

Integração de geotecnologias na análise da paisagem para contribuir no monitoramento de espécies faunísticas em unidades de conservação

Integration of geotechnologies in landscape analysis to contribute to the monitoring of faunal species in conservation units

Integración de geotecnologías en el análisis del paisaje para contribuir al monitoreo de especies faunísticas en unidades de conservación

Rodolfo da Cunha Sarcinelli

Graduando, UFV, Brasil
rodolfo.sarcinelli@ufv.br

Lara Modesto Mendes

Pesquisadora, UFV, Brasil
lmodestomendes@gmail.com

Ana Júlia Silva Moreira

Mestranda, UFV, Brasil
ana.júlia@ufv.br

André Luiz Lopes de Faria

Professor Doutor, UFV, Brasil
andre@ufv.br

Fabiano Rodrigues de Melo

Professor Doutor, UFV, Brasil
frmelo@ufv.br

RESUMO

A conservação da biodiversidade tornou-se um desafio crucial em um mundo em constante transformação. Nesse contexto, a paisagem, composta por elementos físicos e bióticos, desempenha um papel vital na vida das espécies e em sua sobrevivência. Este estudo visa fornecer informações detalhadas sobre a paisagem da Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda do Capivary I, com o objetivo de auxiliar nos monitoramentos de fauna que empregam Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP). A pesquisa utilizou métodos de geoprocessamento e produção cartográfica combinadas a modelos climáticos, resultando em um material cartográfica que proporcionou uma representação visual das características da paisagem local como: relevo, uso e ocupação e condições do vento. Foram realizadas 15 missões de monitoramento por meio do uso de ARP, as quais cobriram uma área total de 387,63 hectares, foram obtidos 24 registros de animais: 4 mamíferos, além de 20 registros de aves. O conjunto de dados inclui um total de 3 horas e 18 minutos de vídeos com câmera termal e RGB capturados durante os sobrevoos. A integração de geotecnologias na análise da paisagem desempenhou um papel crucial na compreensão das condições de vento, além da importância das geotecnologias na análise do relevo, uso e ocupação da terra, possibilitando a identificação de áreas interesse e críticas para operações, considerando obstáculos naturais e artificiais. Essa abordagem contribuiu para a segurança e o planejamento das operações de voo.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento de Fauna. Geoprocessamento. Paisagem. Aeronaves Remotamente Pilotadas.

SUMMARY

The conservation of biodiversity has become a crucial challenge in a constantly changing world. In this context, the landscape, composed of physical and biotic elements, plays a vital role in the life and survival of species. This study aims to provide detailed information about the landscape of the Private Natural Heritage Reserve Fazenda do Capivary I, with the goal of assisting in wildlife monitoring using Remotely Piloted Aircraft (RPA). The research employed geoprocessing methods and cartographic production combined with climate models, resulting in cartographic material that visually represents local landscape characteristics such as terrain, land use, and wind conditions. Fifteen monitoring missions were conducted using RPA, covering a total area of 387.63 hectares, resulting in 24 animal records: 4 mammals and 20 bird records. The dataset includes a total of 3 hours and 18 minutes of thermal and RGB camera footage captured during the flights. The integration of geotechnologies in landscape analysis played a crucial role in understanding wind conditions, as well as the importance of geotechnologies in analyzing terrain, land use, and occupation, enabling the identification of areas of interest and critical areas for operations, considering natural and artificial obstacles. This approach contributed to the safety and planning of flight operations.

KEYWORDS: Fauna Monitoring. Geoprocessing. Landscape. Remotely Piloted Aircraft.

RESUMEN

La conservación de la biodiversidad se ha convertido en un desafío crucial en un mundo en constante transformación. En este contexto, el paisaje, compuesto por elementos físicos y bióticos, desempeña un papel vital en la vida de las especies y en su supervivencia. Este estudio tiene como objetivo proporcionar información detallada sobre el paisaje de la Reserva Particular del Patrimonio Natural Fazenda do Capivary I, con el fin de ayudar en el monitoreo de la fauna mediante Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP). La investigación utilizó métodos de geoprociamiento y producción cartográfica combinados con modelos climáticos, resultando en material cartográfico que proporciona una representación visual de las características del paisaje local, como el relieve, el uso del suelo y las condiciones del viento. Se llevaron a cabo 15 misiones de monitoreo mediante el uso de ARP, que cubrieron un área total de 387,63 hectáreas, resultando en 24 registros de animales: 4 mamíferos y 20 registros de aves. El conjunto de datos incluye un total de 3 horas y 18 minutos de videos con cámaras térmicas y RGB capturados durante los vuelos. La integración de geotecnologías en el análisis del paisaje desempeñó un papel crucial en la comprensión de las condiciones del viento, así como en la importancia de las geotecnologías en el análisis del relieve, el uso del suelo y la ocupación, permitiendo la identificación de áreas de interés y áreas críticas para operaciones, considerando obstáculos naturales y artificiales. Este enfoque contribuyó a la seguridad y planificación de las operaciones de vuelo.

PALABRAS CLAVE: Monitoreo de Fauna. Geoprociamiento. Paisaje. Aeronaves Remotamente Pilotadas.

1 INTRODUÇÃO

A conservação da biodiversidade é um desafio cada vez mais urgente em um mundo em constante transformação. Entender como as diferentes características físicas e bióticas da paisagem influenciam o comportamento dos animais é uma estratégia eficaz para contribuir na conservação e preservação de espécies (Henriques-Silva et al., 2015). A paisagem apresenta diversas especificidades em relação à sua formação, de modo a atribuir características físicas, químicas e biológicas, como a geomorfologia, hidrografia, clima e cobertura vegetal. Com base nisso, torna-se possível adquirir dados acerca de épocas anteriores e do momento atual, bem como discernir padrões indicativos para tendências do futuro (Francelino et al., 2011), já que essas características influenciam na vida das espécies, em seus padrões de movimento, acesso a recursos, interações com outros organismos e, em última instância, sua sobrevivência (Seymour & Dean, 2009; Nascimento et al., 2022).

Nos últimos anos, as geotecnologias, alinhadas à cartografia e ao sensoriamento remoto, vem se desenvolvendo, de modo a desempenhar papéis fundamentais na captura, análise, interpretação e representação de dados geoespaciais e informações geográficas. Essas áreas de estudo são importantes ferramentas para pesquisas científicas, pois auxiliam na compreensão e representação do espaço e, quando aplicadas de forma integrada, possibilitam uma compreensão abrangente e precisa da paisagem, tendo um papel essencial em projetos de conservação (Ivosevic et al., 2015; Ribeiro et al., 2017; Vital, 2020). Metodologias que empregam a geotecnologia como ferramenta têm se sobressaído como a opção mais eficaz para diminuir os custos e tempo exigido no processo de mapeamento de áreas a serem conservadas (Francisco et al., 2012; Luppi et al., 2015). As geotecnologias abrangem um conjunto de ferramentas e técnicas que englobam sistemas de informação geográfica (SIG), sensoriamento remoto, posicionamento global por satélite (GPS) e modelagem espacial (Nascimento, 2009).

