



## APLICABILIDADE DO PACOTE LEAFLET NO MAPEAMENTO DE FAUNA AVIÁRIA PARA SEGURANÇA DE VOO A VELA

Matheus F. Celestino, Academia da Força Aérea (AFA), [matheusceleste29@gmail.com](mailto:matheusceleste29@gmail.com)

Luciane F. Alcoforado, Academia da Força Aérea (AFA), [lucianea@id.uff.br](mailto:lucianea@id.uff.br)

João Paulo M. Santos, Academia da Força Aérea (AFA), [jp2@alumni.usp.br](mailto:jp2@alumni.usp.br)

Marcus Vinícius de A. Lima, Academia da Força Aérea (AFA), [marcusmval@fab.mil.br](mailto:marcusmval@fab.mil.br)

### Resumo

Nos últimos anos, o risco de colisão entre aves e aeronaves tem se tornado uma questão cada vez mais relevante, especialmente devido ao número crescente de acidentes reportados ao CENIPA. No contexto específico dos planadores, este estudo tem como foco as ocorrências enfrentadas pelo Esquadrão de Voo a Vela (EVV), localizado na Academia da Força Aérea em Pirassununga-SP, devido à presença de aves nas áreas de voo. Neste estudo, o pacote *leaflet* foi utilizado para obter um mapa de calor dos avistamentos de aves na região de atuação do EVV; as estatísticas descritivas complementam a análise por meio dos resumos gráficos das quantidades de aves avistadas, o efeito ocasionado no voo e tipo de evento de avistamento. A análise descritiva permitiu observar uma predominância nas quantidades de uma ave avistada, uma predominância dos fenômenos avistamentos em relação aos fenômenos de quase colisão e, por consequência, não exigiram medidas de desvio de rota. Por sua vez, ao utilizar o *leaflet* para mapear as coordenadas de avistamentos reportados foi possível visualizar regiões com maior densidade de avistamentos e, por consequência, regiões que exigem mais atenção por parte do piloto do EVV.

**Palavras-chave:** Planadores; Voo a Vela; Risco de Fauna; Bird Strike; Aves.

### Abstract

In recent years, the risk of collision between birds and aircraft has become an increasingly relevant issue, especially due to the growing number of accidents reported to CENIPA. In the specific context of gliders, this study focuses on the occurrences faced by the Glider Flight Squadron (EVV), located at the Air Force Academy in Pirassununga-SP, due to the presence of birds in the flight areas. In this study, the leaflet package was used to obtain a heatmap of bird sightings in the EVV's operational region; descriptive statistics complement the analysis through graphical summaries of the quantities of birds sighted, the effect on the flight, and the type of sighting event. Descriptive analysis revealed a predominance in the quantities of a single bird sighted, a predominance of sighting phenomena compared to near-collision phenomena, and consequently, no deviation measures were required. In turn, by using leaflet to map the coordinates of reported sightings, it was possible to visualize regions with higher densities of sightings and, consequently, regions that require more attention from the EVV pilot.

**Keywords:** Gliders, Sailing Flight; Fauna Risk; Bird Strike; Bird.



## Introdução

O voo a vela, conhecido como voo sem motor ou voo planado, é uma atividade que envolve o uso de planadores. Ao contrário das aeronaves motorizadas, os planadores dependem exclusivamente das correntes de ar para sustentação e propulsão. Essa modalidade aerodesportiva tem raízes históricas profundas e remonta aos primórdios da aviação; requer habilidade e conhecimento para explorar as correntes de ar e, por consequência, sustentar o voo.

No Esquadrão de Voo a Vela (EVV) da Academia da Força Aérea (AFA), localizado em Pirassununga, São Paulo, os pilotos enfrentam desafios singulares. Ao compartilhar o espaço aéreo com as aves, os pilotos estão expostos a uma situação dual, ou seja, uma situação com aspectos positivos e negativos. Por um lado, a presença das aves indica a presença de condições favoráveis, seja pela presença de térmicas, vegetação, etc., mas, por outro, aumentam os riscos de colisões, as quais podem comprometer a segurança das operações aéreas.

Para uma adequada identificação das regiões de maior interação e com objetivo de aprimorar a segurança de voo, o estudo concentra-se no mapeamento das ocorrências de fauna aviária na área de instrução do EVV por meio do pacote *leaflet* (Cheng *et al*, 2019). A possibilidade de construção de um mapa de calor permite identificar as regiões com maior concentração de avistamentos e, por consequência, identificar as regiões com maior risco de colisões. De forma complementar, a análise gráfica permitirá também identificar as ocorrências mais frequentes quanto à quantidade de avistamentos em cada interação (quantas aves são avistadas), o efeito ocasionado no voo (necessidade de ação de desvio) e o tipo de evento (avistamento ou quase colisão).

