

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA ANIMAL



**Monitorização acústica passiva: influência do habitat e da
estação do ano para a caracterização da comunidade de aves**

Ana Alexandra de Almeida Rodrigues

Mestrado em Biologia da Conservação

Dissertação orientada por:
Doutora Ana Leal Martins

AGRADECIMENTOS

A todos os que tornaram a realização desta tese possível, o meu profundo obrigado pelo apoio incondicional.

Em primeiro lugar, agradeço do fundo do meu coração à minha orientadora Ana Leal pela disponibilidade infinita e pela paciência para me aturar ao longo deste ano. Ficarão guardadas as saídas de campo fantásticas em que servimos de refeição para os mosquitos e todos os truques e dicas. Aprendi imenso contigo e sem dúvida que daqui em diante serei melhor bióloga e investigadora graças a ti. Muito obrigada pela extrema compreensão, por apostares em mim e por me desafiares dia após dia. A sorte que tive em ter-te como orientadora, muito obrigada por tudo!

Ao professor Jorge Palmeirim, que mesmo não sendo orientador formal mostrou-se sempre disponível para me ajudar. Fico muito agradecida pelas sugestões e conselhos que ajudaram a melhorar a minha tese.

Ao Sérgio Chozas, por toda a ajuda na gestão e organização do material das amostragens, para que conseguíssemos ter sempre os aparelhos prontos e disponíveis.

À Companhia das Lezírias, pela oportunidade de realizar as amostragens na herdade. Em particular, agradeço ao engenheiro Rui Alves por todo o apoio e disponibilidade durante as nossas visitas.

Ao Porbiota, por fornecer todo o material necessário para as amostragens, nomeadamente os aparelhos *AudioMoth*.

À Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, agradeço ter-me acolhido ao longo destes anos de licenciatura e agora de mestrado. Agradeço igualmente ao fantástico grupo de investigação do TMB/cE3c que me acolheu tão bem.

À minha família, mãe, pai e mana, nunca irei conseguir agradecer por tudo o que fizeram durante estes anos. O mestrado coincidiu com a pandemia, uma época extremamente complicada para todos, e quando as coisas corriam mal eram vocês que levavam com os meus dramas. Foram vocês que me chamaram à razão, que me levantaram o ânimo milhões de vezes e disseram “vai tudo correr bem”. Muito obrigada por estarem presentes sempre.

Aos meus amigos, agradeço por todo o suporte e preocupação. Em especial, à Raquel, Joana e Miguel.

Aos meus amigos e parceiros biólogos: à Sara, à Leticia e ao Luís, obrigada por partilharem o desespero de escrever uma tese nestes tempos difíceis, por toda a ajuda mútua e por todos os passeios à procura dos nossos bichinhos (teremos muitos mais!). Gosto muito de vocês e estou ansiosa por começar a ler coisas giras da vossa autoria. Desejo-vos o maior dos sucessos!

Aos suspeitos do costume, à *Fam* que me acompanha desde o primeiro ano de licenciatura e que me orgulho de dizer que são “as minhas pessoas”, muito obrigada! Em 2 anos de pandemia em que mal nos vimos (e alguns continuamos sem ver), o melhor dos meus dias foi podermos partilhar o que nos ia na alma, os desgostos e os sucessos, naquelas videochamadas que me enchiam o coração. Obrigada por me ajudarem a acreditar a cada dia que passa que é mesmo isto que eu quero. Não vou agradecer individualmente, mas sim ao grupo, porque é o facto de sermos tão diferentes e de cada um estar na sua área que nos torna tão únicos. Tódes nós somos bons nisto, nascemos mesmo para isto. Aprendo todos os dias com vocês e digo mesmo que hoje sou uma pessoa melhor graças a vocês. Obrigada por me darem o privilégio de vos ter na minha vida. Gosto de vocês milhões!

Ao meu Zezinho, esta tese é inteiramente dedicada a ti.

RESUMO

O estudo das comunidades de aves representa uma ferramenta crucial para o conhecimento e consequente conservação dos habitats. Ao longo dos anos, as técnicas de amostragem têm evoluído e atualmente, além das técnicas tradicionais com observador, como pontos de escuta, as técnicas de monitorização acústica passiva começam a ser mais utilizadas. Em ambas as metodologias, o habitat é um dos principais fatores que influencia a deteção das aves, tal como a época do ano em que são realizadas as amostragens. Assim, para estudar a influência da estrutura do habitat e das estações do ano no potencial uso de metodologias acústicas automáticas para a monitorização das comunidades de aves, recorreu-se às duas técnicas de amostragem referidas para obter dados de dois tipos de habitat com estrutura distinta: um habitat aberto e um habitat fechado. O número de espécies detetadas foi superior nos pontos de escuta em ambos os habitats, mas com diferenças significativas relativamente às estações acústicas apenas no habitat aberto. O contributo das deteções visuais, apenas possível nos métodos dependentes de um observador, é uma possível explicação para esta diferença. Os resultados revelam ainda que, em habitats fechados, as estações acústicas podem ser úteis para complementar os registos obtidos por observadores, pois a presença da vegetação dificulta a deteção visual das aves. Adicionalmente, a diferença nas espécies detetadas pelos pontos de escuta e pelas estações acústicas foi superior no habitat aberto e no inverno, onde as aves foram mais facilmente detetadas pelo observador. Utilizou-se o Índice de Prevalência Acústica e *traits* acústicos e não-acústicos para tentar explicar os resultados obtidos. A técnica de amostragem automática revelou um bom desempenho, detetando praticamente todas as espécies. Contudo, esta metodologia pode tornar-se menos eficaz em determinadas situações, sendo vantajoso o uso conjunto com pontos de escuta, embora esta opção possa ser mais dispendiosa.

PALAVRAS-CHAVE

monitorização acústica passiva, pontos de escuta, aves, estrutura do habitat, bioacústica

ABSTRACT

The study of bird communities represents an important tool for the knowledge of habitats and therefore for their conservation. In recent years, sampling techniques have evolved and nowadays, in addition to observer-based traditional methods, such as point counts, passive acoustic monitoring techniques are starting to be applied. Regardless of the methods, habitat type is one of the main factors influencing bird detectability, just like the time of the year. Thus, to study the influence of habitat structure and season on the potential use of automatic acoustic methods for bird monitoring, we used both sampling techniques to estimate species richness in two habitats with different structures: an open habitat and a more closed forest habitat. The number of species detected was higher in point counts in both habitat types, but with significant differences related to acoustic stations only in the open habitat. Visual detections, only possible in methods that depend on an observer, is a possible explanation for the differences. The results also revealed that the use of automatic acoustic recorders in closed habitats can be useful to complement the observer's records, since vegetation interferes with visual bird detection by the observer. Additionally, the difference in detected species by point counts and acoustics stations was higher in the open habitat and in winter, where birds were more easily detected by the observer. The Acoustic Prevalence Index and acoustic and non-acoustic species traits were used to try to explain the results. The automatic sampling technique showed a good performance, detecting practically all species. However, this methodology may become less effective in some situations, and its use together with point counts may become advantageous, although this option may be more expensive.

KEY WORDS

passive acoustic monitoring, point counts, birds, habitat structure, bioacoustics.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS.....	VI
1 INTRODUÇÃO	1
2 MÉTODOS	4
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	4
2.2 RECOLHA DE DADOS.....	5
2.2.1 <i>Estações acústicas automáticas</i>	5
2.2.2 <i>Pontos de escuta com observador</i>	6
2.3 ANÁLISE DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	6
2.3.1 <i>Número de estações acústicas necessárias para caracterizar a comunidade de aves</i>	6
2.3.2 <i>Análise dos registos das estações acústicas e observador</i>	6
2.3.3 <i>Análise de traits acústicos e não-acústicos das aves</i>	7
3 RESULTADOS.....	9
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE AVES.....	9
3.2 NÚMERO DE ESTAÇÕES ACÚSTICAS PARA CARACTERIZAR A COMUNIDADE DE AVES.....	11
3.3 DIFERENÇAS ENTRE TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM NOS DOIS TIPOS DE HABITATS NO INVERNO E PRIMAVERA.....	11
3.4 COMPARAÇÃO DA PROPORÇÃO DE REGISTOS VISUAIS NOS DOIS TIPOS DE HABITATS E ESTAÇÕES DO ANO.....	13
3.5 ÍNDICE DE PREVALÊNCIA ACÚSTICA.....	13
3.6 <i>TRAITS ACÚSTICOS E NÃO-ACÚSTICOS</i>	15
4 DISCUSSÃO	17
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE AVES.....	17
4.2 COMPARAÇÃO DAS TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM NOS DOIS TIPOS DE HABITAT E ESTAÇÕES DO ANO	18
4.3 FATORES QUE PODEM CONTRIBUIR PARA AS DIFERENÇAS ENTRE PONTOS DE ESCUTA E ESTAÇÕES ACÚSTICAS AUTOMÁTICAS.....	19
4.4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
5 REFERÊNCIAS	22
ANEXOS	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa da área de estudo na Companhia das Lezírias, com os pontos de amostragem selecionados.....	4
Figura 2.2. Esquema utilizado nas amostragens.....	5
Figura 3.1. Comparação das espécies detetadas pelas duas técnicas de amostragem nos dois habitats e estações do ano.	9
Figura 3.2. Curvas de rarefação.....	11
Figura 3.3. Comparação das espécies detetadas por cada técnica de amostragem nos dois habitats e estações do ano.....	12
Figura 3.4. Índice de Prevalência Acústica (IPAc).....	14
Figura 3.5. Regressões lineares dos traits acústicos significativos.	16

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Abundância relativa das espécies de aves.....	10
Tabela 3.2. Diferença de espécies detetadas por cada técnica de amostragem em cada tipo de habitat.....	12
Tabela 3.3. Proporção de registos visuais.....	13
Tabela 3.4. Análise da relação entre o Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG) e os <i>traits</i> não-acústicos.....	15
Tabela 3.5. Análise da relação entre o Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG) e os <i>traits</i> acústicos.....	16

1 Introdução

As aves têm sido um modelo frequentemente utilizado em vários estudos ecológicos, não só por serem facilmente detetáveis comparativamente com outros grupos faunísticos (Farina et al. 2011), mas também pelo papel fundamental que desempenham no funcionamento dos ecossistemas. Entre os serviços de ecossistemas fornecidos pelas aves destacam-se a dispersão de sementes, a polinização realizada por algumas espécies e o controlo de pragas (Whelan et al. 2015; Mahendiran & Azeez 2018), proporcionando assim grandes benefícios para o ser humano. Além disso, vários autores consideram este grupo um bom indicador de qualidade ambiental (Bibby 1999; Gregory & Strien 2010; Pereira et al. 2015), devido à vasta documentação das suas distribuições e tendências populacionais, ao facto de ocuparem uma grande diversidade de habitats e de responderem particularmente rápido às alterações das condições dos mesmos (Temple & Wiens 1989). Apesar do seu reconhecido valor, nas últimas décadas tem sido confirmado o declínio de uma grande parte das populações europeias (Burns et al. 2021) e portuguesas (Alonso et al. 2019) de aves agrícolas e florestais, o que evidencia a importância da monitorização da avifauna para a conservação das suas comunidades e respetivos habitats.

As vocalizações têm um papel fundamental para as aves, desempenhando funções a nível da comunicação, comportamentos reprodutores e defesa do território (Marler & Slabbekoorn 2004; Furnas & McGrann 2018). A maioria das espécies de aves possuem vocalizações características (entre cantos e chamamentos) que permitem a sua identificação, sendo na verdade muitas vezes um dos principais indícios da sua presença num local. De facto, autores como Brewster and Simons (2009) e Furnas and McGrann (2018) comprovaram que na monitorização de grande parte das aves a maioria das deteções de indivíduos são acústicas. Como tal, a bioacústica é uma das áreas cada vez mais utilizada para a monitorização da avifauna, particularmente para estimativas de abundância e riqueza específica (Celis-Murillo et al. 2009), assim como de densidade (Pérez-Granados & Traba 2021).

Os métodos tradicionalmente mais usados para a monitorização das espécies e comunidades de aves baseiam-se em observadores, como transetos ou pontos de escuta. Os pontos de escuta são uma das metodologias mais utilizadas, e baseiam-se no registo de todas as espécies detetadas visual e auditivamente por um observador no campo, durante um período definido de tempo (Wheeldon et al. 2019), podendo ser realizados em vários tipos de clima, habitats e estações do ano (Ralph et al. 1995). Além de permitirem a recolha de informações sobre o comportamento e a relação das aves com os habitats, são frequentemente utilizados para estimativas de abundância e riqueza específica (Ralph et al. 1995; Kułaga & Budka 2019). No entanto, existem fatores condicionantes nos pontos de escuta, como a experiência do observador na identificação das espécies ou a influência da sua presença no comportamento natural das aves (Kułaga & Budka 2019). A detetabilidade das aves, e consequentemente o seu registo pelo observador, é também influenciada por fatores como o período do dia e a época do ano (Ralph et al. 1995) ou mesmo as características do habitat em estudo. Ainda assim, este continua a ser um dos métodos mais utilizados para a contagem de aves, por exemplo, em censos anuais.

No entanto, nos últimos anos, as técnicas de monitorização da biodiversidade têm sofrido grandes avanços, particularmente a área da monitorização acústica passiva, que consiste na utilização de gravadores que são colocados no terreno durante um determinado período de tempo, para registo acústico dos indivíduos. As gravações obtidas são posteriormente analisadas em laboratório (Kułaga & Budka 2019). Esta metodologia tem vindo a tornar-se bastante útil para a monitorização da biodiversidade, sendo as aves e os morcegos dos grupos-alvo mais utilizados (Sugai et al. 2019). Trata-se de uma técnica que permite recolher uma grande quantidade de dados durante longos períodos de tempo (Haselmayer & Quinn 2000; Darras et al. 2018), além de ser uma metodologia não-invasiva e de fácil utilização (Browning et al. 2017). Contudo, esta técnica também tem limitações, como o facto de estar cingida à identificação de espécies que emitam sons detetáveis e distintos (Browning et al. 2017)

e o preço elevado de muitos dos aparelhos utilizados, limitando a utilização mais generalizada desta metodologia (Browning et al. 2017). No entanto, o aparecimento recente de novos aparelhos mais económicos (ex. *AudioMoth* da *Open Acoustics*) permite ultrapassar esta limitação e alargar a utilização de metodologias acústicas automáticas em projetos de monitorização. Além do preço acessível, os *AudioMoth* são aparelhos pequenos e com baixo consumo de energia (Hill et al. 2019), tornando-se uma boa ferramenta para a recolha de dados de forma contínua e a longo prazo (Prince et al. 2019). Nos últimos anos, foram realizados alguns estudos com recurso a estes aparelhos, que reforçam a sua utilidade na monitorização e caracterização das comunidades de aves (Hill et al. 2018; Dixon et al. 2020).