Recentemente, pesquisadores começaram a usar Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), para obter dados sobre animais e seus habitats. Na maioria dos estudos, são utilizadas câmeras de espectro visual padrão (RGB) que são acopladas em ARPs para obter dados sobre a presença de espécies (Chabot & Bird, 2015; Linchant, Lhoest et al., 2015; Linchant, Lisein et al., 2015; Spaan et al., 2019, 2022). No entanto, realizar um monitoramento de espécies faunísticas utilizando ARP é um desafio constante, devido à complexidade das interações ambientais e à necessidade do conhecimento das características da paisagem local. É aqui que a integração de geotecnologias se torna essencial, permitindo a coleta, análise e interpretação de informações geográficas para melhor compreender a dinâmica da paisagem e as necessidades das espécies que nela habitam (Mantovani, 2006). Assim, este trabalho busca analisar as características do relevo e meteorológicas e, o uso e ocupação da terra de uma Unidade de Conservação, a Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda do Capivary I (Instituto Ambiental Vale, 2009), localizada na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais (Fig. 1), de forma a auxiliar na obtenção de registros em monitoramento de espécies utilizando ARPs.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

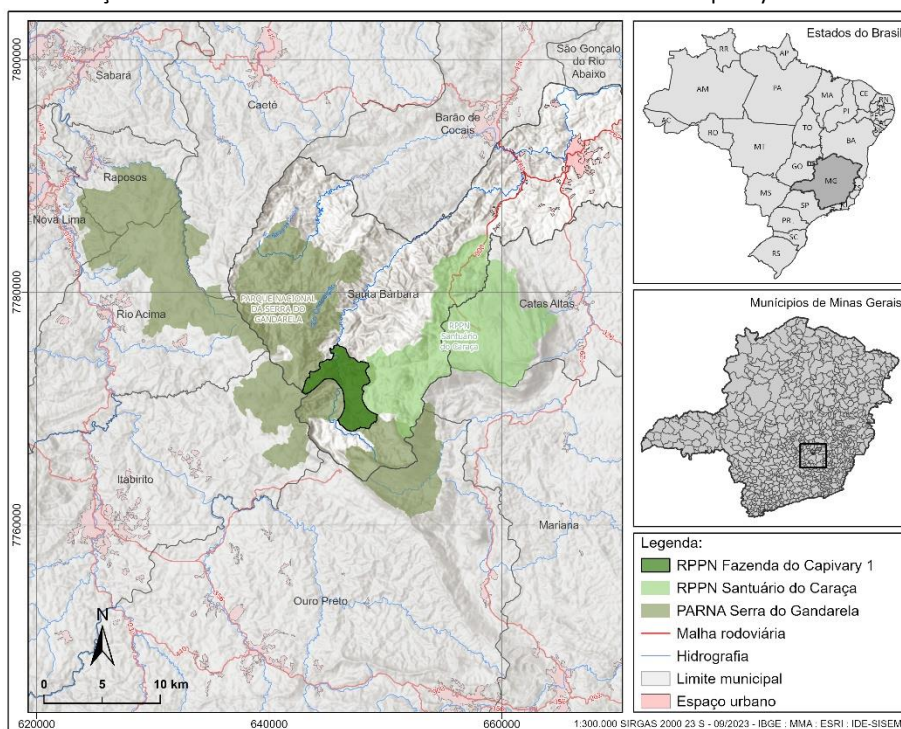
Foram definidas três categorias principais que podem influenciar a coleta de dados em atividades de ARP e monitoramento de fauna: Características do Relevo, Condições do Vento e Uso e Ocupação da Terra (ANAC, 2017; Spaan et al., 2019). Em seguida, houve a coleta de dados

de fontes geoespaciais fornecidas de forma online e gratuita por organizações como Alaska Satellite Facility (Gens & Logan, 2003) e Global Wind Atlas (Davis et al, 2023), que foram posteriormente processados em ambientes de SIG. Por fim, foram selecionados três pontos de voos no interior da RPPN Fazenda do Capivary I, onde foram realizados os voos de monitoramento de fauna.

Toda a produção cartográfica foi desenvolvida no ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG) com o auxílio do programa ArcGIS Pro. Todos os dados foram convertidos para a projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) e o datum SIRGAS 2000, fuso 23 sul.

Neste estudo, empregamos o modelo de ARP Matrice 200, equipado com uma câmera termal Zenmuse XT de resolução 640×512, juntamente com uma câmera RGB de alta definição, com resolução 3840×2160. Este modelo apresenta uma autonomia de voo de até 24 minutos, sendo capaz de operar a uma distância máxima de transmissão de 5 km em relação ao operador, conforme especificado no manual do fabricante (DJI, 2018). Além disso, é importante destacar que, o Matrice 200 é resistente a ventos de até 12 m/s e pode funcionar em temperaturas que variam de -20°C a 50°C, tornando-o uma escolha segura e versátil para diversas aplicações neste estudo.

Figura 1 – Localização da Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda do Capivary I no território nacional.



Fonte: SARCINELLI, 2023.

2.1 Características do relevo

Utilizando a plataforma desenvolvida pela ASF (Alaska Satellite Facility) que oferece acesso a uma vasta coleção de dados de radar de abertura sintética (SAR) provenientes de satélites, incluindo imagens de radar da NASA e da Agência Espacial Europeia, foi possível obter uma imagem do ALOS PALSAR (Advanced Land Observing Satellite) (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar), satélite japonês com resolução espacial de 12,5 metros referente a

data 15-02-2011 (Gens & Logan, 2003). A partir da imagem do ALOS PALSAR, foram extraídas as curvas de nível de 50 metros e confeccionado o Modelo Digital de Elevação (MDE) com classes de altitude divididas em nove intervalos de 100 m, possuindo a cota inferior de 800 metros e cota superior de 1700 metros. Para obter uma melhor representação visual do MDE, de modo que as variações fossem melhor representadas, este foi editado em suas propriedades com transparência de 25% e plotado sobre relevo sombreado, obtido por meio da ferramenta HillShade. Com isso, foi possível elaborar mapas temáticos em escala 1:50.000 para representar as características altimétricas contidas na paisagem da área de estudo.

Foi utilizado o software ArcGIS Pro (ESRI, 2022) como ferramenta para análise de superfície. Foi calculada a declividade, representada em porcentagem, a partir da variação altimétrica da vertente em relação ao eixo horizontal, classificadas segundo Santos et al (2018), em cinco classes de declive: Plano (0 – 3%): Relevo com baixa declividade, terreno é praticamente plano; Suave ondulado (3,1 – 8%): Terreno com pequenas elevações e depressões; Ondulado (8,1 – 20%): Relevo com elevações e depressões mais pronunciadas; Fortemente ondulado (20,1 – 45%): Terreno com elevações e depressões significativas; Montanhoso (45,1 – 75%): Áreas montanhosas com declividades muito acentuadas; e Escarpado (> 75%): Terreno com extrema declividade.

