



ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

**APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO LEVANTAMENTO DA
POPULAÇÃO DE CERVOS DO PANTANAL *Blastocerus dichotomus* (Illiger, 1815) NA
FAZENDA CISALPINA, MATO GROSSO DO SUL**

Por

GUILHERME FERNANDES PEREIRA

NAZARÉ PAULISTA, 2016



ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

**APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO LEVANTAMENTO DA
POPULAÇÃO DE CERVOS DO PANTANAL *Blastocerus dichotomus* (Illiger, 1815) NA
FAZENDA CISALPINA, MATO GROSSO DO SUL**

Por

GUILHERME FERNANDES PEREIRA

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

**PROF.1 LAURY CULLEN JR.
PROF.2 ALEXANDRE UEZU
PROF.3 CLINTON N. JENKINS**

**TRABALHO FINAL APRESENTADO AO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**

IPÊ – INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS

Ficha Catalográfica

Pereira, Guilherme Fernandes

Aplicação do sensoriamento remoto no levantamento da população de cervos do pantanal *Blastocerus dichotomus* (Illiger, 1815) na Fazenda Cisalpina, Mato Grosso do Sul, 2016. 87 pp.

Trabalho Final (mestrado): IPÊ – Instituto de Pesquisas ecológicas

1. Sensoriamento remoto
 2. Cervo do pantanal
 3. Levantamento aéreo
- I. Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, IPÊ

BANCA EXAMINADORA

NAZARÉ PAULISTA 01/02/2016

Prof. Dr. Laury Cullen Jr.

Prof. Dr. Alexandre Uezu

Prof. Dr. Clinton N. Jenkins

*Dedico essa dissertação à minha família,
fonte perene de confiança e apoio.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IPÊ (Instituto de Pesquisas Ecológicas), pela oportunidade de cursar o que eu considero um dos melhores mestrados do Brasil, conhecer e compartilhar conhecimentos com grandes profissionais que contribuíram para a minha formação profissional e pessoal.

Agradeço à U.S. Fish and Wildlife Service pelo apoio financeiro essencial através de bolsa de estudos.

Ao meu orientador Laury Cullen Júnior, profissional que me inspiro desde os tempos de faculdade, pela presença em varios momentos do curso, não só na orientação, mas também nos ensinamentos valiosos. Obrigado pela dedicação e confiança no meu trabalho, sem duvidas um dos melhores profissionais que conheci.

Agradeço também aos meus co-orientadores Alexandre Uezu e Clinton Jenkins, não só pelas grandes amizades construídas ao logo do curso, mas também pelo apoio na construção dessa dissertação, com idéias, dicas valiosas e paciência.

Agradeço também aos integrantes que participaram do projeto p&d, João Henrique e Cristina pela CESP, Cassio e Leandro pela Algar, David pela Agape, com grande dedicação e empenho em sempre fazer o melhor. Todos foram essenciais para que o sucesso desse projeto se tornasse real. Ao Walfrido pela amizade e ensinamentos sobre cervos e levantamentos aéreos.

Agradeço às minhas pra sempre amigas de turma na ESCAS Simone, Maria Fernanda, Dayene, Thamires, Renata e Mariela. Amizade, companheirismo, discussões, risadas, enfim, pessoas sensacionais.

Aos amigos que fiz no IPÊ durante esses dois anos de curso, como João Caraça, João Rosa, Eduardinho, Maria Helena, Roseli, Vitória, Ivete, Rose, Badialli, Hércules, Gustavo, Edu Ditt, Fabíola, Pato, Pinguim, Marcela e Chris. Aos também amigos e professores de curso Cristi, Uezu, Gracinha, Suzana, Patricia Paranaguá, Beto, Pedro Pedro e Oscar. Meus sinceros agradecimentos pela amizade e companheirismo de todos, top! Em especial, agradeço a Claudio Pádua pela energia cativante e alegria em continuar passando todos seus ensinamentos para todos, não só mestrados.

Agradeço a todos os profissionais que passaram durante o primeiro ano de mestrado, de diferentes áreas e assuntos, importantíssimo na aquisição de novos conhecimentos e do traçar de rumo para cada mestrando.

Agradeço aos meus amigos de longo tempo Eduardo Galeskas, Daniela Razera, Juliana Pires e Paulo Henrique pelo companheirismo e incentivos durante toda a jornada. Também agradeço meu grande amigo Anderson Lucindo pelo companheirismo e ajudas bem vindas. À minha namorada Anahi Ricaldes, sempre ao lado para o que desse e viesse. Te amo.

E agradeço principalmente à minha família pelo enorme incentivo que sempre deram para que eu realizasse esse importante passo na minha vida. Aos meus pais e minha irmã pela paciência, preocupações e alegrias. Obrigado sempre, amo todos!!

SUMÁRIO

Conteúdo

AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
RESUMO	12
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Métodos de amostragem para mamíferos de médio e grande porte	16
1.2. Método aéreo convencional.....	18
1.3. Termografia infravermelho	21
1.4. Imageamento aéreo digital	24
2. OBJETIVOS.....	27
2.1. Objetivo geral	27
2.2. Objetivos específicos.....	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1. Área de estudo	28
3.2. Métodos.....	29
3.2.2. Levantamento Aéreo convencional	32
3.2.3. Sensoriamento térmico e digital.....	36
3.2.4. Análise de custos.....	38
4. RESULTADOS.....	40
4.1. Fase de testes	40
4.2. Fase final.....	42
4.2.1. Aéreo convencional	42
4.2.2. Sensoriamento térmico e digital.....	43
4.2.3. Custos	51
5. DISCUSSÃO.....	52
5.1. Fase de testes	52
5.2. Fase final.....	53
5.2.1. Aéreo convencional	53
5.2.2. Sensoriamento térmico e digital.....	55
5.2.3. Custos	58
6. CONCLUSÕES	60
7. REFERÊNCIAS	61
ANEXO A	72
HISTÓRICO DO PROJETO	72

