.2, o processo de seleção do CRM mais adequado aos dados do estudo de caso iniciou-se com a avaliação da relevância das variáveis consideradas parâmetros de *input* em cada CRM. É importante referir que nem todos esses parâmetros foram alvo da avaliação de relevância efetuada anteriormente (Figura 6), uma vez que essa avaliação foi realizada de acordo com referências bibliográficas que não recorriam a análises do risco de colisão mediante aplicação de CRM (*vide* subcapítulo 2.1). Neste sentido, é importante ter em conta que as variáveis não avaliadas no presente trabalho podem incluir variáveis relevantes e/ou muito relevantes, o que poderia ter implicações nos resultados. Considerando esta situação, destaca-se o modelo da U.S. Fish and Wildlife Service (2013), uma vez que não é incluído na análise por assumir uma abordagem de cálculo diferente e por incorporar exclusivamente probabilidades como dados de *input* (Figura 6). O número de variáveis não avaliadas no presente trabalho variou entre zero e um máximo de 15 variáveis (média de aproximadamente 4 variáveis por modelo). Além das variáveis não avaliadas, é importante

referir que, por vezes, não foi encontrada informação específica quanto à inclusão de determinados parâmetros em certos modelos (por exemplo, “características dos AG” sem especificação; Anexo B, Tabela B 2). Nestes casos, os parâmetros foram contabilizados como um único e foi considerada a classe de maior relevância encontrada em qualquer variável que esteja integrada nesse fator, de acordo com a Tabela 4.

Os resultados demonstram uma clara variação no número total de variáveis integradas por CRM (Figura 6), desde um mínimo de 6 variáveis (Bolker *et al.*, 2014) a um máximo de 23 variáveis (Podolsky, 2008), sendo a média de aproximadamente 11 variáveis por modelo. No que concerne à proporção de variáveis consideradas no presente trabalho como relevantes e muito relevantes, os resultados também oscilam consoante o modelo, nomeadamente entre os 22% (Podolsky, 2008) e os 86% (Smales *et al.*, 2013) das variáveis integradas no modelo (média de aproximadamente 53% por modelo). Além disso, 5 dos 10 modelos estão associados a proporções de variáveis relevantes ou muito relevantes iguais ou superiores a 50%, nomeadamente: o de McAdam (2005) com 50%; o de Eichhorn *et al.* (2012) com 57%; o de Desholm (2006) com 75%; o de Bolker *et al.* (2014) com 83%; e o já referido como o de maior número de variáveis associadas a estas classes de relevância. O modelo de Smales *et al.* (2013) destaca-se, ainda, por ser o associado a um maior número de variáveis muito relevantes, sendo o único com 4.

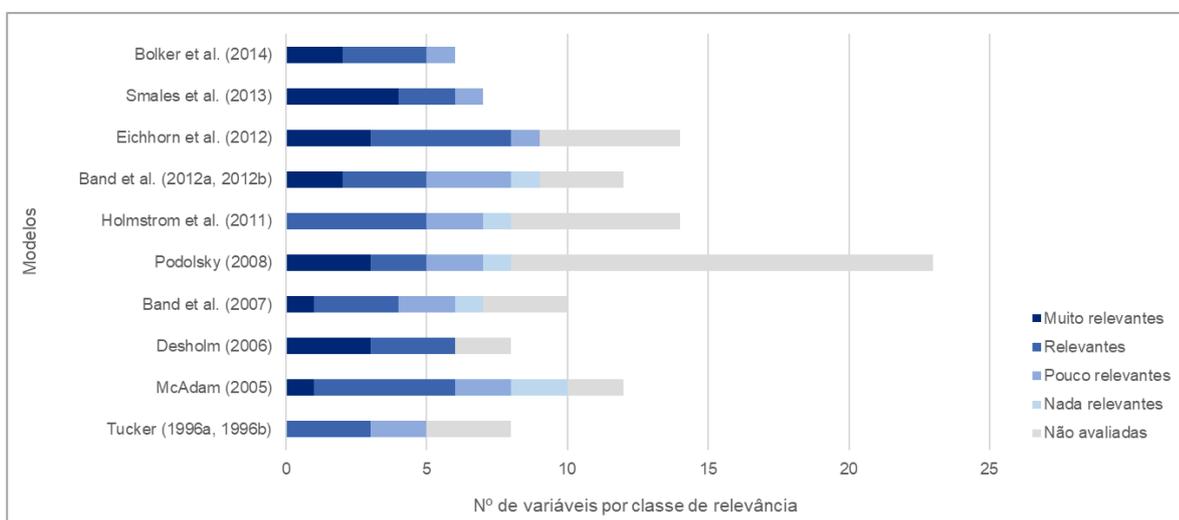


Figura 6 – Gráfico de barras representativo do número de variáveis por classe de relevância atribuída para cada um dos CRM analisados.

Apesar dos modelos de Bolker *et al.* (2014) e o de Smales *et al.* (2013) corresponderem àqueles com maiores proporções de variáveis relevantes ou muito relevantes, bem como não incluem variáveis não avaliadas quanto à relevância no presente trabalho (Figura 6), não incluem elementos estocásticos (Tabela 5), ou seja, não incorporam variabilidade nem incerteza dos parâmetros de *input* necessários para aplicação do modelo.

No entanto, Smales *et al.* (2013) referem que o modelo pode ser adaptado para correr simulações do tipo Monte Carlo, o que poderia contrariar essa desvantagem. Já em relação ao modelo mais recente dos dois referidos, além de não ser sugerida pelos autores uma forma de contornar a sua perspetiva determinística, este assume uma probabilidade de colisão fixa e conhecida que incorpora todo o comportamento de evitação. Além disso o modelo de Bolker *et al.* (2014) fornece como *output* o número de AG encontrados pelas aves ao atravessar um PE, em detrimento do número de colisões estimadas ou de uma probabilidade de colisão (Tabela 5), o que claramente reduz a sua aplicabilidade no contexto de AIA. Por estes motivos, a análise do tipo de modelo serve apenas para excluir o modelo de Bolker *et al.* (2014) como o mais adequado aos dados obtidos no âmbito do estudo de caso.

No que concerne ao âmbito de utilização dos restantes 4 modelos com maiores proporções de variáveis relevantes ou muito relevantes, dois deles foram construídos de forma dirigida a PE *offshore*, nomeadamente o de Desholm (2006) e o de McAdam (2005). Ainda assim, a sua adaptação para o âmbito de análise em PE *onshore* poderia ser útil, uma vez que este tipo de adaptações (entre outras) é possível por forma a tornar determinado modelo mais adequado a determinado estudo, como já foi demonstrado em diversos casos (Cook *et al.*, 2025). No entanto, o modelo de Desholm (2006) está associado à principal desvantagem de assumir uma probabilidade de colisão fixa e conhecida calculada com base no modelo de Tucker (1996a), enquanto o modelo de McAdam (2005), além de incorporar apenas uma variável muito relevante como parâmetro de *input*, não considera colisões com objetos estacionários (*e.g.* AG parados, torre). Desta forma, ficam excluídos estes 2 modelos, restando apenas os de Eichhorn *et al.* (2012) e de Smales *et al.* (2013) como os potencialmente mais adequados para análise do risco de colisão no contexto do estudo de caso.

Como referido anteriormente no subcapítulo 3.2, o modelo de Eichhorn *et al.* (2012) foi construído de forma dirigida à espécie milhafre-real, o que leva a uma das suas principais desvantagens: para ser aplicado de forma dirigida a um PE onde é conhecida a ocorrência de várias espécies, tem de ser considerada a sua aplicação espécie a espécie de forma cumulativa até ser obtida uma taxa de mortalidade global para um grupo de espécies (*e.g.* aves de rapina) ou para a totalidade de espécies que ocorra nessa área. Esta desvantagem, considerada de forma conjunta ao facto de se tratar de um modelo computacionalmente muito intensivo (Rodrigues *et al.*, 2018), leva a que a sua aplicação de forma dirigida a dados recolhidos no âmbito de um projeto envolvido num processo de AIA seja demasiado

morosa. Além disso, o modelo apresenta a desvantagem adicional de não considerar a possibilidade de aproximação das aves aos AG por ângulos oblíquos (Masden & Cook, 2016). Quando à informação disponível a partir da recolha de dados efetuada no âmbito do estudo de caso, existem algumas variáveis para as quais seria difícil obter informação e/ou esta informação poderia ser pouco fiável (Anexo D): uma vez que o programa decorre em fase de pós-construção e que o CRM se dirige à fase de pré-construção, algumas variáveis podem ser influenciadas pela presença do PE; as alturas de voo são recolhidas em forma de intervalos, pelo que não seria possível obter o raio dos movimentos circulares especificamente a 100 m de altura (*vide* subcapítulo 2.3.2); os dados relativos à evitação são recolhidos na forma de observação/ausência de observação de alteração de rota no momento em que uma ave atravessa a área circundante aos AG, o que poderia dificultar o cálculo da probabilidade de evitação; são apenas apontadas as horas iniciais de cada observação, o que impossibilita a recolha do parâmetro “tempo máximo de ocorrência numa célula” de forma literal; e nem todas as espécies registadas no âmbito do estudo de caso nidificam na área, para que seja calculada uma distância ao ninho.

Já para aplicação do modelo de Smales *et al.* (2013) é necessário um grupo de variáveis como parâmetros de *input* consistente com as que são recolhidas no âmbito do estudo de caso (Anexo D). Além disso, o modelo poderia ser adaptado por forma a integrar mais variáveis ao nível da área de estudo (*e.g.* influência das condições de vento e do potencial de ascensão em térmicas sobre os movimentos) e ao nível da espécie (*e.g.* comportamento social, altura de voo), bem como poderia ser desconstruída a variável “tamanho da ave” noutras variáveis morfológicas com maior relevância (*e.g.* *wing loading*, *aspect ratio*). É, de facto, importante garantir que os CRM contenham parâmetros suficientes para representar adequadamente os processos analisados (Cook *et al.*, 2025). No entanto, para manter o desempenho do modelo satisfatório, deve evitar-se que sejam incorporados demasiados parâmetros (Cook *et al.*, 2025; Getz *et al.*, 2018). Maior transferibilidade também é uma característica genérica de modelos que integram menor número de parâmetros (Schuwirth *et al.*, 2019). No caso dos CRM considerados no presente estudo, interessa referir que o modelo de Eichhorn *et al.* (2012) requer 14 parâmetros de *input*, o que corresponde ao dobro dos necessários para aplicação do modelo de Smales *et al.* (2013) (Anexo D). Como referido anteriormente, por forma a integrar a variabilidade e incerteza de determinados parâmetros, o modelo poderia, ainda, ser adaptado por forma a possibilitar a realização de simulações do tipo Monte Carlo. É ainda de ter em conta que o *output* deste modelo providencia o número de movimentos de risco por ano (Cook *et al.*, 2025; Masden & Cook, 2016; Smales *et al.*, 2013). Considerando

o contexto de AIA, um resultado mais aproximado de uma taxa de mortalidade prevista seria mais útil como apoio à tomada de decisão relativamente à construção do PE e/ou à localização dos AG. Neste sentido, este modelo poderia ser adaptado por forma a servir apenas de cálculo para a primeira fase do modelo de Band *et al.* (2007), sendo depois transformado no número de colisões previstas através da aplicação da segunda fase do modelo de Band *et al.* (2007), mas considerando os subsequentes desenvolvimentos sobre este (Band *et al.*, 2012a, 2012b). Este não é um raciocínio original, na medida em que já foram realizadas adaptações semelhantes para outros modelos (Cook *et al.*, 2025; Masden & Cook, 2016), sendo disso exemplo o de Eichhorn *et al.* (2012).

É importante reforçar que, tal como referido no início do presente capítulo, embora a análise efetuada tenha sido dirigida à seleção de um único CRM como o mais adequado aos dados obtidos no âmbito do estudo de caso, os resultados apresentados não são absolutos, na medida em que a análise efetuada é relativamente subjetiva. Tal subjetividade é motivada não só pelo facto de haver variáveis não avaliadas pelo presente trabalho na maioria dos modelos estudados, mas também pelo facto de não terem sido encontrados determinados parâmetros de *input* específicos para a aplicação de determinados modelos na bibliografia consultada. Efetivamente, Rodrigues *et al.* (2018), por exemplo, refere que a aplicação dos modelos de Band *et al.* (2007) e de Podolsky (2008) seria interessante para o processo de tomada de decisão no contexto de AIA em Portugal, desde que supridos os seus intensivos requerimentos de recolha de dados em terreno. De facto, o modelo mais antigo dos dois referidos é um dos mais utilizados a nível global e em particular no contexto europeu (Masden & Cook, 2016), estando até na base de muitos outros modelos construídos posteriormente (Cook *et al.*, 2025). Já o modelo de Podolsky (2008), excluído através da presente análise por ter uma reduzida proporção de variáveis avaliadas como relevantes ou muito relevantes, inclui muitas variáveis não avaliadas no presente trabalho (cerca de 65% das necessárias como parâmetros de *input*). Este modelo apresenta algumas vantagens, incluindo o facto de simular a influência de muitas variáveis, particularmente específicas ao nível da espécie e da tipologia do PE, sobre o risco de colisão (Tabela B 2, Anexo B). Outro modelo cuja aplicação poderia ser bastante interessante é o da U.S. Fish and Wildlife Service (2013), pela sua abordagem ser bastante mais simples e pelo facto do seu resultado (medido como o número de aves previsto a colidir) poder ser atualizado através da integração contínua de dados de mortalidade. A quantidade de dados de mortalidade recolhidos no âmbito do estudo de caso constitui uma boa oportunidade para, eventualmente, testar este modelo. De notar que, nesse caso, deveria manter-se a atualização constante do CRM, por forma a contornar a sua

simplicidade inicial (Masden & Cook, 2016).

Estes dados de mortalidade proporcionam, ainda, a possibilidade de realizar uma validação dos resultados do CRM selecionado após a sua eventual aplicação, passo este muitas vezes ausente em estudos baseados na aplicação de CRM, o que constitui uma atual lacuna de conhecimento (Cook *et al.*, 2025; Masden & Cook, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018). Outra lacuna de conhecimento relativa a este tema consiste na falta de estudos que comparem resultados de diferentes CRM não só entre eles, mas com dados de mortalidade (Cook *et al.*, 2025). Neste sentido, poderia ser efetuada tal análise comparativa, por exemplo, mediante aplicação dos 5 modelos anteriormente elencados como necessitando de maior proporção de variáveis relevantes ou muito relevantes como parâmetros de *input*.

4 Considerações finais

Atualmente, conhecem-se relativamente bem as causas que potenciam colisões de aves de rapina com AG (Estellés-Domingo & López-López, 2024; Watson *et al.*, 2018). No entanto, o nível de influência de cada uma dessas causas sobre o risco de colisão, bem como a complexidade das suas relações entre si e para com esse risco atravancam a precisão das previsões de tal impacte. Destas relações, salienta-se que variáveis aos níveis da população, da fenologia e da sazonalidade estão intrinsecamente interrelacionadas (Barrios & Rodríguez, 2004; De Lucas *et al.*, 2008), o que pode dificultar a determinação do seu valor individual, explicativo ou preditivo, em determinado modelo. Outro exemplo de fator que tem implicações com diversas variáveis é o comportamento, uma vez que pode ser influenciado pela morfologia (Rayner, 1988), perceção sensorial (May *et al.*, 2015), ou idade (Hunt, 2002). Assim, determinados modelos podem não incorporar variáveis presentemente categorizadas como relevantes ou muito relevantes por integrar alternativas que contribuem com o mesmo tipo de informação. Por exemplo, variáveis morfológicas podem ser descartadas caso se analisem determinadas variáveis comportamentais.

É importante referir que o método utilizado para realizar a recolha de dados em terreno pode influenciar tanto a abordagem de cada variável, como a forma como cada classe ou valor tomados pela variável estão respetivamente associados a valores probabilísticos ou a distribuições de probabilidades que representem a sua contribuição relativa para o risco de colisão. A utilização de dados emitidos por GPS (Khosravifard *et al.*, 2020), recolhidos com recurso a radar (Desholm, 2006), ou a outros sistemas mais modernos (Linder *et al.*, 2022a, 2022b) podem ser úteis para aumentar a precisão de variáveis com a altura de voo, a velocidade de voo ou o comportamento de evitação (Marques *et al.*, 2014; Masden & Cook, 2016). O recurso a este tipo de métodos pode ser útil para mitigar a eventual incerteza de determinados parâmetros, provocada pela utilização de métodos mais elementares, como pontos fixos de observação, que são muitas vezes a base da aplicação de CRM em contexto de AIA (Cook *et al.*, 2025).

Assim se constata que as variáveis a considerar devem ser selecionadas de acordo com os seguintes aspetos: a) escala geográfica, uma vez que a avaliação do risco de colisão pode ser efetuada para decidir a localização do PE, ou dos AG que o integram; b) métodos utilizados para a recolha de dados, na medida em que determinadas variáveis podem ser obtidas sem necessidade de recolha de dados no terreno, enquanto outras podem ser obtidas através de diferentes métodos ou requerem a utilização de um específico; c) espécies estudadas, pois determinadas variáveis podem ser mais ou menos

relevantes consoante o seu *taxon* e a sua abordagem de estudo (a nível individual ou coletivo); e d) localização da área de estudo, que influencia os padrões de ocorrência das espécies, bem como está associada a determinadas condições meteorológicas e características orográficas.