Embora existam cada vez mais estudos científicos focados na avifauna, não é consensual qual a técnica de amostragem mais eficaz para a monitorização das suas comunidades. Enquanto alguns autores mostram que os pontos de escuta realizados por observadores conseguem registar um maior número de espécies de aves (Hutto & Stutzman 2009; Kułaga & Budka 2019), outros indicam que as estações acústicas automáticas têm vantagem na deteção das espécies (Celis-Murillo et al. 2009; Wheeldon et al. 2019). Por um lado, a existência da componente visual nos métodos tradicionais baseados em observadores representa a maior vantagem destas técnicas, pois permite o registo de espécies em silêncio ou pouco vocais no campo, assim como a deteção das espécies a 360° (Haselmayer & Quinn 2000). Por outro lado, as gravações obtidas pelas estações acústicas podem ser repetidas durante a análise em laboratório, facilitando a identificação de espécies que poderiam não ser detetadas diretamente no campo (Celis-Murillo et al. 2009). Tendo em conta estes fatores, muitos autores sugerem o uso das duas técnicas de amostragem em conjunto para obter resultados mais robustos e precisos (Celis-Murillo et al. 2009; Kułaga & Budka 2019; Wheeldon et al. 2019). Dadas as inconsistências nos resultados e conclusões apresentados pelos diversos autores, é fundamental saber qual a metodologia mais adequada, considerando não só as características das espécies a estudar, mas também do habitat onde ocorrem.

De facto, a detetabilidade das aves varia de acordo com diversos fatores, entre eles a presença de vegetação, uma vez que a elevada densidade de árvores e arbustos num habitat reduz a probabilidade de deteção das aves (Pacifici et al. 2008), dado que as folhas constituem uma barreira visual, além de atenuarem a propagação das vocalizações no ambiente. Alguns estudos de monitorização da avifauna em habitats fechados evidenciam a dificuldade na deteção de espécies, tanto em pontos de escuta realizados por observadores, como em estações acústicas automáticas (Schieck 1997; Pacifici et al. 2008; Yip et al. 2017). Por outro lado, aparentemente em habitats mais abertos, a baixa densidade de vegetação facilita a deteção das aves, tanto auditiva como por registos visuais (Kułaga & Budka 2019). Contudo, existem ainda algumas lacunas de conhecimento acerca da utilização de técnicas de monitorização acústica passiva nestes habitats.

Neste estudo, definiram-se dois tipos de habitat, um habitat fechado dominado por floresta e um habitat aberto sem árvores e dominado por vegetação herbácea. Para a representação do habitat fechado, escolheu-se o montado, sistema agro-silvo-pastoril dominado por sobreiros (*Quercus suber* L.) e azinheiras (*Quercus rotundifolia* Lam.), que representa cerca de um terço da área florestada em Portugal Continental (ICNF 2019). Dada a sua heterogeneidade, os montados contêm uma elevada variedade de micro-habitats que fornecem recursos essenciais para as aves, como alimento e refúgio (Simonson et al. 2018). Com isto, são sistemas que albergam uma grande diversidade biológica, incluindo aves de grupos muito distintos (Pereira et al. 2015), o que contribui para a sua classificação como um sistema com Elevado Valor Natural (*High Nature Value system*) (Pereira et al. 2015; Catarino et al. 2016). Por sua vez, os terrenos agrícolas, que representam o habitat aberto neste estudo, funcionam essencialmente como locais de alimentação para uma grande diversidade de espécies de aves, principalmente durante as estações de outono e inverno (Moreira et al. 2005; Rollan et al. 2019). A intensificação da agricultura tem sido uma das principais causas do declínio das populações presentes nestes ecossistemas (Chiantente

& Meriggi 2016), pelo que a sua gestão sustentável é crucial para a conservação da comunidade de aves presente nestes habitats.

Para além do habitat, a sazonalidade representa outro fator de influência na detetabilidade das aves e, conseqüentemente, na eficácia das técnicas de monitorização utilizadas, uma vez que as estações do ano determinam o tipo de comportamento de muitas espécies, tornando-as mais ou menos conspícuas. A primavera, sendo a época de nidificação da maioria das espécies de aves nas regiões temperadas, corresponde à estação do ano em que estas se encontram mais vocais, utilizando frequentemente cantos associados à reprodução, nomeadamente para procura de parceiro sexual e defesa de territórios (Marler & Slabbekoorn 2004). Contrariamente, no inverno as vocalizações correspondem maioritariamente a chamamentos que por si só são mais curtos e com um padrão de frequência mais simples (Marler & Slabbekoorn 2004), dificultando a sua deteção. Também o ruído provocado pelas condições meteorológicas adversas características desta época do ano, como a chuva e vento, condiciona a detetabilidade das aves.

Dada a reconhecida importância da monitorização da biodiversidade num contexto de alterações climáticas e dos habitats, são vários os projetos de investigação em diversas áreas que se têm debruçado sobre o fornecimento de dados científicos. Assim, com este estudo pretendeu-se analisar a influência da estrutura do habitat (ex. aberto *versus* fechado) e da estação do ano (ex. inverno *versus* primavera) no uso e eficácia das metodologias acústicas automáticas para a monitorização da comunidade de aves. Mais especificamente, os objetivos foram: (1) determinar se o número de espécies de aves detetadas por observador nos pontos de escuta é diferente relativamente às estações acústicas automáticas; (2) analisar a diferença no número de espécies detetadas entre pontos de escuta e estações acústicas automáticas em habitats abertos e fechados e (3) determinar se existem diferenças no número de espécies detetadas entre pontos de escuta e estações acústicas automáticas entre o inverno e a primavera.

Em suma, este estudo fornece informações acerca da eficácia de dois métodos de amostragem, pontos de escuta e monitorização acústica passiva, considerando a influência do tipo de habitat e da estação do ano, contribuindo assim para a definição de metodologias de monitorização da biodiversidade, nomeadamente da avifauna, a médio/longo prazo.

2 Métodos

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo insere-se no projeto PORBIOTA, que visa desenvolver um programa de monitorização da biodiversidade a nível nacional, através da recolha e partilha de dados, de forma a completar possíveis lacunas no conhecimento da mesma. No âmbito deste projeto, iniciou-se no ano anterior a recolha de dados na Companhia das Lezírias em zonas de montado.

Com isto, este estudo realizou-se na Charneca do Infantado, propriedade pertencente à Companhia das Lezírias, Benavente, Santarém, Portugal. A Companhia das Lezírias é uma sociedade de fins públicos situada na Reserva Natural do Estuário do Tejo e inserida na Zona de Proteção Especial (PTZPE0010) e no Sítio de Interesse Comunitário da Rede Natura 2000 (PTCON0009), abrangendo assim habitats naturais e seminaturais de extrema importância, nomeadamente para a comunidade de aves. Sendo uma propriedade com várias atividades económicas, possui uma grande diversidade de usos do solo, incluindo exploração florestal e agricultura. A área arborizada representa uma elevada percentagem da totalidade da Charneca do Infantado (cerca de 81%; Companhia das Lezírias 2016) e está dividida entre pinhal bravo (*Pinus pinaster* Aiton), pinhal manso (*Pinus pinea* L.), eucaliptal (*Eucalyptus globulus* Labill.) e montado de sobro, este último a constituir 75% da área florestal (Companhia das Lezírias 2016).

A área selecionada para a amostragem inclui dois tipos de habitat com estruturas distintas, um deles fechado e outro aberto (Figura 2.1). O habitat fechado é representado por uma zona de montado de sobro, enquanto o habitat aberto está distribuído por zonas agrícolas com vegetação herbácea, ocupando áreas de 6 603 ha e 485 ha da área total da Companhia das Lezírias, respetivamente (Companhia das Lezírias 2016).

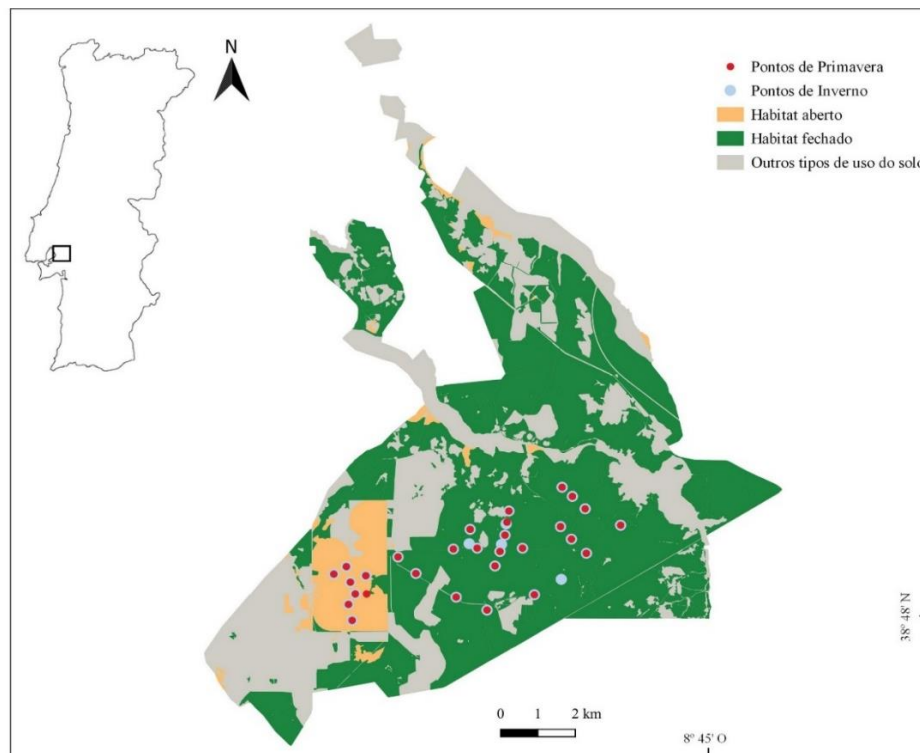


Figura 2.1. Mapa da área de estudo na Companhia das Lezírias, com os pontos de amostragem selecionados. Estão representados o habitat aberto (a amarelo), o habitat fechado (a verde) e outros tipos de uso do solo (a cinzento), assim como os 31 pontos da amostragem de inverno (a azul) e os 29 pontos da amostragem de primavera (a vermelho). Os pontos com as duas cores foram amostrados em ambas as épocas.

2.2 RECOLHA DE DADOS

A recolha de dados no campo decorreu em duas estações do ano distintas: no inverno (de 15 a 19 de fevereiro de 2021) e na primavera (de 19 a 23 de abril de 2021). Para a amostragem de inverno selecionaram-se 31 locais, divididos entre os dois tipos de habitat: 24 em habitat fechado e 7 em habitat aberto (Figura 2.1). Na primavera, selecionaram-se 29 pontos, divididos de forma semelhante: 21 em habitat fechado e 8 em habitat aberto (Figura 2.1). Em ambas as épocas, alguns locais foram amostrados duas vezes, levando a um total de pontos de N=14 no inverno e N=16 na primavera no habitat aberto, e N=24 no inverno e N=29 na primavera no habitat fechado. Em cada tipo de habitat, os locais foram cuidadosamente escolhidos para que tivessem características semelhantes entre si, por exemplo com semelhante densidade de árvores e matos ou locais com sobreiros adultos, de forma a minimizar possíveis enviesamentos na recolha de dados.

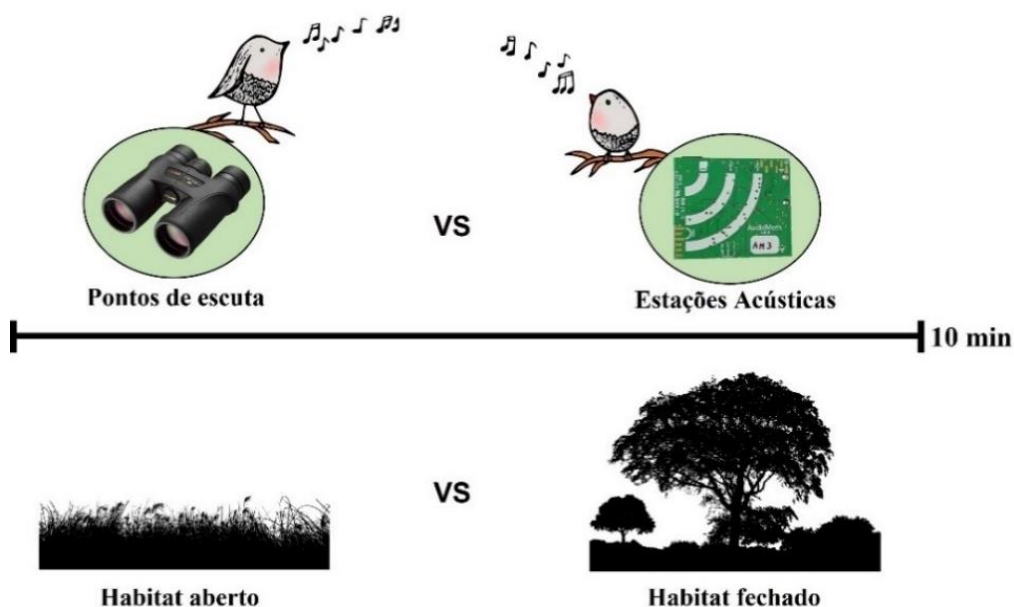


Figura 2.2. *Esquema utilizado nas amostragens.* Esquema da recolha de dados utilizado nas amostragens de inverno e primavera, usando o método dos pontos de escuta e estações acústicas automáticas, nos habitats aberto e fechado.

2.2.1 Estações acústicas automáticas

Para o registo das aves através das estações de registo automático, utilizaram-se aparelhos *AudioMoth* (Hill et al. 2018, 2019) programados para gravar a uma frequência de amostragem de 48 kHz, apropriada para recolha de dados dirigidos a aves, e com gravações entre as 6 h e as 24 h, em períodos de uma hora com paragens de 5 segundos a cada hora. Com esta programação foi possível recolher dados durante cerca de 4 dias consecutivos. No habitat fechado, as estações acústicas foram colocadas a uma distância mínima de 300 m entre si, e no habitat aberto foram distanciadas cerca de 500 m, de forma a reduzir a possibilidade de repetição dos registos dos mesmos indivíduos entre estações. Em ambos os habitats, os gravadores foram colocados em posição vertical, a cerca de 1,5 m do chão (Yip et al. 2017; Smith et al. 2020), presos em troncos de árvores de perímetro reduzido ou em vedações, e sempre garantindo que não existiam elementos a obstruir a deteção auditiva por parte dos aparelhos (ex. ramos em frente ao gravador), o que poderia influenciar os dados recolhidos pelos gravadores.

Os aparelhos *AudioMoth* estavam inseridos em caixas, nas quais foi feito um furo de 5 mm em frente ao microfone, que foi protegido com uma malha de metal de 500 μ que, em experiências anteriores, revelou ser um bom compromisso entre garantir a impermeabilidade e não reduzir a captação do sinal por parte do aparelho.

2.2.2 Pontos de escuta com observador

Nos mesmos locais e dias em que as estações de gravação automática estavam a recolher dados, realizaram-se amostragens de 10 minutos com observador utilizando o método dos pontos de escuta (Figura 2.2). Durante a amostragem, o observador registou todas as espécies de aves detetadas auditiva e visualmente (Ralph et al. 1995), fazendo a distinção entre estes dois tipos de registo. A amostragem foi realizada por dois observadores e decorreu durante as 4 horas seguintes ao nascer do sol, coincidindo com as horas de maior atividade das aves (Ralph et al. 1995).

Adicionalmente, foram anotadas as condições meteorológicas (vento, nebulosidade, visibilidade e chuva) e recolhidos dados relativos ao habitat, como a percentagem de cobertura do estrato herbáceo, densidade arbórea, altura da vegetação e presença de matos, por estimativa visual. De salientar que as contagens nunca foram realizadas em dias com condições meteorológicas desfavoráveis, como chuva ou vento forte, dado que isso iria influenciar a recolha dos dados pelo observador e a qualidade das gravações automáticas.