ANEXO B	81
INFORMAÇÕES DOS TRANSECTOS NA FAZENDA CISALPINA	81
ANEXO C	82
VANT	82

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>página</u>
Tabela 1. Todos os eventos testes e as análises de diferentes parâmetros feitas ao longo deles.	31
Tabela 2. Todos os itens incluídos nas análises de custo.	39
Tabela 3. Comparação dos dados estimados para a população de cervos entre os dois métodos utilizados no projeto. (n) número de indivíduos registrados; (DI) Densidade de indivíduos; (SD) Erro padrão; (CV) Coeficiente de variação; (IC) Intervalo de confiança; e (DG) Densidade de grupos.	46
Tabela 4. Comparação dos dados populacionais entre os dois métodos, com o convencional dividido em dois eventos. (T/D) Térmico/Digital; e (Conv.) Convencional.	46
Tabela 5. Essa tabela mostra o número (N) de pontos quentes identificados pela fotografia digital para cada objeto, juntamente com suas respectivas porcentagens (%).	48
Tabela 6. Dados referentes aos gastos de cada metodologia aplicada na Fazenda Cisalpina, levando em conta somente os gastos de execução das amostragens aéreas.	51
Tabela 7. Dados da estimativa populacional e densidade (D) de cervos do pantanal em trabalhos realizados na bacia do Rio Paraná em território brasileiro (modificado de Tiepolo et al. 2010).	54
Tabela 8. Comparação qualitativa de eficiência entre métodos de levantamento de mastofauna. Legendas: LTe: levantamento terrestre; LAV: levantamento aéreo visual; SR: sensoriamento remoto (câmera térmica + câmera digital); AF: armadilha fotográfica; +: pouco eficiente; ++: eficiência moderada; +++: eficiência elevada.	59

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>página</u>
Figura 1. Localização da Fazenda Cisalpina (em tons de verde), ressaltando a RPPN Cisalpina em verde escuro.....	29
Figura 2. Disposição das 19 linhas de transectos cobrindo toda a área da Fazenda Cisalpina.....	35
Figura 3. (A) Ilustração do método aéreo convencional, evidenciando a altura de voo e largura da faixa amostral padronizada. (B) Objeto fixado na fuselagem da aeronave (1) e a faixa de amostragem, a qual pode ser calibrada utilizando alvos de largura conhecida no solo (MOURÃO & MAGNUSSON 2004).	36
Figura 4. (A) Aeronave Maule M-7 usada nas amostragens e (B) base usada para fixar as duas câmeras (FLIR A615 e Canon EOS 5D Mark II).	37
Figura 5. Imagem térmica de uma FLIR A615 com lente de 45° evidencia a grande quantidade de árvores no local, bem como um espécime de cervo dentro de seu recinto.	40
Figura 6. Imagem gerada por uma FLIR A615 com lente de 25° na Fazenda Cisalpina no dia 30 de janeiro. Apesar de mais fechada que uma 45°, a nitidez é superior.	41
Figura 7. (A) Relação entre o número de cervos avistados por quilômetro de transecto (índice de abundância com barras de erro padrão) e a temperatura média (°C), em cada um dos 8 levantamentos aéreos conduzidos na Fazenda Cisalpina. (R^2 múltiplo = 0,843; $IA = 15,0958 - 0,43 * Temperatura$; $p = 0,009$). (B) Relação entre o número de cervos avistados por quilômetro de transecto e a temperatura (°C), em cada um dos transectos sobrevoados na Reserva Cisalpina.....	42
Figura 8. Imagem A mostra a detecção térmica de algumas cabeças de gado no transecto 1 e a B mostra a imagem digital da mesma área. Nota-se a diferença no campo de visão entre as duas câmeras através dos círculos vermelhos evidenciando o local em que as cabeças de gado estão.	44
Figura 9. Os gráficos acima mostram as diferenças estimadas de tamanho populacional (A) , densidade de indivíduos (B) e grupos (C) para cada método, juntamente com suas réguas de intervalo de confiança (IC).	45
Figura 10. Registro de todas as visualizações de cervos feitas pelos três eventos, sendo dois convencionais e um termal/digital.	47

Figura 11. As imagens menores mostram a detecção do corpo quente pela câmera térmica e a mesma área pela fotografia digital. Já a imagem maior (zoom de 100%) revela a identificação de cervos do pantanal.	48
Figura 12. Registro de um indivíduo de onça parda cruzando uma área aberta entre duas manchas de mata.	49
Figura 13. Registro de dois indivíduos de anta forrageando em uma área alagada na Fazenda Cisalpina.	49
Figura 14. Registro de um indivíduo de tuiuiú em meio a uma área alagada na Fazenda Cisalpina.	50
Figura 15. Registro de algumas cabeças de gado nos arredores da Fazenda Cisalpina.	50
Figura 16. Imagem evidenciando os VANTs divididos em quatro grupos de acordo com seus tamanhos e pesos (LEE 2004).	83
Figura 17. Exemplos de Vants pequenos utilizados pela <i>ConservationDrone</i> (Disponível em: http://conservationdrones.org/) (A, B e C) ; Vant utilizado por Vermeulen et al. (2013) em amostragens com elefantes da África (D)	86

RESUMO

Resumo do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ecologia

APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO LEVANTAMENTO DA POPULAÇÃO DE CERVOS DO PANTANAL *Blastocerus dichotomus* (Illiger, 1815) NA FAZENDA CISALPINA, MATO GROSSO DO SUL

Por

Guilherme Fernandes Pereira

Fevereiro de 2016

Orientador: Prof. Dr. Laury Cullen Jr.