2.2 Condições predominantes do vento

A criação do mapa de direção de ventos no ArcGIS Pro, foi realizada com base na imagem raster disponibilizada na plataforma Global Wind Atlas, que envolve a utilização de um conjunto de dados globais de recursos eólicos. Esses dados são compilados a partir de observações de satélites, instrumentos terrestres e balões meteorológicos, além de modelos numéricos que permitem a criação de um registro contínuo das condições climáticas e atmosféricas da Terra, durante o período de 2008 a 2017 (Davis et al., 2023). O processo de modelagem é composto por cálculos para condições locais de vento com resolução de 3 km em três alturas: 50, 100 e 200 m, neste trabalho consideramos os dados com 50 metros de altura em relação a superfície do terreno. Essa abordagem permite extrair informações detalhadas sobre a direção e velocidade predominante do vento na região de interesse, como a RPPN Fazenda do Capivary I.

Para criar o mapa de direção predominante de ventos, o processo começa com a coleta de pontos amostrados na plataforma do Global Wind Atlas, cada ponto consiste em uma representação do comportamento do vento em uma área de 3 km, contendo informações sobre a direção e velocidade do vento, portanto para determinar as condições do vento é necessário coletar diversos pontos na região da RPPN. Utilizando esses pontos como base, é possível realizar uma interpolação para gerar uma superfície raster que represente a distribuição das direções do vento em toda a área de interesse. Para isso, é empregada a técnica de distância ponderada inversa (IDW), é um método de interpolação espacial que considera a distância entre os pontos amostrados e o local em que se deseja estimar a direção do vento (Jimenez & Domecq, 2008). Esse processo de interpolação é realizado de maneira automatizada pelo ArcGIS Pro, permitindo a criação de dois mapas de escala 1:50.000 da direção e velocidade predominante dos ventos e velocidade média dos ventos, que reflete as características predominantes na região, proporcionando informações valiosas para análises e tomadas de decisões relacionadas ao vento na área da RPPN Fazenda do Capivary I.

2.3 Uso e ocupação da terra

Através do portal de dados Copernicus Open Access Hub (ESA, 2018), foram adquiridas imagens do Sentinel-2, com uma resolução espacial de 12,5 metros, abrangendo o período de junho a agosto de 2022. Para garantir a qualidade na definição do uso e ocupação, foram utilizadas imagens com baixa presença de nuvens na região.

Foram definidas classes para categorizar as características da paisagem na área observada, sendo elas, Floresta Estacional Semidecidual, Campo Rupestre, Campo Limpo, Afloramento Rochoso, Estado de Regeneração, entre outras. Além disso, foram identificados elementos-chave na paisagem, como estradas, trilhas e redes de transmissão. A classificação das características da paisagem foi realizada manualmente, utilizando ferramentas de edição e criação de polígonos, no software ArcGIS Pro. Esse processo possibilitou mapear as áreas com precisão e, representar cada classe de forma adequada, de acordo com sua representatividade na área de estudo.

Com todas as classes devidamente definidas, as áreas ocupadas por cada uma delas foram calculadas e, em seguida, o mapa de uso e ocupação da terra elaborado. A produção cartográfica incluiu a utilização da rede hidrográfica, desenvolvida na etapa de Características do relevo. Esse conjunto de procedimentos resultou em um mapa detalhado e informativo de uso e ocupação do solo, com escala de 1:40.000, fornecendo uma representação visual das características da paisagem na região.

2.4 Voos de monitoramento de fauna

Foram realizados voos focados na coleta de dados sobre mamíferos de médio e grande porte na RPPN Fazenda do Capivary I. Foi utilizada ARP equipada com uma câmera termal e uma câmera 4K. Os voos realizados foram manuais e executados em varreduras, a partir de três pontos de decolagem com maior elevação: Ponto A, Ponto B e Ponto C (Fig. 3a). Os pontos foram escolhidos considerando a facilidade de acesso, visão desimpedida das áreas florestais, localização elevada e isenta de obstáculos, e a presença de uma área plana para facilitar operações de pouso e decolagem. Os voos ocorreram entre julho de 2022 e janeiro de 2023, durante janelas meteorológicas favoráveis, com ausência de chuva e ventos dentro dos limites de segurança estabelecidos. No protocolo de coleta de dados, foram registrados data, horário de início, tempo de duração do voo, condições meteorológicas, espécies observadas, localização geográfica e o tipo de habitat. Os voos com a câmera termal foram planejados pela manhã e ao final da tarde, pois esses horários oferecem as melhores condições para a visualização de animais. Isso se deve à eficiência relativa na detecção de calor e à redução da incidência solar.

Após concluir os voos de monitoramento da fauna, conduzimos uma análise de todos os vídeos para identificar potenciais registros de animais e coletar suas coordenadas de localização. Os dados de voo foram exportados em formato shapefile e calculado distância percorrida, área de voo e variações altimétricas durante as missões aéreas. Para calcular a densidade de voo, a ARP registrou coordenadas a cada segundo durante os voos, usadas para criar um shapefile com pontos representando as posições ao longo do voo. Com as coordenadas à disposição, foi realizado uma análise espacial utilizando a ferramenta de Densidade Kernel no ArcGIS Pro. Essa ferramenta é projetada para processar dados a partir de pontos

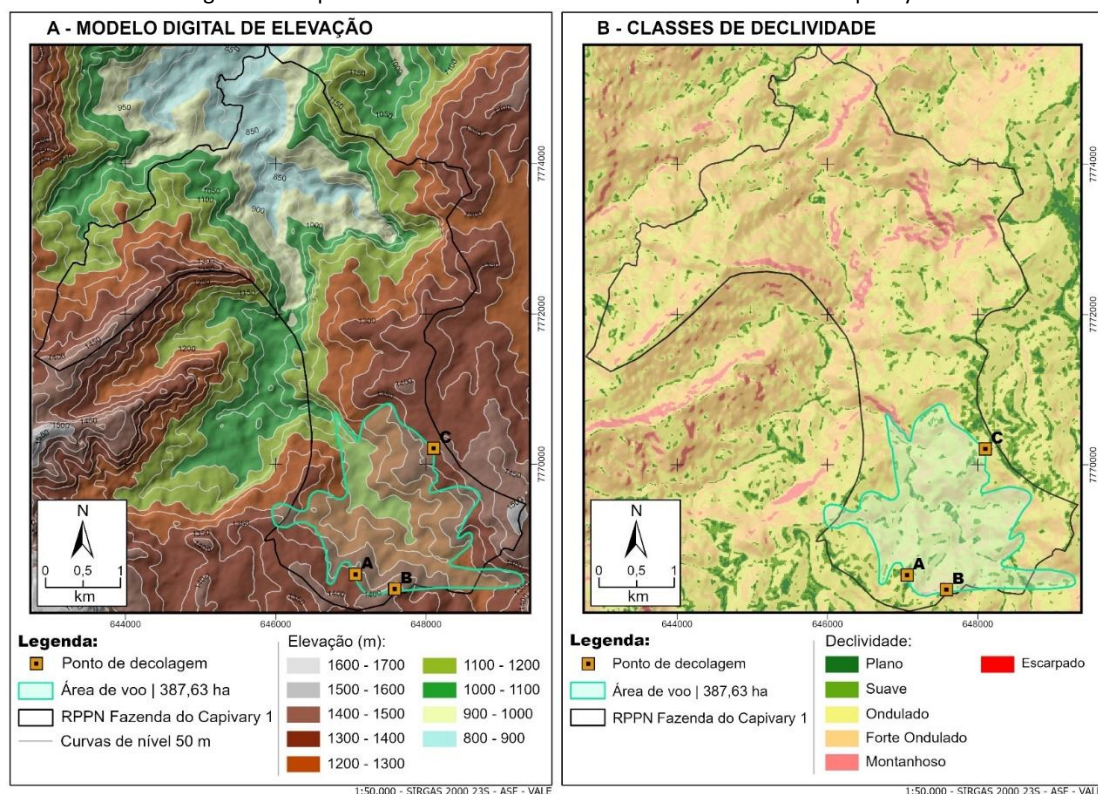
georreferenciados e representa a distribuição espacial desses pontos. Sendo utilizada para identificar padrões de densidade, enfatizando áreas com alta concentração de pontos, onde a concentração dos pontos é refletida de forma mais destacada. Essa ferramenta facilitou a análise da densidade de voos na área sobrevoada, gerando um mapa de registros de densidade de voos em escala 1:50.000. Os resultados obtidos auxiliaram na compreensão da distribuição e espacialidade dos voos e registros de espécies na área de estudo (Souza et al., 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características do relevo