Os dados utilizados neste estudo provêm de duas fontes principais: dados do CENIPA que é um centro de investigação cujas atividades destinam-se, unicamente, à prevenção de acidentes (Brasil, 2023) e a base de dados do *site* Risco de Fauna que concentra dados da Ficha CENIPA-15, utilizadas para reportar eventos de interesse para o Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), (Knapp, 2024).

## Objetivo

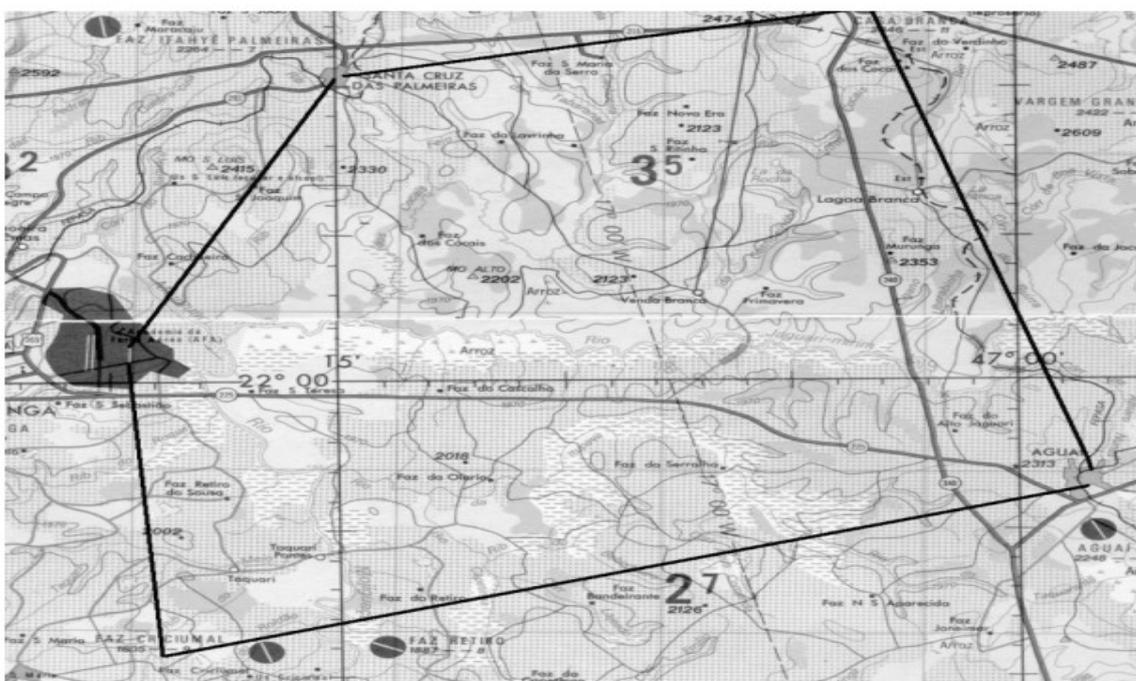
O objetivo geral deste estudo é obter um mapa de calor que ilustra graficamente os locais das observações de fauna aviária na área de instrução do EVV, utilizando o pacote *leaflet*.

Objetivos específicos: disponibilizar um mapa para a análise de riscos na segurança dos voos; identificar as áreas de voo à vela com maior risco de fauna; calcular as proporções tanto para avistamentos quanto para as ações executadas e os eventos.

## Material e Método

Os pormenores da delimitação da área de estudo e o respectivo levantamento de dados são discutidos a seguir:

1. Limites da Área de Estudo: A área selecionada para o levantamento de dados e a elaboração do mapa de calor compreende o espaço aéreo utilizado para os voos de planador na AFA. A região plana delimitada, ilustrada na Figura 1, abrange a pista do setor Echo da AFA e várias cidades próximas; o limite vertical compreende a altura ao nível do solo até 10.000 pés de altitude.
2. Levantamento de Dados: Os dados consolidados utilizaram as fichas de reporte de fauna, disponíveis no aplicativo Riscodafauna.net e dados do CENIPA. A planilha consolidada foi exportada para o ambiente computacional *Posit Cloud* (Posit Team, 2024), para processamento do mapa de calor por meio do pacote *leaflet* (Cheng *et al*, 2019).