Existem limitações no que toca à informação disponível para prever o risco de colisão de aves de rapina com AG. Saliem-se como as variáveis mais estudadas as específicas ao nível da espécie, particularmente as englobadas pelo fator comportamento. Já como as variáveis mais raramente estudadas, destacam-se algumas específicas ao nível da área de estudo, como a disponibilidade de alimento e condições meteorológicas, e ao nível da tipologia do PE, como a visibilidade das infraestruturas e a luminosidade que emitem (Marques *et al.*, 2014). Já as variáveis mais comumente utilizadas em CRM são as específicas ao nível da tipologia do PE, particularmente as relativas a características de AG (Masden & Cook, 2016). Tal como esta variabilidade de conhecimento influenciou a avaliação das variáveis efetuada no presente trabalho, pode afetar a disponibilidade de dados para realização de outros estudos. Outra limitação relativa à informação disponível é o facto de a maioria das publicações focadas na identificação das causas de colisões de aves com AG raramente referirem CRM ou comentarem apenas de forma breve a sua existência e o seu propósito (e.g. Estellés-Domingo & López-López, 2024; Marques *et al.*, 2014). Já os estudos que se focam na aplicação e/ou análise de CRM pouco refletem sobre a importância individual de cada variável ou de outras variáveis que não foram integradas no modelo e que poderiam ter sido (e.g. Masden & Cook, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018). No entanto, o presente trabalho demonstra que esta divisão da análise do risco de colisão de aves com AG em duas vertentes de estudo deve ser minimizada tanto quanto possível.

A utilização de CRM acarreta dificuldades de implementação. Por um lado, em Portugal os maiores investimentos em contexto de AIA não são normalmente dirigidos à fase de pré-construção, mas sim à fase de exploração dos PE, devido às exigências de monitorização muitas vezes definidas nas respetivas DIA (Rodrigues *et al.*, 2018). Assim, é comum que só nessa fase exista a possibilidade de estudar aprofundadamente determinados aspetos, tal como se pode verificar através do estudo de caso apresentado neste trabalho. Ainda assim, é clara a necessidade de aplicar ferramentas de avaliação prévia do risco de colisão sobre aves de rapina, especialmente nos países em que não seja uma prática recorrente (Cook *et al.*, 2025). Para um decisor político, poderá ser suficiente a utilização de outro tipo de ferramentas de mais fácil implementação, por exemplo o índice desenvolvido pela Bio3 (2008) adaptado por Rodrigues *et al.* (2018). No entanto, do ponto

de vista da conservação de aves de rapina, o interesse na aplicação de CRM é proeminente, uma vez que proporciona indicadores concretos em detrimento da análise relativa desenvolvida com base em índices de vulnerabilidade (Cook *et al.*, 2025). Independentemente da ferramenta selecionada para avaliar este impacto, caso as entidades reguladoras de processos de AIA (e.g. APA, ICNF) exigissem a aplicação de tais ferramentas (e.g. como condicionantes apresentadas em DIA), seria previsível uma maior adesão a este tipo de abordagens a nível nacional durante a fase de EIA. De facto, após emissão das DIA, o processo de AIA prevê a execução de um Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE) do projeto, no qual o proponente de um projeto deve demonstrar que a sua execução está em conformidade com as condições estabelecidas na DIA (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021). Uma vez que é emitida uma DCAPE sobre cada RECAPE, seria possível para as entidades reguladoras confirmar a implementação deste tipo de ferramentas. É de notar que a aplicação de um CRM aos dados obtidos no âmbito do estudo de caso presentemente descrito não colmata a falta de uso destas ferramentas em Portugal, pois tais dados são recolhidos em fase de pós-avaliação. Ainda assim, esse exercício seria não só pioneiro no contexto de AIA português, como também útil a uma maior escala, particularmente caso aplicado mais de um modelo e efetuada uma análise comparativa entre várias previsões.

Por outro lado, a acessibilidade e complexidade dos CRM provocam alguma inércia quanto à sua utilização a nível nacional. O modelo de Smales *et al.* (2013), presentemente selecionado como o mais adequado ao estudo de caso, é um bom exemplo destas dificuldades, uma vez que se baseia num *software* de acesso limitado aos proprietários. Tornar os modelos existentes disponíveis através de linguagens de programação (e.g. “R”), contribuiria para contornar estas limitações, uma vez que os tornaria mais transparentes e acessíveis a todas as entidades envolvidas em processos de AIA (Cook *et al.*, 2025). Embora nos últimos tempos tenha havido bastantes desenvolvimentos relativamente a este tipo de métodos, a sua adaptação para que sejam mais facilmente integrados em EIA é crucial para quebrar a atual falta de inovação destes estudos (Boess & Del Campo, 2023).

Dada a abrangência da palavra «ferramenta», é importante referir que uma das atualmente mais polémicas, mas com grande potencial de inovação, é a vulgarmente designada por inteligência artificial (IA; Dwivedi *et al.*, 2023). Este trata-se de um aspeto que não deve ser ignorado ao discutir linhas futuras, particularmente se demonstrar utilidade para apoiar o processo de tomada de decisão de um ponto de vista prático. Por exemplo, a Esri desenvolveu uma ferramenta que utiliza IA para refinar SIG, tendo por base

o conceito de “sistema nervoso geoespacial”. Esta ferramenta consiste numa rede SIG global interconectada, que recolhe e processa continuamente informação em tempo real (e.g. satélites, rastreio por GPS) de fontes multidisciplinares (e.g. biodiversidade, clima), para propiciar processos de tomada de decisão holísticos (Esri, s.d.-a). Esta abordagem pode servir de base para o desenvolvimento de CRM otimizados por IA no sentido de minimizar o erro associado às previsões do risco de colisão, particularmente se estiverem disponíveis dados ambientais recolhidos por diferentes agentes e em múltiplos locais (Esri, 2023). Este tópico inovador poderia ser explorado mais aprofundadamente não só no âmbito da produção de novos CRM, mas também a nível da sua praticabilidade de forma a popularizar o uso adequado de CRM em contexto de AIA.

Uma lacuna vulgarmente referida dos CRM é a falta de validação com recurso a dados de mortalidade (Masden & Cook, 2016; Rodrigues *et al.*, 2018). Além dos dados do estudo de caso contribuir para a mitigação dessa lacuna, uma vez que estão disponíveis dados de mortalidade recolhidos ao longo de anos sucessivos, são registados vários parâmetros relativos aos eventos de paragem de AG. De futuro, seria interessante não só aplicar um CRM aos dados obtidos no âmbito do estudo de caso, como também avaliar a possibilidade de utilizar tais parâmetros (e.g. número de movimentos que originou paragem, tempo de paragem dos AG) como *proxies* do número de cadáveres para realizar a validação dos resultados do CRM. Desta forma, seria possível compreender se é possível realizar a validação dos resultados de um CRM em PE onde não sejam recolhidos dados de mortalidade com tanta frequência como no âmbito do estudo de caso.

Concluindo, a extensa revisão bibliográfica efetuada possibilitou a identificação das principais variáveis que influenciam o risco de colisão de aves de rapina com AG, bem como a classificação da sua relevância para prever a dimensão de tal impacte, contribuindo para estudos futuros que tenham como objetivo prever o risco de colisão de aves de rapina com AG em PE *onshore*, particularmente através da aplicação de CRM.

5 Referências

- Abdelli M., Abraham Z., Andradi-Brown D., Barrett M., Bennett N., Chaplin-Kramer B., Cheng S., Deinet S., Freeman R., Glaser S., Golden-Kroner R., Loken B., Marconi V., McRae L., Nijbroek R., Opperman J., Pacheco P., Puleston H., Roe S., ... Viana D. (2024). *Living Planet Report 2024 – A System in Peril* [Relatório técnico]. Shaw R., Marchant K., Kegu A., Batka A., Graves K., Cheng S., Schon M. B., Mills E., Olwero N., Jeffries B., Weir S. (Eds.). WWF. Gland (Suíça). <https://www.worldwildlife.org/publications/2024-living-planet-report>.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2021). *Avaliação e Gestão Ambiental*. [Acessível via <https://apambiente.pt/avaliacao-e-gestao-ambiental/fases-de-aia>. Consultado em 16-03-2025].
- Agostini N., Panuccio M., Mellone U., Lucia G., Wilson S., Ashton-Booth J. (2007). Do migration counts reflect population trends? A case study of the Honey Buzzard, *Pernis apivorus*. *Ardeola* 54: 339-344. <https://www.ardeola.org/en/volumes/542/articles/339-344/?stc=ko>.
- Agostini N., Panuccio M., Pasquaretta C. (2015). Morphology, flight performance, and water crossing tendencies of Afro-Palearctic raptors during migration. *Current Zoology* 61(6): 951-958. <https://doi.org/10.1093/czoolo/61.6.951>.
- Alerstam T., Rosén M., Bäckman J., Ericson P. G. P., Hellgren O. (2007). Flight speeds among bird species: allometric and phylogenetic effects. *PLoS biology* 5(8): e197. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050197>.
- Allison T. D., Cochrane J. F., Lonsdorf E., Sanders-Reed C. (2017). A review of options for mitigating take of Golden Eagles at wind energy facilities. *Journal of Raptor Research* 51(3): 319-333. <https://doi.org/10.3356/JRR-16-76.1>.
- Allwood C. M. (2012). The distinction between qualitative and quantitative research methods is problematic. *Quality & Quantity* 46: 1417-1429. <https://doi.org/10.1007/s11135-011-9455-8>.
- Almeida J., Godinho C., Leitão D., Lopes R. J. (2022). Lista Vermelha das Aves de Portugal Continental. SPEA, ICNF, LabOR/UE, CIBIO/BIOPOLIS. Portugal. <https://www.listavermelhadasaves.pt/lista-vermelha/>.
- Arnett E. B., Baerwald E. F. (2013). Impacts of wind energy development on bats: implications for conservation. Em Adams R., Pedersen S. (Eds.), *Bat Evolution, Ecology, and Conservation* (pp. 435-456). Springer. Nova Iorque (Estados Unidos da América). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7397-8_21.
- Arrondo E., Morales-Reyes Z., Moleón M., Cortés-Avizanda A., Donázar J. A., Sánchez-Zapata J. A. (2019). Rewilding traditional grazing areas affects scavenger assemblages and carcass consumption patterns. *Basic and Applied Ecology* 41: 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2019.10.006>.

- Baisner A. J., Andersen J. L., Findsen A., Yde Granath S. W., Madsen K. Ø., Desholm M. (2010). Minimizing collision risk between migrating raptors and marine wind farms: development of a spatial planning tool. *Environmental management* 46: 801-808. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9541-z>.
- Balmori-De la Puente A., Balmori A. (2023). Flight Type and Seasonal Movements Are Important Predictors for Avian Collisions in Wind Farms. *Birds* 4(1): 85-100. <https://doi.org/10.3390/birds4010007>.
- Balotari-Chiebao F., Brommer J. E., Saurola P., Ijäs A., Laaksonen T. (2018). Assessing space use by pre-breeding white-tailed eagles in the context of wind-energy development in Finland. *Landscape and Urban Planning* 177: 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.012>.
- Band B. (2012a). *Using a collision risk model to assess bird collision risks for offshore windfarms* [Relatório técnico]. Strategic Ornithological Support Services, The Crown Estate. Reino Unido. <https://www.bto.org/our-science/wetland-and-marine/soss/projects>.
- Band B. (2012b). *Using a collision risk model to assess bird collision risks for offshore windfarms – with extended method: Worked example*. [Relatório técnico]. Strategic Ornithological Support Services, The Crown Estate. Reino Unido. <https://www.bto.org/our-science/wetland-and-marine/soss/projects>.
- Band W., Madders M., Whitfield D. P. (2007). Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. Em De Lucas M., Janss G., Ferrer M. (Eds.), *Birds and Wind Power: risk assessment and mitigation* (pp. 259-275). Quercus, Madrid, Espanha.
- Barrios L., Rodríguez A. (2004). Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of applied ecology* 41(1): 72-81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00876.x>.
- Bildstein K. L. (2006). *Migrating raptors of the world: Their ecology and conservation*. Cornell University Press. Ithaca, Nova Iorque (Estados Unidos da América).
- Bildstein K. L., Bechard M. J., Farmer C., Newcomb L. (2009). Narrow sea crossings present obstacles to migrating Griffon vultures *Gyps fulvus*. *Ibis* 151: 382–391. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2009.00919.x>.
- Bio3 (2008). *Parque Eólico da Serra do Mú - Monitorização da comunidade de aves e quirópteros. Relatório final (Fase 1 – anterior à construção)* [Relatório técnico não publicado]. Bio3 – Estudos e Projectos em Biologia e Valorização de Recursos Naturais, Lda.. Almada (Portugal).
- Boess E. R., Del Campo A. G. (2023). Motivating a change in environmental assessment practice: Consultant perspectives on SDG integration. *Environmental Impact Assessment Review* 101: 107105. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107105>.

- Bolker E. D., Hatch J. J., Zara C. (2014). Modeling how windfarm geometry affects bird mortality. *arXiv preprint* *arXiv:* 1408.1580. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1408.1580>.
- Bright J., Langston R., Bullman R., Evans R., Gardner S., Pearce-Higgins J. (2008). Map of bird sensitivities to wind farms in Scotland: a tool to aid planning and conservation. *Biological Conservation* 141(9): 2342-2356. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.06.029>.
- Cabral M. J. (Coord.) (2005). *Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal*. Almeida J., Almeida P. R., Delliger T., Ferrand de Almeida N., Oliveira M. E., Palmeirim J. M., Queirós A. I., Rogado L., Santos-Reis M (Eds.). ICNF. Lisboa (Portugal).
- Cárcamo B., Kret E., Zografou C., Vasilakis D. (2011). *Assessing the impact of nine established wind farms on birds of prey in Thrace, Greece* [Relatório técnico]. WWF. Atenas (Grécia). https://www.researchgate.net/publication/255910655_Assessing_the_impact_of_nine_established_wind_farms_on_birds_of_prey_in_Thrace_Greece.
- Carrete M., Sánchez-Zapata J. A., Benítez J. R., Lobón M., Donázar J. A. (2009). Large scale risk-assessment of wind-farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. *Biological Conservation* 142(12): 2954-2961. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.07.027>.
- Carrete M., Sánchez-Zapata J. A., Benítez J. R., Lobón M., Montoya F., Donázar J. A. (2012). Mortality at wind-farms is positively related to large-scale distribution and aggregation in griffon vultures. *Biological Conservation* 145(1): 102-108. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.10.017>
- Clements J. F., Rasmussen P. C., Schulenberg T. S., Iliff M. J., Fredericks T. A., Gerbracht J. A., Lepage D., Spencer A., Billerman S. M., Sullivan B. L., Smith M., Wood C. L. (2024). *The eBird/Clements checklist of Birds of the World: v2024*. CornellLab. [Acessível via <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/>. Consultado em 10-03-2025].
- Cole S. G. (2011). Wind power compensation is not for the birds: an opinion from an environmental economist. *Restoration Ecology* 19(2): 147-153. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00771.x>.
- Comissão Europeia (2019). *Pacto Ecológico Europeu*. Comunicação n.º 640. [Acessível via <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex%3A52019DC0640>. Consultado em 28-03-2025].
- Comissão Europeia (2022). *COP15: um acordo mundial histórico para a natureza e as pessoas*. [Acessível via https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/ip_22_7834. Consultado em 28-03-2025].
- Comissão Europeia (s.d.). *A UE na Conferência sobre Alterações Climáticas COP29* [Acessível via https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/climate-action-and-green-deal/eu-un-climate-change-conference/eu-cop29-climate-change-conference_pt. Consultado em 28-03-2025].
- Cook A. S. C. P., Humphreys E. M., Masden E. A., Burton N. H. K. (2014). *The Avoidance Rates of Collision Between Birds and Offshore Turbines*. Scottish Marine and Freshwater Science Reports: Volume 5, N.º 16. Edimburgo (Escócia). <https://data.marine.gov.scot/dataset/avoidance-rates->

[collision-between-birds-and-offshore-turbines/resource/c38cf8f8-6224-4c9a](https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107717).