A busca por informações sobre a situação populacional de espécies silvestres é crucial para o estudo e manejo da vida selvagem. No presente estudo, testou-se uma metodologia, com base no sensoriamento remoto, para o levantamento da população de cervos do pantanal na Fazenda Cisalpina. Na ocasião, foram combinadas duas câmeras, uma térmica responsável por detectar o ponto de calor e uma digital responsável por identifica-lo. Posteriormente, comparações de suas estimativas e custos com as de um método tradicional foram feitas para análise de custo benefício. Amostragens aéreas em transectos pré-definidos foram conduzidas em dois períodos: (1) entre os dias 01 e 05 de setembro, realizou-se oito voos entre manhã e tarde com método tradicional; (2) nos dias 20 e 21 de outubro, dois voos de manhã foram feitos com as câmeras. As estimativas dos oito voos do método tradicional resultaram em uma densidade de $0,41 \pm 0,042$ cervos/km², com uma população estimada em $90,4 \pm 9,2$ cervos na população. Comparando os resultados somente dos voos de manhã entre ambos os métodos, as câmeras possuíram uma detectabilidade de 54% a mais de cervos do que o método tradicional, estimando uma população de 171.57 cervos. As densidades de indivíduos e grupos foram também superiores, resultando em 0.75 ± 0.17 cervos/km² (CV = 23.69%) e 0.61 ± 0.13 grupos/km² (CV = 22.41%) para as câmeras, contra 0.35 cervos/km² (CV = 16.21) e 0.33 grupos/km² (CV = 15.87) para o método

tradicional, evidenciando uma facilidade maior nos registros de cervos no solo pelas câmeras. Na análise de custos, apesar das câmeras terem sido o dobro mais caro (R\$310,43/km² contra R\$135,80/km² do método tradicional) devido à metade de voos feitos com elas, seus resultados foram mais consistentes. Ainda, elas forneceram, através de suas imagens, provas documentais tanto dos cervos quanto da paisagem, importantes para um monitoramento em longo prazo, além da própria segurança dos tripulantes ao voar a 120m de altura. Com isso, o custo benefício avaliado para as câmeras foi melhor, sendo bastante recomendado pela sua replicabilidade e em levantamentos da fauna silvestre em áreas abertas.

ABSTRACT

Abstract do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ecologia

APPLICATION OF REMOTE SENSING TO SURVEY THE POPULATION OF MARSH DEER *Blastocerus Dichotomus* (ILLIGER, 1815) IN THE FAZENDA CISALPINA, MATO GROSSO DO SUL

By

Guilherme Fernandes Pereira

February of 2016

Advisor: Prof. Dr. Laury Cullen Jr.

The search for information about the population status of wild species is crucial for the study and management of wildlife. This study aimed to test an alternative methodology with bases in remote sensing, for a survey of the marsh deer's population at the Fazenda Cisalpina. Combining two cameras, one thermal responsible by detect heat points, and one digital responsible to identifies them, comparisons of their estimatives and costs with the same things of a traditional method were posteriorly done too, in order to analyse cost benefit. Aerial surveys on predefined transects were conducted in two periods: (1) between 01 and 05 September, eight samplings in the morning and afternoon were done, utilizing the conventional method; (2) on 20 and 21 October, two samplings in the morning were conducted with the cameras. The estimates of the eight flights using traditional method resulted in a density of $0,41 \pm 0,042$ marsh deers/km², with a population estimated in $90,4 \pm 9,2$ marsh deers. Comparing the results between the methods, taking into account only the morning flights, the cameras had a detectability 54% more than the conventional method, estimating a population of 171.57 marsh deers. The densities of individuals and clusters also were higher, resulting in 0.75 ± 0.17 marsh deers/km² (CV = 23.69%) and 0.61 ± 0.13 clusters/km² (CV = 22.41%) for the cameras, against 0.35 marsh deers/km² (CV = 16.21%) and 0.33 clusters/km² (CV = 15.87%) for the traditional method, showing, by the cameras, more facility to

detect the marsh deers in land. In the cost analysis, although the cameras have been the most expensive method (R\$310,43/km² against R\$135,80/km² of the traditional method), due to the half of the flights made by the cameras, their results were more consistent. Still, the cameras provided through their images, documentary evidences of deer and of the Fazenda Cisalpina's landscape, important for a long-term monitoring, besides the own safety of the crew to fligh 120m height. Thereby, the cost benefit measured for the cameras was better, being highly recommended by its replicability and its effectiveness to study wildlife in open areas.

1. INTRODUÇÃO

A Classe Mammalia, detentora no Brasil de aproximadamente 688 espécies descritas (REIS et al. 2011), é caracterizada, além de outras coisas, por incluir animais de diferentes tamanhos, hábitos e áreas de vida. Inserido nessa classe, estão os mamíferos de médio e grande porte, que segundo Dirzo & Miranda (1990), desempenham importantes papéis na natureza, como a manutenção da diversidade de plantas através da dispersão de sementes e regulação populacional de outras espécies da fauna silvestre.

Aliado a fatores como baixas densidades e hábitos discretos (BECKER & DALPONTE 1991), além de suas importâncias ecológicas citadas acima e dos consequentes desafios em estudá-los, esses mamíferos influenciaram a criação e aperfeiçoamento de diferentes metodologias de amostragem, como os já tradicionais censos visuais em transectos lineares, busca direta por vestígios e armadilhas fotográficas. Através desses diferentes métodos, dados sobre tamanho populacional, densidades e abundâncias puderam ser obtidos, essencial para a conservação da vida selvagem, desenvolvimento do uso da terra e o manejo adequado de espécies de médios e grandes mamíferos (APOLLONIO et al. 2010), como o cervo do pantanal, objeto de interesse do presente estudo.

Ainda, inseridos no contexto atual, no qual esses animais são constantemente ameaçados por fatores como perda de habitat, restrições do tamanho populacional, isolamento de populações locais (SAUNDERS et al. 1991) e consequentes desequilíbrios ecológicos, a obtenção dos dados citados acima, seja através dos métodos tradicionais ou de métodos ainda pouco difundidos, como a termografia infravermelha, se torna de suma importância para um melhor conhecimento desses animais, e assim influenciando nas tomadas de decisões em benefício deles.