2.3 ANÁLISE DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

2.3.1 Número de estações acústicas necessárias para caracterizar a comunidade de aves

Um dos primeiros passos da análise dos dados foi a estimativa do número de estações acústicas necessárias para caracterizar a comunidade de aves de cada um dos habitats em estudo. Para isso, usaram-se gravações automáticas recolhidas em tarefas anteriores do projeto PORBIOTA (utilizando também aparelhos *AudioMoth* programados de forma semelhante) e dados recolhidos em 2021. Mais especificamente, foram utilizados dados de fevereiro e de maio de 2020, recolhidos no habitat fechado, e dados recolhidos em fevereiro e abril de 2021 no habitat fechado e aberto. Utilizando estes dados, registaram-se todas as espécies detetadas durante 10 minutos de gravação (ver detalhes sobre a análise manual das gravações no ponto 2.3.2). No total, foram analisadas 24 gravações no inverno e 26 gravações na primavera de 2020 e 46 gravações no inverno e 51 gravações na primavera de 2021, todas elas obtidas durante as 4 horas após o nascer do sol.

De forma a perceber qual o número de estações acústicas necessárias para identificar e contabilizar as espécies de aves que compõem a comunidade em cada um dos habitats no inverno e na primavera, foram geradas curvas de rarefação utilizando o programa PAST (versão 4.03; Hammer et al. 2001) e o *Microsoft Excel*.

2.3.2 Análise dos registos das estações acústicas e observador

Nas gravações totais obtidas com as estações acústicas automáticas, selecionaram-se os 10 minutos de gravação coincidentes com a realização dos pontos de escuta, facilmente identificadas através de um sinal dado pelo observador aquando do início e final da sua contagem. A identificação das vocalizações gravadas foi feita auditivamente, com o apoio dos espectrogramas das gravações, através do programa *Audacity* (versão 2.4.1; Crook 2020). Os espectrogramas foram analisados numa

escala de cinzentos, de forma a facilitar a visualização, e com frequências entre 200 Hz e 10000 Hz, onde se inserem a maioria das vocalizações das aves (Browning et al. 2017). A partir destes registos acústicos, fez-se a identificação e contagem das espécies de aves presentes. Sempre que necessário, recorreu-se à coleção de referência acústica do *Xeno-canto* (Xeno-canto Foundation 2021) para confirmação das identificações.

Usando os dados recolhidos pelo observador, enumeraram-se igualmente as espécies de aves presentes em cada ponto. Estes dados permitiram ainda calcular a abundância relativa das espécies de aves no habitat aberto e no habitat fechado para as duas estações do ano, considerando o número médio de indivíduos de cada espécie por ponto de amostragem. Realizou-se também a contagem dos registos visuais e auditivos de cada espécie detetada em cada ponto com o objetivo de calcular a proporção de registos visuais correspondente a cada habitat estudado nas duas estações do ano.

Para comparar o número de espécies de aves detetadas por cada metodologia (Observador *versus* Estações acústicas), realizaram-se testes *t* para amostras emparelhadas, após terem sido verificados os pressupostos que confirmam que os dados eram paramétricos (teste de *Shapiro-Wilk* para a normalidade e teste de *Bartlett* para a homocedasticidade). Esta análise foi realizada para os registos recolhidos no inverno e primavera nos dois tipos de habitat em estudo.

De forma a avaliar em quantas estações de amostragem se deteta uma determinada espécie de ave, calculou-se o Índice de Prevalência Acústica (IPAc) através da divisão dos registos de presença de cada espécie obtidos por cada técnica de amostragem pelo número total de estações de amostragem (Equação 2.1; Cook & Hartley 2018). Com isto, foi possível comparar a prevalência das espécies utilizando cada um dos métodos de amostragem, em cada habitat e estação do ano.

$$\text{Equação 2.1} \quad IPAc = \frac{\text{Número de pontos onde é detetada uma determinada espécie}}{\text{Número total de pontos}}$$

2.3.3 *Análise de traits acústicos e não-acústicos das aves*

Partindo das características gerais de cada espécie de ave e das características das suas vocalizações (designados *traits* daqui em diante), recolheram-se dados para cada espécie e avaliou-se a sua influência na sua detetabilidade.

Relativamente aos *traits* não-acústicos, recorreu-se às bases de dados de aves *Storchova* (Storchová & Hořák 2018) e *Elton* (Wilman et al. 2014) para obter os seguintes dados: massa corporal, tipo de ninho, sedentariedade, dieta e habitat dominante das espécies de aves detetadas nas amostragens (Anexo 1). Criou-se ainda a variável *Singing strata* que indica o estrato onde as aves mais frequentemente cantam (Anexo 1), com base em *expert knowledge*.

Para a recolha dos *traits* acústicos, consideraram-se apenas os cantos de cada espécie e apenas uma frase em cada canto (Brenowitz et al. 1997; Anexo 2). Para as espécies cujos cantos não foram recolhidos nas gravações realizadas no âmbito deste estudo, recorreu-se às gravações do *Xeno-canto* (Xeno-canto Foundation 2021). Utilizando os espectrogramas destas gravações e o programa *Audacity* (versão 2.4.1; Crook 2020), calcularam-se os seguintes parâmetros: frequência de máxima energia (Hz), frequência máxima e mínima (Hz) e duração (milissegundos) dos cantos para cada espécie (Anexo 3). Calculou-se ainda a variável amplitude do canto com base em *expert knowledge* de 3 investigadores, atribuindo uma escala de 1 a 5 a cada espécie, onde o 1 correspondia a vocalizações mais fracas e o 5 a vocalizações mais fortes.

Para a análise dos *traits* das aves, calculou-se previamente um Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG) com os dados recolhidos para cada espécie detetada pelo observador e pelas estações acústicas (Equação 2.2). As espécies com IDG = 0 foram detetadas exclusivamente pelo observador,

enquanto os valores mais elevados (máximo IDG = 3) correspondem a espécies que foram detetadas mais frequentemente pelas estações acústicas.

$$\text{Equação 2.2} \quad IDG = \frac{\text{Número de deteções pelos gravadores}}{\text{Número de deteções pelo observador}}$$

Nesta análise, separaram-se os dados do habitat aberto e fechado e usaram-se apenas os dados de primavera, uma vez que se consideraram apenas os cantos e estes são pouco frequentes durante o inverno, época em que as aves emitem principalmente simples chamamentos. De forma a minimizar o enviesamento dos resultados, excluíram-se as espécies detetadas apenas visualmente na análise dos *traits* acústicos e as espécies com apenas uma ocorrência registada durante a amostragem na análise dos *traits* não-acústicos. Para testar a relação entre o IDG e os *traits* acústicos realizaram-se testes de correlação de *Spearman*, devido à ausência de normalidade dos dados. Por outro lado, para a relação entre o IDG e os *traits* não-acústicos realizaram-se testes de análise de variância (ANOVA) e, quando necessário, testes de correlação de *Spearman*.

Toda a análise estatística neste trabalho foi realizada no programa RStudio (versão 1.1.463; R Core Team 2019) e considerou-se um nível de significância de 5%.

3 Resultados

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE AVES

Considerando o somatório das espécies detetadas pelas duas técnicas de amostragem, o habitat aberto apresentou uma diversidade específica mais elevada no inverno, com um total de 38 espécies de aves para 35 espécies detetadas na primavera (Figura 3.1). No habitat fechado, a diversidade foi superior na primavera, com 46 espécies de aves para 37 espécies registadas no inverno (Figura 3.1). Contudo, não se obtiveram diferenças significativas entre as duas estações do ano nem no habitat fechado ($t = -1.215$, $p\text{-value} = 0.230$) nem no habitat aberto ($t = 1.404$, $p\text{-value} = 0.172$) (Figura 3.1).

A partir dos resultados da abundância relativa das aves obtidos usando os dados do observador (Tabela 3.1), no habitat aberto verificou-se uma elevada abundância de espécies relativamente comuns, como o Pintassilgo *Carduelis carduelis* ou o Pardal-de-telhado *Passer domesticus*. Também algumas espécies de grande e médio porte foram abundantes neste tipo de habitat em ambas as estações do ano, como a Cegonha-branca *Ciconia ciconia* e o Pombo-das-rochas *Columba livia*, observadas com frequência a alimentarem-se nos campos de cultivo. Quanto ao habitat fechado, o Tentilhão-comum *Fringilla coelebs* foi a ave mais abundante nas duas estações do ano, tendo sido registado em todos os pontos de amostragem. As aves tipicamente florestais, como o Chapim-azul *Cyanistes caeruleus*, a Cotovia-dos-bosques *Lullula arborea* ou a Trepadeira-do-sul *Certhia brachydactyla*, foram igualmente abundantes neste tipo de habitat no inverno e na primavera. O Rouxinol-comum *Luscinia megarhynchos* foi uma das espécies mais comuns durante a amostragem de primavera no habitat fechado, estando presente na maioria dos pontos de amostragem. Por último, verificou-se que o Trigueirão *Emberiza calandra* e a Gralha-preta *Corvus corone* apresentaram uma elevada abundância relativa nos dois habitats e em ambas as estações do ano.

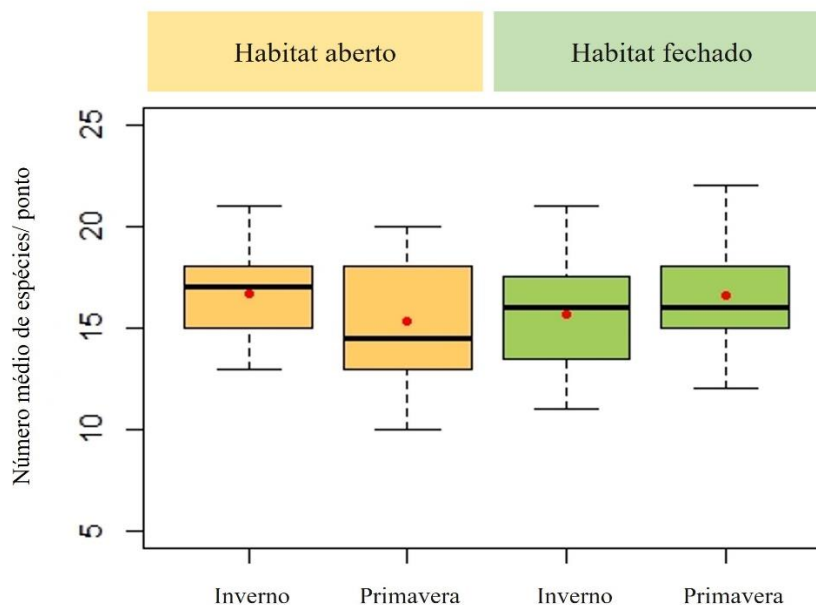


Figura 3.1. Comparação das espécies detetadas pelas duas técnicas de amostragem nos dois habitats e estações do ano. Número médio de espécies de aves detetadas por ponto pelas duas técnicas de amostragem nos habitats aberto e fechado no inverno ($N=14$ e $N=24$, respetivamente) e na primavera ($N=16$ e $N=29$, respetivamente). Os pontos vermelhos indicam os valores médios.

Tabela 3.1. **Abundância relativa das espécies de aves.** Número médio de indivíduos por ponto de amostragem - dados obtidos nos pontos de escuta - detetados em cada tipo de habitat nas duas estações do ano. Estão destacadas as 10 espécies mais abundantes no habitat aberto (a amarelo) e no habitat fechado (a verde).

Espécies		Habitat aberto		Habitat fechado	
Nome científico	Nome comum	Inverno	Primavera	Inverno	Primavera
<i>Aegithalos caudatus</i>	Chapim-rabilongo	-	-	0,002	0,004
<i>Alauda arvensis</i>	Laverca	0,011	-	-	-
<i>Alectoris rufa</i>	Perdiz-comum	0,001	-	-	0,005
<i>Anas platyrhynchos</i>	Pato-real	0,001	0,034	0,005	0,004
<i>Anthus pratensis</i>	Petinha-dos-prados	0,035	-	0,028	-
<i>Apus apus</i>	Andorinhão-preto	-	-	-	0,011
<i>Buteo buteo</i>	Águia-d'asa-redonda	0,005	0,002	0,032	0,012
<i>Carduelis carduelis</i>	Pintassilgo	0,109	0,091	0,004	0,040
<i>Certhia brachydactyla</i>	Trepadeira-do-sul	-	0,002	0,035	0,033
<i>Cettia cetti</i>	Rouxinol-bravo	-	0,002	-	-
<i>Chloris chloris</i>	Verdilhão	0,050	0,008	0,001	0,007
<i>Ciconia ciconia</i>	Cegonha-branca	0,047	0,119	-	-
<i>Circus aeruginosus</i>	Águia-sapeira	0,003	-	-	-
<i>Cisticola juncidis</i>	Fuinha-dos-juncos	0,033	0,067	-	0,011
<i>Columba livia</i>	Pombo-das-rochas	0,092	0,098	-	0,021
<i>Columba palumbus</i>	Pombo-torcaz	-	-	0,006	0,008
<i>Corvus corone</i>	Gralha-preta	0,086	0,133	0,081	0,056
<i>Coturnix coturnix</i>	Codorniz	0,006	0,044	0,001	-
<i>Cuculus canorus</i>	Cuco-cinzento	-	-	-	0,007
<i>Cyanistes caeruleus</i>	Chapim-azul	-	-	0,060	0,072
<i>Dendrocopos major</i>	Pica-pau-malhado	-	-	0,016	0,006
<i>Dryobates minor</i>	Pica-pau-galego	-	-	0,001	0,003
<i>Elanus caeruleus</i>	Peneireiro-cinzento	0,009	0,020	-	-
<i>Emberiza calandra</i>	Trigueirão	0,087	0,073	0,043	0,060
<i>Emberiza cirrus</i>	Escrevedeira-de-garganta-preta	-	-	0,006	0,005
<i>Eritacus rubecula</i>	Pisco-de-peito-ruivo	0,001	-	0,034	-
<i>Falco tinnunculus</i>	Peneireiro	0,009	0,007	-	-
<i>Fringilla coelebs</i>	Tentilhão-comum	0,071	0,020	0,272	0,165
<i>Galerida cristata</i>	Cotovia-de-poupa	0,020	0,043	-	-
<i>Garrulus glandarius</i>	Gaio	0,002	-	-	0,005
<i>Hippolais polyglotta</i>	Felosa-poliglota	-	-	-	0,011
<i>Hirundo rustica</i>	Andorinha-das-chaminés	-	0,003	-	0,001
<i>Lanius meridionalis</i>	Picanço-real-meridional	0,010	0,004	-	0,003
<i>Larus sp.</i>	Gaivota	0,005	-	-	-
<i>Linaria cannabina</i>	Pintarroxo-de-bico-escuro	0,024	0,026	-	-
<i>Lophophanes cristatus</i>	Chapim-de-poupa	-	-	0,001	0,023
<i>Lullula arborea</i>	Cotovia-dos-bosques	-	-	0,050	0,074
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Rouxinol-comum	-	0,013	-	0,038
<i>Merops apiaster</i>	Abelharuco	-	0,015	-	0,031
<i>Milvus migrans</i>	Milhafre-preto	-	-	-	0,002
<i>Motacilla alba</i>	Alvéola-branca	0,008	-	0,003	-
<i>Parus major</i>	Chapim-real	-	0,002	0,039	0,032
<i>Passer domesticus</i>	Pardal-de-telhado	0,097	0,053	0,012	0,008
<i>Periparus ater</i>	Chapim-carvoeiro	-	-	0,012	-
<i>Petronia petronia</i>	Pardal-francês	-	0,001	0,002	-
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Corvo-marinho-comum	0,003	-	-	0,002
<i>Phylloscopus bonelli</i>	Felosa-de-papo-branco	-	0,003	-	0,022
<i>Phylloscopus collybita</i>	Felosinha-comum	0,013	-	0,031	-
<i>Phylloscopus ibericus</i>	Felosinha-ibérica	-	-	-	0,002
<i>Pica pica</i>	Pega	0,002	-	-	-
<i>Saxicola rubicola</i>	Cartaxo-comum	0,019	0,065	0,015	0,024
<i>Serinus serinus</i>	Milheirinha-europeia	0,052	0,010	0,038	0,040
<i>Sitta europaea</i>	Trepadeira-azul	0,002	-	0,043	0,033
<i>Streptopelia decaocto</i>	Rola-turca	0,009	0,003	-	0,003
<i>Sturnus sp.</i>	Estorninho	0,067	-	0,053	-
<i>Sturnus unicolor</i>	Estorninho-preto	-	0,038	-	0,052
<i>Sylvia atricapilla</i>	Toutinegra-de-barrete	-	-	-	0,004
<i>Sylvia melanocephala</i>	Toutinegra-dos-valados	0,002	0,004	0,031	0,019
<i>Troglodytes troglodytes</i>	Carriça	0,002	-	0,022	0,029
<i>Turdus merula</i>	Melro-preto	0,005	-	0,016	0,006
<i>Turdus viscivorus</i>	Tordoveia	-	-	0,002	-
<i>Upupa epops</i>	Poupa	-	-	-	0,003

3.2 NÚMERO DE ESTAÇÕES ACÚSTICAS PARA CARACTERIZAR A COMUNIDADE DE AVES

A partir das curvas de rarefação criadas para ambos os habitats amostrados (Figura 3.2), verificou-se que durante a amostragem de inverno as curvas não estabilizaram, pelo que parecem ser necessárias mais de 14 estações acústicas no habitat aberto e 24 no habitat fechado para caracterizar as comunidades de aves existentes em cada habitat.