- Cook A. S., Salkanovic E., Masden E., Lee H. E., Killerich A. H. (2025). A critical appraisal of 40 years of avian collision risk modelling: How have we got here and where do we go next?. *Environmental Impact Assessment Review* 110: 107717. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107717>.
- Costanzo G., Brindley G. (2024). *Wind energy in Europe: 2023 Statistics and the outlook for 2024-2030* [Relatório técnico]. Willems G., Ramirez L., Cole P., Klonari V. (Contrs.), Van de Velde L. (Desis.), O'Sullivan R. (Ed.). WindEurope. Bruxelas (Bélgica). <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2024-statistics-and-the-outlook-for-2025-2030/>.
- Cramp S. (Ed.) (1985). *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa: The Birds of the Western Palearctic*. Oxford University Press. Oxford (Inglaterra).
- Croft S., Budgey R., Pitchford J. W., Wood A. J. (2013). The influence of group size and social interactions on collision risk with obstacles. *Ecological Complexity* 16: 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2012.06.002>.
- Dahl E. L., May R., Hoel P. L., Bevanger K., Pedersen H. C., Røskaft E., Stokke B. G. (2013). White-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the Smøla wind-power plant, Central Norway, lack behavioral flight responses to wind turbines. *Wildlife Society Bulletin* 37(1): 66-74. <https://doi.org/10.1002/wsb.258>.
- Dai K., Bergot A., Liang C., Xiang W. N., Huang Z. (2015). Environmental issues associated with wind energy – A review. *Renewable Energy* 75: 911–921. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.074>.
- De Juana E., Garcia E. (2015). *The birds of the Iberian Peninsula*. Bloomsbury Publishing. Londres (Inglaterra).
- De Lucas M., Ferrer M., Bechard M. J., Muñoz A. R. (2012a). Griffon vulture mortality at wind farms in southern Spain: Distribution of fatalities and active mitigation measures. *Biological Conservation* 147(1): 184-189. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.029>.
- De Lucas M., Ferrer M., Janss G. F. (2012b). Using wind tunnels to predict bird mortality in wind farms: the case of griffon vultures. *PloS one* 7(11): e48092. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048092>.
- De Lucas M., Janss G. F., Whitfield D. P., Ferrer M. (2008). Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of applied ecology* 45(6): 1695-1703. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01549.x>.
- Decreto-Lei n.º 151-B/2013 do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2013, outubro 31). Diário da República: I série, N.º 211.
- Decreto-Lei n.º 242/2015 do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. (2015, outubro 15). Diário da República: I série, N.º 202.
- Desholm M. (2006). *Wind farm related mortality among avian migrants – a remote sensing study and model analysis* [Tese de Doutorado, Universidade de Copenhaga]. U.S. Department of Energy

- Office of Scientific and Technical Information. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20833734>.
- Dierschke V., Furness R. W., Garthe S. (2016). Seabirds and *offshore* wind farms in European waters: Avoidance and attraction. *Biological Conservation* 202: 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.016>.
- Diretiva Europeia n.º 2011/92/UE do Parlamento Europeu e do Conselho. (2011, dezembro 13). Jornal Oficial da União Europeia.
- Diretiva Europeia n.º 2023/2413 do Parlamento Europeu e do Conselho. (2023, outubro 18). Jornal Oficial da União Europeia.
- Donazar J. A., Cortés-Avizanda A., Fargallo J. A., Margalida A., Moleón M., Morales-Reyes Z., Moreno-Opo R., Pérez-García J. M., Sánchez-Zapata J. A., Zuberogoitia I., Serrano D. (2016). Roles of raptors in a changing world: from flagships to providers of key ecosystem services. *Ardeola* 63(1): 181-234. <https://doi.org/10.13157/arla.63.1.2016.rp8>.
- Drewitt A. L., Langston R. H. W. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148: 29-42. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x>.
- Drewitt A. L., Langston R. H. W. (2008). Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134(1): 233-266. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.015>.
- Duerr A. E., Miller T. A., Lanzone M., Brandes D., Cooper J., O'Malley K., Maisonneuve C., Tremblay J., Katzner T. (2012). Testing an emerging paradigm in migration ecology shows surprising differences in efficiency between flight modes. *PLoS One* 7(4): e35548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035548>.
- Duriez O., Kato A., Tromp C., Dell'Omo G., Vyssotski A. L., Sarrazin F., Ropert-Coudert Y. (2014). How cheap is soaring flight in raptors? A preliminary investigation in freely-flying vultures. *PloS one* 9(1): e84887. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084887>.
- Dwivedi Y. K., Kshetri N., Hughes L., Slade E. L., Jeyaraj A., Kar A. K., Baabdullah A. M., Koohang A., Raghavan V., Ahuja M., Albanna H., Albashrawi M., A., Al-Busaidi A. S., Balakrishnan J., Barlette Y., Basu S., Bose I., Brooks L., Buhalis D., Wright R. (2023). Opinion Paper: “So what if ChatGPT wrote it?” Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International journal of information management* 71: 102642. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642>.
- ECOSATIVA (2023). *Relatório Anual do Programa de aplicação do sistema de Paragem Seletiva de Aerogeradores assistida por Radar, Ano de 2022* [Relatório técnico não publicado]. ECOSATIVA – Consultoria Ambiental, Lda.. Vila Nova de Milfontes (Portugal).
- ECOSATIVA (2024a). *Programa de Minimização de Impactes Sobre a Migração Outonal na Costa Sudoeste* [Programa de monitorização não publicado]. ECOSATIVA – Consultoria Ambiental, Lda..

Vila Nova de Milfontes (Portugal).

ECOSATIVA (2024b). *Relatório Anual de Monitorização de aves planadoras no Parque Eólico e Sobreequipamento de Barão de São João durante o período de migração outonal* [Relatório técnico não publicado]. ECOSATIVA – Consultoria Ambiental, Lda.. Vila Nova de Milfontes (Portugal).

ECOSATIVA (2024c). *Relatório Anual de Monitorização Geral de Avifauna no Parque Eólico de Barão de São e respetivo Sobreequipamento, Ano de 2023* [Relatório técnico não publicado] ECOSATIVA – Consultoria Ambiental, Lda.. Vila Nova de Milfontes (Portugal).

Eichhorn M., Johst K., Seppelt R., Drechsler M. (2012). Model-based estimation of collision risks of predatory birds with wind turbines. *Ecology Society*: 17. <https://www.jstor.org/stable/26269028>.

Energy Institute (2024). *Electricity generation from wind power*. Our World in Data. [Acessível via <https://ourworldindata.org/grapher/wind-energy-consumption-by-region>. Consultado em 13-03-2025].

Esri (2023). *ArcGIS AI Models – Year in Review*. [Acessível via <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis/geoai/esri-arcgis-ai-models-year-in-review/>. Consultado em 20-03-2025].

Esri (s.d.-a). *Geospatial artificial intelligence overview*. [Acessível via <https://www.esri.com/en-us/geospatial-artificial-intelligence/overview>. Consultado em 20-03-2025].

Esri (s.d.-b). *How kernel density works*. ArcGIS Pro. [Acessível via <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm#GUID-9195FD8A-BDD1-46F7-BE5B-1C5C3F6155CA>. Consultado em 07-02-2025].

Estellés-Domingo I., López-López, P. (2024). Effects of wind farms on raptors: A systematic review of the current knowledge and the potential solutions to mitigate negative impacts. *Animal Conservation*. <https://doi.org/10.1111/acv.12988>.

Everaert J., Stienen E. W. M. (2007). Impact of wind turbines on birds in Zeebrugge (Belgium). *Biodiversity and Conservation* 16: 3345–3359. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9082-1>.

Farmer C. J., Hussell D. J. T., Mizrahi D. (2007). Detecting population trends in migratory birds of prey. *The Auk* 124(3): 1047–1062. <https://doi.org/10.1093/auk/124.3.1047>.

Fernandez-Juricic E., Lucas J., Baumhardt P., Goller B., Katzner T., Lovko N. (2020). *Understanding the Golden Eagle and Bald Eagle Sensory Worlds to Enhance Detection and Response to Wind Turbines* [Relatório técnico]. Purdue University. West Lafayette, Indiana (Estados Unidos da América). <https://doi.org/10.2172/1671330>.

Ferrão da Costa G., Paula J., Petrucci-Fonseca F., Álvares F. (2018). The indirect impacts of wind farms on terrestrial mammals: insights from the disturbance and exclusion effects on wolves (*Canis lupus*). Em Mascarenhas M., Marques A., Ramalho R., Santos D., Bernardino J., Fonseca, C. (Eds.), *Biodiversity and Wind Farms in Portugal: Current knowledge and insights for an integrated*

- impact assessment process* (pp. 111-134). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60351-3_5.
- Ferrer M., Alloing A., Baumbush R., Morandini V. (2022). Significant decline of Griffon Vulture collision mortality in wind farms during 13-year of a selective turbine stopping protocol. *Global Ecology and Conservation* 38: e02203. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02203>.
- Ferrer M., de Lucas M., Janss G. F. E., Casado E., Muñoz A. R., Bechard M. J., Calabuig C. P. (2012). Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in wind farms. *Journal of Applied Ecology* 49: 38-46. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02054.x>.
- Fielding A. H., Anderson D., Benn S., Dennis R., Geary M., Weston E., Whitfield D. P. (2022). Responses of dispersing GPS-tagged Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) to multiple wind farms across Scotland. *Ibis* 164(1): 102-117. <https://doi.org/10.1111/ibi.12996>.
- Firoozi A. A., Hejazi F., Firoozi A. A. (2024). Advancing Wind Energy Efficiency: A Systematic Review of Aerodynamic Optimization in Wind Turbine Blade Design. *Energies* 17(12): 2919. <https://doi.org/10.3390/en17122919>
- Fleming C. H., Fagan W. F., Mueller T., Olson K. A., Leimgruber P., Calabrese J. M. (2015). Rigorous home range estimation with movement data: a new autocorrelated kernel density estimator. *Ecology* 96(5): 1182-1188. <https://doi.org/10.1890/14-2010.1>
- Furness R. W., Wade H. M., Masden E. A. (2013). Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *Journal of Environmental Management* 119: 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.025>.
- Garthe S., Hüppop O. (2004). Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: Developing and applying a vulnerability index. *Journal of Applied Ecology* 41(4): 724-734. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00918.x>.
- Garvin J. C., Jennelle C. S., Drake D., Grodsky S. M. (2011). Response of raptors to a windfarm. *Journal of Applied Ecology* 48(1): 199-209. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01912.x>.
- Gauld J. G., Silva J. P., Atkinson P. W., Record P., Acácio M., Arkumarev V., Blas J., Bouten W., Burton N., Catry I., Champagnon J., Clewley G. D., Dagys M., Duriez O., Exo K. M., Fiedler W., Flack A., Friedemann G., Fritz J., ... Franco A. M. (2022). Hotspots in the grid: Avian sensitivity and vulnerability to collision risk from energy infrastructure interactions in Europe and North Africa. *Journal of Applied Ecology* 59(6): 1496-1512. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14160>.
- Getz W. M., Marshall C. R., Carlson C. J., Giuggioli L., Ryan S. J., Romañach S. S., Boettiger C., Chamberlain S. D., Larsen L., D'Odorico P., O'Sullivan D. (2018). Making ecological models adequate. *Ecology letters* 21(2): 153-166. <https://doi.org/10.1111/ele.12893>.
- Hedenström A. (1993). Migration by soaring or flapping flight in birds: the relative importance of energy cost and speed. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 342: 353-361.

<https://doi.org/10.1098/rstb.1993.0164>.

Hedenström A. (2002). Aerodynamics, evolution and ecology of avian flight. *Trends in Ecology & Evolution* 17(9): 415-422. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02568-5](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02568-5).

Herrera-Alsina L., Villegas-Patracá R., Eguiarte L. E., Arita H. T. (2013). Bird communities and wind farms: a phylogenetic and morphological approach. *Biodiversity and Conservation* 22: 2821-2836. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0557-6>.

Heuck C., Herrmann C., Wendt J., Krone O., Brandl R., Albrecht J. (2020). Sex-but not age-biased wind turbine collision mortality in the White-tailed Eagle *Haliaeetus albicilla*. *Journal of ornithology* 161: 753-757. <https://doi.org/10.1007/s10336-020-01757-w>.

Holmstrom L., Hamer T., Colclazier E., Denis N., Verschuyf J. P., Ruche D. (2011). Assessing avian-wind turbine collision risk: An approach angle dependent model. *Wind Engineering* 35: 289-312. <https://doi.org/10.1260/0309-524X.35.3.289>.

Hoover S. L., Morrison M. L. (2005). Behavior of red-tailed hawks in a wind turbine development. *The Journal of wildlife management* 69(1): 150-159. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2005\)069<0150:BORHIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2005)069<0150:BORHIA>2.0.CO;2).

Horvitz N., Sapir N., Liechti F., Avissar R., Mahrer I., Nathan R. (2014). The gliding speed of migrating birds: slow and safe or fast and risky?. *Ecology Letters* 17(6): 670-679. <https://doi.org/10.1111/ele.12268>.

Hunt W. G. (2002). *Golden Eagles in a Perilous Landscape: Predicting the Effects of Mitigation for Wind Turbine Blade Strike Mortality* [Relatório técnico]. California Energy Commission, University of California, Santa Cruz. Santa Cruz, California (Estados Unidos da América). <https://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/932.pdf>.

Hunt W. G., McClure C. J., Allison, T. D. (2015). Do raptors react to ultraviolet light?. *Journal of Raptor Research* 49(3): 342-343. <https://doi.org/10.3356/JRR-14-71.1>.

IdentiFlight (s.d). *How does IdentiFlight work?*. [Acessível via <https://www.identiflight.com/howitworks/#overview>. Consultado em 25-03-2025].

Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (2020). *Notas explicativas das shapes associadas ao manual de monitorização de impactes de linhas de muito alta tensão sobre a avifauna e avaliação da eficácia das medidas de mitigação*. [Acessível via <https://www.icnf.pt/api/file/doc/417e1b3c3e781125>. Consultado em 09-03-2025].

International Union for Conservation of Nature (2025). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2025-1*. [Acessível via <https://www.iucnredlist.org/>. Consultado em 09-03-2025].

Janss G. F. (2000). Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific

- mortality. *Biological Conservation* 95(3): 353-359. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00021-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00021-5).
- Johnston A., Auer T., Fink D., Strimas-Mackey M., Iliff M., Rosenberg K. V., Lanctot R., Rodewald A. D., Kelling S. (2020). Comparing abundance distributions and range maps in spatial conservation planning for migratory species. *Ecological Applications* 30(3): e02058. <https://doi.org/10.1002/eap.2058>.
- Johnston N. N., Bradley J. E., Otter K. A. (2014). Increased flight alturas among migrating golden eagles suggest turbine avoidance at a Rocky Mountain wind installation. *PLoS one* 9(3): e93030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093030>.
- Jones F. C. (2016). Cumulative effects assessment: theoretical underpinnings and big problems. *Environmental Reviews* 24(2): 187-204. <https://doi.org/10.1139/er-2015-0073>.
- Katajisto J., Moilanen A. (2006). Kernel-based home range method for data with irregular sampling intervals. *Ecological Modelling* 194(4): 405-413. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.11.001>.
- Katzner T. E., Brandes D., Miller T., Lanzone M., Maisonneuve C., Tremblay J. A., Mulvihill R., Merovich Jr G. T. (2012). Topography drives migratory flight altura of golden eagles: implications for on-shore wind energy development. *Journal of Applied Ecology* 49(5): 1178-1186. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02185.x>.
- Khosravifard S., Skidmore A. K., Naimi B., Venus V., Muñoz A. R., Toxopeus A. G. (2020). Identifying birds' collision risk with wind turbines using a multidimensional utilization distribution method. *Wildlife Society Bulletin* 44(1): 191-199. <https://doi.org/10.1002/wsb.1056>.
- Kitano M., Shiraki S. (2013). Estimation of bird fatalities at wind farms with complex topography and vegetation in Hokkaido, Japan. *Wildlife Society Bulletin* 37(1): 41-48. <https://doi.org/10.1002/wsb.255>.
- Krijgsveld K. L., Akershoek K., Schenk F., Dijk F., Dirksen S. (2009). Collision risk of birds with modern large wind turbines. *Ardea* 97(3): 357-366. <https://doi.org/10.5253/078.097.0311>.
- Kumar Y., Ringenberg J., Depuru S. S., Devabhaktuni V. K., Lee J. W., Nikolaidis E., Andersen B., Afjeh A. (2016). Wind energy: Trends and enabling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53: 209-224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.200>.
- Langston R.W., Pullan J.D. (2003). *Windfarms and birds: an analysis of the effects of wind farms on birds, and guidance on environmental criteria and site selection issues* [Relatório técnico, BirdLife International para Conselho Europeu, Convenção de Berna]. RSPB, Birdlife in the UK. <https://rm.coe.int/16807468a5>.
- Ley P. (1972). *Quantitative aspects of psychological assessment*: Volume 1. Duckworth. Londres (Inglaterra).
- Linder A. C., Lyhne H., Laubek B., Bruhn D., Pertoldi C. (2022a). Modeling Species-Specific Collision Risk

- of Birds with Wind Turbines: A Behavioral Approach. *Symmetry* 14(12): 2493. <https://doi.org/10.3390/sym14122493>.
- Linder A. C., Lyhne H., Laubek B., Bruhn D., Pertoldi C. (2022b). Quantifying raptors' flight behavior to assess collision risk and avoidance behavior to wind turbines. *Symmetry* 14(11): 2245. <https://doi.org/10.3390/sym14112245>.
- Lohmann K. J. (2010). Magnetic-field perception. *Nature* 464(7292): 1140-1142. <https://doi.org/10.1038/4641140a>.
- Lovich J. E., Ennen J. R. (2013). Assessing the state of knowledge of utility-scale wind energy development and operation on non-volant terrestrial and marine wildlife. *Applied Energy* 103: 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.001>.
- Madders M., Whitfield D. P. (2006). Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. *Ibis* 148: 43-56. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00506.x>.
- Mandel J. T., Bildstein K. L., Bohrer G., Winkler D. W. (2008). Movement ecology of migration in turkey vultures. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(49): 19102-19107. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801789105>.
- Marques A. T., Batalha H., Bernardino J. (2021). Bird displacement by wind turbines: assessing current knowledge and recommendations for future studies. *Birds* 2(4): 460-475. <https://doi.org/10.3390/birds2040034>.
- Marques A. T., Batalha H., Rodrigues S., Costa H., Pereira M. J. R., Fonseca C., Mascarenhas M., Bernardino J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation* 179: 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>.
- Marques A. T., Santos C. D., Hanssen F., Muñoz A. R., Onrubia A., Wikelski M., Moreira F., Palmeirim J. M., Silva J. P. (2020). Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology* 89(1): 93-103. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12961>.
- Marques J., Rodrigues S., Ferreira R., Mascarenhas M. (2018). Wind industry in Portugal and its impacts on wildlife: special focus on spatial and temporal distribution on bird and bat fatalities. Em Mascarenhas M., Marques A., Ramalho R., Santos D., Bernardino J., Fonseca C. (Eds.), *Biodiversity and Wind Farms in Portugal: Current knowledge and insights for an integrated impact assessment process* (pp. 1-22). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60351-3_1
- Martín B., Onrubia A., de la Cruz A., Ferrer M. (2016). Trends of autumn counts at Iberian migration bottlenecks as a tool for monitoring continental populations of soaring birds in Europe. *Biodiversity and Conservation* 25: 295–309. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1047-4>.
- Martín B., Perez-Bacalu C., Onrubia A., De Lucas M., Ferrer M. (2018). Impact of wind farms on soaring bird populations at a migratory bottleneck. *European Journal of Wildlife Research* 64: 1-10.