1.1. Métodos de amostragem para mamíferos de médio e grande porte

Largamente utilizado pelos pesquisadores na obtenção de abundâncias e densidades populacionais, o transecto linear é considerado um método estatisticamente robusto para estimar abundância (BUCKLAND et al. 2001). A ideia carregada por ele contempla um ou mais observador(es) realizando censos ao longo de linhas ou trilhas

previamente selecionadas, com objetivo de visualizar seu objeto de estudo (uma ou mais espécies), conduzido a pé, de carro, aeronave, animais de carga ou mesmo barcos em ambientes aquáticos (CULLEN & RUDRAN 2006). É um método não muito eficiente para animais com baixa densidade populacional ou hábitos discretos em regiões florestais (PARDINI et al. 2006), resultando em baixas taxas de encontro (CARRILO et al. 2000). Também necessita que os pesquisadores sejam experientes e habilidosos na detecção e identificação das espécies, diminuindo assim os vieses durante a coleta dos dados (MOHD-AZLAN J. 2009).

Outro método também bastante utilizado nas amostragens de mamíferos de médio e grande porte é a busca direta por vestígios, incluindo pegadas, fezes, carcaças, vocalizações, odores, dentre outros (NEGRÃO & VALLADARES-PADUA 2006). Desses, a busca por pegadas é a mais difundida, constituindo um método eficiente e confiável em avaliações rápidas de riqueza e abundância de espécies (SILVEIRA et al. 2003). Considerado um dos métodos mais antigos na identificação de presença/ausência de mamíferos (BIDER 1968), a busca por pegadas possui baixos custos de realização para o pesquisador (ZIELINSKI & KUCERA 1995), além de interpretações confiáveis devido às identificações precisas que o método fornece (PIANCA 2004).

Outro método, tão importante quanto à busca por pegadas, é o armadilhamento fotográfico. Devido seu barateamento nos últimos tempos, houve uma crescente utilização em inúmeros projetos (MOHD-AZLAN J. 2009). Inventada no final do século XIX, a armadilha fotográfica foi primeiramente usada em campo no ano de 1913, pelo advogado estadunidense George Shiras, com único objetivo de se registrar os animais ativos durante a noite (SANDERSON & TROLLE 2005). Diferente de alguns métodos, como a observação direta, em que a baixa densidade e/ou comportamento críptico de algumas espécies impedem uma boa amostragem (TOMAS & MIRANDA 2006), as armadilhas fotográficas conseguem trabalhar com êxito nessas dificuldades devido a algumas vantagens: (1) trabalham sozinhas tanto de dia quanto de noite através de um sistema automático composto por um sensor infravermelho capaz de detectar calor, um sensor de radar capaz de detectar movimentos e um sensor mecânico acionado por pressionamento ou tração (TOMAS & MIRANDA 2006). Alguns dispositivos ainda

possuem uma linha de nylon que funciona como a chave do interruptor, acionando o disparo quando o animal a toca (SANTOS-FILHO & SILVA 2002); (2) por causarem o mínimo de stress aos animais durante as amostragens (SANTOS-FILHO & SILVA 2002), isso pode fazer com que as espécies não se sintam ameaçadas e não deixem de passar pelas câmeras, situação contrária que pode ocorrer com mais frequência em outros artefatos de pesquisa, como armadilhas de contenção (REIS et al 2010b) e; (3) permitem que grandes áreas sejam monitoradas ao mesmo tempo e por poucas pessoas (SANTOS-FILHO & SILVA 2002).

A lista de métodos para se estudar os mamíferos de médio e grande porte vai muito além das citadas acima, visto que diferenças no tamanho corpóreo, hábitos e preferências por habitat variam grandemente, necessitando muitas vezes da união de diferentes métodos para se estudar grupos de espécies (VOSS & EMMONS 1996). De acordo com essa idéia, das três metodologias utilizadas no presente estudo (aéreo convencional, termografia infravermelho e imageamento aéreo digital) descritas a seguir, as duas últimas amostraram em conjunto visando um trabalho em que a termografia registrava o ponto de calor e a imagem digital o identificava, levando a um aumento nas chances de registro das espécies e conseqüentemente a uma amostragem mais eficiente.

1.2. Método aéreo convencional

Como citado anteriormente, o transecto linear pode ser percorrido de diferentes maneiras, dentre elas a utilização de aeronaves pelo método aéreo convencional. Das aeronaves escolhidas, as mais comuns estão entre os modelos de aviões de asa fixa (CAUGHLEY & GRIGG 1981; EPPERLY et al. 1995; ANDRIOLO et al. 2006) e de helicópteros (PINDER 1996; WALTER & HONE 2003).

Basicamente, o método aéreo convencional em transectos lineares é feito por observadores dentro de uma aeronave, os quais realizam uma amostragem padronizada ao longo de linhas a procura das espécies de interesse (THOMAS et al. 2002). Ainda, pode existir a predefinição de uma faixa de amostragem normalmente definida por marcas visuais (régua ou corda) fixadas paralelamente à fuselagem da aeronave, delimitando a área de amostragem para o observador (MOURÃO &

MAGNUSSON 2004). Por essa faixa amostral ser analisada diagonalmente pelo(s) observador(es) dentro do avião, a probabilidade de detecção de algum animal diminui com o aumento da distância para a aeronave ou linha, como observado por Pinder (1996).

Comumente usado para estimar abundância e/ou densidades de populações biológicas como grandes mamíferos terrestres (CAUGHLEY & GRIGG 1981; PINDER 1996; MAURO et al. 1998) e marinhos (CARRETTA & FORNEY 1993; ANDRIOLO et al. 2006), répteis (MOURÃO et al. 1994; EPPERLY et al. 1995) e aves de grande porte (CAUGHLEY & GRICE 1982), o método aéreo convencional necessita que as espécies em estudo sejam conspícuas, ou seja, fáceis de se visualizar através de seus tamanhos, cores destacadas, hábitos diurnos ou que utilizem áreas abertas (MOURÃO & MAGNUSSON 2004), além de outros fatores extras como tamanho de grupo e reação aos sobrevoos da aeronave (JACHMANN 2002).