**Figura 1** – Área de Instrução do Esquadrão de Voo a Vela da Academia da Força Aérea.

Fonte: Manual de Procedimentos do Esquadrão de Voo a Vela 2021.



Os *scripts* foram divididos em dois blocos: o *script* dos gráficos de proporções e o *script* do mapa de calor. O primeiro utiliza o **ggplot2** (Wickham, 2016), enquanto que o segundo utiliza o *leaflet*. Os pacotes adicionais, caso necessários, podem ser consultados nos respectivos *scripts*.

O *script* a seguir resulta no gráfico de barras da Figura 2, o qual mostra a quantidade de avistamentos por voo. Os *scripts* das Figuras 3 e 4 são adaptações para o número de o tipo de evento e para o efeito provocado no voo.

```
library(ggplot2)
prop_quantidade <- prop.table(table(dados$quantidade))
df_prop <- data.frame(Quantidade = as.numeric(names(prop_quantidade)),
  Proporcao = as.numeric(prop_quantidade))
cores <- c("blue", "red", "green", "orange", "purple", "cyan",
  "magenta", "yellow", "darkgreen", "darkblue")
ggplot(df_prop, aes(x = as.factor(Quantidade), y = Proporcao,
  fill = as.factor(Quantidade)))+geom_bar(stat = "identity") +
  geom_text(aes(label = scales::percent(Proporcao), y = Proporcao),
    vjust = -0.5, size = 3, color = "black") +
  scale_fill_manual(values = cores, guide = FALSE) +
  labs(title = "Proporções das Quantidades Avistadas",
    x = "Quantidade", y = "Proporção") +
  theme_minimal() + scale_x_discrete(labels = 1:10)
```

O *script* a seguir resulta no mapa de calor (Figura 5) dos dados de avistamentos com respectivas quantidades de aves avistadas:

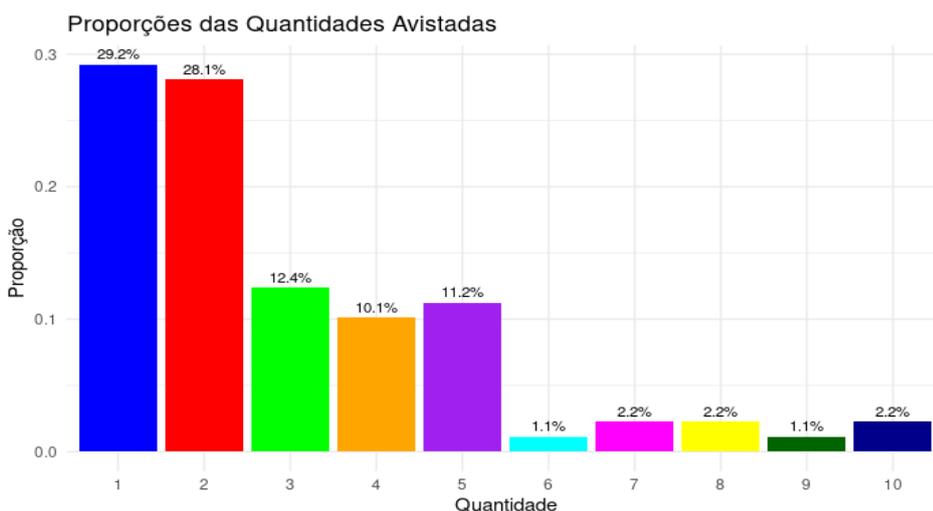
```
library(leaflet)
library(magrittr)
dados<- readr::read_csv("REPORTES_EVW.csv")
m<-leaflet(dados) %>%
+   addTiles() %>%
+   addMarkers(lng=dados$long, lat=dados$lat,
+             clusterOptions = markerClusterOptions(),
+             label = paste("Quantidade:", dados$quantidade, "<br>",
+             "Evento: ", dados$evento) %>%
+   lapply(htmltools::HTML)) %>% leaflet.extras::addHeatmap(lng = ~dados$long,
+   lat = ~dados$lat,
+   intensity = ~dados$quantidade,
+   blur = 20, max = 0.05, radius = 25 )
m
```

Ambos os *scripts* foram processados no ambiente do *Posit Cloud* (Posit Team, 2024) utilizando a linguagem R, versão 4.1.3 (2022-03-10) (R Core Team, 2022), bem como os pacotes *leaflet.extras\_1.0.0* (Karambelkar & Schloerke, 2018), *leaflet\_2.2.1* (Cheng *et al*, 2019), *magrittr\_2.0.3* (Bache & Wickham, 2022), *dplyr\_1.1.2* (Wickham *et al*, 2023), *readr\_2.1.4* (Wickham, Hester & Bryan, 2023).