<https://doi.org/10.1007/s10344-018-1192-z>.

- Martin G. R. (2011). Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis* 153(2): 239-254. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2011.01117.x>.
- Martin G. R., Portugal S. J., Murn C. P. (2012). Visual fields, foraging and collision vulnerability in *Gyps vultures*. *Ibis* 154(3): 626-631. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2012.01227.x>.
- Martin G. R., Shaw J. M. (2010). Bird collisions with power lines: failing to see the way ahead? *Biological Conservation* 143: 2695–2702. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.07.014>.
- Masden E. A., Cook A. S. C. P. (2016). Avian collision risk models for wind energy impact assessments. *Environmental Impact Assessment Review* 56: 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.09.001>.
- Masden E. A., Cook A. S., McCluskie A., Bouten W., Burton N. H., & Thaxter C. B. (2021). When speed matters: the importance of flight speed in an avian collision risk model. *Environmental Impact Assessment Review* 90: 106622. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106622>.
- May R., Reitan O., Bevanger K., Lorentsen S. H., Nygård T. (2015). Mitigating wind-turbine induced avian mortality: Sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 170-181. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.002>.
- McAdam B. J. (2005). *A Monte-Carlo model for bird/wind turbine collisions* [Dissertação de Mestrado, Universidade de Ecologia de Aberdeen]. University of Stirling. <https://www.stir.ac.uk/research/hub/publication/631668>.
- Mellone U., Klaassen R. H. G., García-Ripollés C., Limiñana R., López-López P., Pavón D., Stranberg R., Urios V., Vardakis M., Alerstam T. (2012). Interspecific comparison of the performance of soaring migrants in relation to morphology, meteorological conditions and migration strategies. *PLoS One* 7(7): e39833. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039833>.
- Mellone U., Limiñana R., Mallia E., Urios V. (2011). Extremely detoured migration in an inexperienced bird: interplay of transport costs and social interactions. *Journal of Avian Biology* 42(5): 468-472. <https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2011.05454.x>
- Meyer S. K., Spaar R., Bruderer, B. (2000). To cross the sea or to follow the coast? Flight directions and behaviour of migrating raptors approaching the Mediterranean Sea in autumn. *Behaviour* 137(3): 379-399. <http://www.jstor.org/stable/4535711>.
- Miller R. A., Onrubia A., Martín B., Kaltenecker G. S., Carlisle J. D., Bechard M. J., Ferrer M. (2016). Local and regional weather patterns influencing post-breeding migration counts of soaring birds at the Strait of Gibraltar, Spain. *Ibis* 158(1): 106-115. <https://doi.org/10.1111/ibi.12326>.
- Miller T. A., Brooks R. P., Lanzone M., Brandes D., Cooper J., O'malley K., Maisonneuve C., Tremblay J., Duerr A., Katzner T. (2014). Assessing risk to birds from industrial wind energy development via paired resource selection models. *Conservation Biology* 28(3): 745-755.

<https://doi.org/10.1111/cobi.12227>.

- Morant J., Arrondo E., Sánchez-Zapata J. A., Donázar J. A., Margalida A., Carrete M., Blanco, G., Guil F, Serrano D., Pérez-García J. M. (2024). Fine-scale collision risk mapping and validation with long-term mortality data reveal current and future wind energy development impact on sensitive species. *Environmental Impact Assessment Review* 104: 107339. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107339>.
- Morinha F., Travassos P., Seixas F., Martins A., Bastos R., Carvalho D., Magalhães P., Santos M., Bastos E., Cabral J. A. (2014). Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird study* 61(2): 255-259. <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.883357>.
- Nabo P. I. C. C. P. (2020). *Interspecific Variation in avoidance behaviour of soaring migrating birds in windfarms: the case Study of Barão de São João (Algarve, Portugal)* [Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora]. Repositório Universidade de Évora. <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/27222>.
- Nagel K., Kim G., McLendon H., Doupe A. (2011). A bird brain's view of auditory processing and perception. *Hearing research* 273(1-2): 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2010.08.008>.
- Newton I. (2008). *The migration ecology of birds*. Academic Press. Londres (Inglaterra).
- Noguera J. C., Pérez I., Mínguez E. (2010). Impact of terrestrial wind farms on diurnal raptors: Developing a spatial vulnerability index and potential vulnerability maps. *Ardeola* 57(1): 41–53. <https://www.ardeola.org/en/volumes/571/articles/41-53/?stc=ok>.
- Northrup J. M., Wittemyer G. (2013). Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation. *Ecology letters* 16(1): 112-125. <https://doi.org/10.1111/ele.12009>.
- Nourani E., Bohrer G., Becciu P., Bierregaard R. O., Duriez O., Figuerola J., Gangoso L., Giokas S., Higuchi H, Kassara C., Kulikova O., Lecomte N., Monti F., Pokrovsky I., Sforzi A., Therrien J. F., Tsiopelas N., Vansteelant W. M. G., Viana D. S., ... Safi K. (2021). The interplay of wind and uplift facilitates over-water flight in facultative soaring birds. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 288: 20211603. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1603>.
- Ocaña-Fernández Y., Fuster-Guillén D. (2021). The bibliographical review as a research methodology. *Revista Tempos e Espaços em Educação* 14(33): e15614-e15614. <https://doi.org/10.20952/revtee.v14i33.15614>.
- Panuccio M., Agostini N., Bogliani G., Dell’Omo G. (2018). Migrating raptor counts: the need for sharing objectives and field protocols, and the benefits of using radar. *Bird Study* 65(sup1): S77–S84. <https://doi.org/10.1080/00063657.2018.1506423>.
- Pennycuik C. J. (1975). Mechanics of flight. D. S. Farner, J. R. King (Eds.), *Avian biology* (pp. 1-75). Academic Press. Nova Iorque (Estados Unidos da América).

- Percival S. (2005). Birds and Windfarms: What are the real issues?. *British Birds* 98(4): 194-204. https://www.researchgate.net/publication/287773894_Birds_and_windfarms_What_are_the_real_issues.
- Péron G., Fleming C. H., Duriez O., Fluhr J., Itty C., Lambertucci S., Safi K., Shepard E. L. C., Calabrese J. M. (2017). The energy landscape predicts flight height and wind turbine collision hazard in three species of large soaring raptor. *Journal of Applied Ecology* 54(6): 1895-1906. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12909>.
- Pescador M., Ramírez J. I. G., Peris S. J. (2019). Effectiveness of a mitigation measure for the lesser kestrel (*Falco naumanni*) in wind farms in Spain. *Journal of environmental management* 231: 919-925. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.094>.
- Podolsky R. (2008). Method of and article of manufacture for determining probability of avian collision. *US Patent* 7,315,799, 1. Washington, D.C.: U.S. Patent and Trademark Office.
- Poessel S. A., Brandt J., Mendenhall L., Braham M. A., Lanzone M. J., McGann A. J., Katzner T. E. (2018). Flight response to spatial and temporal correlates informs risk from wind turbines to the California Condor. *The Condor: Ornithological Applications* 120(2): 330-342. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-17-100.1>.
- Ram M., Bogdanov D., Aghahosseini A., Gulagi A., Oyewo A. S., Mensah T. N. O., Child M., Caldera U., Sadovskaia K., Barbosa L. D. S. N. S., Fasihi M., Khalili S., Traber T., Breyer C. (2022). Global energy transition to 100% renewables by 2050: Not fiction, but much needed impetus for developing economies to leapfrog into a sustainable future. *Energy* 246: 123419. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123419>.
- Rappole J. H. (2013). *The avian migrant: the biology of bird migration*. Columbia University Press. Nova Iorque (Estados Unidos da América). [10.7312/columbia/9780231146784.001.0001](https://doi.org/10.7312/columbia/9780231146784.001.0001).
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020 da Presidência do Conselho de Ministros. (2020, julho 10). Diário da República: I série, N.º 133/2020.
- Rodrigues S., Rosa L., Mascarenhas M. (2018). An Overview on Methods to Assess Bird and Bat Collision Risk in Wind Farms. Em Mascarenhas M., Marques A., Ramalho R., Santos D., Bernardino J., Fonseca C. (Eds.), *Biodiversity and Wind Farms in Portugal: Current knowledge and insights for an integrated impact assessment process* (pp. 87-110). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60351-3_4.
- Saidur R., Rahim N. A., Islam M. R., Solangi K. H. (2011). Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(5): 2423-2430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024>.
- Santos C. D., Silva J. P., Muñoz A. R., Onrubia A., Wikelski M. (2020). The gateway to Africa: What determines sea crossing performance of a migratory soaring bird at the Strait of Gibraltar?. *Journal*

- of *Animal Ecology* 89(6): 1317-1328. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13201>.
- Santos J., Marques J., Neves T., Marques A. T., Ramalho R., Mascarenhas M. (2018). An Overview on Methods to Assess Bird and Bat Collision Risk in Wind Farms. Em Mascarenhas M., Marques A., Ramalho R., Santos D., Bernardino J., Fonseca C. (Eds.), *Biodiversity and Wind Farms in Portugal: Current knowledge and insights for an integrated impact assessment process* (pp. 35-86). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60351-3_3.
- Scacco M., Arrondo E., Donázar J. A., Flack A., Sánchez-Zapata J. A., Duriez O., Wikelski M., Safi K. (2023). The species-specificity of energy landscapes for soaring birds, and its consequences for transferring suitability models across species. *Landscape Ecology* 38(1): 239-252. <https://doi.org/10.1007/s10980-022-01551-4>.
- Scacco M., Flack A., Duriez O., Wikelski M., Safi K. (2019). Static landscape features predict uplift locations for soaring birds across Europe. *Royal Society open science* 6(1): 181440. <https://doi.org/10.1098/rsos.181440>.
- Schuster E., Bulling L., Köppel J. (2015). Consolidating the state of knowledge: A synoptical review of wind energy's wildlife effects. *Environmental Management* 56: 300–331. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0501-5>.
- Schuwirth N., Borgwardt F., Domisch S., Friedrichs M., Kattwinkel M., Kneis D., Kuemmerlen M., Langhans S. D., Martínez-López J., Vermeiren P. (2019). How to make ecological models useful for environmental management. *Ecological Modelling* 411: 108784. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108784>.
- Serratosa J., Opper S., Rotics S., Santangeli A., Butchart S. H., Cano-Alonso L. S., Tellería J. L., Kemp R., Nicholas A., Kalvāns A., Galarza A., Franco A. M. A., Andreotti A., Kirschel A. N. G., Ngari A., Soutullo A., Bermejo-Bermejo A., Botha A. J., Ferri A., ... Jones V. R. (2024). Tracking data highlight the importance of human-induced mortality for large migratory birds at a flyway scale. *Biological Conservation*, 293: 110525. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110525>.
- Shamoun-Baranes J., Leshem Y., Yom-Tov Y., Liechti O. (2003). Differential use of thermal convection by soaring birds over central Israel. *The Condor* 105(2): 208-218. <https://doi.org/10.1093/condor/105.2.208>.
- Shamoun-Baranes J., Liechti F., Vansteelant W. M. (2017). Atmospheric conditions create freeways, detours and tailbacks for migrating birds. *Journal of Comparative Physiology A* 203: 509-529. <https://doi.org/10.1007/s00359-017-1181-9>.
- Shamoun-Baranes J., Van Loon E., van Gastere H., van Belle J., Bouten W., Buurma L. (2006). A comparative analysis of the influence of weather on the flight alturas of birds. *Bulletin of the American Meteorological Society* 87(1): 47-62. <https://doi.org/10.1175/BAMS-87-1-47>.
- Singh N. J., Moss E., Hipkiss T., Ecke F., Dettki H., Sandström P., Bloom P., Kidd J., Thomas S., Hörnfeldt

- B. (2016). Habitat selection by adult Golden Eagles *Aquila chrysaetos* during the breeding season and implications for wind farm establishment. *Bird Study* 63(2): 233-240. <https://doi.org/10.1080/00063657.2016.1183110>.
- Smales I., Muir S., Meredith C., Baird R. (2013). A description of the Biosis model to assess risk of bird collisions with wind turbines. *Wildlife Society Bulletin* 37: 59–65. <https://doi.org/10.1002/wsb.257>.
- Smallwood K. S., Karas B. (2009). Avian and bat fatality rates at old-generation and repowered wind turbines in California. *The Journal of Wildlife Management* 73(7): 1062-1071. <https://doi.org/10.2193/2008-464>.
- Soares M. J. S. (2014). *An avian relative fatality risk index for iberian species on wind farms based on zero inflated count models* [Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro]. Repositório Institucional da Universidade de Aveiro. <https://core.ac.uk/outputs/32243713/?source=oai>.
- Stienen E. W., Courtens W., Everaert J., Van De Walle M. (2008). Sex-biased mortality of common terns in wind farm collisions. *The Condor* 110(1): 154-157. <https://doi.org/10.1525/cond.2008.110.1.154>.
- STRIX (2022). *Relatório Anual do Plano Geral de Monitorização do Parque eólico do Barão de São João, Ano de 2020* [Relatório técnico não publicado]. STRIX, Lda.. Parede (Portugal).
- STRIX (2023) *Relatório Anual do Plano de Monitorização de Aves Planadoras do Parque Eólico do Barão de São João, Ano de 2022* [Relatório técnico não publicado]. STRIX, Lda.. Parede (Portugal).
- Tapia L., Zuberogoitia I. (2018). Breeding and nesting biology in raptors. Sarasola J., Grande J., Negro J. (Eds.), *Birds of Prey: Biology and conservation in the XXI century* (pp. 63-94). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73745-4_3.
- Tellería J. L. (2009a). Overlap between wind power plants and Griffon Vultures *Gyps fulvus* in Spain. *Bird Study* 56(2): 268-271. <https://doi.org/10.1080/00063650902792056>.
- Tellería J. L. (2009b). Wind power plants and the conservation of birds and bats in Spain: A geographical assessment. *Biodiversity and Conservation* 18(7): 1781–1791. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9558-2>.
- Thaker M., Zambre A., Bhosale H. (2018). Wind farms have cascading impacts on ecosystems across trophic levels. *Nature ecology & evolution* 2(12): 1854-1858. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0707-z>.
- Thelander C. G., Smallwood K. S., Ruge L, (2003). *Bird Risk Behaviors and Fatalities at the Altamont Pass Wind Resource Area: Period of Performance, March 1998--December 2000* [Relatório técnico]. National Renewable Energy Lab., Golden, Colorado (Estados Unidos da América). <https://doi.org/10.2172/15006013>.
- Tomé R., Canário F., Leitão A. H., Pires N., Repas M. (2017). Radar Assisted Shutdown on Demand Ensures Zero Soaring Bird Mortality at a Wind Farm Located in a Migratory Flyway. Em Köppel J.

- (Ed.). *Wind Energy and Wildlife Interactions: Presentations from the CWW2015 Conference* (pp. 119-133). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51272-3_7.
- Tucker V. A. (1971). Flight energetics in birds. *American Zoologist* 11(1): 115-124. <https://doi.org/10.1093/icb/11.1.115>.
- Tucker V. A. (1996a). A mathematical model of bird collisions with wind turbine rotors. *Journal of Solar Energy Engineering* 118(4): 253–262. <https://doi.org/10.1115/1.2871788>.
- Tucker V. A. (1996b). Using a collision model to design safer wind turbine rotors for birds. *Journal of Solar Energy Engineering* 118(4): 263–269. <https://doi.org/10.1115/1.2871791>.
- U.S. Fish and Wildlife Service. (2013). *Eagle conservation plan guidance module – land-based wind energy* [Relatório técnico]. U.S. Fish and Wildlife Service, Division of Migratory Bird Management. Estados Unidos da América. <https://digitalmedia.fws.gov/digital/collection/document/id/1802/>.
- Vansteelant W. M. G., Bouten W., Klaassen R. H. G., Koks B. J., Schlaich A. E., van Diermen J., van Loon E. E., Shamoun-Baranes J. (2015). Regional and seasonal flight speeds of soaring migrants and the role of weather conditions at hourly and daily scales. *Journal of Avian Biology* 46(1): 25-39. <https://doi.org/10.1111/jav.00457>.
- Vignali S., Lörcher F., Hegglin D., Arlettaz R., Braunisch V. (2022). A predictive flight-altura model for avoiding future conflicts between an emblematic raptor and wind energy development in the Swiss Alps. *Royal Society Open Science* 9(2): 211041. <https://doi.org/10.1098/rsos.211041>.
- Watson R. T., Kolar P. S., Ferrer M., Nygård T., Johnston N., Hunt W. G., Smit-Robinson H. A., Farmer C. J., Huso M., Katzner T. E. (2018). Raptor interactions with wind energy: case studies from around the world. *Journal of Raptor Research* 52(1): 1-18. <https://doi.org/10.3356/JRR-16-100.1>.
- Whitfield D. P. (2009). *Collision avoidance of golden eagles at wind farms under the 'Band' collision risk model* [Relatório técnico]. Natural Research Ltd. Banchory, Aberdeenshire (Escócia).
- Williams H. J., Shepard E. L. C., Duriez O., Lambertucci S. A. (2015). Can accelerometry be used to distinguish between flight types in soaring birds?. *Animal Biotelemetry* 3(45): 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40317-015-0077-0>.
- Winkelman J. E. (1985). Impact of medium-sized wind turbines on birds: a survey on flight behaviour, victims, and disturbance. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 33(1): 75-78. <https://doi.org/10.18174/njas.v33i1.16879>.