Contudo, existem alguns fatores que podem prejudicar na visualização das espécies, dentre eles os que podem ser controlados diretamente pelo homem (altura e velocidade da aeronave, horário da amostragem e largura da faixa amostral) e os que não podem ser controlados diretamente (condições climáticas, cobertura vegetal e experiência e fadiga do observador) (MOURÃO & MAGNUSSON 2004).

Embora normalmente projetado para amostragens com fauna silvestre, essa metodologia também tem sido usada para outros fins, como amostrar esconderijos de castores (SWENSON et al. 1983), avaliar a distribuição das nidificações por tartarugas marinhas (GARMESTANI et al. 2001) e analisar a saúde ecossistêmica através de levantamentos de populações de espécies de aves aquáticas como potenciais indicadores de qualidade (KINGSFORD 1999).

No Brasil, os estudos sobre a fauna de grandes mamíferos utilizando levantamentos aéreos iniciaram através do trabalho pioneiro de Schaller & Vasconcelos 1978, estudando as populações de cervo do pantanal (*Blastocerus dichotomus*) nas planícies alagáveis do Pantanal Sul-matogrossense. Aliado a esse trabalho, as grandes dificuldades de amostragens pelo solo em áreas de difícil acesso como as várzeas do Pantanal impulsionaram a utilização do levantamento aéreo para investigar a distribuição e/ou abundância de espécies da fauna silvestre, em especial o cervo

(MAURO et al. 1995; PINDER 1996; MOURÃO et al. 2000; TIEPOLO et al. 2010). O interesse no método também pode ser aplicado no manejo de espécies exóticas, exemplificado pelo estudo realizado por Mourão et al. (2002) com populações de gado bovino, búfalo e porcos ferais também no Pantanal.

Em outros países, como na Austrália, a utilização de levantamentos aéreos para o monitoramento de populações de cangurus já é feita há algum tempo (CAUGHLEY & GRIGG 1981; GRIGG et al. 1999). Na África, vêm sendo usado para monitorar populações de grandes mamíferos, como elefantes (PIENAAR et al. 1966), assim como na América do Norte, com populações de cavalos selvagens nos Estados Unidos (FREI et al. 1979) e de alces no Canadá (NOVAK & GARDNER 1975), apesar do último utilizar quadrantes ao invés de transectos lineares.

Levantamentos aéreos, assim como outros métodos, possuem o detalhe da não contagem de toda a população durante a amostragem. A esse resultado denominamos “viés de visibilidade”, que pode ser ocasionado por fatores já citados anteriormente. Segundo Jachmann (2002), alguns fatores que ocasionam esses vieses podem ser evitados com um design amostral adequado, como: (1) cobertura insuficiente da área de estudo, quando linhas de voo paralelas estão colocadas muito distantes entre si; (2) estimativa visual de grandes grupos de animais, quando fotografia deveria ser usada, e; (3) contagem dupla de animais, como resultado de navegação ruim. Os primeiros dois vieses levam a subestimativas, enquanto que o terceiro leva a superestimativas.

Pode ser dito então que, além das complicadas questões na logística e perigos iminentes durante os voos pelos transectos ou quadrantes, a principal dificuldade no uso de levantamentos aéreos está em estimar o viés de visibilidade. Para isso, é necessária a utilização de um fator de correção para ajustar as contagens ou estimativas populacionais (POLLOCK & KENDALL 1987).

Apesar de existirem muitas abordagens lidando com o fator de correção, uma das mais utilizadas nesse método aqui descrito é a de dois observadores, variação baseada no modelo de Lincoln-Petersen de captura-recaptura (POLLOCK & KENDALL 1987). Dois observadores sentados em linha, independentemente e sem cumplicidade, fazem contagens simultâneas das espécies alvo. Do número de animais vistos somente pelo observador da frente (animais marcados), aqueles vistos somente pelo observador

de trás (animais capturados), e aqueles vistos por ambos os observadores (animais marcados-capturados), um fator de correção pode ser derivado (COOK & JACOBSON 1979; JACHMANN 2001).

Por fim, é um método que fornece estimativas confiáveis, providenciando intervalos de confiança e outras medidas para avaliar suas confiabilidades. Ainda, esse método possui outras características como ser geralmente mais barato e menos demorado para amostrar se comparado a outros métodos mais tradicionais (GUENZEL 1994).

1.3. Termografia infravermelho

O sensoriamento remoto, termo originado no início dos anos 60 por Evelyn L. Pruitt é uma das tecnologias mais bem sucedidas na coleta de dados para levantamentos e monitoramentos, chegando a escalas globais (MENESES 2012). Segundo o mesmo autor, a definição mais conhecida ou clássica de sensoriamento remoto é:

Sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto.

Para uma concepção um pouco mais científica, na qual a principal condição imposta pela definição anterior é a do sensor estar a uma distância remota do objeto, deve-se ser regida segundo os seguintes preceitos:

- Exigência: ausência de matéria no espaço entre o objeto e o sensor (salvo exceções como o satélite *Sentinel-1* capaz de capturar imagens nítidas da superfície da Terra mesmo com matérias no meio, incluindo nuvens);
- Consequência: a informação do objeto é possível de ser transportada pelo espaço vazio;
- Processo: o elo de comunicação entre o objeto e o sensor é a radiação eletromagnética, a única forma de energia capaz de se transportar pelo espaço.

Através desses preceitos, uma definição mais científica que se poderia dar ao sensoriamento remoto seria:

Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres.