## Resultados e Discussão

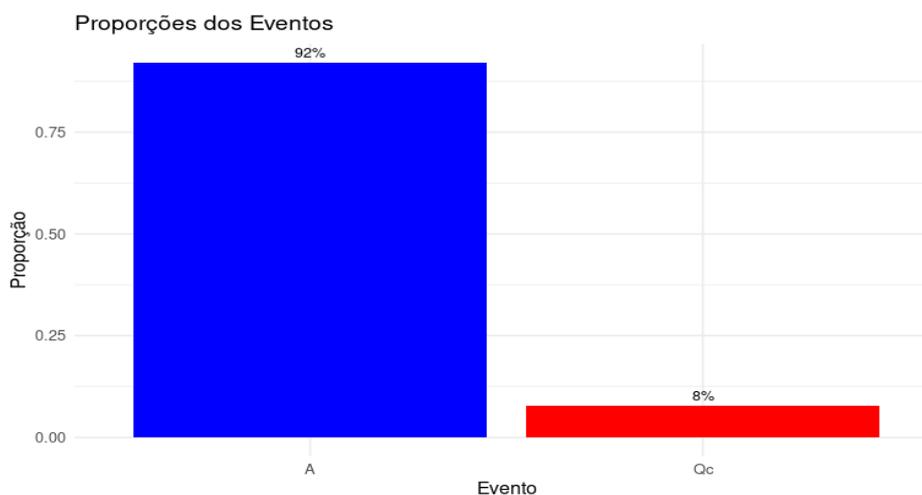
As Figuras 2, 3 e 4 apresentam, respectivamente, os gráficos de proporções de quantidades de avistamentos, proporções de eventos de avistamentos ou quase colisão e as proporções de efeitos ocasionados pelos avistamentos, ou seja, nenhum efeito no voo ou necessidade de manobra de desvio.

A análise dos resultados da Figura 2 indica uma predominância de avistamentos de uma ou duas aves, totalizando cerca de 60% dos avistamentos reportados. Avistamentos de grupos de mais de 5 aves são mais raros totalizando cerca de 9% dos avistamentos.



**Figura 2** – Proporções de quantidades de aves avistadas.

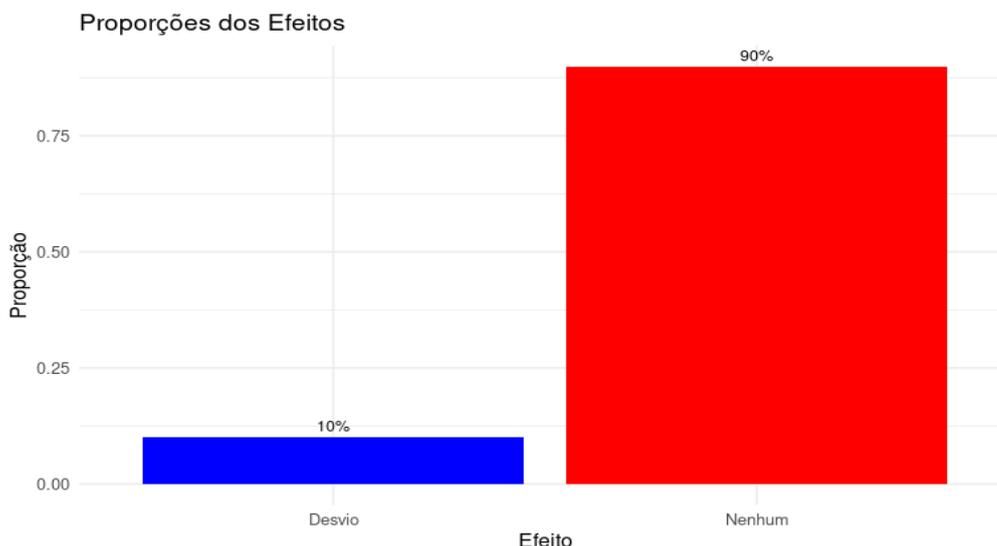
Fonte: Autores, 2024.



**Figura 3** – Proporções de eventos avistamentos (A) e quase colisões (Qc).

Fonte: Autores, 2024.

A análise dos resultados da Figura 3 indicam uma predominância dos avistamentos em relação aos eventos em que colisões quase ocorreram. Por outro lado, a Figura 4 indica que 90% dos avistamentos não resultaram em efeito no voo, enquanto que cerca de 10% resultaram em necessidade de desvio. Há, portanto, eventos de quase colisão que não resultaram em desvios de rota.