Na primavera, a curva de rarefação criada para o habitat fechado parece estabilizar com as 29 estações acústicas selecionadas, sugerindo que estas são suficientes para a caracterização da comunidade de aves deste habitat. Contudo, no habitat aberto parecem ser necessários igualmente mais pontos de amostragem, uma vez que a curva não estabilizou com as 16 estações acústicas.

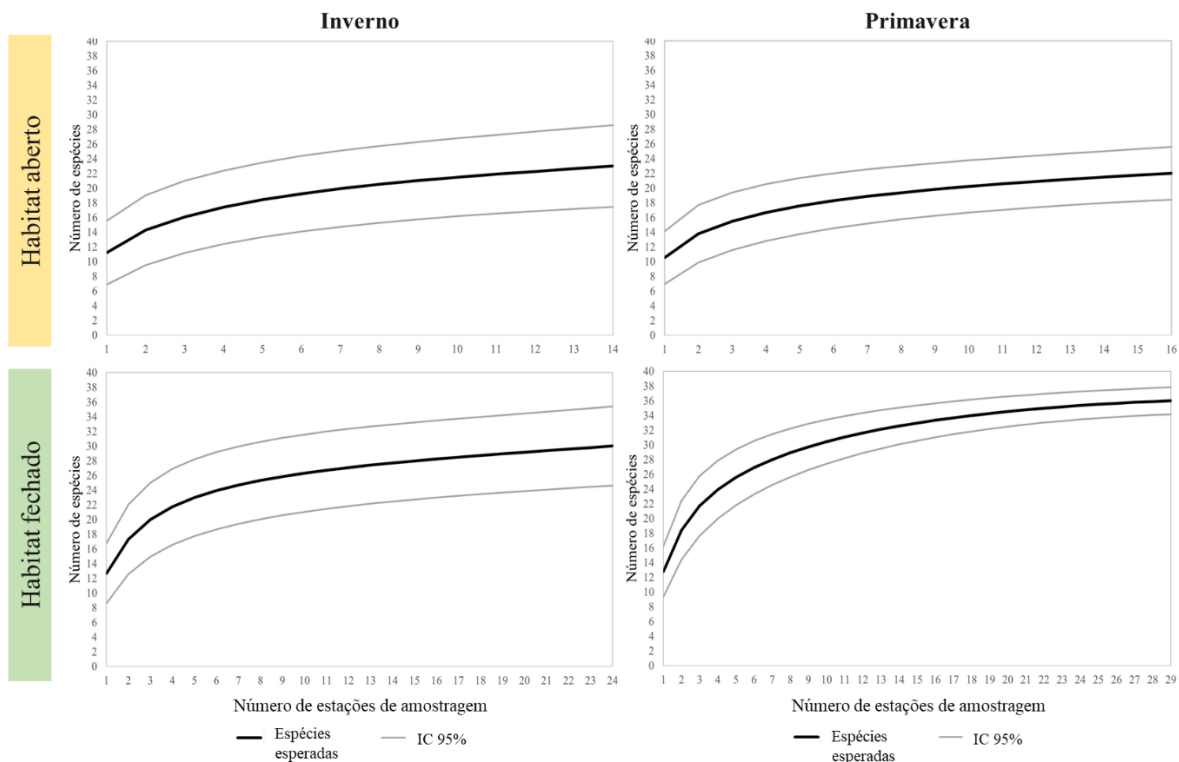


Figura 3.2. *Curvas de rarefação.* Curvas com o número de espécies de aves esperadas (linha preta) em função do número de estações de amostragem, criadas para o inverno e primavera nos dois tipos de habitats (aberto e fechado). A cinzento estão representados os Intervalos de Confiança (IC95%).

3.3 DIFERENÇAS ENTRE TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM NOS DOIS TIPOS DE HABITATS NO INVERNO E PRIMAVERA

Durante a amostragem de inverno, foram contabilizadas 49 espécies de aves pelo observador e 35 espécies pelas estações acústicas (Anexo 4). Na amostragem de primavera, o observador registou 51 espécies e as estações acústicas registaram 40 espécies (Anexo 5), no somatório dos dados dos dois habitats.

Ao comparar os dados obtidos pelas duas técnicas de amostragem, observou-se que, na generalidade, os pontos de escuta realizados por observadores conseguiram detetar um maior número de espécies de aves. Com base na Figura 3.3 e comparando os resultados obtidos para cada habitat, obtiveram-se diferenças significativas entre as duas técnicas de amostragem no habitat aberto tanto no inverno ($t = -4.418, p\text{-value} = 0.001$), como na primavera ($t = -5.084, p\text{-value} < 0.001$). Quanto ao habitat

fechado, não se observaram diferenças significativas entre estações acústicas e observador em nenhuma estação do ano (inverno: $t = 0.225$, $p\text{-value} = 0.824$; primavera: $t = -0.694$, $p\text{-value} = 0.494$). Contudo, verificou-se que as duas técnicas de amostragem juntas detetaram significativamente mais espécies de aves do que qualquer uma delas isolada em todas as situações (Figura 3.3; Anexo 6).

Observou-se que a diferença no número de espécies de aves detetadas entre estações acústicas e observador foi superior no habitat aberto em ambas as estações do ano, mas mais evidente no inverno (Tabela 3.2), e verificou-se também uma diferença no número de espécies detetadas entre técnicas superior no inverno (14 espécies) em relação à primavera (11 espécies).

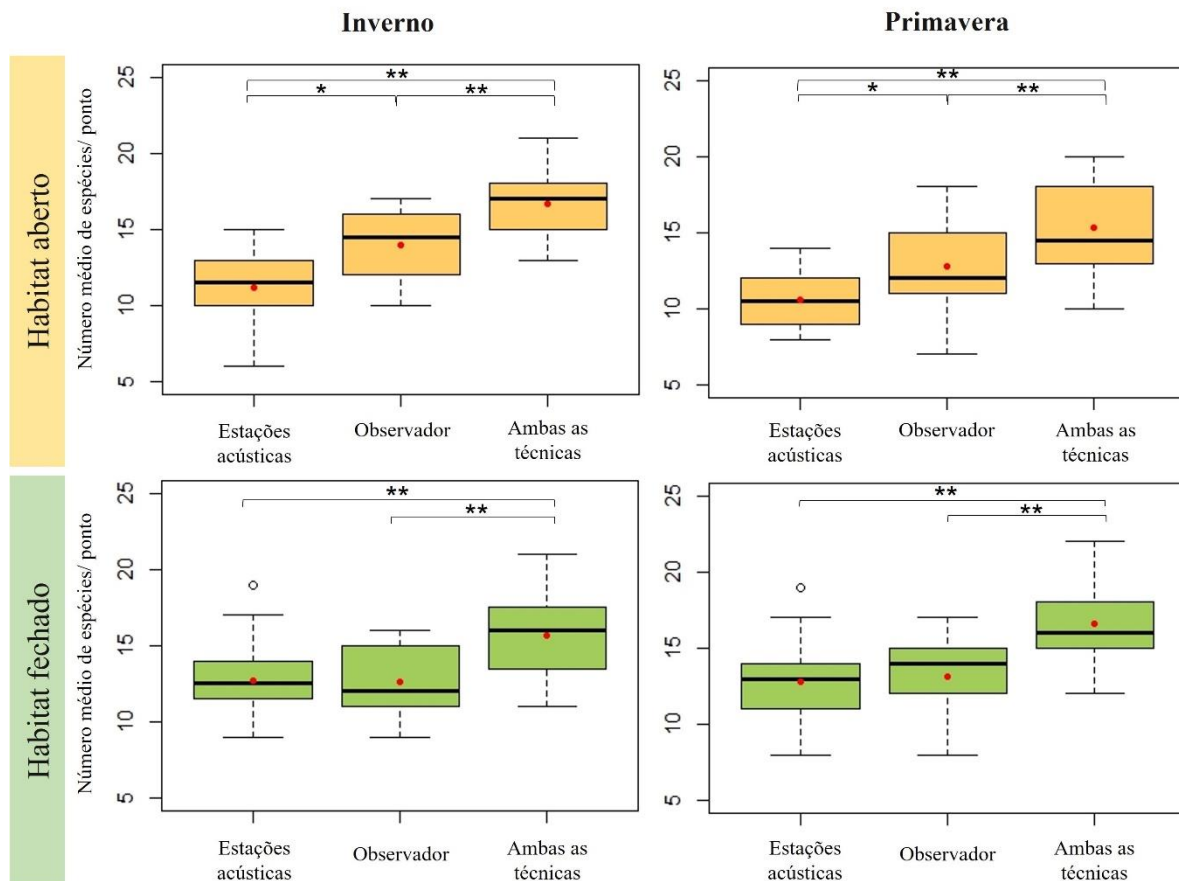


Figura 3.3. Comparação das espécies detetadas por cada técnica de amostragem nos dois habitats e estações do ano. Número médio de espécies de aves detetadas por Estações acústicas, por Observador e por ambas as técnicas em simultâneo nos habitats aberto e fechado no inverno ($N = 14$ e $N = 24$, respetivamente) e na primavera ($N = 16$ e $N = 29$, respetivamente). Os pontos vermelhos indicam os valores médios e os asteriscos representam as diferenças estatisticamente significativas obtidas com testes t para amostras emparelhadas (* $p\text{-value} < 0.05$; ** $p\text{-value} < 0.001$).

Tabela 3.2. Diferença de espécies detetadas por cada técnica de amostragem em cada tipo de habitat. Número total de espécies de aves detetadas por Estações acústicas e por Observador nos habitats aberto e fechado e respetiva diferença entre técnicas nas duas estações do ano.

	Habitat aberto			Habitat fechado		
	Estações acústicas	Observador	Diferença	Estações acústicas	Observador	Diferença
Inverno	23	36	13	30	33	3
Primavera	22	30	8	36	43	7

3.4 COMPARAÇÃO DA PROPORÇÃO DE REGISTOS VISUAIS NOS DOIS TIPOS DE HABITATS E ESTAÇÕES DO ANO

Recorrendo aos dados recolhidos nos pontos de escuta realizados por observador, observou-se que o número de registos visuais foi maior no habitat aberto do que no habitat fechado em ambas as estações do ano, pelo que a proporção destes registos foi superior neste habitat (Tabela 3.3). Apesar deste resultado, verificou-se a predominância dos registos auditivos em qualquer um dos habitats.

Tabela 3.3. **Proporção de registos visuais.** Número de registos visuais e auditivos nos habitats aberto e fechado e respetiva proporção de registos visuais, no total de pontos amostrados, no inverno e na primavera (dados de observador).

	Inverno		Primavera	
	Habitat aberto	Habitat fechado	Habitat aberto	Habitat fechado
Registos visuais	119	30	109	36
Registos auditivos	229	454	213	516
Proporção de registos visuais	0.191	0.056	0.207	0.058

3.5 ÍNDICE DE PREVALÊNCIA ACÚSTICA

Os resultados do Índice de Prevalência Acústica (IPAc), representados na Figura 3.4, sugerem que o observador registou exclusivamente mais espécies de aves no habitat aberto em ambas as estações do ano (15 espécies no inverno e 13 espécies na primavera). Estas espécies incluem aves pouco vocais ou silenciosas (ex. Cegonha-branca e algumas espécies de aves rapinas, como o Peneireiro *Falco tinnunculus* ou o Peneireiro-cinzento *Elanus caeruleus*) ou espécies que surgiram ocasionalmente durante a amostragem (ex. Corvo-marinho-comum *Phalacrocorax carbo*). Contudo, na primavera foram detetadas 5 espécies apenas nas estações acústicas no habitat aberto.

Relativamente ao habitat fechado, de novo o observador detetou exclusivamente mais espécies do que as estações acústicas (7 espécies no inverno e 10 espécies na primavera), mas com uma diferença menos evidente do que se verificou no habitat aberto. Neste habitat, as espécies detetadas apenas nos pontos de escuta foram aves com vocalizações que podem passar despercebidas nas gravações (ex. Pardal-de-telhado) e espécies que surgiram ocasionalmente neste tipo de habitat, muitas vezes apenas com uma ocorrência registada (ex. Pato-real *Anas platyrhynchos*).

Porém, os resultados mostram que as espécies de aves mais comuns em ambos os habitats são igualmente detetadas tanto pelo observador como pelas estações acústicas automáticas nas duas estações do ano.