Na RPPN Fazenda do Capivary I, a altitude varia de 800 a 1700 metros. Predominantemente, as características do relevo têm predominância ondulado e forte ondulado, com algumas áreas planas e suaves, com presença de áreas montanhosas (Fig. 2). É importante notar que os voos abrangeram uma ampla variação de altitude, variando de 1290 metros a 1449 metros (Tab. 1), abrangendo áreas de relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso. Demonstrando a flexibilidade e versatilidade do uso de ARP em operações de manejo de fauna, por se adaptarem a diferentes características topográficas e realizarem operações cobrindo grandes áreas num tempo relativamente curto.

Figura 2 – Mapas de características do relevo da RPPN Fazenda do Capivary I.



Fonte: SARCINELLI, 2023.

A topografia desempenha um papel fundamental na captação de registros de fauna que utilizam ARP, além de trabalhar como obstáculo natural para as operações, em áreas com topografia heterogênea a radiação varia em função da altitude, declividade e da orientação da superfície (Weber, 2011). Vales profundos e encostas sombreadas são locais propensos a

receber uma quantidade reduzida de luz solar direta, o que pode ter impactos significativos na qualidade das imagens capturadas por sensores do espectro visual e termográficas. Isso, por sua vez, pode dificultar a identificação precisa de objetos e animais na paisagem (Spaan et al., 2019). O grau de exposição solar varia ao longo do dia, podendo aquecer objetos na paisagem e resultar em interpretações equivocadas e registros de fauna que, na verdade, são causados pela mudança de temperatura em elementos não relacionados à fauna (Kays et al., 2019). Ao planejar os horários de voo, é essencial considerar não apenas as condições topográficas, mas também os padrões de exposição solar. Evitar períodos de maior exposição solar é recomendado para prevenir falsos positivos durante a coleta de dados.

Tabela 1 - Dados de altura e altitude dos voos realizados.

Voo	Ponto de decolagem	Altitude de decolagem (m)	Altitude máx. (m)	Altitude mín. (m)	Altura máx. (m)	Altura mín. (m)
DJI_0001	A	1360	1364	1289	4	-71
DJI_0011		1360	1370	1256	10	-104
DJI_0095		1360	1366	1258	6	-102
DJI_0195		1360	1443	1243	83	-117
DJI_0074		1360	1363	1244	3	-116
DJI_0039		1360	1415	1324	55	-36
DJI_0043	B	1390	1424	1236	34	-154
DJI_0062		1390	1449	1290	59	-100
DJI_0068		1390	1421	1190	31	-200
DJI_0029		1390	1413	1242	23	-148
DJI_0002		1390	1413	1291	23	-99
DJI_0017		1390	1414	1220	24	-170
DJI_0038	C	1400	1406	1228	6	-172
DJI_0047		1400	1402	1290	2	-110
DJI_0045		1400	1405	1251	5	-149

O relevo exerce impacto direto nos padrões de vento locais, sendo que áreas mais elevadas experimentam ventos mais intensos e turbulentos (Albuquerque et al., 2019). Isso pode influenciar a estabilidade do voo e complicar a coleta de dados. Portanto, ao planejar operações aéreas em regiões com topografias diversas, é crucial possuir conhecimento prévio das características do terreno e das condições locais. Esse cuidado no planejamento possibilita a otimização da escolha de altitudes na área a ser mapeada, assegurando a coleta de dados em conformidade com os requisitos de segurança. Isso, por sua vez, contribui para a realização de uma operação bem-sucedida e segura (Reis, Faria & Duarte, 2022).

3.2 Condições predominantes do vento

A velocidade dos ventos na região da RPPN Fazenda do Capivary I varia de 4 a 10 m/s (Fig. 3a). A velocidade média no período de 2008 a 2017 variou, dentro dos limites da RPPN de 0 a 5 m/s, sendo que nos entornos da RPPN algumas regiões alcançaram velocidades médias de até 10m/s (Fig. 3b). Ao analisar as velocidades médias por horário do dia ao mês durante o mesmo período de tempo, tem-se uma variação diária com maiores velocidades nos períodos de 18 h às 6 h (noite) e menores velocidades durante o período diurno das 6h às 18h. Além disso, os meses de seca (mar - ago) apresentam menores velocidades comparado aos meses chuvosos (set - fev) (Fig. 3c).