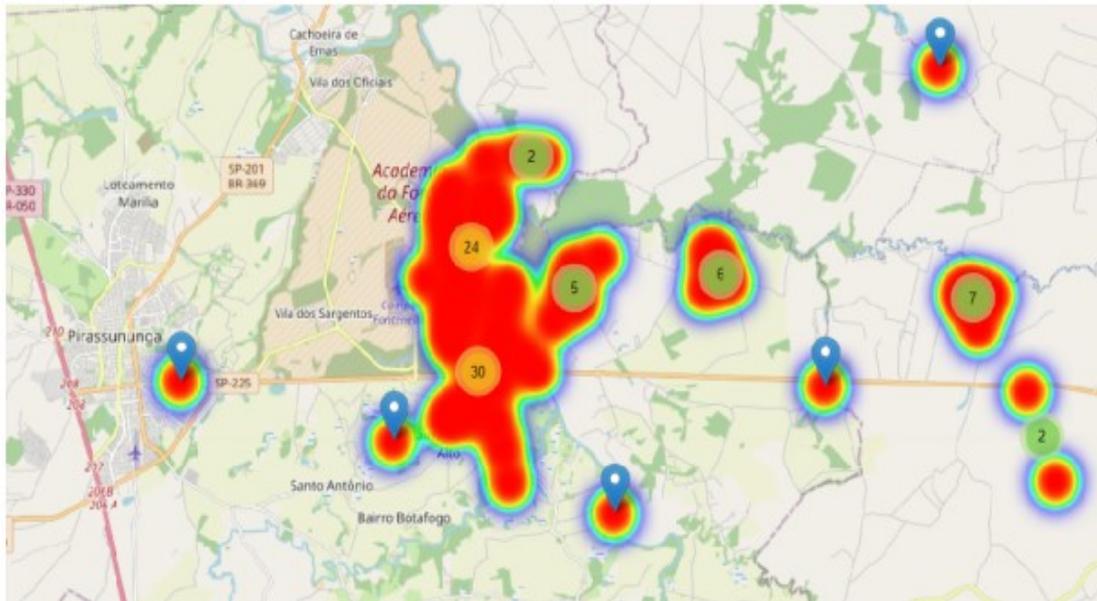
**Figura 4** – Proporções de quantidades de aves avistadas.

Fonte: Autores, 2024.

A seguir, o mapa de calor ilustra as coordenadas dos avistamentos de fauna aviária e respectivas quantidades na área de operação do voo a vela. Diferentemente dos resultados das Figuras 2, 3 e 4, este mapa permite a visualização das regiões de concentração histórica das aves e, por consequência, regiões que exigem mais atenção. Deve ser notado que o mapa mostra as coordenadas de latitude e longitude da ocorrência dos eventos, com a cor destacando a magnitude das quantidades; a altura não é um item considerado no momento, pois o interesse é determinar regiões com maior probabilidade de avistamentos.

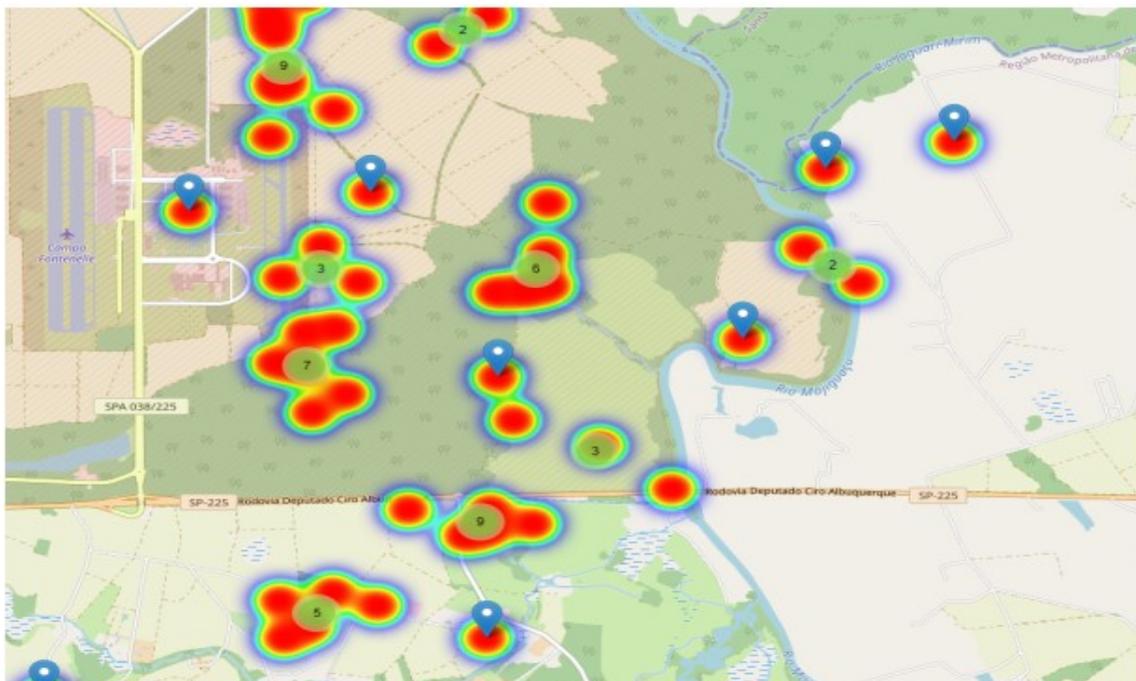
Ao analisar o mapa de calor (Figura 5), é possível identificar as áreas de maior incidência de avistamentos da área de operação do Esquadrão de Voo a Vela. Uma visão mais detalhada e ampliada na Figura 6.