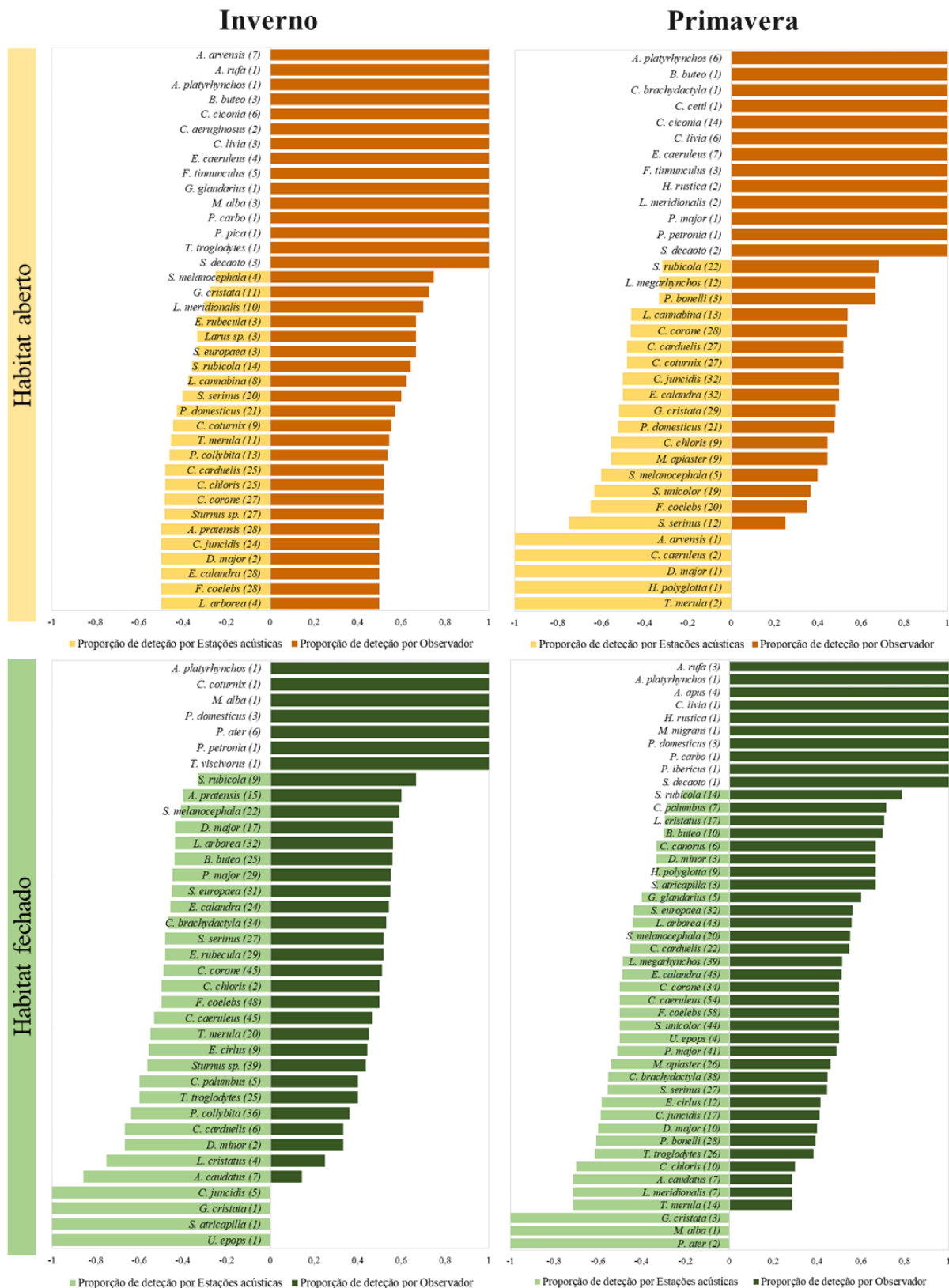


Figura 3.4. Índice de Prevalência Acústica (IPAc). Comparação do IPAc calculado para as espécies de aves detetadas pelas Estações acústicas e pelo Observador nos habitats aberto (a amarelo) e fechado (a verde) no inverno e na primavera.

3.6 TRAITS ACÚSTICOS E NÃO-ACÚSTICOS

Com base no cálculo do Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG) realizado com os dados de primavera, verificou-se que 13 espécies de aves apresentaram um IDG menor que 0.5 (Anexo 7), ou seja, estas espécies foram pouco detetadas pelas estações acústicas ou apenas detetadas pelo observador nos habitats em estudo, entre elas a Perdiz-comum *Alectoris rufa*, a Rola-turca *Streptopelia decaocto* e o Chapim-de-poupa *Lophophanes cristatus*.

Na análise dos *traits* não-acústicos (Tabela 3.4) apenas se verificou uma influência significativa da massa corporal na detetabilidade das espécies e somente no habitat aberto. O teste de correlação de Spearman confirmou este resultado, apontando uma relação negativa desta variável com o IDG ($r = -0.443$). Contrariamente, não se verificou qualquer influência significativa de nenhuma das variáveis estudadas no IDG no habitat fechado.

Quanto à análise dos *traits* acústicos (Tabela 3.5), os resultados mostram uma influência significativa da frequência de máxima energia e da duração do canto no IDG no habitat aberto, sendo ambas relações positivas na detetabilidade das aves nos gravadores (Figura 3.5). No habitat fechado, o IDG apresentou uma relação significativa e positiva apenas com a frequência mínima do canto das aves (Figura 3.5). Os gráficos das relações do IDG com os *traits* acústicos estatisticamente não significativos estão representados no Anexo 8 e no Anexo 9.

Tabela 3.4. Análise da relação entre o Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG) e os *traits* não-acústicos. Resumo da análise dos testes de análise de variância (ANOVA) da relação entre o IDG e os *traits* não-acústicos nos habitats aberto e fechado, utilizando os dados de primavera, com indicação dos graus de liberdade (df), média dos quadrados (Mean sq), estatística de teste (F) e significância (* p -value<0.05).

	Variáveis	df	Mean sq	F	<i>p</i> -value
Habitat aberto	Massa corporal	1	1.951	5.198	0.049 *
	Tipo de ninho	2	0.166	0.442	0.656
	Sedentariiedade	1	0.486	1.296	0.284
	Dieta	3	1.199	3.194	0.077
	Habitat	2	1.515	4.036	0.056
	<i>Singing strata</i>	6	0.962	2.563	0.099
	<i>Residuals</i>	9	0.375		
Habitat fechado	Massa corporal	1	1.717	2.520	0.128
	Tipo de ninho	3	0.608	0.893	0.462
	Sedentariiedade	1	0.535	0.785	0.386
	Dieta	3	0.278	0.409	0.748
	Habitat	2	0.542	0.795	0.465
	<i>Singing strata</i>	5	0.694	1.018	0.433
	<i>Residuals</i>	20	0.681		

Tabela 3.5. Análise da relação entre o Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG) e os traits acústicos. Resumo da análise dos testes de correlação de Spearman da relação entre o IDG e os traits acústicos nos habitats aberto e fechado, utilizando os dados de primavera, com indicação da estatística de teste (S), coeficiente da correlação de Spearman (r) e significância (*p-value<0.05).

	Variáveis	S	r	p-value
Habitat aberto	Frequência de máxima energia	3050	0.441	0.012 *
	Frequência máxima	4933	0.096	0.602
	Frequência mínima	4070	0.254	0.161
	Duração	3455	0.367	0.039 *
	Amplitude	4126	0.168	0.366
Habitat fechado	Frequência de máxima energia	9636	0.272	0.077
	Frequência máxima	9849	0.256	0.097
	Frequência mínima	9251	0.302	0.049 *
	Duração	16726	- 0.263	0.089
	Amplitude	12221	0.077	0.623

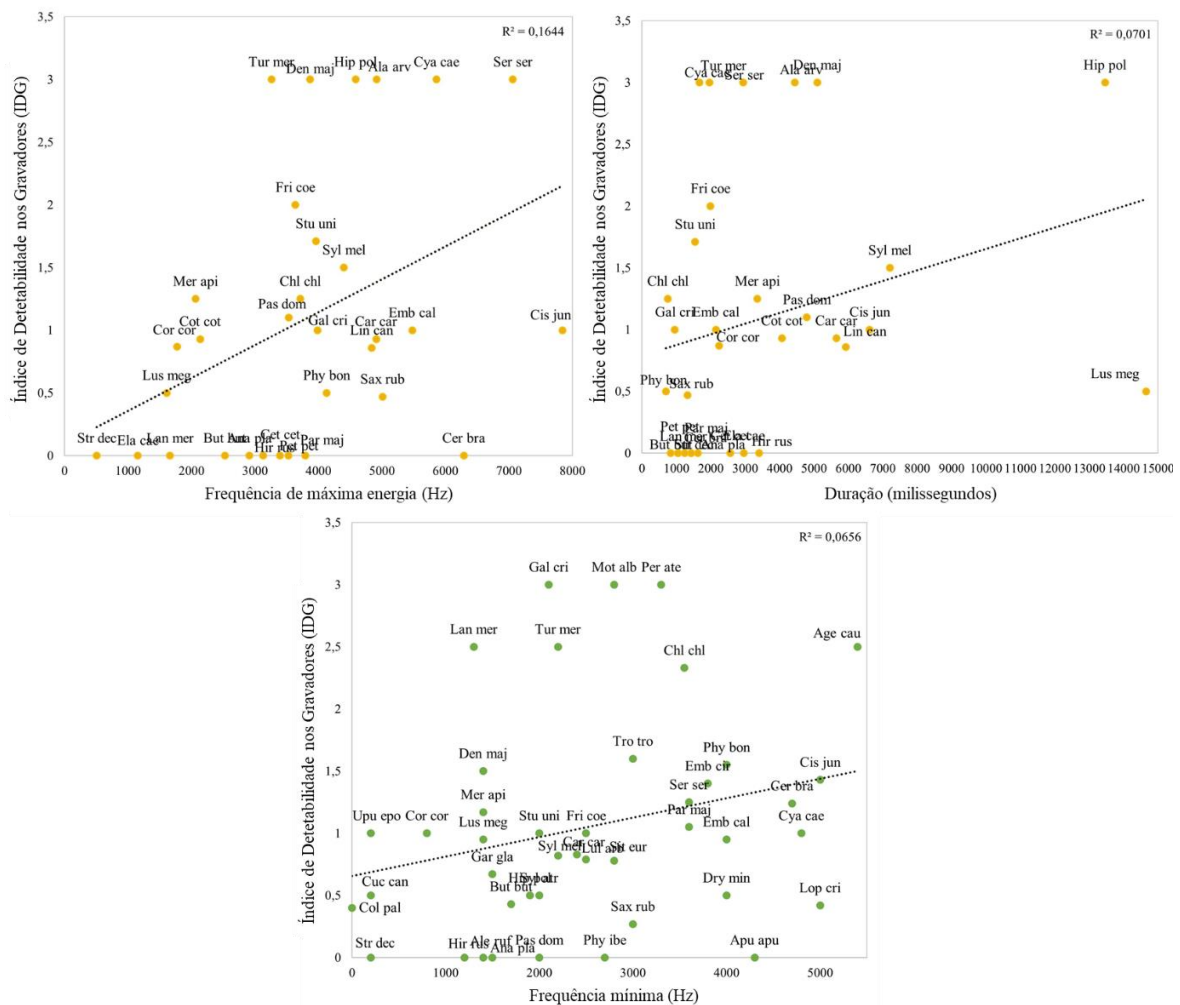


Figura 3.5. Regressões lineares dos traits acústicos significativos. Resumo das regressões lineares dos traits com influência estatisticamente significativa no Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG), obtidas através de testes de correlação de Spearman: Frequência de máxima energia e Duração no habitat aberto e Frequência mínima no habitat fechado (dados de primavera).

4 Discussão

Este estudo reforça a importância da escolha de métodos adequados para a monitorização da avifauna, apresentando uma comparação da eficácia de metodologias tradicionais por pontos de escuta e de técnicas acústicas de registo automático, em dois habitats com estruturas distintas em duas épocas do ano. Adicionalmente, este estudo aborda a questão das características das aves, nomeadamente *traits* acústicos e não-acústicos, ao nível da comunidade, na tentativa de perceber a influência na detetabilidade por parte dos gravadores e de forma a completar a informação já existente para algumas espécies em particular.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA COMUNIDADE DE AVES

Em primeiro lugar, os resultados indicam que a comunidade de aves não foi significativamente diferente no número de espécies entre estações do ano. No entanto, o habitat aberto apresentou maior diversidade específica no inverno, enquanto no habitat fechado esta diversidade foi superior na primavera.

A ausência de diferenças significativas no número de espécies entre os habitats aberto e fechado, quer no inverno quer na primavera, sugere que as comunidades de aves de cada habitat apresentam diferenças essencialmente a nível da composição de espécies, tal como observado nos resultados de abundância relativa. No habitat aberto verificou-se a predominância de aves agrícolas (ex. Pardal-de-telhado, Cartaxo-comum *Saxicola rubicola*, Cotovia-de-poupa *Galerida cristata*), que apresentam características particulares, como a nidificação no solo, que lhes permitem ocupar estes ambientes mais abertos (Pereira et al. 2015). Além destas espécies, observaram-se grandes bandos de fringilídeos, englobando espécies como Tentilhão-comum, Verdilhão *Chloris chloris*, Milheirinha-europeia *Serinus serinus* ou Pintassilgo, durante a amostragem de inverno. Estes registos são congruentes com os resultados obtidos por Rollan et al. (2019), dado que nesta época do ano muitas espécies de aves tendem a ser gregárias e a formarem bandos que recorrem aos terrenos agrícolas para se alimentar, face à elevada disponibilidade de sementes e invertebrados nestes habitats. Porém, no habitat fechado, verificou-se que algumas destas espécies agrícolas estiveram ausentes ou surgiram em baixa abundância nas duas estações do ano.

Espécies adaptadas a ambientes florestais registaram maior abundância relativa no habitat fechado, como Chapim-azul, Trepadeira-do-sul ou Cotovia-dos-bosques. A elevada diversidade específica registada durante a primavera pode estar relacionada com a variedade de micro-habitats fornecidos pelo habitat fechado, como os vários estratos das árvores ou a presença de matos e vegetação ripícola (Regnery et al. 2013; Pereira et al. 2015), que permitem a ocupação destes ambientes por aves com requisitos distintos para a nidificação.

Algumas espécies ocorreram em elevadas abundâncias nos dois tipos de habitat, apresentando características mais generalistas que lhes permitem ocupar tanto o habitat aberto como o fechado (ex. Trigueirão e Gralha-preta). Também as diferentes fenologias contribuem para a alteração da composição de espécies em cada habitat, através da “troca” entre espécies invernantes (presentes durante o outono e inverno) e estivais (presentes durante a primavera e verão) que, conseqüentemente, origina diferentes comunidades consoante a época do ano (Donald et al. 1997). No presente estudo, um claro exemplo foi a presença e dominância do Rouxinol-comum no habitat fechado durante a amostragem de primavera, principalmente em locais com elevada densidade de matos.

Atendendo a esta variação na composição das comunidades de aves, recorreu-se a curvas de rarefação para perceber qual o número de estações de amostragem adequado para uma boa representação das espécies de aves em cada habitat estudado. Verificou-se que, em geral, seria necessário definir mais

estações de amostragem para identificar e contabilizar todas as espécies durante o inverno e primavera. Este resultado foi particularmente notório no habitat aberto, onde o aparecimento de espécies esporádicas foi mais frequente durante as amostragens, o que conduziu à subestimação da riqueza específica deste habitat. Por outro lado, ao aumentar o número de estações de amostragem na primavera, parece ter sido possível fazer uma boa caracterização da comunidade de aves no habitat fechado, eventualmente por este ser mais estável em termos da composição de espécies ao longo do ano, comparativamente ao outro tipo de habitat estudado.

4.2 COMPARAÇÃO DAS TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM NOS DOIS TIPOS DE HABITAT E ESTAÇÕES DO ANO

De acordo com a análise realizada, a comparação dos dados das duas técnicas de amostragem sugere que, em geral, a riqueza específica obtida nos pontos de escuta foi superior à registrada nas estações acústicas automáticas em ambas as estações do ano. Este resultado é concordante com o primeiro objetivo, que refere que o número de espécies detetadas por observadores é diferente do detetado por estações acústicas, e também com os resultados de outros estudos realizados anteriormente (Hutto & Stutzman 2009; Kułaga & Budka 2019). Uma possível justificação para este resultado é a possibilidade de os observadores detetarem as aves visualmente, o que representa uma grande vantagem do método dos pontos de escuta, permitindo a deteção de aves que não vocalizem durante a amostragem (Haselmayer & Quinn 2000; Yip et al. 2017) e que, por isso, não são detetadas pelas estações acústicas.