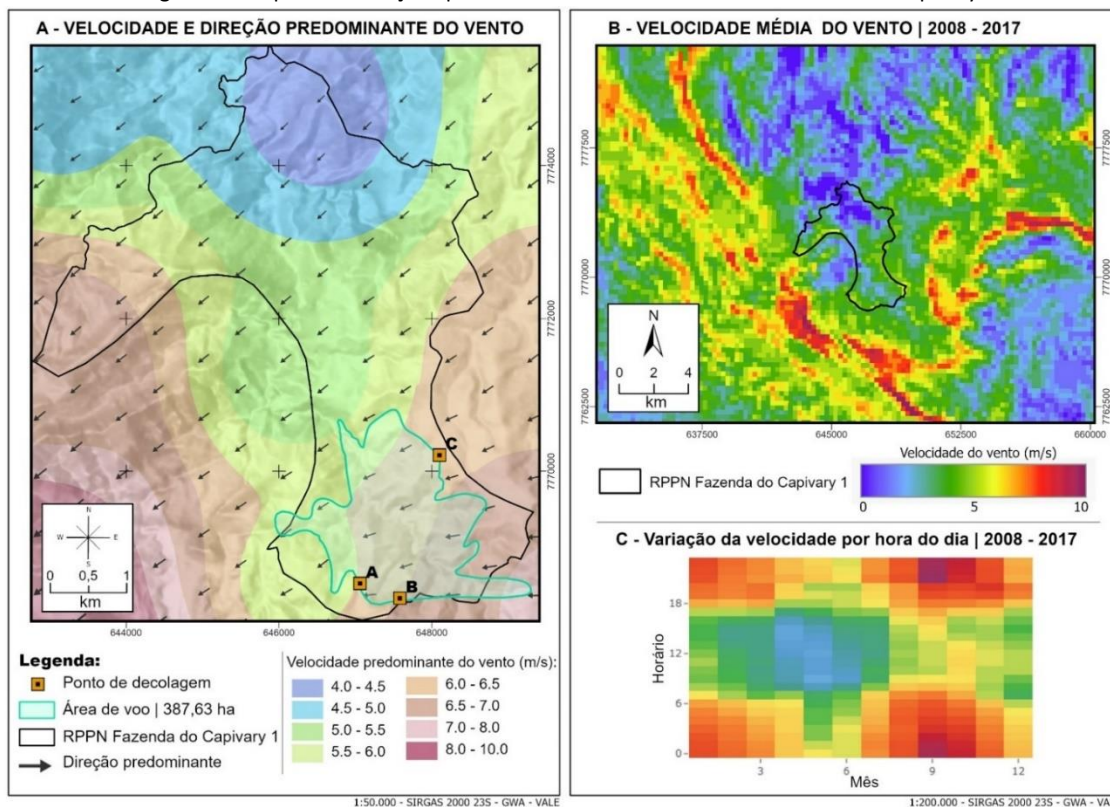
As condições do vento exercem notável influência na estabilidade, controle e autonomia da ARP, podendo deslocar a aeronave e comprometer a manutenção de sua posição e orientação desejadas, o que, por sua vez, se traduz em imagens. A potência para manter sua posição, elevando assim o consumo de energia, como resultado, a autonomia da bateria pode sofrer uma queda significativa, limitando o tempo de voo (ANAC, 2017).

Ventos de alta intensidade também aumentam o potencial de acidentes, já que rajadas inesperadas podem resultar em colisões com obstáculos ou, em casos extremos, na perda da ARP. Quando os ventos atingem velocidades significativas, os pilotos podem ser pegos de surpresa. Nessas circunstâncias, o equipamento pode se desviar da linha de visão, perdendo o sinal de rádio e ativando o modo FailSafe. Se a altitude pré-configurada para o retorno não for adequada, o VANT corre o risco de colidir com vegetação ou obstáculos no solo. Em tais situações, é crucial realizar ajustes contínuos na trajetória e altitude para manter o controle, exigindo habilidades avançadas de pilotagem (ANAC, 2017).

3.3 Uso e ocupação da terra

A variedade de domínios de classes da RPPN Fazenda do Capivary I representa uma rica diversidade de ambientes e paisagens vegetais (Fig. 4), desempenhando um papel vital na provisão de habitats naturais para as espécies em estudo. A maior parte da área é composta por Floresta Estacional Semidecidual, abrangendo 84,07% da área total. No entanto, em áreas como o Campo Limpo (7,2%) e o Campo Rupestre (1,21%), existem evidências de uso humano, como desmatamento e pastagem de gado em locais próximos à Floresta Estacional Semidecidual.

Figura 3 – Mapas de condições predominantes do vento da RPPN Fazenda do Capivary I

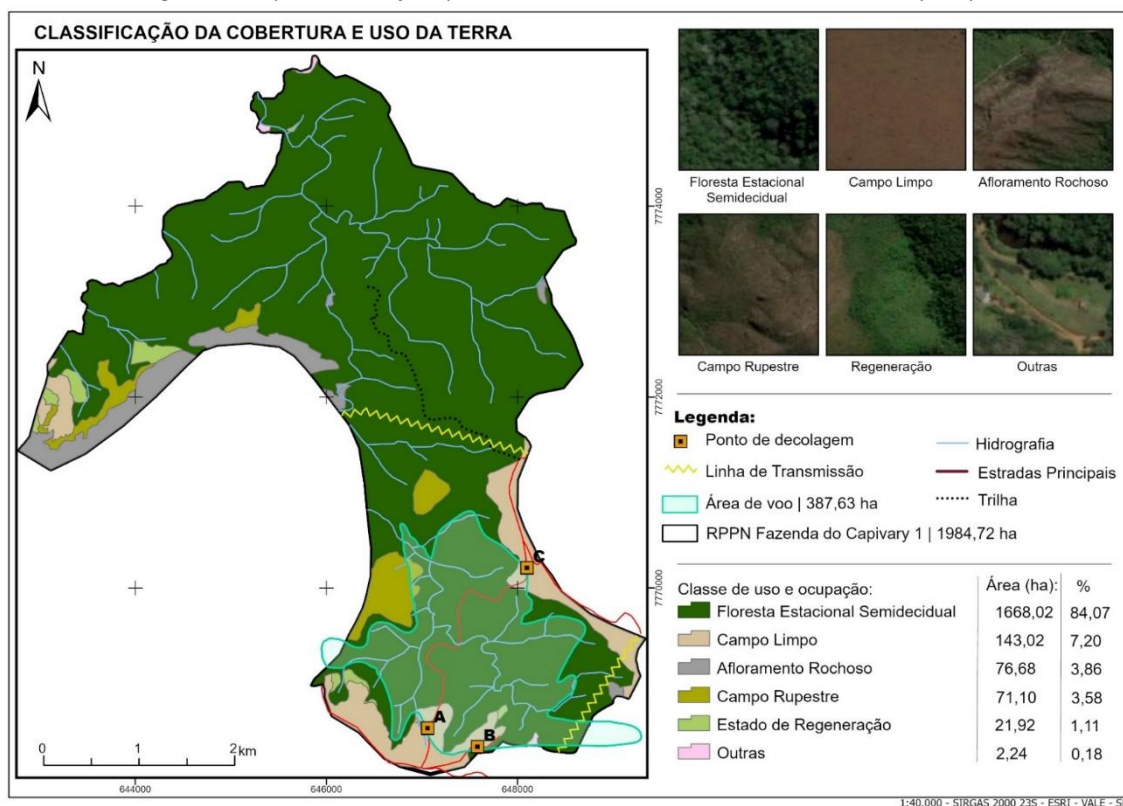


Fonte: SARCINELLI, 2023; DAVIS, 2023.

A natureza do uso e cobertura da terra exerce um impacto significativo na disponibilidade de habitat para as espécies monitoradas (Vasconcelos & Melo Júnior, 2001). Em áreas urbanas e agrícolas, é comum observar uma redução drástica na disponibilidade de habitats naturais, o que pode representar um desafio para a conservação da fauna. Por outro lado, a presença de floresta semidecidual, desempenha um papel fundamental na manutenção de habitats adequados para essas espécies, proporcionando condições ideais para seu desenvolvimento e sobrevivência (Rezende, 2011). Assim, o entendimento e a consideração cuidadosa do uso e cobertura da terra são essenciais para o planejamento e execução de operações de monitoramento de fauna com ARP, garantindo que as informações coletadas sejam precisas e eficazes na proteção das espécies e seus habitats.