Ao compararmos essas regiões com os extratos obtidos por meio do *Google Earth* das áreas sul e *Echo* do aeródromo (Figuras 7 e 8), podemos destacar diferentes fatores que contribuem para essa concentração de aves:



**Figura 5** – Mapa de calor confeccionado com os reportes de fauna.

Fonte: Autores, 2024.



**Figura 6** – Extrato do mapa ampliado nas áreas de maior incidência.

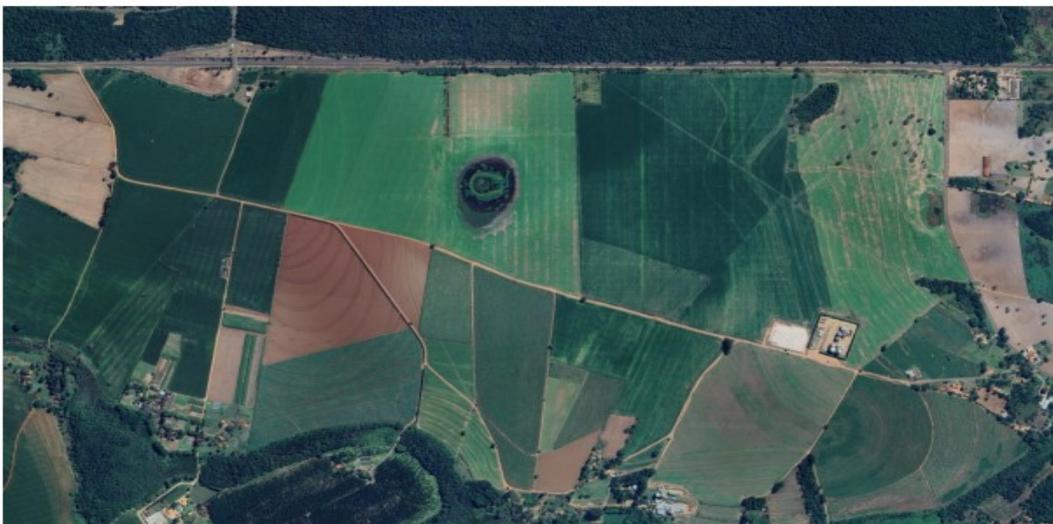
Fonte: Autores, 2024.

1. Há a formação de correntes ascendentes devido a presença de asfalto da Rodovia SP-225 e da pista de pouso da AFA. Além disso, ao sul da estrada, observa-se a presença de um grande arado alaranjado escuro, que também possui um alto potencial de formação de ascendentes.
2. A área conhecida popularmente como "Varjão Negro", caracterizada por densa e escura mata às margens do Rio Mogi Guaçu, é uma região com possibilidade de formação de térmicas em horários específicos do dia (FAA, 2013).



**Figura 7** – Área Echo do aeródromo.

Fonte: Imagem extraída do *Google Earth*.



**Figura 8** – Área Sul do aeródromo.

Fonte: Imagem extraída do *Google Earth*



Ambas as áreas citadas são componentes do circuito de tráfego das aeronaves T-25 da AFA, sendo a perna base da cabeceira 02 e perna do vento, respectivamente.