Relativamente ao tipo de habitat, verificaram-se diferenças no número de espécies detetadas entre pontos de escuta e estações acústicas automáticas, sendo que no habitat aberto o observador registou mais espécies de aves, verificando-se assim o segundo objetivo e estando de acordo com os resultados obtidos por Kułaga and Budka (2019). A dominância da vegetação herbácea em habitats abertos permite uma melhor visualização da área em estudo por parte dos observadores nos pontos de escuta (Smith et al. 2020), pelo que os registos visuais das espécies são particularmente importantes nestes ambientes, representando cerca de 19% e 21% dos registos totais no inverno e primavera, respetivamente, contrariamente à baixa percentagem destes registos obtida no habitat fechado (cerca de 6% em ambas as estações do ano; Brewster & Simons 2009). Por sua vez, no habitat fechado não se obtiveram diferenças significativas entre os pontos de escuta e as estações acústicas automáticas, apesar do observador ter registado igualmente mais espécies de aves. Este resultado pode estar relacionado com a presença de árvores e matos que dificultam a deteção visual das espécies por parte dos observadores (Pacifi et al. 2008). Celis-Murillo et al. (2009) mostraram que as estações acústicas não só detetam um maior número de espécies de aves em habitats florestados, como estas deteções ocorrem mais cedo durante o período de amostragem, representando assim uma técnica promissora na recolha de dados da avifauna nestes habitats.

Finalmente, obtiveram-se diferenças no número de espécies detetadas entre o observador e as estações acústicas automáticas entre as duas estações do ano, sendo que esta diferença foi superior no inverno, confirmando assim o terceiro objetivo. Durante esta estação do ano, as aves apresentaram uma atividade vocal mais reduzida, com repercussões na sua detetabilidade, tendo o observador vantagem em relação às estações acústicas, uma vez que consegue registar as espécies mesmo que estas não vocalizem. Além disso, vários estudos destacam a importância dos habitats abertos enquanto fonte de alimento para inúmeras espécies durante o inverno (Donald et al. 1997; Hancock & Wilson 2003; Moreira et al. 2005), sendo uma possível justificação para a elevada riqueza específica registrada neste habitat. Porém, na primavera verificou-se uma elevada atividade vocal das aves, o que facilitou a sua deteção tanto pelo observador como pelas estações acústicas automáticas. A primavera corresponde à época de nidificação de muitas espécies, uma vez que coincide com as condições ótimas dos habitats para a reprodução e, portanto, é a estação do ano em que as aves se encontram mais conspícuas. Além

disso, o habitat fechado fornece uma grande variedade de recursos essenciais para o sucesso reprodutor, nomeadamente alimento, refúgio e locais para a construção dos ninhos (Regnery et al. 2013), justificando a elevada riqueza específica registada durante esta época do ano nestes ambientes.

Independentemente de os resultados sugerirem que a amostragem por pontos de escuta é uma metodologia eficaz nos dois tipos de habitat e nas duas estações do ano, o nível de conhecimento dos observadores pode representar um constrangimento desta técnica. Vários estudos indicam que algumas espécies podem não ser identificadas imediatamente no campo durante a amostragem (Diefenbach et al. 2003; Kułaga & Budka 2019), levando à subestimação da composição da comunidade de aves. Nestes casos, o recurso a estações acústicas de registo automático pode minimizar possíveis erros associados aos observadores, uma vez que as gravações obtidas pelas estações acústicas podem ser repetidas durante a sua análise (Yip et al. 2017), facilitando assim a identificação das espécies. Vários estudos referem que esta metodologia consegue detetar mais espécies de aves que os tradicionais pontos de escuta (Celis-Murillo et al. 2009; Wheeldon et al. 2019), reforçando a sua utilidade para a monitorização de aves. Deste modo, tal como sugerido por outros autores (Kułaga & Budka 2019; Wheeldon et al. 2019; Darras et al. 2019; Smith et al. 2020), o presente estudo sugere que o uso das duas técnicas de amostragem em conjunto fornece dados significativamente mais completos e robustos da avifauna nos dois tipos de habitat do que qualquer uma das técnicas isoladamente. Contudo, a aplicação das duas técnicas de amostragem pode trazer problemas a nível de custos, não só a nível de tempo de amostragem, mas também no tempo despendido na análise dos dados.

4.3 FATORES QUE PODEM CONTRIBUIR PARA AS DIFERENÇAS ENTRE PONTOS DE ESCUTA E ESTAÇÕES ACÚSTICAS AUTOMÁTICAS

Os resultados do Índice de Prevalência Acústica (IPAc), onde se verificou um maior número de deteções de espécies exclusivamente pelo observador no habitat aberto, confirmam as diferenças observadas entre as técnicas de amostragem. Isto reforça a relevância que os registos visuais podem ter no método dos pontos de escuta, nomeadamente no habitat aberto onde é possível ter uma visão ampla da área a amostrar (Smith et al. 2020) e onde são registadas com mais frequência espécies em passagem esporádica (ex. Corvo-marinho-comum). Além disso, dado que nestes habitats os gravadores estão mais expostos às condições climatéricas, o ruído ambiental reduziu a qualidade de algumas gravações, o que dificultou a identificação das vocalizações de algumas espécies (Apol et al. 2020). Os nossos resultados contrariam assim os obtidos por Darras et al. (2019), que concluíram que os pontos de escuta não têm vantagem face às estações acústicas automáticas em habitats abertos. Por outro lado, no habitat fechado, o IPAc revelou que, mais uma vez, o observador registou exclusivamente mais espécies de aves. No entanto, a diferença entre pontos de escuta e estações acústicas automáticas foi menor, refletindo-se na ausência de significância entre as metodologias neste tipo de habitat. Tal como referido anteriormente, a elevada densidade de vegetação implica uma menor deteção visual das aves pelos observadores (Pacifci et al. 2008), pelo que os registos acústicos surgiram em maior número no habitat fechado. Apesar das divergências observadas, concluiu-se que as aves mais comuns presentes nos habitats aberto e fechado foram detetadas tanto pelo observador nos pontos de escuta como pelas estações acústicas automáticas. Este resultado pode estar relacionado com a elevada abundância relativa de algumas destas espécies, facilitando a sua deteção por ambas as técnicas de amostragem.

Outra possível explicação para as diferenças entre a detetabilidade das aves pelo observador e pelas estações acústicas automáticas pode estar relacionada com as características particulares das espécies (denominadas *traits*). Bastantes estudos realizados anteriormente utilizaram *traits*, sendo o peso (Brackenbury 1979; Brumm 2009) e a dieta (Francis 2015) os parâmetros mais estudados. Contudo, a informação existente acerca da influência dos *traits* na detetabilidade acústica das aves ainda é escassa,

além de que a maioria dos estudos se foca em espécies particulares e não na comunidade (Latruffe et al. 2000; Astakhova 2014). Na última década, surgiram alguns estudos sobre a influência dos *traits* acústicos na detetabilidade das aves considerando as características dos habitats e a respetiva adaptação das espécies (Cardoso & Price 2010; Johnston et al. 2014).

Neste estudo, avaliou-se a influência de *traits* acústicos e não-acústicos das aves na sua detetabilidade pelas estações acústicas automáticas nos habitats aberto e fechado, com o objetivo de tentar explicar os padrões encontrados nos resultados e de adicionar informação ao conhecimento existente neste tema. Primeiramente, verificou-se que, no habitat aberto, a massa corporal foi o único parâmetro não-acústico a mostrar uma influência significativa, e negativa, no Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG), isto é, aves com menor massa corporal são mais facilmente detetadas pelas estações acústicas neste habitat. Uma vez que, em geral, aves de menor tamanho emitem sons mais agudos, ou seja, de mais alta frequência (Boncoraglio & Saino 2007), as suas vocalizações destacam-se nos espectrogramas analisados em laboratório, uma vez que tendem a não ser afetadas pelo ruído a baixas frequências. Por outro lado, a ausência de significância entre o IDG e as variáveis não-acústicas no habitat fechado pode estar relacionada com a elevada diversidade de espécies presentes, com uma grande variedade de características, fazendo com que não exista um padrão definido entre as aves que ocupam estes habitats e que não tenha influência na sua deteção por parte dos gravadores. Além disso, este resultado pode estar relacionado com o número reduzido de espécies utilizado, levando a que de facto não existam relações entre estes *traits* e o IDG ou, no caso de existirem, estas não serem estatisticamente detetáveis.

Relativamente aos *traits* acústicos, os resultados revelaram que o IDG foi influenciado significativamente pela frequência de máxima energia e duração do canto das aves no habitat aberto. Em primeiro lugar, a influência positiva da frequência de máxima energia é expectável, uma vez que o pico de frequência dos cantos destaca-se facilmente através da observação dos espectrogramas obtidos pelas gravações e que, neste caso, auxiliam o observador na identificação das espécies em laboratório. As vocalizações de altas frequências podem tender a passar mais despercebidas durante os pontos de escuta, ao contrário do que acontece durante a análise das gravações das estações acústicas. Em habitats abertos, os gravadores estão mais expostos às condições climáticas, pelo que o ruído ambiental (com maior ou menor intensidade) está presente nas baixas frequências em grande parte das gravações (Ryan & Brenowitz 1985), dificultando a detetabilidade de espécies com vocalizações mais graves e facilitando a identificação de vocalizações mais agudas nos espectrogramas. Por outro lado, a duração do canto das aves revelou também uma influência positiva com o IDG no habitat aberto, isto é, as espécies são favoravelmente detetadas pelos gravadores quando emitem cantos mais longos. O fenómeno denominado *Temporal summation* pode ser uma possível explicação para este resultado, uma vez que faz com que vocalizações de maior duração sejam mais fáceis de detetar (Marler & Slabbekoorn 2004). Por sua vez, no habitat fechado obteve-se apenas a influência positiva significativa da frequência mínima no IDG, isto é, espécies com uma frequência mínima mais alta são mais facilmente detetadas nos gravadores. Este resultado reforça a ideia de que a diferença de detetabilidade das aves pelos gravadores, ou da identificação das mesmas a partir dos espectrogramas, está essencialmente a nível dos cantos mais agudos das espécies. Tal como referido anteriormente, as aves com vocalizações a altas frequências podem confundir-se com os cantos de outras espécies em simultâneo no campo, sendo mais difícil a sua deteção acústica por parte do observador. Visto que alguns estudos indicam que os sons de baixas frequências propagam-se mais facilmente em habitats fechados (Boncoraglio & Saino 2007; Cardoso & Price 2010), as vocalizações mais graves parecem conseguir ser igualmente detetadas tanto pelos observadores como pelos gravadores. Sabe-se também que uma parte das espécies de passeriformes que ocupam ambientes florestados emitem vocalizações mais agudas, possivelmente por serem menos dispendiosas energeticamente (Boncoraglio & Saino 2007). Com isto, este contraste indica que podem existir outros fatores com influência nos sons produzidos pelas aves e, consequentemente, na sua

detetabilidade pelas estações acústicas, como por exemplo a adaptação das aves aos habitats (Marler & Slabbekoorn 2004).

A abordagem dos *traits* acústicos neste estudo permitiu revelar algumas indicações da influência destas variáveis na detetabilidade das espécies. Contudo, é necessário desenvolver mais trabalhos, de forma a responder a algumas perguntas que surgiram na sequência deste estudo.

4.4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresenta uma comparação da comunidade de aves em habitats aberto e fechado durante o inverno e a primavera, onde se demonstra a influência da estrutura do habitat e da época do ano na detetabilidade das espécies, utilizando o método tradicional dos pontos de escuta e a monitorização acústica passiva. Os pontos de escuta realizados por observadores registaram uma maior riqueza específica em ambos os habitats e estações do ano. No entanto, a monitorização acústica passiva revelou ser uma boa alternativa para monitorizar as comunidades de aves em ambos os tipos de habitat, uma vez que grande parte das espécies, nomeadamente as mais comuns, foram detetadas também pelas estações acústicas automáticas. Neste estudo, concluiu-se que é vantajoso utilizar estas duas técnicas de amostragem em conjunto em programas de monitorização da avifauna, embora esta opção possa ser mais custosa em termos económicos e de tempo despendido pelos observadores.

Além disso, utilizaram-se vários *traits* acústicos e não-acústicos como tentativa de explicação da detetabilidade das aves nos dois habitats, contribuindo com avanços no conhecimento da influência destas características das aves, face à escassa informação existente. Com isto, no seguimento deste estudo, seria interessante realizar uma análise de ordenação com os resultados dos *traits* acústicos, de modo a perceber se existe algum padrão nas espécies de aves relacionado com estas características dentro de cada habitat estudado. Sugere-se também incluir na análise os dados de inverno e considerar igualmente os chamamentos das aves, vocalizações mais curtas e simples relativamente aos cantos e mais comuns durante o inverno, de forma a completar a análise.

Para finalizar, este estudo representa um contributo para a definição de protocolos de monitorização de aves, nomeadamente a médio/longo prazo, tão importantes numa altura em que se assiste à perda de biodiversidade e alteração e degradação dos habitats.

5 Referências¹

- Alonso H, Teodósio J, Andrade J, Leitão D, SPEA. 2019. O estado das aves em Portugal, 2019. Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves, Lisboa.
- Apol CA, Valentine EC, Proppe DS. 2020. Ambient noise decreases detectability of songbird vocalizations in passive acoustic recordings in a consistent pattern across species, frequency, and analysis method. *Bioacoustics* **29**:322–336.
- Astakhova OA. 2014. The basic forms of elements (syllables) of phrases in chaffinch (*Fringilla coelebs* L.) song types. *Angewandten Biologie Forschung* **2**:1–8.
- Bibby CJ. 1999. Making the most of birds as environmental indicators. *Ostrich* **70**:81–88.
- Boncoraglio G, Saino N. 2007. Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Functional Ecology* **21**:134–142.
- Brackenbury JH. 1979. Power capabilities of the avian sound-producing system. *Journal of Experimental Biology* **78**:163–166.
- Brenowitz EA, Margoliash D, Nordeen KW. 1997. An introduction to birdsong and the avian song system. *Journal of Neurobiology* **33**:495–500.
- Brewster JP, Simons TR. 2009. Testing the importance of auditory detections in avian point counts. *Journal of Field Ornithology* **80**:178–182.
- Browning E, Gib R, Glover-Kapfer P, Jones KE. 2017. Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. WWF Conservation Technology Series, Woking, UK.
- Brumm H. 2009. Song amplitude and body size in birds. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **63**:1157–1165.
- Burns F, Eaton MA, Burfield IJ, Klvaňová A, Šilarová E, Staneva A, Gregory RD. 2021. Abundance decline in the avifauna of the European Union reveals cross-continental similarities in biodiversity change. *Ecology and Evolution* **148**:148–162.
- Cardoso GC, Price TD. 2010. Community convergence in bird song. *Evolutionary Ecology* **24**:447–461.
- Catarino L, Godinho C, Pereira P, Luís A, Rabaça JE. 2016. Can birds play a role as High Nature Value indicators of montado system? *Agroforestry Systems* **90**:45–56.
- Celis-Murillo A, Deppe JL, Allen MF. 2009. Using soundscape recordings to estimate bird species abundance, richness, and composition. *Journal of Field Ornithology* **80**:64–78.
- Chiatante G, Meriggi A. 2016. The importance of rotational crops for biodiversity conservation in mediterranean areas. *PLOS ONE* **11**:e0149323.
- Companhia das Lezírias. 2016. Resumo do Plano de Gestão Florestal. Companhia das Lezírias S.A., Samora Correia.
- Cook A, Hartley S. 2018. Efficient sampling of avian acoustic recordings: intermittent subsamples improve estimates of single species prevalence and total species richness. *Avian Conservation and*

¹ De acordo com a formatação de *Conservation Biology Journal*.