Anexos

Anexo A

Tabela A 1 – Representação da legenda da Tabela A 2 em forma de tabela. São mencionados os parâmetros analisados quanto ao potencial de cada variável como preditiva do risco de colisão. São referidas as categorias que cada parâmetro pode tomar. Nos casos em que tais categorias não existam (e.g. probabilidade de colisão), é descrito o raciocínio lógico que esteve na base do preenchimento da coluna. Acrescem algumas notas para determinados parâmetros (e.g. possíveis interações entre variáveis).

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada
Nível da espécie	Características do PE	As categorias presentes na coluna "Categoria" abrangem diversos fatores presentes na coluna "Fator".	Muito relevante	Apenas são referidas quais as variáveis que influenciam ou são influenciadas pela variável em análise. Exercício realizado não só de acordo com informação bibliográfica, mas também mediante o raciocínio lógico assente na revisão bibliográfica, associada tanto a conhecimento teórico como empírico. Apenas as interações consideradas mais pertinentes são descritas no texto.	O risco de colisão de uma ave com um AG pode ser desconstruído em três fases:	Espécie: a variável ajusta-se a um modelo dirigido a uma espécie	Variável quantitativa discreta	Na coluna "Probabilidade de colisão" é descrita sumariamente a forma como cada variável interage com o risco de colisão de uma ave de rapina com AG (PE <i>onshore</i>).	Sim	Métodos clássicos (e.g. pontos de observação, transetos).	PE: Variável adequada a modelo dirigido à escala de um PE
Nível da área de estudo	Comportamento	Um fator da coluna "Fator" pode desdobrar-se em diversas variáveis, referidas na coluna C.	Relevante		1 - Probabilidade temporal de uma ave atravessar (dimensões horizontal e vertical) a área em que se considera existir risco de colisão.	Grupo de espécies: a variável ajusta-se a um modelo dirigido a um grupo de espécies	Variável quantitativa contínua		Não	Métodos sofisticados (e.g. dados de telemetria, sistema <i>IdentiFlight</i>)	AG: Variável adequada a modelo dirigido à escala de um AG
Nível do parque eólico	Idade		Pouco relevante		2 - Probabilidade de uma ave que atravessou a área de risco colidir com um AG. Pode ser dividida em duas subfases:		Variável qualitativa nominal	Exercício realizado com base nas descrições das referências consultadas, ou, quando não encontrada tal descrição, através de raciocínio lógico assente no conhecimento adquirido com a revisão bibliográfica.		Diferentes métodos podem originar diferentes dados, o que pode influenciar a abordagem de utilização de determinada variável.	
	Meteorologia		Nada relevante		2.1 - Probabilidade da ave de se aperceber do obstáculo.		Variável qualitativa ordinal				
	Migração		A avaliação da relevância de cada variável teve por base o número de estudo que a utilizam para explicar ou prever o risco de colisão. Foram também tidos em conta os objetivos e escala geográfica âmbito de cada estudo, especialmente quando encontrados resultados contraditórios em diferentes estudos.	*Cada variável da coluna "Variável" pode (ou não) estar correlacionada com outras, podendo, em alguns casos, ser <i>proxies</i> uma da outra.	2.2 - Probabilidade de uma ave que fez esse atravessamento e se apercebeu do obstáculo conseguir evitar a torre, o rotor e as pás do AG.		Cada variável pode (ou não) ser utilizada de forma diferente, consoante o objetivo e os dados disponíveis; portanto, existem diferentes abordagens de utilização, sumariamente descritas na coluna "Abordagens de utilização".			Preenchimento com "-" para variáveis que não requerem recolha de dados em campo.	
	Morfologia										
	Orografia			Foram excluídas da coluna "Possíveis interações entre variáveis" variáveis que não tenham relevância em modelos dirigidos a uma espécie em concreto, principalmente as referentes a fatores morfológicos e de percepção sensorial. As únicas exceções encontram-se nas linhas da tabela referentes às mesmas. Por exemplo, a variável <i>wind loading</i> influencia o tipo de voo de uma espécie, mas só se torna importante caso se comparem espécies, portanto a variável <i>wing loading</i> foi excluída da linha referente ao tipo de voo, mas o contrário não aconteceu.							
	Percepção sensorial										
	População										
	Qualidade do habitat										
	Fenologia										
	Reprodução										

Tabela A 2 – Versão completa da Tabela 4 presente no subcapítulo 3.1; análise de variáveis, distribuídas pelos respectivos fatores e categorias, possivelmente integrantes de ferramentas de avaliação do risco de colisão de aves de rapina com AG (PE onshore), em fase de pré-construção.

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
Nível da espécie	Morfologia	Área da asa	Nada relevante	Altura de voo *Aspect ratio Atividade desempenhada em voo Comprimento do movimento Duração do movimento *Envergadura Evitação Massa corporal Proximidade filogenética entre espécies Sinuosidade do movimento Tipo de voo Velocidade de voo *Wing loading	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa ordinal Quantitativa contínua	Tendo em conta que quanto maior a área da asa, menor o <i>wing loading</i> e, portanto, maior a manobrabilidade de voo, o aumento da área da asa pode levar a uma diminuição do risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Janss (2000), Rayner (1988)
Nível da espécie	Morfologia	Comprimento da cauda	Pouco relevante	Altura de voo Aspect ratio Atividade desempenhada em voo Comprimento do movimento *Comprimento total da ave Duração do movimento Evitação Massa corporal Proximidade filogenética entre espécies Sinuosidade do movimento *Tipo de voo Velocidade de voo Wing loading	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa ordinal Quantitativa contínua	Tendo em conta que quanto maior o comprimento da cauda, maior a manobrabilidade de voo, presumivelmente o aumento do comprimento da cauda leva a uma diminuição do risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014)
Nível da espécie	Morfologia	Comprimento total da ave	Nada relevante	Altura de voo Aspect ratio Atividade desempenhada em voo *Comprimento da cauda Comprimento do movimento Duração do movimento Evitação Massa corporal Proximidade filogenética entre espécies Sinuosidade do movimento *Tipo de voo Velocidade de voo Wing loading	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa ordinal Quantitativa contínua	As espécies de aves de rapina com maior probabilidade de colisão são de maior comprimento.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014)
Nível da espécie	Morfologia	Envergadura	Pouco relevante	Altura de voo *Área da asa *Aspect ratio Atividade desempenhada em voo Comprimento do movimento Duração do movimento Evitação Massa corporal Proximidade filogenética entre espécies Sinuosidade do movimento *Tipo de voo Velocidade de voo Wing loading	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa ordinal Quantitativa contínua	Tendo em conta que quanto maior a envergadura menor a manobrabilidade de voo, o aumento da envergadura pode levar a um aumento do risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014), Rayner (1988)
Nível da espécie	Morfologia	Massa corporal	Pouco relevante	Altura de voo Área da asa Atividade desempenhada em voo Comprimento da cauda Comprimento do movimento Duração do movimento Envergadura Evitação Proximidade filogenética entre espécies Sinuosidade do movimento *Tipo de voo	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa ordinal Quantitativa contínua	Tendo em conta que quanto maior a massa corporal menor a manobrabilidade de voo, o aumento da massa/peso pode levar a um aumento do risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014), Péron <i>et al.</i> (2017)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				Velocidade de voo *Wing loading								
Nível da espécie	Morfologia	Proporção da asa (Aspect ratio)	Relevante	Altura de voo *Área da asa Atividade desempenhada em voo Comprimento da cauda Comprimento do movimento Duração do movimento *Envergadura Evitação Massa corporal Proximidade filogenética entre espécies Sinuosidade do movimento *Tipo de voo Velocidade de voo *Wing loading	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa ordinal Quantitativa contínua	Quanto menor o aspect ratio, menor a envergadura e/ou maior a área da asa. Portanto, valores baixos desta variável poderão estar associados a valores baixos de manobrabilidade de voo, o que resulta num presumível aumento do risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	De Lucas <i>et al.</i> (2008), Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015), Noguera <i>et al.</i> (2010), Péron <i>et al.</i> (2017), Rayner (1988)
Nível da espécie	Morfologia	Proximidade filogenética entre espécies	Nada relevante	Comportamento social Comprimento do movimento Evitação Tipo de voo Velocidade de voo Área da asa Aspect ratio Comprimento da cauda Comprimento total da ave Envergadura Massa corporal Wing loading Acuidade visual Capacidade auditiva Capacidade olfativa Receção magnética Sensibilidade a perturbações externas Longevidade dos indivíduos Sucesso de reprodução Taxa de maturidade sexual	-	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Avalia a semelhança morfológica e comportamental entre espécies, relacionada com a proximidade filogenética. Pode ser útil para separar espécies por grupos, possibilitando uma análise comparativa do risco de colisão com base em características morfológicas e comportamentais.	-	-	-	Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Linder <i>et al.</i> (2022a)
Nível da espécie	Morfologia	Relação peso/área da asa (Wing loading)	Relevante	Altura de voo *Área da asa *Aspect ratio Atividade desempenhada em voo Comprimento da cauda Comprimento do movimento Duração do movimento Envergadura Evitação *Massa corporal Proximidade filogenética entre espécies Sinuosidade do movimento *Tipo de voo Velocidade de voo	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa ordinal Quantitativa contínua	Maior wind loading implica um maior peso do corpo, asas pequenas ou uma combinação de ambas as características, logo maior a probabilidade de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	De Lucas <i>et al.</i> (2008), Herrera-Alsina <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015), Noguera <i>et al.</i> (2010), Péron <i>et al.</i> (2017), Rayner (1988)
Nível da espécie	Morfologia	Sexo dos indivíduos	Relevante	Altura de voo Comportamento social Comprimento do movimento Duração do movimento Evitação Sinuosidade do movimento Tipo de voo Atividade desempenhada em voo Velocidade de voo Tipo de movimento sazonal	Fase 2.1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Tipicamente os machos apresentam maior atividade na época de reprodução e podem iniciar atividades em voo mais arriscados.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Heuck <i>et al.</i> (2020), Morinha <i>et al.</i> (2014), Stienen <i>et al.</i> (2008)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
Nível da espécie	Percepção sensorial	Acuidade visual	Relevante	Altura de voo Atividade desempenhada em voo Atividade do rotor Comportamento social Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Diâmetro do rotor Duração do movimento Espessura das pás Evitação Forma da torre Forma do rotor Luminosidade do PE Nebulosidade Orientação da encosta Orientação de voo Sensibilidade a perturbações externas Sinuosidade do movimento Tamanho das pás Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade de rotação das pás Velocidade de voo	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal Quantitativa contínua	Quanto menor o ângulo de visão frontal das aves, maior o risco de colisão. Quanto mais frontal estiver a zona de maior resolução, menor o risco de colisão. Quanto menos as aves olharem para baixo, menor a probabilidade de colisão.	Sim ou Não	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Fernandez-Juricic <i>et al.</i> (2020), Marques <i>et al.</i> (2014), Martin (2011), Martin <i>et al.</i> (2012), Martin & Shaw (2010), May <i>et al.</i> (2015)
Nível da espécie	Percepção sensorial	Capacidade auditiva	Pouco relevante	Altura de voo Atividade desempenhada em voo Atividade do rotor Comportamento social Configuração espacial dos AG Diâmetro do rotor Espessura das pás Evitação Forma da torre Forma do rotor Ruído provocado pelos AG Sensibilidade a perturbações externas Tamanho das pás Tipo de voo Velocidade de rotação das pás	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Presumivelmente, quanto maior o ruído provocado pelos AG, maior a facilidade de deteção dos obstáculos, portanto maior o comportamento de evitação e menor o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Fernandez-Juricic <i>et al.</i> (2020), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015)
Nível da espécie	Percepção sensorial	Capacidade olfativa	Pouco relevante	Comportamento social Comprimento do movimento Disponibilidade de alimento Duração do movimento Sensibilidade a perturbações externas Tipo de movimento sazonal	Fase 1 Fase 2.1	Modelo dirigido a um grupo de espécies	-	-	-	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	May <i>et al.</i> (2015)
Nível da espécie	Percepção sensorial	Recepção magnética	Pouco relevante	Comprimento do movimento Duração do movimento Tipo de movimento sazonal	Fase 1 Fase 2.1	Modelo dirigido a um grupo de espécies	-	-	-	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	May <i>et al.</i> (2015)
Nível da espécie	Percepção sensorial	Sensibilidade a perturbações externas	Nada relevante	Altura de voo Atividade desempenhada em voo Atividade do rotor Comportamento social Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Diâmetro do rotor Duração do movimento Espessura das pás Evitação Forma da torre Forma do rotor Luminosidade do PE Nebulosidade Orientação da encosta	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a um grupo de espécies	-	-	-	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Madders & Whitfield (2006)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				Orientação de voo Presença de outras infraestruturas Ruído provocado pelos AG Sensibilidade a perturbações externas Sinuosidade do movimento Tamanho das pás Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade de rotação das pás Velocidade de voo								
Nível da espécie	Comportamento	Altura de voo	Muito relevante	*Altura do solo Atividade desempenhada em voo Declive do terreno Direção do vento Disponibilidade de alimento Evitação Orientação da encosta Orientação de voo Potencial de ascensão em térmicas Sazonalidade Sinuosidade do movimento Temperatura Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade do vento	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa ordinal Quantitativa contínua	Quanto mais próximas as aves estejam das pás do AG maior a probabilidade de colisão de uma ave, particularmente se entram na zona de perigo vindas de baixo das pás.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG	Barrios & Rodríguez (2004), Linder <i>et al.</i> (2022a, 2022b), Marques <i>et al.</i> (2014), Masden <i>et al.</i> (2021), Masden & Cook (2016), Noguera <i>et al.</i> (2010), Rodrigues <i>et al.</i> (2018)
Nível da espécie	Comportamento	Atividade desempenhada em voo	Muito relevante	Altura de voo Altura do solo Comportamento social *Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Direção do vento *Duração do movimento Disponibilidade de alimento Evitação Idade dos indivíduos Orientação da encosta Orientação de voo Nebulosidade Potencial de ascensão em térmicas Presença de outras infraestruturas *Sinuosidade do movimento Sazonalidade Tipo de movimento sazonal *Tipo de voo *Velocidade de voo Velocidade do vento	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Quanto menos atenção requerir a atividade desempenhada em voo, menor o risco de colisão.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Barrios & Rodríguez (2004), Krijgsveld <i>et al.</i> (2009), Linder <i>et al.</i> (2022b), Marques <i>et al.</i> (2014)
Nível da espécie	Comportamento	Comportamento social	Relevante	Abundância relativa Atividade desempenhada em voo Densidade relativa Densidade <i>kernel</i> Disponibilidade de alimento Idade dos indivíduos Potencial de ascensão em térmicas Sazonalidade Sexo dos indivíduos Sinuosidade do movimento Tipo de movimento sazonal Tipo de voo	Fase 1 Fase 2.1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Presumivelmente, quanto maior a tendência de agregação das aves, maior o seu grau de exposição ao risco de colisão, logo maior a probabilidade de uma ave colidir.	Sim	Métodos clássicos	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Carrete <i>et al.</i> (2012), Croft <i>et al.</i> (2013), Janss (2000), Marques <i>et al.</i> (2014)
Nível da espécie	Comportamento	Comprimento do movimento	Relevante	Altura do solo *Atividade desempenhada em voo Comportamento social Declive do terreno Direção do vento Disponibilidade de alimento *Duração do movimento	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo	Quantitativa discreta Quantitativa contínua	Presumivelmente, quando maior o número de AG por movimento, maior o risco de colisão. Ou quanto mais (especialmente) longo um movimento dentro	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG	Rodrigues <i>et al.</i> (2018)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				Evitação Orientação da encosta Orientação de voo Potencial de ascensão em térmicas Sazonalidade *Sinuosidade do movimento Temperatura Tipo de movimento sazonal *Tipo de voo Velocidade do vento		de espécies		de uma área de perigo, maior o risco de colisão.				
Nível da espécie	Comportamento	Duração do movimento	Pouco relevante	Altura do solo *Atividade desempenhada em voo Comportamento social *Comprimento do movimento Declive do terreno Direção do vento Disponibilidade de alimento Evitação Orientação da encosta Orientação de voo Potencial de ascensão em térmicas Sazonalidade *Sinuosidade do movimento Temperatura Tipo de movimento sazonal *Tipo de voo Velocidade do vento	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Quanto mais (temporalmente) longo um movimento dentro de uma área de perigo, maior o risco de colisão.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG	Masden & Cook (2016)
Nível da espécie	Comportamento	Evitação	Muito relevante	Altura de voo Altura do AG Altura do solo Área de varrimento das pás Atividade desempenhada em voo Atividade do rotor Comportamento social Configuração espacial dos AG Declive do terreno Diâmetro do rotor Direção do vento Disponibilidade de alimento Forma da torre Forma do rotor Idade dos indivíduos Luminosidade do PE Nebulosidade Orientação da encosta Orientação de voo Potencial de ascensão em térmicas Presença de outras infraestruturas Ruído provocado pelos AG Sazonalidade Sinuosidade do movimento Tamanho das pás Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade de rotação das pás Velocidade de voo Velocidade do vento	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal Quantitativa contínua	Quanto maior a capacidade de evitação de uma ave de um AG ou de um PE, menor o risco de colisão.	Sim ou Não	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Cook <i>et al.</i> (2014), Dahl <i>et al.</i> (2013), Garvin <i>et al.</i> (2011), Marques <i>et al.</i> (2020, 2021), Masden & Cook (2016), May <i>et al.</i> (2015)
Nível da espécie	Comportamento	Orientação de voo	Relevante	Altura do solo Área de varrimento das pás Atividade desempenhada em voo Atividade do rotor Configuração espacial dos AG Declive do terreno Direção do vento Evitação Potencial de ascensão em térmicas	Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Caso a ave se situe dentro de uma área de perigo e a sua orientação de voo seja em direção a um AG, maior será o risco de colisão.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG	Masden & Cook (2016)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				Ruído provocado pelos AG Sinuosidade do movimento Tamanho das pás Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade de rotação das pás Velocidade de voo Velocidade do vento Orientação da encosta								
Nível da espécie	Comportamento	Sinuosidade do movimento	Relevante	Altura de voo Altura do solo *Atividade desempenhada em voo Comportamento social *Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Direção do vento *Duração do movimento Disponibilidade de alimento Evitação Idade dos indivíduos Orientação da encosta Orientação de voo Nebulosidade Potencial de ascensão em térmicas Presença de outras infraestruturas Sazonalidade Tipo de movimento sazonal *Tipo de voo *Velocidade de voo Velocidade do vento	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal Quantitativa contínua	Considerando uma área de perigo, quanto maior a tortuosidade de um movimento dentro da mesma, maior o risco de colisão.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG	Katzner <i>et al.</i> (2012), Linder <i>et al.</i> (2022a, 2022b), Masden & Cook (2016)
Nível da espécie	Comportamento	Tipo de voo	Pouco relevante	Altura de voo Altura do solo *Atividade desempenhada em voo Comportamento social *Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Direção do vento *Duração do movimento Disponibilidade de alimento Evitação Idade dos indivíduos Orientação da encosta Orientação de voo Nebulosidade Potencial de ascensão em térmicas Presença de outras infraestruturas *Sinuosidade do movimento Sazonalidade Tipo de movimento sazonal *Velocidade de voo Velocidade do vento	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Considerando uma área de perigo, quanto maior a tortuosidade de um movimento dentro da mesma, maior o risco de colisão. O mesmo efeito se verifica com o aumento do comprimento/duração do movimento. Quanto menos atenção requerir a atividade desempenhada em voo, menor o risco de colisão.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Linder <i>et al.</i> (2022a, 2022b), Noguera <i>et al.</i> (2010), Péron <i>et al.</i> (2017)
Nível da espécie	Comportamento	Velocidade de voo	Relevante	Altura de voo Altura do solo Comportamento social *Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Direção do vento *Duração do movimento Disponibilidade de alimento Evitação Idade dos indivíduos Orientação da encosta Orientação de voo	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Quanto maior a velocidade de atravessamento de uma área de perigo, menor o risco de colisão.	Sim	Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Alerstam <i>et al.</i> (2007), Madders & Whitfield (2006), Masden <i>et al.</i> (2021), Masden & Cook (2016), Péron <i>et al.</i> (2017)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				Nebulosidade Potencial de ascensão em térmicas *Sinuosidade do movimento Temperatura Tipo de movimento sazonal *Tipo de voo Velocidade do vento								
Nível da espécie	Idade	Idade dos indivíduos	Relevante	Altura de voo Comportamento social Comprimento do movimento Duração do movimento Evitação Longevidade dos indivíduos Sinuosidade do movimento Tipo de voo Atividade desempenhada em voo Velocidade de voo Taxa de sobrevivência *Tipo de movimento sazonal	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie	Qualitativa ordinal	Presume-se que quanto maior a idade da ave, maior a possibilidade de habituação às infraestruturas e maior a experiência de voo da ave, logo menor o risco de colisão.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Dahl <i>et al.</i> (2013), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Everaert & Stienen (2007), Fielding <i>et al.</i> (2022), Hunt (2002), Morinha <i>et al.</i> (2014), Watson <i>et al.</i> (2018)
Nível da espécie	Idade	Longevidade dos indivíduos	Nada relevante	Adequabilidade do habitat para caça Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Idade dos indivíduos Perturbação externa ao PE Presença de outras infraestruturas Proximidade filogenética entre espécies Taxa de maturação sexual *Taxa de sobrevivência	-	-	-	-	-	-	-	Carrete <i>et al.</i> (2009)
Nível da espécie	Idade	Taxa de sobrevivência	Nada relevante	Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Densidade kernel Densidade relativa Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Idade dos indivíduos *Longevidade dos indivíduos Perturbação externa ao PE Presença de outras infraestruturas Proximidade filogenética entre espécies Sucesso de reprodução Taxa de maturação sexual	-	-	-	-	-	-	-	Carrete <i>et al.</i> (2009)
Nível da espécie	Fenologia	Tipo de movimento sazonal	Relevante	Altura de voo Comportamento social Comprimento do movimento Duração do movimento Evitação Orientação de voo Sinuosidade do movimento *Tipo de voo *Atividade desempenhada em voo Velocidade de voo Idade dos indivíduos Abundância relativa Densidade de kernel Densidade relativa *Sazonalidade	Fase 1 Fase 2.1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Presumivelmente, aves locais estão sob um maior grau de exposição ao risco de colisão, portanto uma ave migradora estará associada a um menor risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Barrios & Rodríguez (2004), Carrete <i>et al.</i> (2012), Dahl <i>et al.</i> (2013), De Lucas <i>et al.</i> (2008), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Katzner <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Péron <i>et al.</i> (2017)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
Nível da espécie	População	Abundância relativa	Muito relevante	Adequabilidade do habitat para caça Comportamento social *Densidade de kernel *Densidade relativa Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Perturbação externa ao PE Potencial de ascensão em térmicas Presença de outras infraestruturas Sazonalidade Sucesso de reprodução Taxa de sobrevivência Tipo de movimento sazonal Tipo de voo	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua Quantitativa discreta	Presumivelmente, quanto maior a abundância, maior o número de indivíduos expostos ao risco de colisão, aumentando a probabilidade de aves colidirem.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Barrios & Rodríguez (2004), Carrete <i>et al.</i> (2012), De Lucas <i>et al.</i> (2008, 2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López (2024), Ferrer <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Noguera <i>et al.</i> (2010)
Nível da espécie	População	Densidade relativa	Relevante	*Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno *Densidade kernel Direção do vento Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Duração do movimento Evitação Perturbação externa ao PE Potencial de ascensão em térmicas Presença de outras infraestruturas Orientação da encosta Sazonalidade Sinuosidade do movimento Sucesso de reprodução Taxa de sobrevivência Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade do vento	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Presumivelmente, quanto maior a densidade, maior o número de indivíduos expostos ao risco de colisão, aumentando a probabilidade de aves colidirem.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Khosravifard <i>et al.</i> (2020), Kitano & Shiraki (2013), Marques <i>et al.</i> (2014), Smallwood & Karas (2009)
Nível da espécie	População	Intensidade de uso do espaço (Densidade de <i>kernel</i>)	Muito relevante	*Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno *Densidade relativa Direção do vento Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Duração do movimento Evitação Perturbação externa ao PE Potencial de ascensão em térmicas Presença de outras infraestruturas Orientação da encosta Sazonalidade Sinuosidade do movimento Sucesso de reprodução Taxa de sobrevivência	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Presumivelmente, quanto maior a densidade <i>kernel</i> , maior o número de indivíduos expostos ao risco de colisão, aumentando a probabilidade de aves colidirem.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Fleming <i>et al.</i> (2015), Katajisto & Moilanen (2006), Khosravifard <i>et al.</i> (2020), Kitano & Shiraki (2013), Marques <i>et al.</i> (2014), Smallwood & Karas (2009)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade do vento								
Nível da espécie	Reprodução	Distância a colónias	Relevante	Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Altura de voo Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Densidade de kernel Densidade relativa Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Duração do movimento Idade dos indivíduos Orientação da encosta Perturbação externa ao PE Presença de outras infraestruturas Sazonalidade Sucesso de reprodução Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade de voo	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie	Qualitativa ordinal Quantitativa contínua	Quanto menor a distância de um PE de determinada espécie à colónia populacional da qual faz parte, presumivelmente maior a sua abundância, logo maior a sua exposição ao risco de colisão.	Sim ou Não	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um PE	Bright <i>et al.</i> (2008), Carrete <i>et al.</i> (2009, 2012), Ferrer <i>et al.</i> (2012), Tellería (2009a)
Nível da espécie	Reprodução	Sucesso de reprodução	Pouco relevante	Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Comportamento social Densidade de kernel Densidade relativa Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Idade dos indivíduos Longevidade dos indivíduos Perturbação externa ao PE Presença de outras infraestruturas Proximidade filogenética entre espécies Sazonalidade Sensibilidade a perturbações externas Sexo dos indivíduos Taxa de maturidade sexual Taxa de sobrevivência	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie	Quantitativa discreta	Quanto maior o número de crias nascidas em áreas próximas às do PE, maior o número de aves em movimentos dispersivos próximos dos AG, logo maior a probabilidade de colisão. Mesmo que ocorra elevado sucesso reprodutor numa área longe do PE, caso a espécie migre, haverá um maior número de indivíduos a atravessar o PE em certa época fenológica.	Sim ou Não	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um PE	Carrete <i>et al.</i> (2009), Tapia & Zuberogitia (2018)
Nível da espécie	Reprodução	Taxa de maturidade sexual	Nada relevante	Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Idade dos indivíduos Longevidade dos indivíduos Perturbação externa ao PE Presença de outras infraestruturas Proximidade filogenética entre espécies Sazonalidade Sensibilidade a perturbações externas Sexo dos indivíduos Sucesso de reprodução Taxa de sobrevivência	-	Modelo dirigido a uma espécie	-	-	-	-	-	Carrete <i>et al.</i> (2009), Estellés-Domingo & López-López (2024), Marques <i>et al.</i> (2014), Tapia & Zuberogitia (2018)
Nível da área de estudo	Qualidade do habitat	Adequabilidade do habitat para caça	Pouco relevante	Abundância relativa Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Declive do terreno Densidade de kernel	Fase 1 Fase 2.1	Modelo dirigido a uma espécie	Qualitativa ordinal	Quanto mais adequada uma área próxima a AG seja para o comportamento de caça, maior a probabilidade de aves	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Barrios & Rodríguez (2004), Carrete <i>et al.</i> (2009), Jones (2016), Marques <i>et al.</i>