O sensoriamento remoto é capaz de abranger centenas de bandas relacionadas à resolução espectral, através de sensores imageadores, e dentre elas está a termografia (faixa termal de 8 - 14 μ m), a qual está inserida dentro do espectro de luz infravermelho que abrange uma faixa de comprimentos entre 0.75 μ m à 1mm. A termografia, termo que se dá para a técnica de capturar em imagem parte do espectro de luz infravermelho emitido pelo estado térmico dos objetos em estudo (PAŠAGIĆ et al. 2008), é normalmente realizada através de um sistema composto por um equipamento parecido com uma câmera de vídeo, o qual é equipado com um sensor sensível à porção infravermelha do espectro eletromagnético (BALDACCI et al. 2005).

Primeiramente utilizada por forças militares a partir da Segunda Guerra Mundial (WILD 2007) e, desde a década de 60 aproveitada pela medicina em trabalhos com doenças e tratamentos (RING & AMMER 2000), a termografia possui um mercado muito diversificado para sua utilização. No mercado atual, podemos também incluir seu uso em amostragens de animais silvestres, ainda recente e utilizado somente em algumas regiões do mundo, como os Estados Unidos e Canadá (BOONSTRA et al. 1994; NAUGLE et al. 1996; DUNN et al. 2002; DRAKE et al. 2005).

A utilização de sensores térmicos infravermelhos, como um método para obtenção de dados de espécies de mamíferos terrestres noturnos ou de difícil visualização, teve seu ápice na década de 90 (WIGGER & BECKERMAN 1993; BOONSTRA et al. 1994; NAUGLE et al 1996) até início dos anos 2000 (DUNN et al. 2002; HAROLDSON et al. 2003; DRAKE et al. 2005). Apesar da importância e singularidade dos dados obtidos com essa metodologia, não houve uma continuidade nos estudos após essa época. Além dos grandes mamíferos terrestres, a utilização

desse método também obteve sucesso com outros grupos de animais, desde morcegos (SABOL et al. 1995; BETKE et al. 2008), cetáceos (BALDACCI et al 2005; GRABER 2011) e aves (GAUTHREAUX & LIVINGSTON 2006; KINZEL et al 2006), até pequenos mamíferos terrestres como lebres, esquilos e camundongos (BOONSTRA et al. 1994)

As principais dificuldades que os pesquisadores enfrentavam, e ainda enfrentam, para utilizar os sensores térmicos são os altos custos (hoje mais acessíveis devido ao barateamento da tecnologia), a cobertura vegetal (devido à radiação infravermelha não conseguir penetrar na vegetação) e a variação da temperatura dos animais e do ambiente (NAUGLE et al. 1996).

Censos em áreas mais abertas são essenciais para se evitar os problemas referentes à cobertura vegetal (BOONSTRA et al., 1994; NAUGLE et al. 1996), assim como escolher horários com temperaturas mais baixas, como no começo da manhã (BOONSTRA et al., 1994), ou áreas onde há uma cobertura de neve no solo (NAUGLE et al. 1996), assim facilitando na distinção entre as temperaturas ambiente/animal. Além desses fatores, os sensores térmicos permitem aos pesquisadores detectar os animais a grandes distâncias, resultando em um aumento da cobertura de solo por unidade de tempo (HAROLDSON et al. 2003), e por ser um método não invasivo, não requer a captura e marcação dos animais em estudo (BOONSTRA et al., 1994)

Diferenças nas abordagens com a utilização de sensores térmicos infravermelhos também contribuíram para um melhor conhecimento da tecnologia, como diferenças no campo de visão do equipamento. No trabalho realizado por Wiggers & Beckerman (1993), em que utilizaram dois tipos de campo de visão (amplo campo de visão – 28x15° e estreito campo de visão – 5x2.3°), puderam comprovar que o amplo campo de visão não permitia a identificação das espécies escaneadas, ao contrário do estreito campo de visão, em que até sexo e idade dos animais foram identificados.

O comprimento das ondas infravermelhas utilizadas também foi diverso, com trabalhos abrangendo tanto ondas mais curtas (3-5µm) (BOONSTRA et al., 1994) quanto ondas mais longas (8-14µm), o último sendo o intervalo onde as câmeras termográficas trabalham (WIGGERS & BECKERMAN 1993). Addison (1972), utilizando esses dois tipos de ondas infravermelhos para comparar a eficácia na distinção de

cabeças de gado, encontrou o seguinte resultado: o sistema empregador de ondas mais curtas teve melhor resolução espacial do que o sistema de ondas mais longas, provando assim superioridade na distinção dos animais. Ainda, Addison ressalta que mesmo o detector de ondas longas possuindo um pico de sensibilidade mais perto do pico de emissão biológico (calor) dos animais, a maior diferença em resposta à mudança de temperatura ocorria com o detector de onda curtas. Por fim, a manipulação desses equipamentos pode ser feito de diferentes maneiras, como acoplado a aeronaves (NAUGLE et al. 1996; HAVENS & SHARP 1998) e usado em mãos pelos pesquisadores (BOONSTRA et al., 1994).

1.4. Imageamento aéreo digital

A utilização de equipamentos que produzem imagens digitais em amostragens aéreas vem se tornando cada vez mais comum, tanto para fauna e flora quanto para a paisagem, principalmente pelo rápido aperfeiçoamento da tecnologia e diminuição dos preços (MOURÃO & MAGNUSSON 2004). Ainda, através de fatores como objeto(s) alvo(s) do estudo, objetivos e perguntas a serem respondidas, a escolha desses equipamentos pode ser influenciada para os que produzem fotografias e/ou vídeos. A fotografia aérea, de acordo com Morgan et al. (2010), se caracteriza por uma coleção de fotografias usando uma câmera em uma aeronave, e que as fotografias são essencialmente uma representação das características de reflectância (brilho relativo) de aspectos gravados em uma película fotográfica ou sensor digital.

Amplamente difundida na área da conservação ambiental através de trabalhos que permeiam desde a escala de paisagem (MORGAN et al. 2010) até a escala de populações, espécies (JAMESON & JEFFRIES 2010; BAKÓ et al. 2014) e vegetação (OLSON 1964), a fotografia aérea, assim como outros métodos de amostragem remota, vem se tornando popular nos estudos com os animais silvestres em seus habitats naturais pelo fato de não os perturbarem (BAKÓ et al 2014). Por quase cinquenta anos, fotografias têm sido usadas para contar espécies da fauna silvestre (MEANLEY 1965), principalmente em locais muito grandes ou de difícil acesso.