Ecology **13**:21.

- Crook J. 2020. Audacity 2.4.1 Released. Available from <https://www.audacityteam.org/audacity-2-4-1-released/> (accessed December 14, 2021).
- Darras K, Batáry P, Furnas B, Celis-Murillo A, Van Wilgenburg SL, Mulyani YA, Tschardt T. 2018. Comparing the sampling performance of sound recorders versus point counts in bird surveys: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* **55**:2575–2586.
- Darras K, Batáry P, Furnas BJ, Grass I, Mulyani YA, Tschardt T. 2019. Autonomous sound recording outperforms human observation for sampling birds: a systematic map and user guide. *Ecological Applications* **29**:1247–1265.
- Diefenbach DR, Brauning DW, Mattice JA. 2003. Variability in grassland bird counts related to observer differences and species detection rates. *Auk* **120**:1168–1179.
- Dixon AP, Baker ME, Ellis EC. 2020. Agricultural landscape composition linked with acoustic measures of avian diversity. *Land* **9**:145.
- Donald PF, Haycock D, Fuller RJ. 1997. Winter bird communities in forest plantations in western England and their response to vegetation, growth stage and grazing. *Bird Study* **44**:206–219.
- Farina A, Pieretti N, Piccioli L. 2011. The soundscape methodology for long-term bird monitoring: A Mediterranean Europe case-study. *Ecological Informatics* **6**:354–363.
- Francis CD. 2015. Vocal traits and diet explain avian sensitivities to anthropogenic noise. *Global Change Biology* **21**:1809–1820.
- Furnas BJ, McGrann MC. 2018. Using occupancy modeling to monitor dates of peak vocal activity for passerines in California. *Condor* **120**:188–200.
- Gregory RD, Strien A Van. 2010. Wild bird indicators: using composite population trends of birds as measures of environmental health. *Ornithological Science* **9**:3–22.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* **4**:1–9.
- Hancock MH, Wilson JD. 2003. Winter habitat associations of seed-eating passerines on Scottish farmland. *Bird Study* **50**:116–130.
- Haselmayer J, Quinn JS. 2000. A comparison of point counts and sound recording as bird survey methods in amazonian southeast Peru. *The Condor* **102**:887–893.
- Hill AP, Prince P, Piña Covarrubias E, Doncaster CP, Snaddon JL, Rogers A. 2018. AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution* **9**:1199–1211.
- Hill AP, Prince P, Snaddon JL, Doncaster CP, Rogers A. 2019. AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *HardwareX* **6**:e00073.
- Hutto RL, Stutzman RJ. 2009. Humans versus autonomous recording units: A comparison of point-count results. *Journal of Field Ornithology* **80**:387–398.
- ICNF. 2019. Inventário Florestal Nacional (IFN6) – Principais resultados – relatório sumário. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Lisboa.

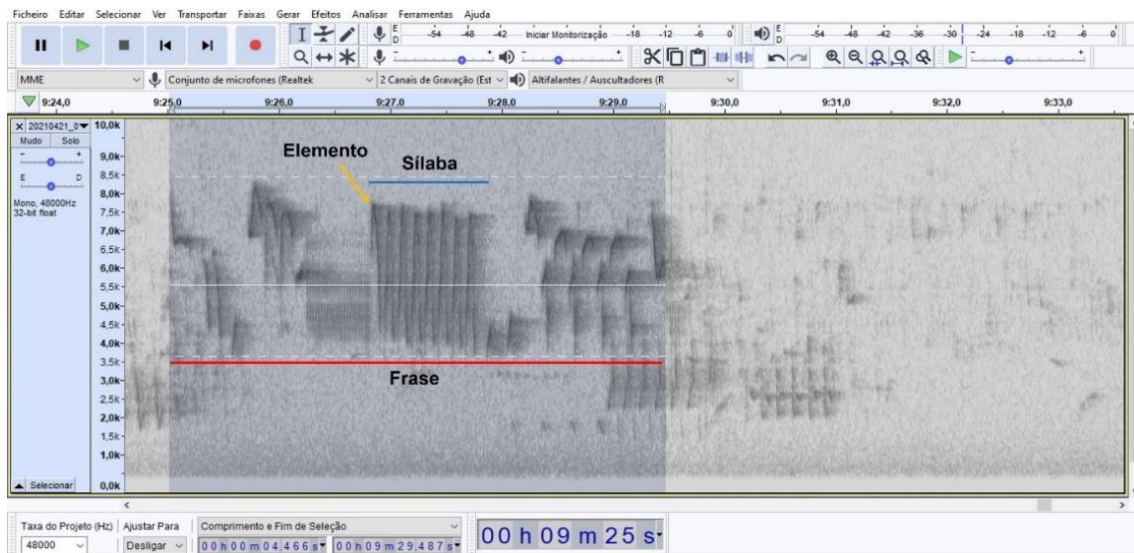
- Johnston A, Newson SE, Risely K, Musgrove AJ, Massimino D, Baillie SR, Pearce-Higgins JW. 2014. Species traits explain variation in detectability of UK birds. *Bird Study* **61**:340–350.
- Kułaga K, Budka M. 2019. Bird species detection by an observer and an autonomous sound recorder in two different environments: Forest and farmland. *PLOS ONE* **14**:e0211970.
- Latruffe C, McGregor P, Tavares J, Mota PG. 2000. Microgeographic variation in corn bunting (*Miliaria calandra*) song: quantitative and discrimination aspects. *Behaviour* **137**:1241–1255.
- Mahendiran M, Azeez P. 2018. Ecosystem services of birds: a review of market and non-market values. *Entomology, Ornithology & Herpetology: Current Research* **07**:1000209.
- Marler P, Slabbekoorn H. 2004. *Nature's Music: The Science of Birdsong*. Elsevier Academic Press, London, UK.
- Moreira F, Beja P, Morgado R, Reino L, Gordinho L, Delgado A, Borralho R. 2005. Effects of field management and landscape context on grassland wintering birds in Southern Portugal. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **109**:59–74.
- Pacifici K, Simons TR, Pollock KH. 2008. Effects of vegetation and background noise on the detection process in auditory avian point-count survey. *The Auk* **125**:600–607.
- Pereira P, Godinho C, Roque I, Rabaça JE. 2015. *O montado e as aves: boas práticas para uma gestão sustentável*, 1st edition. LabOr - Laboratório de Ornitologia/ ICAAM, Coruche.
- Pérez-Granados C, Traba J. 2021. Estimating bird density using passive acoustic monitoring: a review of methods and suggestions for further research. *Ibis* **163**:765–783.
- Prince P, Hill A, Piña Covarrubias E, Doncaster P, Snaddon JL, Rogers A. 2019. Deploying acoustic detection algorithms on low-cost, open-source acoustic sensors for environmental monitoring. *Sensors* **19**:1–23.
- R Core Team. 2019. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from <https://www.r-project.org/>.
- Ralph CJ, Droege S, Sauer JR. 1995. *Managing and monitoring birds using point counts: Standards and applications*. Pages 161–169. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Albany, CA.
- Regnery B, Couvet D, Kubarek L, Julien JF, Kerbiriou C. 2013. Tree microhabitats as indicators of bird and bat communities in Mediterranean forests. *Ecological Indicators* **34**:221–230.
- Rollan À, Hernández-Matías A, Real J. 2019. Organic farming favours bird communities and their resilience to climate change in Mediterranean vineyards. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **269**:107–115.
- Ryan MJ, Brenowitz EA. 1985. The role of body size, phylogeny, and ambient noise in the evolution of bird song. *American Naturalist* **126**:87–100.
- Schieck J. 1997. Biased detection of bird vocalizations affects comparisons of bird abundance among forested habitats. *The Condor* **99**:179–190.
- Simonson WD, Allen HD, Parham E, de Basto e Santos E, Hotham P. 2018. Modelling biodiversity trends in the montado (wood pasture) landscapes of the Alentejo, Portugal. *Landscape Ecology* **33**:811–827.

- Smith DG, Truskinger A, Roe P, Watson DM. 2020. Do acoustically detectable species reflect overall diversity? A case study from Australia's arid zone. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* **6**:286–300.
- Storchová L, Hořák D. 2018. Life-history characteristics of European birds. *Global Ecology and Biogeography* **27**:400–406.
- Sugai LSM, Silva TSF, Ribeiro JW, Llusia D. 2019. Terrestrial Passive Acoustic Monitoring: Review and Perspectives. *BioScience* **69**:15–25.
- Temple SA, Wiens JA. 1989. Bird populations and environmental changes: can birds be bio-indicators? *American Birds* **43**:260–270.
- Wheeldon A, Mossman HL, Sullivan MJP, Mathenge J, de Kort SR. 2019. Comparison of acoustic and traditional point count methods to assess bird diversity and composition in the Aberdare National Park, Kenya. *African Journal of Ecology* **57**:168–176.
- Whelan CJ, Şekercioğlu ÇH, Wenny DG. 2015. Why birds matter: from economic ornithology to ecosystem services. *Journal of Ornithology* **156**:227–238.
- Wilman H, Belmaker J, Simpson J, de la Rosa C, Rivadeneira MM, Jetz W. 2014. EltonTraits 1.0: Species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. *Ecology* **95**:2027–2027.
- Xeno-canto Foundation. 2021. Xeno-canto: A partilhar sons de aves de todo o mundo. Available from <https://xeno-canto.org/>.
- Yip DA, Leston L, Bayne EM, Sólymos P, Grover A. 2017. Experimentally derived detection distances from audio recordings and human observers enable integrated analysis of point count data. *Avian Conservation and Ecology* **12**:11.

Anexos

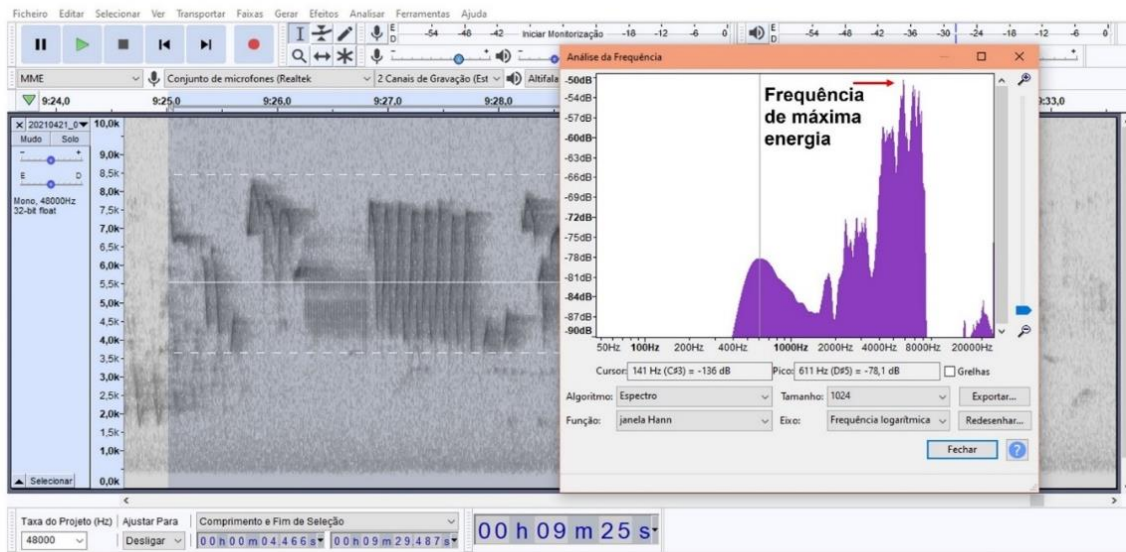
Anexo 1. **Descrição das variáveis de traits não-acústicas.** Informações das variáveis não-acústicas retiradas a partir das bases de dados Storchová (Tipo de ninho, Sedentariidade, Habitat) e Elton (Dieta) e recorrendo a expert knowledge (Singing strata).

Variáveis	Descrição	Classes
Tipo de ninho	Tipo de ninho construído por uma espécie. NA no caso de espécies que não constroem ninhos.	Chão
		Árvores, arbustos Buracos, cavidades NA – não aplicável
Sedentariidade	Se são espécies que vivem sempre no mesmo local ou se realizam migrações.	Espécie Sedentária
		Espécie Migradora
Dieta	Tipo de dieta dominante de uma espécie.	Invertebrados
		Plantas, sementes
		Carnívora Omnívora
Habitat	Tipo de habitat dominante ocupado por uma espécie.	Árvores
		Matos
		Aberto
Singing strata	Tipo de estrato em que uma espécie é observada com frequência a cantar.	Chão
		Árvores
		Matos, arbustos
		Em voo
		Árvores e voo Árvores e chão

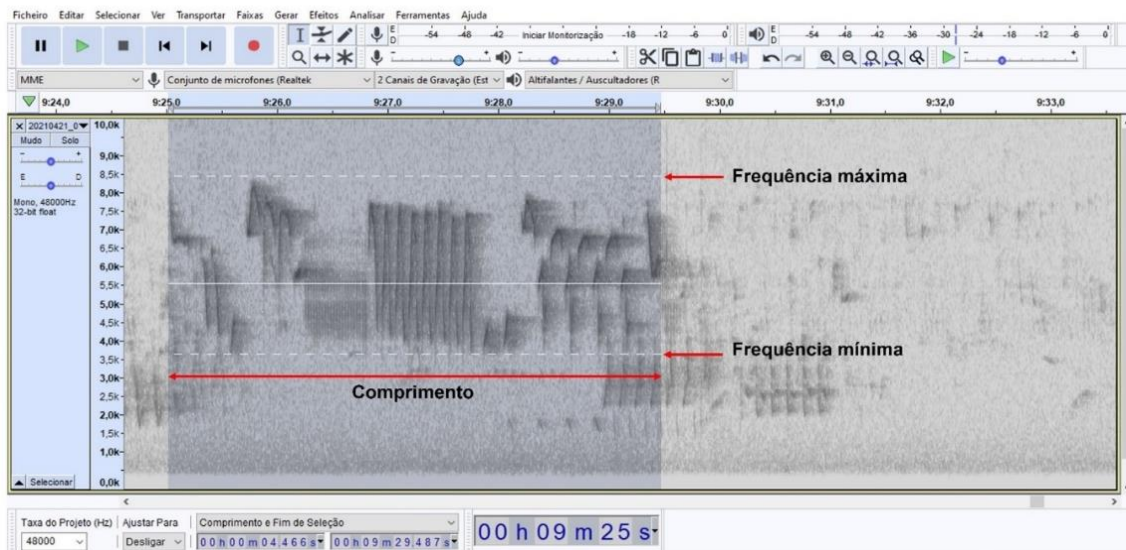


Anexo 2. **Estrutura do canto das aves.** Identificação da estrutura do canto das aves, separado em elementos, sílabas e frases, dando o exemplo da Carriça *Troglodytes troglodytes*.