Com a gestão eficaz do risco de fauna, operadores de voo de planador podem aumentar a segurança das operações aéreas, proteger as aeronaves e contribuir para a preservação do meio ambiente.

### **Conclusão**

O mapeamento dos dados de avistamentos revela regiões com maior incidência de avistamentos de fauna. Nesses avistamentos há uma predominância de avistamentos de uma ou duas aves em relação aos avistamentos de agrupamentos maiores que cinco aves. Também há uma proporção relativamente baixa de quase colisões ou eventos de desvios. Por fim, apesar dos relatos de avistamentos e quase colisões, não houve registros de colisões por parte do Esquadrão de Voo a Vela.

De forma geral, o risco de fauna é um elemento presente nas operações aéreas do EVV. Logo, a gestão eficaz do risco de fauna é essencial para a segurança das operações aéreas, protegendo pilotos, aeronaves e também contribuindo para a preservação ambiental. A conscientização contínua e a aplicação das medidas de prevenção são fundamentais para manter essa segurança e promover voos harmoniosos com o meio ambiente.

Ao final deste estudo, alcançamos os objetivos inicialmente propostos:

- **Mapa de Calor:** o pacote *leaflet* foi utilizado para criar um mapa de calor ilustrativo e que destaca visualmente os locais das ocorrências de avistamentos de fauna aviária na área de instrução do Esquadrão de Voo a Vela (EVV).
- **Tomada de Decisão dos Pilotos:** O mapeamento permite aos pilotos reconhecerem regiões com maiores ocorrências de avistamento e, como consequência, regiões de atenção ou, quando possível, regiões a serem evitadas.

Por fim, conclui-se que a representação em forma de mapa de calor é uma ferramenta de visualização para ilustrar as áreas de ocorrências e riscos. É uma forma de identificar regiões mais críticas e constitui mais uma forma de contribuir para a prevenção de acidentes.

Como trabalhos futuros sugere-se o estudo de um sistema de monitoramento contínuo da fauna aviária na área de voo a vela. Isso permitiria acompanhar as variações sazonais e identificar tendências ao longo do tempo. Apesar dos resultados sugerirem uma relação entre a presença de térmicas e a frequência de avistamentos de aves, é necessário um estudo mais



aprofundado. É interessante analisar também a influência da vegetação na presença das aves e um estudo correlacionando esses elementos com os elementos de avistamentos; por fim, analisar a influência da altura e as fases do voo.

## Referências

BACHE, Stefan Milton and WICKHAM, Hadley. **magrittr: A Forward-Pipe Operator for R**. 2022. <https://magrittr.tidyverse.org>, <https://github.com/tidyverse/magrittr>.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA). **Anuário de Risco de Fauna 2022**. Brasília, 2023.

CHENG, Joe and KARAMBELKAR, Bhaskar and XIE, Yihui. **leaflet: Create Interactive Web Maps with the JavaScript 'Leaflet' Library**. R package version 2.0.3. 2019. <https://CRAN.R-project.org/package=leaflet>

H. WICKHAM. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag New York, 2016.

KARAMBELKAR, Bhaskar and SCHLOERKE, Barret. **leaflet.extras: Extra Functionality for 'leaflet' Package**. 2018. URL: <https://github.com/bhaskarvk/leaflet.extras>, <https://bhaskarvk.github.io/leaflet.extras/>

KNAPP, J. M. S. **Risco de Fauna.net**. Web Service, 2020. Disponível em: <https://jeankn.app/products/risco-de-fauna/>. Acesso em: 14 mar. 2024.

POSIT TEAM. **RStudio: Integrated Development Environment for R**. Posit. Software, PBC, Boston, MA. 2024. URL <http://www.posit.co/>.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2022. URL <https://www.R-project.org/>.

WICKHAM, Hadley and FRANÇOIS, Romain and HENRY, Lionel and MULLER, Kirill and VAUGHAN, Davis. **dplyr: A Grammar of Data Manipulation**. 2023. <https://dplyr.tidyverse.org>, <https://github.com/tidyverse/dplyr>.

WICKHAM, Hadley and HESTER, Jim and BRYAN, Jennifer. **readr: Read Rectangular Text Data**. 2023. <https://readr.tidyverse.org>, <https://github.com/tidyverse/readr>.