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				Densidade relativa *Disponibilidade de alimento Orientação da encosta Presença de outras infraestruturas Sucesso de reprodução Taxa de sobrevivência Tipo de movimento sazonal Tipo de voo				utilizarem o espaço enquanto desempenham uma atividade que as pode expor a um maior risco de colisão.				(2014) Morant <i>et al.</i> (2024), Pescador <i>et al.</i> (2019), Thaker <i>et al.</i> (2018)
Nível da área de estudo	Qualidade do habitat	Disponibilidade de alimento	Relevante	Abundância relativa *Adequabilidade do habitat para caça Atividade desempenhada em voo Comportamento social Densidade de kernel Densidade relativa Presença de outras infraestruturas Sucesso de reprodução Taxa de sobrevivência Tipo de movimento sazonal Tipo de voo	Fase 1 Fase 2.1	Modelo dirigido a uma espécie	Qualitativa ordinal	Quanto maior a disponibilidade de alimento numa área próxima a AG, maior a probabilidade de aves utilizarem o espaço enquanto desempenham uma atividade que as pode expor a um maior risco de colisão.	Sim	Métodos clássicos	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Barrios & Rodríguez (2004), Carrete <i>et al.</i> (2009), Dierschke <i>et al.</i> (2016), Hoover & Morrison (2005), Jones (2016), Krijgsveld <i>et al.</i> (2009), Marques <i>et al.</i> (2014, 2021), Morant <i>et al.</i> (2024), Pescador <i>et al.</i> (2019), Winkelman (1985)
Nível da área de estudo	Qualidade do habitat	Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos	Pouco relevante	Abundância relativa Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Declive do terreno Densidade de kernel Densidade relativa Orientação da encosta Presença de outras infraestruturas Sucesso de reprodução Taxa de sobrevivência Tipo de movimento sazonal Tipo de voo	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie	Qualitativa ordinal	Quanto maior a disponibilidade de locais para a instalação de ninhos numa área próxima a um PE, maior o sucesso reprodutor das aves que os utilizem, o que poderá aumentar o número de indivíduos a circular nessa área, o que aumenta a probabilidade de algum colidir.	Sim ou Não	Métodos clássicos	Modelo dirigido à escala de um PE	Carrete <i>et al.</i> (2009)
Nível da área de estudo	Qualidade do habitat	Perturbação externa ao PE	Nada relevante	Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Atividade desempenhada em voo Comportamento social Densidade de kernel Densidade relativa Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Evitação Longevidade dos indivíduos *Presença de outras infraestruturas Sensibilidade a perturbações externas Taxa de sobrevivência Tipo de voo	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa ordinal	-	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	-
Nível da área de estudo	Qualidade do habitat	Presença de outras infraestruturas	Nada relevante	Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Atividade desempenhada em voo Comportamento social Densidade de kernel Densidade relativa Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Evitação Longevidade dos indivíduos	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal Quantitativa contínua	-	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	-