(a)



(b)



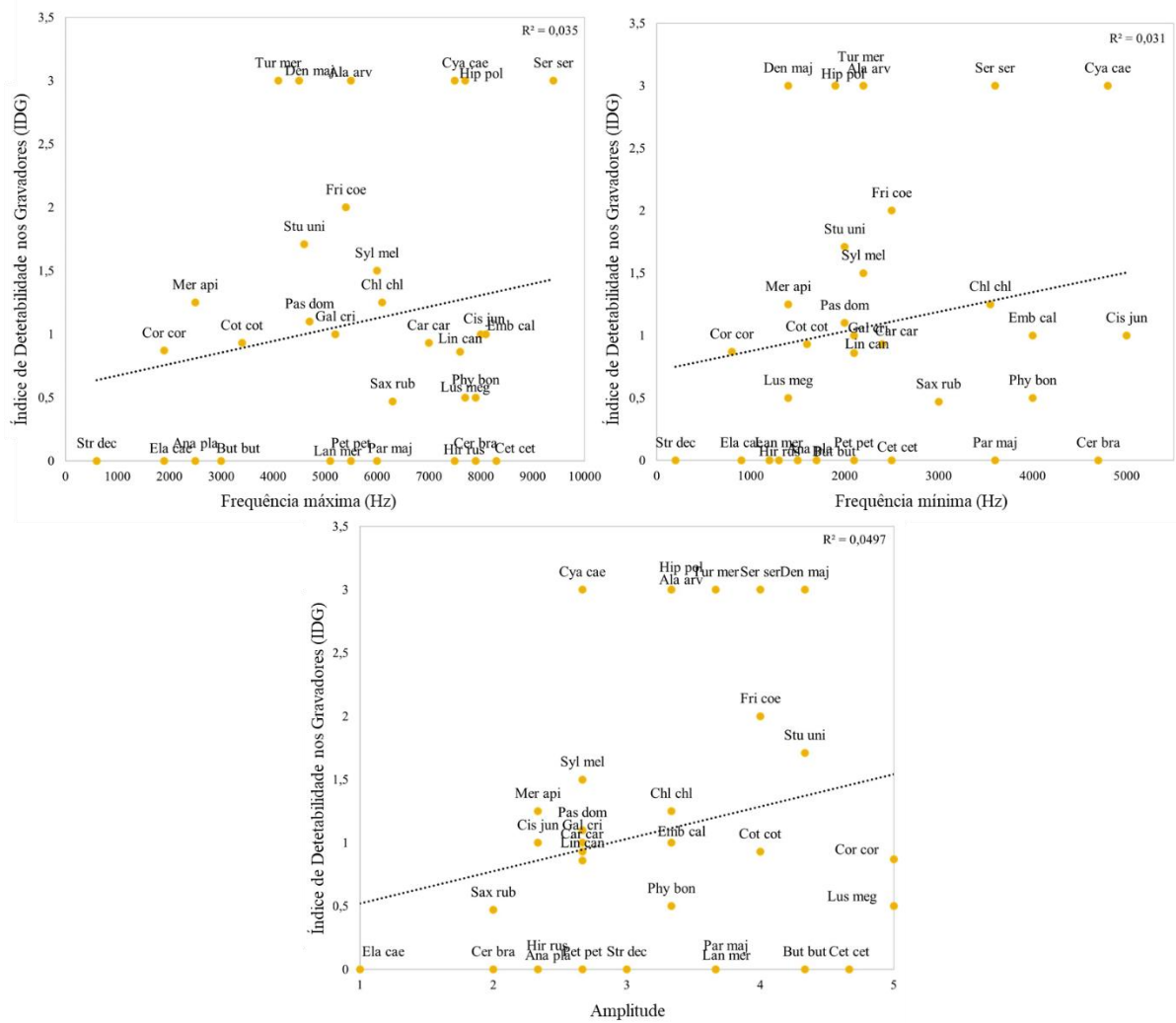
Anexo 3. **Parâmetros acústicos dos canto das aves medidos.** Ilustração dos parâmetros acústicos medidos no programa Audacity, nomeadamente (a) a frequência de máxima energia, (b) a frequência máxima, frequência mínima e o comprimento (ou duração) do canto, utilizando como exemplo a Carriça *Troglodytes troglodytes*.

Anexo 6. **Resumo da análise da relação entre técnicas de amostragem nos dois habitats e estações do ano.** Resumo completo da análise das relações entre as técnicas de amostragem (Observador, Estações acústicas e ambas as técnicas em simultâneo) dentro de cada habitat estudado (aberto e fechado) nas duas estações do ano. Resultados dos testes *t* e testes *t* para amostras emparelhadas, com indicação dos graus de liberdade (*df*), estatística de teste (*t*), e significância (**p*-value<0.05).

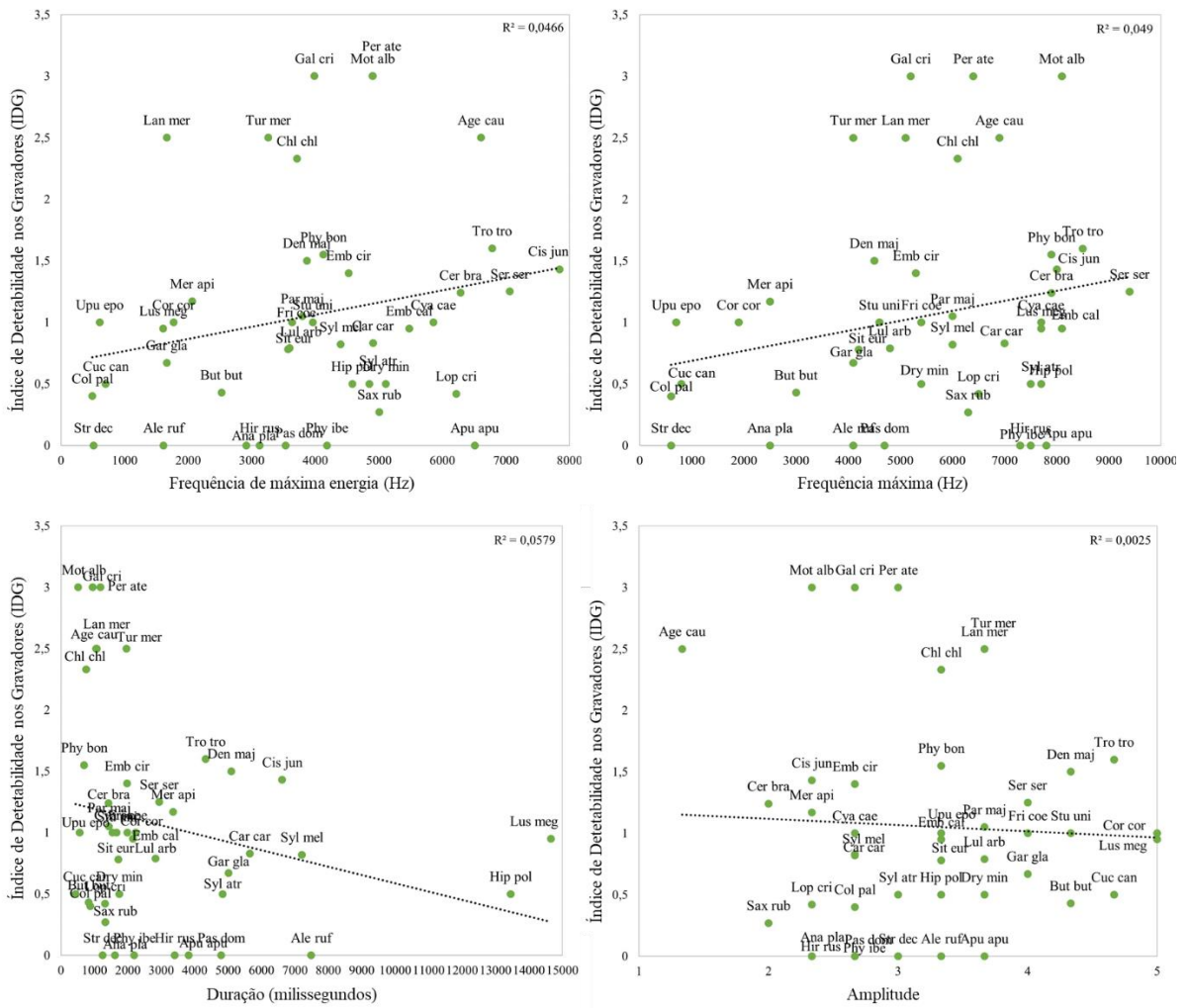
	Variáveis	df	t	p-value		
Inverno	Observador X Estações acústicas	37	- 2.456	0.019 *		
	Técnicas de amostragem	Observador X ambas as técnicas	37	13.610	< 0.001 *	
		Estações acústicas X ambas as técnicas	37	12.636	< 0.001 *	
		Habitats	Habitat Aberto X Habitat Fechado	33	1.153	0.257
	Habitat Aberto	Observador X Estações acústicas	13	- 4.418	0.001 *	
		Observador X ambas as técnicas	13	- 6.835	< 0.001 *	
		Estações acústicas X ambas as técnicas	13	- 13.500	< 0.001 *	
		Habitat Fechado	Observador X Estações acústicas	23	0.225	0.824
			Observador X ambas as técnicas	23	- 12.102	< 0.001 *
			Estações acústicas X ambas as técnicas	23	- 9.774	< 0.001 *
	Primavera	Observador X Estações acústicas	44	- 2.574	0.013 *	
		Técnicas de amostragem	Observador X ambas as técnicas	44	12.940	< 0.001 *
Estações acústicas X ambas as técnicas			44	15.633	< 0.001 *	
Habitats			Habitat Aberto X Habitat Fechado	27	- 1.458	0.156
Habitat Aberto		Observador X Estações acústicas	15	- 5.084	< 0.001 *	
		Observador X ambas as técnicas	15	- 7.319	< 0.001 *	
		Estações acústicas X ambas as técnicas	15	- 11.492	< 0.001 *	
		Habitat Fechado	Observador X Estações acústicas	28	- 0.694	0.494
			Observador X ambas as técnicas	28	- 11.185	< 0.001 *
			Estações acústicas X ambas as técnicas	28	- 11.488	< 0.001 *

Anexo 7. Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG) calculados. Valores do IDG calculados para todas as espécies de aves detetadas em geral e para os habitats aberto e fechado em separado.

Espécies		IDG		
Nome científico	Nome comum	Geral	Habitat aberto	Habitat fechado
<i>Aegithalos caudatus</i>	Chapim-rabilongo	2,500	-	2,500
<i>Alauda arvensis</i>	Laverca	3,000	3,000	-
<i>Alectoris rufa</i>	Perdiz-comum	0	-	0
<i>Anas platyrhynchos</i>	Pato-real	0	0	0
<i>Apus apus</i>	Andorinhão-preto	0	-	0
<i>Buteo buteo</i>	Águia-d'asa-redonda	0,375	0	0,430
<i>Carduelis carduelis</i>	Pintassilgo	0,885	0,930	0,830
<i>Certhia brachydactyla</i>	Trepadeira-do-sul	1,167	0	1,240
<i>Cettia cetti</i>	Rouxinol-bravo	0	0	-
<i>Chloris chloris</i>	Verdilhão	1,714	1,250	2,330
<i>Ciconia ciconia</i>	Cegonha-branca	0	0	-
<i>Cisticola juncidis</i>	Fuinha-dos-juncos	1,130	1,000	1,430
<i>Columba livia</i>	Pombo-das-rochas	0	0	0
<i>Columba palumbus</i>	Pombo-torcaz	0,400	-	0,400
<i>Corvus corone</i>	Gralha-preta	0,938	0,870	1,000
<i>Coturnix coturnix</i>	Codorniz	0,928	0,930	-
<i>Cuculus canorus</i>	Cuco-cinzento	0,500	-	0,500
<i>Cyanistes caeruleus</i>	Chapim-azul	1,074	3,000	1,000
<i>Dendrocopos major</i>	Pica-pau-malhado	1,750	3,000	1,500
<i>Dryobates minor</i>	Pica-pau-galego	0,500	-	0,500
<i>Elanus caeruleus</i>	Peneireiro-cinzento	0	0	-
<i>Emberiza calandra</i>	Trigueirão	0,974	1,000	0,950
<i>Emberiza cirrus</i>	Escrevedeira-de-garganta-preta	1,400	-	1,400
<i>Falco tinnunculus</i>	Peneireiro	0	0	-
<i>Fringilla coelebs</i>	Tentilhão-comum	1,167	2,000	1,000
<i>Galerida cristata</i>	Cotovia-de-poupa	1,286	1,000	3,000
<i>Garrulus glandarius</i>	Gaio	0,667	-	0,670
<i>Hippolais polyglotta</i>	Felosa-poliglota	0,667	3,000	0,500
<i>Hirundo rustica</i>	Andorinha-das-chaminés	0	0	0
<i>Lanius meridionalis</i>	Picanço-real-meridional	1,250	0	2,500
<i>Linaria cannabina</i>	Pintarroxo-de-bico-escuro	0,857	0,860	-
<i>Lophophanes cristatus</i>	Chapim-de-poupa	0,417	-	0,420
<i>Lullula arborea</i>	Cotovia-dos-bosques	0,792	-	0,790
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Rouxinol-comum	0,821	0,500	0,950
<i>Merops apiaster</i>	Abelharuco	1,188	1,250	1,170
<i>Milvus migrans</i>	Milhafre-preto	0	-	0
<i>Motacilla alba</i>	Alvéola-branca	3,000	-	3,000
<i>Parus major</i>	Chapim-real	1,000	0	1,050
<i>Passer domesticus</i>	Pardal-de-telhado	0,846	1,100	0
<i>Periparus ater</i>	Chapim-carvoeiro	3,000	-	3,000
<i>Petronia petronia</i>	Pardal-francês	0	0	-
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Corvo-marinho-comum	0	-	0
<i>Phylloscopus bonelli</i>	Felosa-de-papo-branco	1,385	0,500	1,550
<i>Phylloscopus ibericus</i>	Felosinha-ibérica	0	-	0
<i>Saxicola rubicola</i>	Cartaxo-comum	0,385	0,470	0,270
<i>Serinus serinus</i>	Milheirinha-europeia	1,600	3,000	1,250
<i>Sitta europaea</i>	Trepadeira-azul	0,778	-	0,780
<i>Streptopelia decaocto</i>	Rola-turca	0	0	0
<i>Sturnus unicolor</i>	Estorninho-preto	1,172	1,710	1,000
<i>Sylvia atricapilla</i>	Toutinegra-de-barrete	0,500	-	0,500
<i>Sylvia melanocephala</i>	Toutinegra-dos-valados	0,923	1,500	0,820
<i>Troglodytes troglodytes</i>	Carriça	1,600	-	1,600
<i>Turdus merula</i>	Melro-preto	3,000	3,000	2,500
<i>Upupa epops</i>	Poupa	1,000	-	1,000



Anexo 8. **Regressões lineares dos traits acústicos não significativos no habitat aberto.** Resumo das regressões lineares dos traits sem influência estatisticamente significativa no Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG) no habitat aberto, obtidas através dos testes de correlação de Spearman - Frequência máxima, Frequência mínima e Amplitude (dados de primavera).



Anexo 9. Regressões lineares dos traits acústicos não significativos no habitat fechado. Resumo das regressões lineares dos traits sem influência estatisticamente significativa no Índice de Detetabilidade nos Gravadores (IDG) no habitat fechado, obtidas através dos testes de correlação de Spearman - Frequência de máxima energia, Frequência máxima, Duração e Amplitude (dados de primavera).