## Anexo A

Dados da planilha utilizada no Script

NÚMERO,efeito,quantidade,evento,lat,long

527,Nenhum,1,A,-21.973306174365,-47.327427864075  
528,Nenhum,1,A,-21.960849056054,-47.323951721191  
531,Nenhum,1,Qc,-21.984438135281,-47.241125106812  
532,Nenhum,1,A,-21.989213428447002,-47.16739654541  
533,Desvio,1,Qc,-21.972658391866,-47.326784133911  
534,Nenhum,1,A,-21.961992105549,-47.314853668213  
535,Nenhum,5,A,-22.228805484766,-46.975135803223  
539,Nenhum,1,A,-22.01284876246,-47.325925827026  
540,Nenhum,2,A,-21.977991234633,-47.280349731445  
542,Nenhum,4,A,-21.757905420087,-47.343864440918  
543,Nenhum,2,A,-22.011018557469,-47.313137054443  
548,Nenhum,4,A,-21.985234028635,-47.241640090942  
549,Nenhum,5,A,-21.744512511827,-47.088088989258  
552,Nenhum,2,A,-21.980299417897,-47.289276123047  
558,Nenhum,1,A,-21.987979826441,-47.171001434326  
559,Nenhum,2,A,-21.951961881939,-47.305498123169  
562,Nenhum,3,A,-22.016805981469,-47.327156070387  
564,Nenhum,5,A,-21.987499351244,-47.161774632696  
565,Nenhum,1,A,-21.983784649306,-47.168970106286  
567,Nenhum,2,A,-21.977303565233,-47.327499389212  
568,Nenhum,1,A,-22.023406513112,-47.32292175293  
573,Nenhum,1,A,-21.959842972916,-47.327213297831  
574,Desvio,1,Qc,-22.043598892206,-47.276630398119  
575,Nenhum,1,A,-21.978358058354,-47.245559694129



576,Nenhum,5,A,-22.020045040598,-47.3268699646  
589,Nenhum,1,A,-22.025023002718,-47.343521118164  
603,Nenhum,1,A,-21.953341741432,-47.315368641866  
604,Desvio,2,Qc,-22.012503939799,-47.1510887146  
612,Nenhum,1,A,-21.997155249814,-47.325367927551  
613,Nenhum,3,A,-22.027234959485,-47.310218811035  
614,Nenhum,5,A,-22.010316707191,-47.309532170766  
617,Nenhum,3,A,-21.967505938583,-47.327728281962  
618,Nenhum,2,A,-22.016081664476,-47.323465345544  
619,Nenhum,7,A,-22.008677524353,-47.312614916882  
627,Desvio,1,A,-21.929593435527,-47.177916675006  
641,Nenhum,5,A,-21.987456847218,-47.308673848165  
643,Nenhum,4,A,-22.017207701131,-47.320346833585  
644,Nenhum,2,A,-22.035994581498,-47.308101647068  
645,Nenhum,2,A,-21.987286882057,-47.167968749127  
648,Nenhum,3,A,-22.019996946163,-47.312765120587  
649,Nenhum,8,A,-21.990875433372,-47.308330535889  
651,Nenhum,9,A,-22.009444157001,-47.312450403697  
659,Nenhum,3,A,-21.904896717489,-46.96811914444  
661,Nenhum,1,A,-22.000906758741,-47.324924472487  
669,Nenhum,2,A,-22.011343627418,-47.314367292565  
670,Nenhum,5,A,-21.643989442325,-46.930818554247  
671,Nenhum,2,A,-21.987027185154,-47.170143127441  
790,Nenhum,2,A,-21.986557241116,-47.249236106873  
791,Nenhum,8,A,-22.010032366897,-47.31330871582  
792,Nenhum,5,A,-21.989391362176,-47.308416366577  
796,Nenhum,2,A,-21.989511107489,-47.326927186805



800,Nenhum,2,A,-21.996551078427,-47.327299118042

802,Nenhum,2,A,-21.968825937219,-47.327470779419

803,Nenhum,2,A,-21.984938140462,-47.241554260254

804,Nenhum,10,A,-22.00442377131,-47.311420440674

806,Nenhum,1,A,-22.019001306799,-47.324981689453

807,Nenhum,2,A,-21.989865218339,-47.28687286377

808,Desvio,2,A,-22.035389781768,-47.142505645752

809,Nenhum,2,A,-21.996458474604,-47.166023254395

907,Desvio,4,A,-22.00912062149,-47.318183897878

1109,Nenhum,3,A,-22.011332188294,-47.212886810303

1185,Nenhum,1,A,-21.97525946,-47.323358799761

1187,Nenhum,1,A,-21.98231457,-47.320865923539

1188,Nenhum,1,A,-21.952571895849,-47.297515869141

1189,Nenhum,1,A,-21.990756843831,-47.312159640715