A fragmentação do habitat devido à ocupação humana tem repercussões significativas na ecologia das espécies e nos ecossistemas em geral. Essa fragmentação afeta a capacidade de movimentação das espécies entre diferentes áreas. A falta de conectividade resultante desse processo pode levar à redução das populações e à diminuição da diversidade genética, tornando as espécies mais vulneráveis a ameaças ambientais e ao declínio populacional (Calaça et al., 2010; Pacheco et al., 2021). Além disso, atividades humanas, como agricultura intensiva e pastagens, é uma das principais ameaças que impacta na perda florestal, pela fragmentação e degradação florestal, processos que podem afetar as espécies arbóreas. Ao conduzir sobrevoos para monitoramento de fauna, é crucial levar em consideração a complexa matriz de uso e ocupação da terra.

Figura 4 – Mapas de condições predominantes do vento da RPPN Fazenda do Capivary I



Fonte: SARCINELLI, 2023

A Floresta Estacional Semidecidual, sendo a classe dominante, é provavelmente o habitat mais crítico para o monitoramento de fauna devido à sua riqueza em biodiversidade

(Rezende, 2011). As áreas de Campo Limpo e Campo Rupestre, embora afetadas pela atividade humana, também podem ser de interesse para a pesquisa e conservação.

A identificação de elementos relevantes, como a presença de linha de transmissão de energia, fator limitante nos voos realizados na RPPN Fazenda do Capivary I, sendo obstáculos significativos para as operações. A proximidade a essas linhas pode criar riscos de colisões e interferir nas operações de sobrevoos (ANAC, 2017). Portanto, o mapeamento e a consideração desses elementos no planejamento de voos são cruciais para a segurança e eficácia das missões de monitoramento de fauna. Além disso, a presença de estradas e trilhas são importantes nas operações, para fornecer acesso aos locais de pouso e decolagem. Isso é particularmente relevante em áreas de terreno acidentado, onde o acesso direto ao local de lançamento pode ser complicado.

Assim, a análise da paisagem e suas composições de uso e cobertura desempenham um papel importante nas operações de monitoramento de fauna com o uso de ARP. A identificação de locais ideais para voos, definição de rotas seguras e a minimização de riscos são aspectos que garantem a eficácia e a segurança dessas operações. Compreender a dinâmica de uso e ocupação da terra, bem como a presença de obstáculos, como linhas de transmissão de energia, contribui para a tomada de decisões informadas e o planejamento das operações (Reis, Faria & Duarte, 2022).

3.4 Dados de voos e monitoramento de fauna

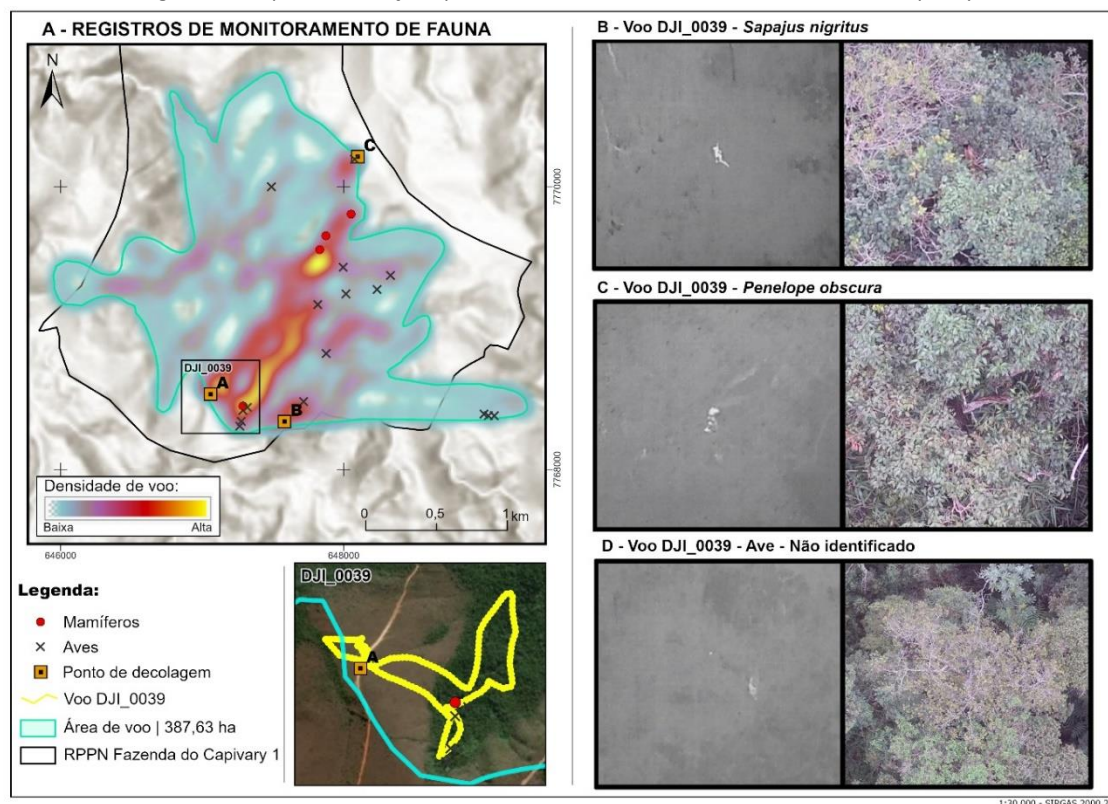
Os resultados dos voos realizados na RPPN Fazenda do Capivary I contribuíram para o monitoramento de fauna na região. No total, foram conduzidos 15 voos (Tab. 2), resultando em registros de 4 espécies de mamíferos e 12 morfoespécies de aves (Tab. 3). No total cinco voos não resultaram em registros, o que reflete a eficácia das operações para a coleta de dados de fauna (Fig. 5a).

A maioria dos registros de mamíferos e aves tenha ocorrido em áreas de floresta, o que destaca a importância da conservação desses habitats para a vida selvagem. No entanto, também foi observado que alguns registros de aves obtidos em áreas de campo limpo, o que sugere a necessidade de monitoramento em uma variedade de ambientes. O voo DJI_0039 foi escolhido como representante no mapa de registros de fauna devido à sua capacidade de capturar tanto mamíferos quanto aves em um único voo, ilustrando sua eficácia na coleta de dados, com tempo de voo de apenas 10,24 minutos (Tab. 2).

A análise da densidade de voos revelou que a parte central da área de sobrevoos apresenta uma alta densidade de operações, enquanto as áreas circundantes mostram uma média baixa de densidade, isso sugere que deveriam ocorrer mais operações de voo nessas áreas. É interessante observar que o tempo médio de voo das operações, que foi de 14 minutos, não correspondeu ao tempo de autonomia de 24 minutos descrito pelo fabricante. Mesmo em condições meteorológicas ideais, com baixa intensidade de ventos atingindo no máximo 2,3 metros por segundo (Tabela 2), a duração do voo ficou abaixo das expectativas. É importante mencionar que os voos foram conduzidos manualmente, e pequenas variações na altitude e velocidade podem ter contribuído para um consumo de bateria maior do que o esperado. Além disso, vale destacar que os voos nunca foram levados ao limite da autonomia, sendo sempre mantida margem de segurança para garantir o retorno e o pouso da aeronave. Essa precaução

é fundamental para evitar situações de risco e garantir a integridade do equipamento (DJI, 2018).