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				*Perturbação externa ao PE Sensibilidade a perturbações externas Taxa de sobrevivência Tipo de voo								
Nível da área de estudo	Meteorologia	Direção do vento	Relevante	Altura de voo Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Duração do movimento Evitação Orientação da encosta *Orientação de voo Sazonalidade Sinuosidade do movimento Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade de voo Velocidade do vento	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	A direção do vento deve ser interpretada em conjunto com a velocidade do vento, a orografia do terreno, a orientação do rotor e orientação de voo das aves para compreender como esta variável interage com o risco de colisão. De notar, ainda, que a direção do vento afeta a orientação das pás do AG, o que pode influenciar o risco de colisão.	Sim	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	De Lucas <i>et al.</i> (2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López (2024), Drewitt & Langston (2008), Johnston <i>et al.</i> (2014), Marques <i>et al.</i> (2014), Masden <i>et al.</i> (2021), Scacco <i>et al.</i> (2019), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2006)
Nível da área de estudo	Meteorologia	Humidade relativa	Nada relevante	Acuidade visual Altura de voo Atividade desempenhada em voo *Nebulosidade Potencial de ascensão em térmicas Sazonalidade Sinuosidade do movimento Temperatura Tipo de movimento sazonal Tipo de voo	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	-	-	-	-	Modelo dirigido à escala de um PE	Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2017)
Nível da área de estudo	Meteorologia	Nebulosidade	Pouco relevante	Acuidade visual Altura de voo Atividade desempenhada em voo *Humidade relativa Potencial de ascensão em térmicas Sazonalidade Sinuosidade do movimento Temperatura Tipo de movimento sazonal Tipo de voo	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Presumivelmente, quanto maior intensidade da nebulosidade e menor a sua altura (nevoeiro), menor a visibilidade, logo maior o risco de colisão. De notar que esta variável interage com a altura de voo, uma vez que as aves podem voar a alturas que lhe sejam mais favoráveis.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um PE	Barrios & Rodríguez (2004), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Johnston <i>et al.</i> (2014), Linder <i>et al.</i> (2022b), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2006)
Nível da área de estudo	Meteorologia	Potencial de ascensão em térmicas	Relevante	Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Altura de voo Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Densidade de kernel Densidade relativa Duração do movimento Evitação Orientação da encosta Orientação de voo Sazonalidade Sinuosidade do movimento Temperatura Tipo de movimento sazonal	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Quanto maior a disponibilidade de térmicas e o seu potencial de ascensão, maior a probabilidade das aves atravessarem o PE a elevadas alturas, diminuindo o seu risco de colisão. No entanto, em meses em que estes fenómenos sejam menos frequentes, mais as espécies vão depender das condições orográficas, o que pode aumentar o seu risco de colisão. Além disso, caso sejam frequentemente	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG Modelo dirigido à escala de um PE	Péron <i>et al.</i> (2017), Rodrigues <i>et al.</i> (2018), Scacco <i>et al.</i> (2019)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				Tipo de voo Velocidade de voo				geradas térmicas em redor de AG, o efeito de atratividade poderá aumentar o risco de colisão.				
Nível da área de estudo	Meteorologia	Sazonalidade	Relevante	Abundância relativa Altura de voo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento Densidade de kernel Densidade relativa Direção do vento Duração do movimento Evitação Humidade relativa Nebulosidade Orientação de voo Potencial de ascensão em térmicas Sinuosidade do movimento Temperatura *Tipo de movimento sazonal *Tipo de voo Velocidade de voo Velocidade do vento	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Presumivelmente, quando a estação do ano for mais propícia a um aumento da abundância e de movimentos, maior o risco de colisão. A sazonalidade afeta, ainda, padrões meteorológicos que podem influenciar o comportamento de voo das aves e, portanto, o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um PE	Balmori-De la Puente & Balmori (2023), Barrios & Rodríguez (2004), De Lucas <i>et al.</i> (2008), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Katzner <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Noguera <i>et al.</i> (2010), Péron <i>et al.</i> (2017), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2017)
Nível da área de estudo	Meteorologia	Temperatura	Pouco relevante	Altura de voo Atividade desempenhada em voo *Potencial de ascensão em térmicas Sazonalidade Tipo de voo	Fase 1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	O gradiente de temperatura em função da altura influencia o potencial de ascensão em térmicas que, por sua vez, afeta o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um PE	Linder <i>et al.</i> (2022b), Scacco <i>et al.</i> (2019), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2017)
Nível da área de estudo	Meteorologia	Velocidade do vento	Relevante	Altura de voo Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento Configuração espacial dos AG Declive do terreno Direção do vento Duração do movimento Evitação Orientação da encosta Orientação de voo Sazonalidade Sinuosidade do movimento Tipo de movimento sazonal Tipo de voo *Velocidade de voo	Fase 1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	As aves seguem as rotas que mais lhes poupem energia, logo terão tendência em viajar ao longo dos locais mais propícios à ocorrência de maiores velocidades de vento na direção que mais lhes for favorável. Esta variável deve ser interpretada em conjunto com a direção do vento, orografia do terreno e orientação de voo das aves. De notar que a velocidade do vento afeta a velocidade de rotação das pás do AG, o que pode influenciar o risco de colisão.	Sim ou Não	Métodos clássicos Métodos sofisticados	Modelo dirigido à escala de um PE	De Lucas <i>et al.</i> (2012a, 2012b), Drewitt & Langston (2008), Estellés-Domingo & López-López (2024), Johnston <i>et al.</i> (2014), Linder <i>et al.</i> (2022b), Marques <i>et al.</i> (2014), Péron <i>et al.</i> (2017), Scacco <i>et al.</i> (2019), Shamoun-Baranes <i>et al.</i> (2006)
Nível da área de estudo	Orografia	Altura do solo	Relevante	Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Altura de voo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento *Configuração espacial dos AG Declive do terreno	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo	Quantitativa contínua	A orografia influencia o potencial de ascensão em térmicas, bem como afeta o comportamento do vento nessa mesma área. As aves, particularmente as planadoras obrigatórias,	Não	-	Modelo dirigido à escala de um PE	Barrios & Rodríguez (2004), De Lucas <i>et al.</i> (2008, 2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
				Densidade de kernel Densidade relativa Direção do vento Duração do movimento Evitação Orientação da encosta Potencial de ascensão em térmicas Sinuosidade do movimento Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade de voo Velocidade do vento		de espécies		terão tendência em seguir rotas que lhes poupem energia, utilizando térmicas ou correntes de vento ascendentes para ganhar altura. Caso a orografia do terreno apresente tais características em locais próximos de AG, o risco de colisão será maior. Assim, a altura do solo não deve ser tida em conta isoladamente de outras variáveis orográficas, como o declive do terreno e a orientação das encostas.				(2024), Katzner <i>et al.</i> (2012), Marques <i>et al.</i> (2014), Morant <i>et al.</i> (2024), Péron <i>et al.</i> (2017), Scacco <i>et al.</i> (2023)
Nível da área de estudo	Orografia	Declive do terreno	Relevante	Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Altura de voo Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento *Configuração espacial dos AG Densidade de kernel Densidade relativa Direção do vento Duração do movimento Evitação Orientação da encosta Potencial de ascensão em térmicas Sinuosidade do movimento Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade de voo Velocidade do vento	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Seguindo o raciocínio anterior, caso o declive do terreno propicie uma maior concentração de aves em locais próximos a AG, maior o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um PE	Barrios & Rodríguez (2004), De Lucas <i>et al.</i> (2008, 2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López (2024), Katzner <i>et al.</i> (2012) Marques <i>et al.</i> (2014), Morant <i>et al.</i> (2024), Péron <i>et al.</i> (2017), Scacco <i>et al.</i> (2023)
Nível da área de estudo	Orografia	Orientação da encosta	Relevante	Abundância relativa Adequabilidade do habitat para caça Altura de voo Altura do solo Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento *Configuração espacial dos AG Declive do terreno Densidade de kernel Densidade relativa Direção do vento Duração do movimento Evitação Potencial de ascensão em térmicas Sinuosidade do movimento Tipo de movimento sazonal Tipo de voo Velocidade de voo Velocidade do vento	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa discreta	Seguindo o raciocínio anterior, caso a orientação da encosta propicie uma maior concentração de aves em locais próximos a AG, maior o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um PE	Barrios & Rodríguez (2004), De Lucas <i>et al.</i> (2008, 2012a, 2012b), Estellés-Domingo & López-López (2024), Katzner <i>et al.</i> (2012) Marques <i>et al.</i> (2014), Morant <i>et al.</i> (2024) Péron <i>et al.</i> (2017), Scacco <i>et al.</i> (2023)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Altura do AG	Relevante	Acuidade visual Altura de voo *Área de varrimento das pás *Tamanho das pás	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a	Quantitativa contínua	Quanto maior a altura do AG, maior a área de varrimento das pás e, portanto, maior o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	De Lucas <i>et al.</i> (2008), Marques <i>et al.</i> (2014)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
						um grupo de espécies						
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Área de varrimento das pás	Pouco relevante	Acuidade visual Altura de voo *Altura do AG *Tamanho das pás	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Quanto maior a área de varrimento das pás, maior o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	De Lucas <i>et al.</i> (2008), Marques <i>et al.</i> (2014)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Atividade do rotor	Pouco relevante	Velocidade do vento	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Quando o rotor está ativo, o risco de colisão é superior.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Masden & Cook (2016)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Configuração espacial dos AG	Muito relevante	Altura do AG *Altura do solo Área de varrimento das pás Atividade desempenhada em voo Comportamento social Comprimento do movimento Declive do terreno Disponibilidade de alimento Disponibilidade de locais para a instalação de ninhos Duração do movimento Evitação *Orientação da encosta Orientação de voo Sinuosidade do movimento Tamanho das pás	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Seguindo o raciocínio para o fator orografia, caso o a configuração espacial dos AG corresponda aos locais da área do PE propícios a uma maior concentração de aves, maior o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Barrios & Rodríguez (2004), Cárcamo <i>et al.</i> (2011), De Lucas <i>et al.</i> (2012a, 2012b), Marques <i>et al.</i> (2014)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Diâmetro do rotor	Nada relevante	Acuidade visual *Altura do AG *Área de varrimento das pás Atividade do rotor Forma da torre Forma do rotor *Tamanho das pás *Velocidade de rotação das pás	Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Influencia a velocidade de rotação do rotor. Quanto maior a velocidade de rotação do rotor, maior a probabilidade de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Barrios & Rodríguez (2004), Marques <i>et al.</i> (2014)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Espessura das pás	Pouco relevante	Acuidade visual *Área de varrimento das pás *Tamanho das pás *Velocidade de rotação das pás	Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Quanto maior a espessura das pás, maior a probabilidade de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Masden & Cook (2016)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Forma da torre	Nada relevante	Acuidade visual Altura do AG *Área de varrimento das pás *Diâmetro do rotor *Forma do rotor *Tamanho das pás *Velocidade de rotação das pás	Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Não parece haver uma relação significativa entre a forma da torre e a mortalidade por colisão. Talvez fosse uma variável mais relevante quando a forma da torre variava mais consoante o	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Barrios & Rodríguez (2004)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
								fabricante de AG, mas atualmente são todos muito idênticos.				
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Forma do rotor	Nada relevante	Acuidade visual Altura do AG *Área de varrimento das pás *Diâmetro do rotor *Forma da torre *Tamanho das pás *Velocidade de rotação das pás	Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Qualitativa nominal	Não parece haver uma relação significativa entre a forma do rotor e a mortalidade por colisão. Talvez fosse uma variável mais relevante quando a forma do rotor variava mais consoante o fabricante de AG, mas atualmente são todos muito idênticos.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Barrios & Rodríguez (2004)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Luminosidade do PE	Pouco relevante	Acuidade visual Comprimento do movimento Duração do movimento Nebulosidade Sinuosidade do movimento Tipo de voo	Fase 1 Fase 2.1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	A luminosidade emitida pelos AG podem influenciar o comportamento de atração ou afastamento das aves ao AG, influenciado o seu grau de exposição ao risco de colisão, particularmente para aves que migrem em condições desfavoráveis de visibilidade.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Fernandez-Juricic <i>et al.</i> (2020), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Ruído provocado pelos AG	Pouco relevante	Capacidade auditiva Comprimento do movimento Evitação Sinuosidade do movimento Tipo de voo	Fase 1 Fase 2.1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	O ruído emitido pelos AG podem influenciar o comportamento de atração ou afastamento das aves ao AG, influenciado o seu grau de exposição ao risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Fernandez-Juricic <i>et al.</i> (2020), Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Visibilidade das pás	Pouco relevante	Acuidade visual Altura do AG Área de varrimento das pás Atividade do rotor Configuração espacial dos AG Espessura das pás Evitação Forma da torre Forma do rotor Luminosidade do PE Nebulosidade Tamanho das pás Velocidade de rotação do rotor Velocidade de voo	Fase 2.1	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	A visibilidade das pás de um AG podem influenciar o comportamento de atração ou afastamento das aves do mesmo, influenciado o seu grau de exposição ao risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Marques <i>et al.</i> (2014), May <i>et al.</i> (2015)
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Tamanho das pás	Pouco relevante	Acuidade visual Altura de voo *Altura do AG *Área de varrimento das pás	Fase 1 Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Quanto maior o tamanho das pás, maior a área de varrimento das mesmas e, conseqüentemente, maior o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Marques <i>et al.</i> (2014)

Categoria	Fator	Variável	Relevância	Possíveis interações entre variáveis	Fase(s) do cálculo preditivo do risco de colisão	Âmbito do modelo preditivo	Abordagens de utilização	Probabilidade de colisão	Necessidade de amostragem no terreno	Variações metodológicas	Escala geográfica adequada	Referências bibliográficas
Nível da tipologia do PE	Características do PE	Velocidade de rotação do rotor	Relevante	Acuidade visual *Altura do AG *Área de varrimento das pás Atividade do rotor Forma da torre Forma do rotor *Tamanho das pás *Velocidade de vento	Fase 2.1 Fase 2.2	Modelo dirigido a uma espécie Modelo dirigido a um grupo de espécies	Quantitativa contínua	Quanto maior a velocidade de rotação do rotor, maior o risco de colisão.	Não	-	Modelo dirigido à escala de um AG	Marques <i>et al.</i> (2014), Masden & Cook (2016), Thelander <i>et al.</i> (2003)

Anexo B

Tabela B 1 – Representação da legenda da Tabela B 2 em forma de tabela. São mencionados os parâmetros que estão na base da análise comparativa entre diferentes CRM. São referidas as categorias que cada parâmetro pode tomar. Nos casos em que tais categorias não existam (e.g. suposições), é descrito o raciocínio lógico que teve na base do preenchimento da coluna.

Modelos de risco de colisão	Âmbito de utilização	Tipo de modelo	Dados de <i>input</i>	Dados de <i>output</i>	Pontos fortes	Pontos fracos	Suposições	Validação	Aplicabilidade em AIA
Referência bibliográfica onde é descrito o modelo.	Modelo originalmente aplicado em PE <i>offshore</i> e/ou <i>onshore</i>	Determinístico	Elenco das variáveis incorporadas como parâmetros de <i>input</i> no CRM.	Forma de apresentação do resultado final do modelo.	São referidos os pontos fortes e fracos de cada CRM, de acordo com Masden & Cook (2016) e com Rodrigues <i>et al.</i> (2018), bem como outros encontrados em referências utilizadas para complementar o texto.		São referidas as suposições relativas à abordagem de utilização das variáveis bem como referentes à forma como são calculadas no modelo, de acordo com Masden & Cook (2016) e com Rodrigues <i>et al.</i> (2018), bem como outros encontrados em referências utilizadas para complementar o texto.	Sim	Sim
	Modelo dirigido ao indivíduo e /ou a uma população	Inclui elementos estocásticos						Não	Não
		Totalmente estocásticos						O "não" não deve ser interpretado de forma absoluta, uma vez que pode ter havido uma validação não estatística ou considerada insuficiente.	

Tabela B 2 – Versão completa da Tabela 5 do subcapítulo 3.2; análise comparativa de CRM, com base em Masden & Cook (2016) e Rodrigues *et al.* (2018), bem como nos documentados citados na respetiva coluna.

Modelos de risco de colisão	Âmbito de utilização	Tipo de modelo	Dados de <i>input</i>	Dados de <i>output</i>	Pontos fortes	Pontos fracos	Suposições	Validação	Aplicabilidade em AIA
Band <i>et al.</i> (2007)	Dirigido a uma população <i>Onshore</i>	Determinístico	Variáveis ao nível da espécie: Envergadura; Comprimento total da ave; Velocidade de voo; Altura de voo; Atividade de voo noturna. Variáveis ao nível do PE: Largura e comprimento das pás; Ângulo das pás relativamente ao plano de rotação; Velocidade do rotor; Altura/diâmetro da <i>nacelle</i> ; Tempo de atividade do AG.	Número de aves que colide	De fácil acessibilidade e amplamente utilizado. Cálculos relativamente simples. Inclui diversas variáveis específicas ao nível da espécie e do PE.	Não são considerados fatores ao nível da área de estudo. Requer um elevado esforço de recolha de dados em campo. Apresenta fracas relações entre o risco de colisão previsto e a mortalidade observada. Pode subestimar os valores de mortalidade prevista. Considerada uma distribuição uniforme das alturas dentro da área de varrimento das pás. Não são consideradas colisões com AG parados ou com a torre.	Todas as aves são consideradas em forma de cruz (comprimento vs. envergadura). São considerados apenas movimentos paralelos ao vento (perpendiculares ao plano de rotação das pás).	Não	Sim

Modelos de risco de colisão	Âmbito de utilização	Tipo de modelo	Dados de <i>input</i>	Dados de <i>output</i>	Pontos fortes	Pontos fracos	Suposições	Validação	Aplicabilidade em AIA
Band (2012a, 2012b)	Dirigido a uma população <i>Offshore</i>	Inclui elementos estocásticos	<p>Variáveis ao nível da espécie: Envergadura; Comprimento total da ave; Velocidade de voo; Altura de voo; Atividade de voo noturna; Evitação.</p> <p>Variáveis ao nível do PE: Largura e comprimento das pás; Ângulo das pás relativamente ao plano de rotação; Velocidade do rotor; Altura/diâmetro da <i>nacelle</i>; Tempo de atividade do AG.</p>	Número de aves que colide	De fácil acessibilidade e amplamente utilizado. Cálculos relativamente simples. Inclui diversas variáveis específicas ao nível da espécie e do PE. Consideradas variações de altura dentro da área de varrimento das pás que afetam o risco de colisão.	Requer um elevado esforço de recolha de dados em campo. Não são considerados fatores ao nível da área de estudo. Apresenta fracas relações entre a probabilidade prevista e mortalidade observada. Pode subestimar os valores de mortalidade prevista. Não são consideradas colisões com AG parados ou com a torre.	Todas as aves são consideradas em forma de cruz (comprimento vs. envergadura). São considerados apenas movimentos paralelos ao vento (perpendiculares ao plano de rotação das pás). Assume uma taxa de evitação constante.	Não	Sim
Bolker <i>et al.</i> (2014)	Dirigido ao indivíduo <i>Onshore</i>	Determinístico	<p>Variáveis ao nível da espécie: Altura de voo; Direção do movimento.</p> <p>Variáveis ao nível da área de estudo: Direção do vento.</p> <p>Variáveis ao nível do PE: Número e localização dos AG, Comprimento das pás; Altura do AG.</p>	Número de AG encontrados pelas aves ao atravessar um PE	De fácil acessibilidade. Cálculos relativamente simples.	Não inclui quase nenhuma variáveis específicas ao nível da espécie ou da área de estudo. Não são consideradas colisões com AG parados ou com a torre.	São considerados apenas movimentos paralelos ao vento (perpendiculares ao plano de rotação das pás). Assume uma probabilidade de colisão fixa e conhecida que incorpora todo o comportamento de evitação.	Não	Não
Desholm (2006)	Dirigido a uma população <i>Offshore</i>	Estocástico	<p>Variáveis ao nível da espécie: Abundância de aves migradoras; Proporção de aves que entra no PE; Proporção de aves dentro da área horizontal de perigo dos AG; Proporção de aves dentro da área vertical de perigo dos AG; Proporção de aves que atravessa essas áreas sem comportamento de evitação; Nº médio de filas de AG atravessadas.</p> <p>Variáveis ao nível da área de estudo: Direção do vento.</p> <p>Variáveis ao nível da tipologia do PE (características dos AG).</p>	Número de aves que colide	De fácil acessibilidade. Inclui uma grande diversidade de variáveis relevantes ao nível da espécie. O modelo incorpora variabilidade nos dados de <i>input</i> .	Não inclui quase nenhuma variáveis específicas ao nível da espécie ou da área de estudo. Requer um elevado esforço de recolha de dados em campo.	Assume uma probabilidade de colisão fixa e conhecida com base em Tucker (1996a).	Sim	Sim