Apropriada, em particular, para espécies que se distribuem em densos e grandes agrupamentos (MOURÃO & MAGNUSSON 2004), como aves aquáticas (GRZIMEK &

GRZIMEK 1960; GILMER et al. 1988) e terrestres (MEANLEY 1965), mamíferos aquáticos (JAMESON & JEFFRIES 2010; KOSKI et al. 2013) e até espécies domésticas relacionadas a saúde pública (AIYEDUN & OLUGASA 2012), a fotografia aérea pode ser utilizada em contagens de toda a amostra ou em subamostras, com a intenção de corrigir a acurácia de contagens diretas (BAYLISS & YEOMANS 1990). Os valores provenientes de quaisquer análises ou classificações obtidas através do método de fotografia aérea são altamente dependentes de sua precisão para que os resultados sejam satisfatórios (MORGAN et al. 2010), assim como outros métodos baseados em sensoriamento remoto.

Apesar da interpretação visual por observadores altamente treinados ser a abordagem mais efetiva e comumente usada na análise de fotografias aéreas (WULDER 1998), essa técnica ainda é altamente dependente da experiência pessoal, conhecimento, e expectativas do intérprete. Assim, as interpretações humanas são subjetivas e vulneráveis a inconsistência e erro (MORGAN et al. 2010).

Já a videografia, tecnologia existente há muitos anos, só começou a ser bastante utilizada como uma ferramenta de trabalho pelos pesquisadores de campo e gestores a partir dos anos 80, devido a fatores como compactação e barateamento dos equipamentos (SLIDE & ZIEWITZ 1990). Naquela época, os vídeos podiam ser gravados somente em fitas de vídeo ou filme convencional, diferente de hoje onde os equipamentos que produzem vídeos digitais em alta definição são os mais usados e os que entregam melhores resultados.

Assim com na fotografia aérea, a videografia possui ampla utilização no campo da biologia da conservação, aplicada, por exemplo, em levantamentos de ninhos de aves (SLIDE & ZIEWITZ 1990) e monitoramento de desastres antrópicos, como derramamento de óleo (OWENS & REIMER 1991). Essa gama de opções exige que o pesquisador tenha um planejamento correto sobre suas escolhas de equipamento e delineamento amostral.

Segundo Owens & Reimer (1991), a escolha do equipamento a ser utilizado em campo depende de elementos como tipo da aeronave (avião ou helicóptero), sistema de comunicação e suporte para a câmera. Apesar de aparentar ser simples amostrar com essa tecnologia, teoricamente requerendo somente uma aeronave e por algumas

horas, ela possui dificuldades e por consequência erros são comumente feitos, ocasionando em produtos de baixa qualidade. Com isso, é importante se ter um bom conhecimento dos requisitos e objetivos pretendidos, predefinindo assim detalhes como altura e velocidade de voo e ângulo da câmera (OWENS & REIMER 1991).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Testar uma metodologia alternativa e experimental, com base no sensoriamento remoto (Câmera térmica aliada à câmera digital), para auxiliar no levantamento de cervos do pantanal dentro dos limites da Fazenda Cisalpina, defrontando-a com métodos tradicionais.

2.2. Objetivos específicos

Avaliar a eficácia da utilização de sensores térmicos integrados a plataformas aeroembarcadas no levantamento da população de cervos na Cisalpina.

Desenvolver um protocolo de amostragem (parâmetros de voo como: velocidade, altura, faixa amostral, angulação das câmeras e horário de voo) para o método de sensoriamento remoto (câmera térmica+câmera digital).

Comparar os dados referentes a população de cervos do pantanal entre o método convencional (visual) e o método de sensoriamento remoto.

Comparar os custos de execução do método convencional e do método de sensoriamento remoto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

Com 22.886ha, a Fazenda Cisalpina situa-se no município de Brasilândia/Mato Grosso do Sul nas seguintes coordenadas geográficas referentes ao seu centro 21°16'57"S / 51°55'34"W (Figura 1). Inserida na área da fazenda, a qual é de propriedade da Companhia Energética de São Paulo (CESP), está a RPPN Cisalpina com 6.261ha.

Caracterizada por ser uma planície aluvial remanescente dos baixos terraços fluviais, a Fazenda Cisalpina é limitada ao norte pelo rio Verde, ao sul e leste pelo Rio Paraná e a oeste pelos reassentamentos Pedra Bonita e Santana, com alturas que variam entre 257m e 270m acima do nível do mar. O relevo é predominantemente ondulado e suavemente ondulado, com declividade variando entre 0 e 8% (ANDRADE et al. 2009).

A fazenda é coberta por um mosaico de diferentes formações fitofisionômicas, principalmente devido a dois fatores: variações do regime hídrico e ações antrópicas no passado. Variações no regime hídrico acrescentam heterogeneidade à área, pois limitam a ocorrência de muitas espécies de plantas em locais que são inundados sazonalmente. Já as ações antrópicas acrescentaram heterogeneidade na reserva através da introdução de pastagens com espécies exóticas e agricultura (ANDRADE et al. 2009).

Nas áreas mais altas, onde não há suscetibilidade à inundação, ocorre mistura de espécies de mata, cerrado e cerrado. Devido à mudança dos cursos d'água das vazantes, espécies típicas de várzea tiveram que se adaptar e sobreviver em áreas plenamente secas. Da mesma forma espécies características de cerrado podem estar sofrendo um processo de adaptação ou readaptação devido à elevação do nível dos lençóis freáticos.