Figura 5 – Mapas de condições predominantes do vento da RPPN Fazenda do Capivary I



Fonte: SARCINELLI, 2023.

Manter o contato visual constante com o equipamento e contar com um auxiliar durante as operações são práticas essenciais para garantir a segurança e eficácia dos voos de monitoramento (DJI, 2018). Essas medidas proporcionam uma camada adicional de observação e suporte durante as operações, reduzindo os riscos e contribuindo para a qualidade dos dados coletados, pois o operador no momento de uma operação de monitoramento de fauna, além de manter a linha de visualização também precisa verificar a tela para buscar algum objeto que lhe chame a atenção, tanto na câmera termal ou na RGB (Fig. 5b).

A exposição solar desempenha um papel importante na captura de registros uma vez que o espectro visual pode ou não permitir a detecção de animais quando há pouca luz ou quando está escuro. Embora o uso do espectro visual obtenha bons resultados, existem limitações para espécies que são noturnas ou espécies onde a detecção de animais ao amanhecer e ao anoitecer seja necessário a utilização sensores termais na detecção (Spaan et al., 2019). Objetos que se destacam na imagem podem chamar a atenção do operador, mas ao se aproximar para uma análise mais detalhada, ou após revisar o vídeo, torna-se evidente que esses objetos são registros falso positivos, sendo objetos inanimados, como pedras aquecidas, galhos de árvores ou até mesmo cupinzeiros (Fig. 5d). No caso do voo DJI_0039, o que inicialmente chamou a atenção do operador foi um cupinzeiro, após análise do vídeo, foi detectado um pequeno pássaro em pleno voo. Isso destaca a importância de uma análise minuciosa e da interpretação correta das imagens.

Tabela 2 - Dados de velocidade, distância percorrida e temperatura atmosférica durante os voos realizados.

Voo	Data	T. atmosférica (C°)	Tempo (m:s)	Velocidade média (m/s)	Velocidade do vento (m/s)	Perímetro (m)	Distância máx. (m)
DJI_0001		13,0	14:52	4,1	1,6	3.620	1.613
DJI_0011		14,1	16:07	3,6	1,6	3.447	1.498
DJI_0095	29/07/22	12,3	9:53	4,1	1,6	2.428	967
DJI_0195		18,3	16:01	5,3	2	5.107	1.827
DJI_0074		18,3	16:43	2,3	2	2.340	922
DJI_0039	25/1/23	19,2	10:24	3,0	1,9	1.860	327
DJI_0043		12,0	16:51	3,3	1,1	3.383	1.285
DJI_0062	28/7/22	13,1	16:33	4,5	1,1	4.500	1.979
DJI_0068		14,0	14:06	6,4	1,2	5.424	2.454
DJI_0029		19,5	14:04	8,1	2,4	6.851	2.392
DJI_0002	22/9/22	20,2	15:36	3,6	2,3	3.348	1.464
DJI_0017		19,7	15:13	4,0	2,4	3.610	1.513
DJI_0038		17,4	14:21	5,0	2,2	4.301	2.082
DJI_0047	23/9/22	17,9	14:01	7,2	2,4	6.087	2.309
DJI_0045		17,6	16:13	5,6	2,3	5.458	2.238

Nota-se que a distância máxima de voo atingida, que foi de 2.309 metros (Tabela 2), estava dentro da margem de segurança de visibilidade estabelecida pela ANAC, que é de até 4.000 metros. Manter-se dentro dos limites de visibilidade definidos pelas regulamentações é crucial para garantir que o equipamento permaneça visível e controlável durante o voo, minimizando os riscos de perda de contato e incidentes.

Tabela 3 – Animais registrados.

Voo	Horário	Classe	Espécie	Coordenadas Y	Coordenadas X
DJI_0001	07:22	Mammalia	<i>Callicebus nigrifrons</i>	-20,1634	-43,5833
		Aves	*	-20,1668	-43,5838
DJI_0011	07:39	Aves	*	-20,1673	-43,5806
		Aves	*	-20,1685	-43,5836
DJI_0095	07:08	Aves	*	-20,17232	-43,5849
		Aves	*	-20,1692	-43,5855
DJI_0074	10:19	Aves	*	-20,1692	-43,5855
		Aves	<i>Tangara cyanoventris</i>	-20,1692	-43,5855
		Aves	-	-20,1767	-43,5906
DJI_0039	17:54	Aves	<i>Penelope obscura</i>	-20,176	-43,5905
		Mammalia	<i>Sapajus nigritus</i>	-20,1757	-43,5905
		Aves	*	-20,1761	-43,5742
DJI_0062	08:00	Aves	*	-20,1762	-43,5739
		Aves	*	-20,1762	-43,5735
DJI_0002	16:53	Aves	*	-20,1754	-43,5864
		Aves	*	-20,1682	-43,5815
DJI_0017	17:33	Mammalia	<i>Callicebus nigrifrons</i>	-20,1648	-43,585
		Mammalia	<i>Sapajus nigritus</i>	-20,1657	-43,5854
		Aves	*	-20,1758	-43,5902
DJI_0038	07:35	Aves	*	-20,177	-43,5907
		Aves	*	-20,1758	-43,5902
		Aves	*	-20,177	-43,5907
DJI_0045	07:51	Aves	*	-20,1617	-43,5887
		Aves	*	-20,1599	-43,5831

4 CONCLUSÃO

A integração de geotecnologias no monitoramento de espécies faunísticas em Unidades de Conservação é essencial, destacando a relevância das ferramentas, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O estudo ressalta a capacidade do SIG em analisar o relevo, identificando áreas críticas para sobrevoos, considerando obstáculos naturais e antrópicos. O geoprocessamento, aliado a modelos climáticos, oferece insights cruciais sobre as condições do vento, desempenhando papel vital na segurança de operações aéreas.

A compreensão de como os padrões de vento influenciam os voos é aprimorada por informações geoespaciais e meteorológicas, fornecendo dados valiosos para o planejamento de voos. O manejo do uso da terra é abordado para mitigar a degradação do habitat faunístico, permitindo a implementação de estratégias preventivas. As missões aéreas na RPPN Fazenda do Capivary I resultaram em 4 registros de mamíferos e 12 de aves em 15 voos, cobrindo 387,63 hectares. Destaca-se a prevalência de registros em áreas florestais, sublinhando a importância da conservação desses habitats. A presença de registros em áreas de campo limpo destaca a necessidade de um monitoramento diversificado.

O material cartográfico gerado não apenas fornece uma representação visual das informações geoespaciais, mas também atua como ferramenta integradora de geotecnologias no monitoramento de fauna na RPPN Fazenda do Capivary I, contribuindo significativamente para a compreensão e preservação da biodiversidade local.