Modelos de risco de colisão	Âmbito de utilização	Tipo de modelo	Dados de input	Dados de output	Pontos fortes	Pontos fracos	Suposições	Validação	Aplicabilidade em AIA
Eichhorn <i>et al.</i> (2012)	Dirigido ao indivíduo (espécie <i>Milvus milvus</i>) <i>Onshore</i>	Estocástico	<p>Variáveis ao nível da espécie: Comprimento do movimento; Raio do movimento circular a 100 m de altura; Velocidade de voo; Probabilidade da altura de voo estar ao nível da área de varrimento das pás; Probabilidade de uma ave voar através do rotor; Probabilidade física de colisão; Probabilidade de evitação; Probabilidade da ave circular e de voar em frente; Tempo máximo de ocorrência numa célula; Distância ao ninho;</p> <p>Variáveis ao nível da área de estudo: Tamanho e número da área e das células; Qualidade do habitat.</p> <p>Variáveis ao nível do parque eólico. Altura do centro do rotor; Comprimento das pás.</p>	Taxa de mortalidade	<p>Constitui uma boa adaptação e evolução do modelo de Band <i>et al.</i> (2012a, 2012b) para PE <i>onshore</i>. Considera dados espacializados. Fornece uma taxa de mortalidade estimada. São utilizadas bastantes variáveis, incluindo fatores ao nível da espécie, da área de estudo e do parque eólico. É de fácil acessibilidade. Incorpora uma taxa de evitação.</p>	<p>É dirigido apenas a uma espécie, portanto utilizá-lo de forma dirigida à totalidade das espécies de uma área de estudo pode ser moroso, uma vez que a taxa de mortalidade global será cumulativa das várias espécies ocorrentes. Pode ser computacionalmente muito intensivo mesmo só dirigido a uma espécie. Requer um elevado esforço de recolha de dados em campo.</p>	<p>Não é considerada a possibilidade de aproximação das aves aos AG por ângulos oblíquos.</p>	Sim	Sim
Holmstrom <i>et al.</i> (2011)	Dirigido ao indivíduo <i>Offshore/onshore</i>	Determinístico	<p>Variáveis ao nível da espécie: Velocidade de voo; Comprimento da ave; Envergadura da ave; Ângulo de aproximação da ave ao AG; Orientação da ave.</p> <p>Variáveis ao nível da área de estudo: Direção do vento; Velocidade do vento.</p> <p>Variáveis ao nível do PE: Comprimento das pás; Número de pás por AG; Rotação do rotor; Comprimento do rotor; Raio da torre; Raio do rotor; Velocidade de rotação do rotor.</p>	Probabilidade de colisão	<p>Considera a possibilidade de aproximação das aves aos AG por ângulos oblíquos. São consideradas variáveis ao nível da espécie, da área de estudo e do parque eólico.</p>	<p>Estima apenas o risco de colisão de um atravessamento de uma ave isolada. Comportamento de evitação não é considerado.</p>	<p>Todos os movimentos consideram a posição das aves como paralela ao solo. Todas as aves têm uma envergadura superior ao seu comprimento e são bidimensionais (retângulo).</p>	Não	Não

Modelos de risco de colisão	Âmbito de utilização	Tipo de modelo	Dados de <i>input</i>	Dados de <i>output</i>	Pontos fortes	Pontos fracos	Suposições	Validação	Aplicabilidade em AIA
McAdam (2005)	Dirigido ao indivíduo <i>Offshore</i>	Inclui elementos estocásticos	<p>Variáveis ao nível da espécie: Envergadura; Comprimento total da ave; Velocidade de voo; Altura de voo; Atividade de voo noturna.</p> <p>Variáveis ao nível da área de estudo: Direção de vento; Velocidade de vento.</p> <p>Variáveis ao nível do PE: Largura e comprimento das pás; Ângulo das pás relativamente ao plano de rotação; Velocidade do rotor; Altura/diâmetro da <i>nacelle</i>; Tempo de atividade do AG.</p>	Número de aves que colide	<p>Cálculos relativamente simples.</p> <p>Inclui diversas variáveis específicas ao nível da espécie e do PE.</p> <p>Adiciona elementos estocásticos ao modelo de Band, passando a considerar variação na altura de voo, bem como efeitos do vento.</p> <p>Considera a possibilidade de aproximação das aves aos AG por ângulos oblíquos.</p>	<p>São considerados poucos fatores ao nível da área de estudo.</p> <p>Requer um elevado esforço de recolha de dados em campo.</p> <p>Não são consideradas colisões com AG parados ou com a torre.</p>	<p>Todas as aves são consideradas em forma de cruz (comprimento vs. envergadura).</p> <p>Embora sejam considerados outros ângulos de aproximação além do paralelo ou perpendicular ao AG, não é incorporada variabilidade quanto à orientação da ave relativamente ao AG (elemento considerado de forma não estocástica).</p>	-	Sim
Podolsky (2008)	Dirigido ao indivíduo <i>Onshore</i>	Determinístico	<p>Variáveis ao nível da espécie: Envergadura; Comprimento total da ave; Velocidade de voo; Altura de voo; Porcentagem de aves por espécie que evitam o AG; Porcentagem de aves por espécie que são atraídas por AG.</p> <p>Variáveis ao nível do PE: Nº de linhas de AG; Nº de colunas de AG; Distância entre linhas; Distância entre colunas; Raio do rotor; Largura das pás na base do rotor; Profundidade das pás na base do rotor; Comprimento da pás; Largura da ponta da pás; Profundidade da ponta da pás; Ângulo das pás relativamente ao plano de rotação; Altura da <i>nacelle</i>; Largura da <i>nacelle</i>; Comprimento da <i>nacelle</i>; Altura da torre; Diâmetro da torre ao nível do mar; Diâmetro da torre ao nível do solo; Diâmetro da torre no seu ponto mais largo; Altura da torre no seu ponto mais largo; Diâmetro à altura da base do rotor.</p>	Probabilidade de colisão	<p>Simula a influência de muitas variáveis sobre o risco de colisão, particularmente ao nível da espécie e de características do PE.</p> <p>Calcula a probabilidade de colisão com um AG e com múltiplos AG.</p> <p>Considera a possibilidade de aproximação das aves aos AG por ângulos oblíquos.</p> <p>São consideradas colisões com AG parados ou com a torre.</p>	<p>Difícil acessibilidade (o modelo é patenteado).</p> <p>Requer um elevado esforço de recolha de dados em campo.</p> <p>O modelo só considera AG dispostos em forma de linhas e/ou colunas.</p> <p>O modelo não identifica áreas de risco elevado.</p> <p>Apresenta fracas relações entre o risco de colisão previsto e a mortalidade observada.</p>	<p>Todas as aves são consideradas em forma de cruz (comprimento vs. envergadura).</p> <p>Assume uma taxa de evitação constante.</p>	Não	Sim

Modelos de risco de colisão	Âmbito de utilização	Tipo de modelo	Dados de <i>input</i>	Dados de <i>output</i>	Pontos fortes	Pontos fracos	Suposições	Validação	Aplicabilidade em AIA
Smales <i>et al.</i> (2013)	Dirigido a uma população <i>Onshore</i>	Determinístico	<p>Variáveis ao nível da espécie: Tamanho da ave; Velocidade média; Atividade desempenhada em voo; Evitação; Abundância.</p> <p>Variáveis ao nível da tipologia do PE: Características dos AG; Configuração espacial dos AG.</p>	Número de aves que colide	Embora determinístico, pode ser adaptado para correr simulações do tipo Monte Carlo. São consideradas colisões com AG parados. Considera a possibilidade de aproximação das aves aos AG por ângulos oblíquos. O risco de colisão estimado recorre à soma do n° médio de AG encontrados por atravessamento, em detrimento de todos os AG que formam determinado arranjo espacial.	Difícil acessibilidade (o modelo de acesso limitado). Requer um elevado esforço de recolha de dados em campo. Não são considerados fatores ao nível da área de estudo, exceto a orografia do terreno como base para deduzir o n° médio de AG encontrados por atravessamento.	A configuração espacial dos AG é estimada e não baseada em dados empíricos. A única variável morfológica integrada (tamanho) é utilizada para estimar o risco de colisão, negligenciando outras potencialmente mais relevantes.	Sim	Sim
Tucker (1996a, 1996b)	Dirigido ao indivíduo <i>Offshore/onshore</i>	Determinístico	<p>Variáveis ao nível da espécie: <i>Aspect ratio</i>; Envergadura; Velocidade de voo.</p> <p>Variáveis ao nível da área de estudo: Velocidade do vento;</p> <p>Variáveis ao nível do PE: Fator de indução axial; Número de pás; Comprimento das pás; Raio do rotor.</p>	Probabilidade de colisão	Aplicável a várias espécies. Características dos AG consideradas.	Complexa aplicabilidade e muito mecanicista. Requer um elevado esforço de recolha de dados em campo. Apresenta fracas relações entre o risco de colisão previsto e a mortalidade observada. Não é considerado nenhum fator específico ao nível da espécie, exceto variáveis morfológicas. São considerados poucos fatores ao nível da área de estudo. Não são consideradas colisões com AG parados ou com a torre.	Todas as aves têm uma envergadura superior ao seu comprimento e são bidimensionais (retângulo). As aves só realizam atravessamentos em voo planado. As aves movem-se apenas de forma paralela ou perpendicular ao rotor.	Não	Não

Modelos de risco de colisão	Âmbito de utilização	Tipo de modelo	Dados de input	Dados de output	Pontos fortes	Pontos fracos	Suposições	Validação	Aplicabilidade em AIA
U.S. Fish & Wildlife Service (2013)	Dirigido a uma população (espécies <i>Aquila chrysaetos</i> e <i>Haliaeetus leucocephalus</i>) Onshore	Estocástico	Taxa de aves expostas ao risco de colisão (número de aves por hora e por km ² que presente na área de risco); Probabilidade de colisão dada a exposição a esse risco de acordo com Whitfield (2009); Fator de expansão que escala a taxa de mortalidade para um número anual de colisões (baseado no nº de AG e na área de perigo em redor de cada AG).	Número de aves que colide	É utilizada uma abordagem bayesiana, ou seja, permite a atualização da probabilidade de colisão estimada com base na disponibilidade de nova informação. Embora a probabilidade de colisão considerando o grau de exposição a esse risco tenha sido calculada com base em Whitfield (2009), quaisquer dados ou estudos podem ser utilizados como substituição, desde que os dados sejam adequados.	Não são identificados AG associados a maior risco de colisão. Difícil de medir a taxa de evitação. Requer um nível considerável de esforço de recolha de dados em campo. É dirigido apenas a um grupo de duas espécies, portanto utilizá-lo de forma dirigida à totalidade das espécies de uma área de estudo pode ser moroso, uma vez que a taxa de mortalidade global será cumulativa dos vários grupos de espécies. Pode levar à sobrestimação das aves expostas ao risco de colisão caso sejam contabilizados os mesmos indivíduos mais do que uma vez (na medida em que cada indivíduo só pode colidir uma vez).	Assume que continuarão a ser encontrados cadáveres de aves por colisão com AG, para refinar a estimativa anual de aves mortas (caso não sejam, essa previsão mantém-se grosseira).	Não	Não

Anexo D

Tabela D 1 – Listagem de variáveis cujos dados são recolhidos (ou estão disponíveis por outras vias) no âmbito do estudo de caso. É sintetizada a abordagem de utilização a cada variável e/ou o modo de obtenção dos dados. As variáveis assinaladas com (*) referem-se àquelas que podem ser influenciadas pela presença do PE.

Variáveis	Abordagem de utilização
Área da asa	Variável qualitativa ordinal ou quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
Comprimento da cauda	Variável qualitativa ordinal ou quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
Comprimento total da ave	Variável qualitativa ordinal ou quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
Envergadura	Variável qualitativa ordinal ou quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
Massa corporal	Variável qualitativa ordinal ou quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
Proporção da asa (<i>Aspect ratio</i>)	Variável qualitativa ordinal ou quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
Proximidade filogenética entre espécies	Variável quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
Relação peso/área da asa (<i>Wing loading</i>)	Variável qualitativa ordinal ou quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
Sexo dos indivíduos	Variável qualitativa nominal. São apontados os sexos sempre que possível, portanto os dados são muito grosseiros. Só poderia ser utilizada com um <i>subset</i> reduzido de dados.
Acuidade visual	Variável qualitativa nominal ou quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
Capacidade auditiva	Variável qualitativa nominal ou quantitativa contínua. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
*Altura de voo	Variável qualitativa ordinal. Transformando os dados, podemos obter as seguintes classes: Classe 1: Abaixo do rotor Classe 2: Ao nível do rotor Classe 3: Acima do rotor
Velocidade de rotação do rotor	Variável quantitativa contínua. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
*Atividade desempenhada em voo	Variável qualitativa nominal. De notar que os movimentos não são seccionados, é apontada apenas a atividade que a ave mais tempo desempenhou. Classe: Voo de passagem Voo de caça

Variáveis	Abordagem de utilização
	Voo circular Voo territorial Repouso
Comportamento social	Variável qualitativa nominal. É, quantitativamente, apontado o nº de indivíduos por movimento. Mas estes poderiam ser agrupados, de forma categórica. Exemplo: Classe 1: aves isoladas Classe 2: bandos até 10 indivíduos Classe 3: bandos entre 10 e 50 indivíduos Classe 4: bandos entre 50 e 100 indivíduos Classe 5: bandos com mais de 100 indivíduos
*Comprimento do movimento	Variável quantitativa contínua Os movimentos são registados espacialmente. É possível retirar o comprimento para cada rota.
*Evitação	Variável qualitativa nominal. Os movimentos são registados espacialmente. É possível definir se há ou não alteração de rota para cada movimento. No entanto, os dados disponíveis são grosseiros. Também pode ser considerada de acordo com bibliografia.
*Orientação de voo	Variável qualitativa nominal. Os movimentos são registados espacialmente. Exemplo: Uma classe por ponto cardeal.
*Sinuosidade do movimento	Pode ser tida em conta qualitativamente, caso considerados os comportamentos observados. Os movimentos são registados espacialmente, portanto também é possível calcular quantitativamente através de <i>software</i> apropriado.
Idade dos indivíduos	Variável qualitativa ordinal. São apontadas as idades sempre que possível, portanto os dados são muito grosseiros. Só poderia ser utilizada com um <i>subset</i> reduzido de dados.
Tipo de movimento sazonal	Variável qualitativa nominal. Pode ser considerada de acordo com bibliografia.
*Abundância relativa	Variável quantitativa discreta. São apontados número de indivíduos por movimento e número de movimentos.
*Densidade de kernel	Variável quantitativa contínua. São calculadas as densidades <i>kernel</i> por espécie, global excluindo o grifo e total.
*Densidade relativa	Variável quantitativa contínua. São apontados número de indivíduos por movimento e número de movimentos. Portanto, pode calcular-se a densidade por determinada unidade de área.
Potencial de ascensão em térmicas	Variável quantitativa contínua. Pode ser calculada com base em variáveis meteorológicas de referências adequadas.

Variáveis	Abordagem de utilização
Presença de outras infraestruturas	Variável qualitativa nominal ou quantitativa contínua. Pode ser avaliada com base em usos e ocupação de solo.
Direção do vento	Variável qualitativa nominal. São nos fornecidos dados de meteorologia registados por antenas meteorológicas na área do PE.
*Adequabilidade do habitat para caça	Variável qualitativa ordinal. Através da análise de variáveis topográficas e das ocupações de solo, pode construir-se o índice de adequabilidade.
Nebulosidade	Variável quantitativa contínua. São nos fornecidos dados de meteorologia registados por antenas meteorológicas na área do PE.
Temperatura	Variável quantitativa contínua. São nos fornecidos dados de meteorologia registados por antenas meteorológicas na área do PE.
Velocidade do vento	Variável quantitativa contínua. São nos fornecidos dados de meteorologia registados por antenas meteorológicas na área do PE.
Altura do solo	Variável quantitativa contínua. Pode ser calculada com base em modelos geoespaciais.
Declive do terreno	Variável quantitativa contínua. Pode ser calculada com base em modelos geoespaciais.
Orientação da encosta	Variável quantitativa contínua. Pode ser calculada com base em modelos geoespaciais.
Altura do AG	Variável quantitativa contínua. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
Área de varrimento das pás	Variável quantitativa contínua. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
*Atividade do rotor	Variável qualitativa nominal. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
*Configuração espacial dos AG	Variável qualitativa nominal. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
Diâmetro do rotor	Variável quantitativa contínua. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
Espessura das pás	Variável quantitativa contínua. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.

Variáveis	Abordagem de utilização
Forma da torre	Variável qualitativa nominal. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
Forma do rotor	Variável qualitativa nominal. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
*Luminosidade do PE	Variável quantitativa contínua. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
*Ruído provocado pelos AG	Variável quantitativa contínua. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
*Visibilidade das pás	Variável quantitativa contínua. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.
Tamanho das pás	Variável quantitativa contínua. A EDP fornece dados relativos às características dos AG.