5 REFERÊNCIAS

- ANAC. Drones e a Meteorologia. Governo Federal. 22 dec. 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/meteorologia-aeronautica/assuntos-relacionados/drones-e-a-meteorologia>> Acesso em: 10 jan. 2024.
- CALAÇA, A. et al. A influência da fragmentação sobre a distribuição de carnívoros em uma paisagem de cerrado. **Neotrop Biol Conserv** 5: 31–38. 2010.
- CHABOT, Dominique; BIRD, David M. Wildlife research and management methods in the 21st century: Where do unmanned aircraft fit in?. **Journal of Unmanned Vehicle Systems**, v. 3, n. 4, p. 137-155, 2015.
- DAVIS, Neil N. et al. The Global Wind Atlas: A high-resolution dataset of climatologies and associated web-based application. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 104, n. 8, p. E1507-E1525, 2023.
- DE VASCONCELOS, Marcelo Ferreira; DE MELO JÚNIOR, Tadeu Artur. An ornithological survey of Serra do Caraça, Minas Gerais, Brazil. **Cotinga** v. 15 p. 21–31 2001.
- DJI. Matrice 200 - manual do usuário. 2018. Disponível em: <<http://www.dji.com/matrice-200-series/info#downloads>> Acesso em: 10 jan. 2024.
- ESA. Copernicus open access hub. Agência Espacial Europeia, 2018. Disponível em: <<https://scihub.copernicus.eu/>> Acesso em: 10 jan. 2024.
- ESRI. ArcGIS Pro 3.0. **California: Environmental Systems Research Institute Inc**, 2022.
- FRANCELINO, Marcio Rocha et al. Geomorphology and soils distribution under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Catena**, v. 85, n. 3, p. 194-204, 2011.
- FRANCISCO, Paulo Roberto Megna et al. Zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí–PB utilizando sistema de informação geográfica. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2012, Recife. **Anais do IV SIMGEO**. Recife:UFPE, 2012. P. 001 - 006.
- GENS, Rüdiger; LOGAN, Tom. Alaska Satellite Facility software tools. Geophysical Institute, University of Alaska, Fairbanks, Alaska, 2003.

HENRIQUES-SILVA, Renato et al. On the evolution of dispersal via heterogeneity in spatial connectivity. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1803, p. 20142879, 2015.

Instituto Ambiental Vale. Plano De Manejo da RPPN Fazenda Do Capivary. 2009.

IVOSEVIC, Bojana et al. The use of conservation drones in ecology and wildlife research. **Journal of Ecology and Environment**, v. 38, n. 1, p. 113-118, 2015.

JIMENEZ, K. Q.; DOMECCO, F. M. Estimaco de chuva usando métodos de interpolao. Porto Alegre, 16p, 2008. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KAYS, Roland et al. Hot monkey, cold reality: surveying rainforest canopy mammals using drone-mounted thermal infrared sensors. **International journal of remote sensing**, v. 40, n. 2, p. 407-419, 2019.

LINCHANT, Julie et al. Are unmanned aircraft systems (UAS s) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. **Mammal Review**, v. 45, n. 4, p. 239-252, 2015.

LINCHANT, Julie et al. WIMUAS: Developing a tool to review wildlife data from various UAS flight plans. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40, p. 379-384, 2015.

LUPPI, Alixandre Sanquetta Laporti et al. Utilizao de geotecnologia para o mapeamento de áreas de Preservao Permanente no município de Joo Neiva, ES. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 13-22, 2015.

MANTOVANI, José Eduardo. Estudo e monitoramento de animais através do sensoriamento remoto e do geoprocessamento. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. 2006, Campo Grande. **Anais 1 Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Brasil:INPE, 2006. P. 358-367.

NASCIMENTO, José Luiz Almeida do. **Uso de Geotecnologias no Monitoramento de Unidades de Conservao: Ocupaoes Peri-urbanas na APA Margem Esquerda do Rio Negro–Manaus**. Dissertao (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal do Amazonas, 2009.

NASCIMENTO, Yuri et al. A importncia das atividades de monitoramento da fauna. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 4, 2022.

PACHECO, Felipe Santos et al. Novas ocorrências de *Callithrix* na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Científica MG. Biota**, v. 14, n. 1, p. 50-68, 2021.

REIS, Lara Lima; DE FARIA, André Luiz Lopes; DE OLIVEIRA DUARTE, Daniel Camilo. Uso de remotely piloted aircraft (RPA) para elaborao de mapeamentos de áreas de risco: um estudo de caso do distrito de Cachoeirinha, Viosa-MG. **Cadernos do Logepa**, v. 10, n. 1, 2022.

REZENDE, Renato Andrade. **A fragmentao da flora nativa como instrumento de anlise da sustentabilidade ecológica de áreas protegidas–Espinhao Sul (MG)**. Tese (Doutorado em Ciências Naturais). Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.

RIBEIRO, Carlos Antonio Alvares Soares et al. Geotecnologias aplicadas  gesto ambiental. **Revista Diversidade e Gesto**, v. 1, n. 1, p. 57-69, 2017.

SANTOS, H. G., et al. Critérios para distino de fases de unidades de mapeamento. **Sistema brasileiro de classificao de solos**. Brasília: EMBRAPA, v. 5, pp. 291–296, 2018.

SARCINELLI, Rodolfo da Cunha. **Integrao de geotecnologias e anlise da paisagem para contribuir no monitoramento de espécies faunísticas em unidades de conservao**. Monografia (Bacharelado em Geografia). Departamento de Geografia da Universidade Federal de Viosa, 2023.

SEYMOUR, Colleen L.; DEAN, W. R. J. The influence of changes in habitat structure on the species composition of bird assemblages in the southern Kalahari. **Austral Ecology**, v. 35, n. 5, p. 581-592, 2010.

SOUZA, NP de et al. Aplicao do estimador de densidade kernel em unidades de conservao na bacia do rio So Francisco para anlise de focos de desmatamento e focos de calor. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. 2013, Foz do Iguau. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Barasil:INPE, 2013. P. 4958-4965.

SPAAN, Denise et al. Detecting spider monkeys from the sky using a high-definition RGB camera: a rapid-assessment survey method?. **Biodiversity and Conservation**, v. 31, n. 2, p. 479-496, 2022.

SPAAN, Denise et al. Thermal infrared imaging from drones offers a major advance for spider monkey surveys. **Drones**, v. 3, n. 2, p. 34, 2019.

VITAL, Orlando Vitor. **Uso e ocupao do hbitat por *Callithrix* spp. em remanescentes de Mata Atlntica na microrregio de Viosa, Minas Gerais**. Dissertao (Mestrado em Biologia Animal). Departamento de Biologia Animal da Universidade Federal de Viosa, 2020.

WANDERLEY, Lucas Suassuna De Albuquerque et al. A relação entre o relevo e o clima como proposição de caracterização da fisiologia da paisagem em Pernambuco, Brasil. **Geo UERJ**, n. 34, p. NA-NA, 2019.

WEBER, Eliseu Jose. **Estimativa e mapeamento da radiação solar incidente em superfícies com topografia heterogênea na zona de produção vitivinícola Serra Gaúcha**. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.