Essa mistura florística, juntamente com espécies de fisionomias de Floresta, contribui para que seja necessária uma avaliação mais específica na área. Nas partes mais baixas, a várzea pode ser dividida com base na sua fisionomia: a vegetação de transição entre o dique marginal, caracterizado pela mata higrófila e a planície de inundação, caracterizado por plantas herbáceas. A várzea é a fisionomia predominante

na Fazenda Cisalpina, assemelhando-se ao Pantanal Matogrossense pelo seu regime de inundação, cheias e escoamento (ANDRADE et al. 2009).

Segundo a classificação de Köppen, o clima é denominado de savana Aw, apresentando inverno seco e chuvas máximas de verão com temperatura média anual de 23,6°C. A precipitação média anual é superior a 1.200mm, apresentando baixos índices entre os meses de abril e setembro e altos índices entre os meses de outubro e março.

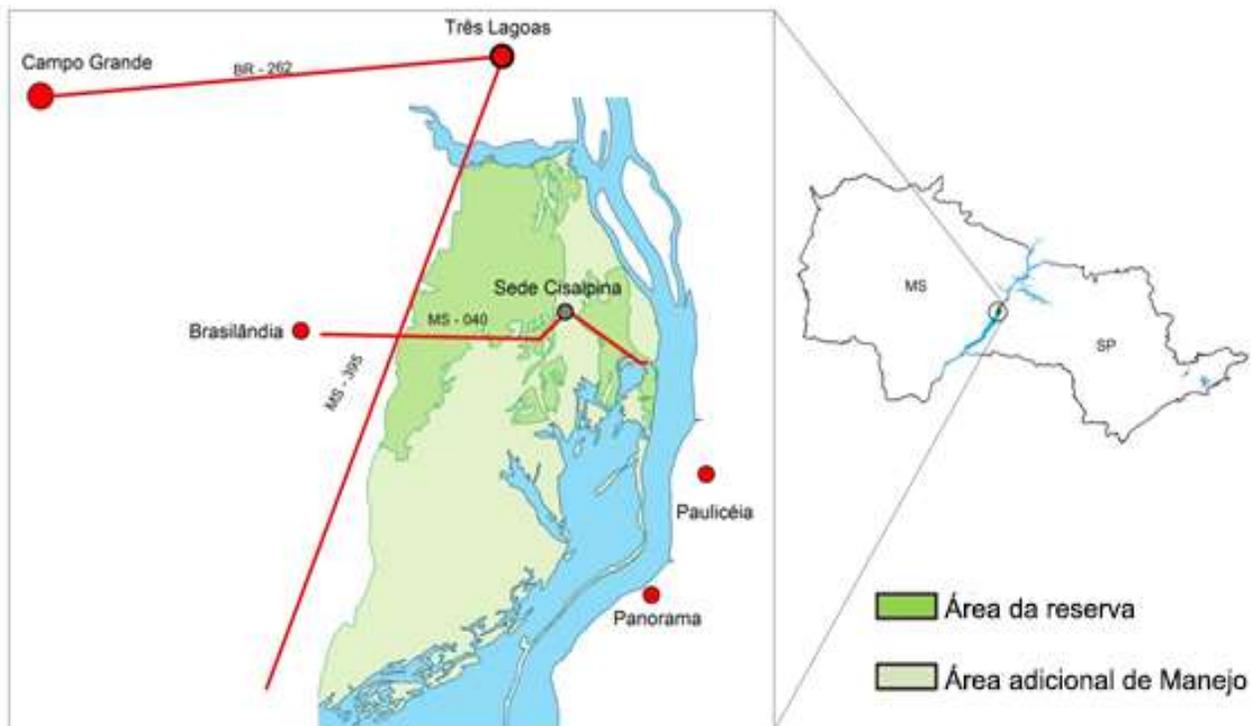


Figura 1. Localização da Fazenda Cisalpina (em tons de verde), ressaltando a RPPN Cisalpina em verde escuro.

3.2. Métodos

3.2.1. Testes iniciais

A fase teste do presente estudo contou com diferentes sobrevoos em mais de um evento, analisando resultados com velocidades e alturas distintas da aeronave, assim como mudanças no posicionamento e lentes das câmeras térmicas e digitais (Tabela 1). Durante essa fase, não houve sobrevoos utilizando o método aéreo convencional, já que o mesmo além de bem consolidado e tradicional em amostragens

da fauna silvestre, o objetivo principal dos testes foi analisar a eficiência da câmera térmica em amostragens aéreas de mesma natureza.

O primeiro evento teste ocorreu nos dias 15 e 16 de abril de 2014, com objetivo inicial de analisar a eficiência das câmeras térmicas na detecção do calor de algumas espécies de grandes mamíferos. Em todos os voos, a aeronave utilizada foi um SUPER ECHO P 92 (TECNAN). No dia 15, a área teste foi o Centro de Conservação da Fauna Silvestre, administrada pela CESP em Ilha Solteira/SP, o qual é caracterizado por ser um local bastante arborizado.

Pelo ar, os voos foram realizados por volta das 10h da manhã, e contou com oito passagens em transectos pré-definidos, a uma altura de 100m e com velocidade média de 140km/h. A câmera térmica utilizada foi uma FLIR A615, posicionada verticalmente (90° em relação ao avião), e estava com uma lente de 45°, atuando a 50fps e com resolução de 640x480 pixels.

No dia 16, alguns voos sobre o Centro de Conservação do Cervo do Pantanal (CESP – Promissão/SP), local de ambientes mais abertos em relação ao Centro de Ilha Solteira, foram feitos em diferentes alturas (60m, 100m e 130m) a uma velocidade média de 120km/h e no começo da manhã, com a câmera térmica atuando nas mesmas configurações do voo anterior.

Com os dados coletados e após reuniões para discussão, o teste seguinte foi conduzido no dia 30 de janeiro de 2015 com novidades. Em virtude da baixa resolução que a câmera térmica apresentava, optou-se pela utilização também de uma câmera digital de alta resolução, com o intuito de identificar os pontos quentes. Esse voo, realizado dentro da Fazenda Cisalpina, contou com as seguintes mudanças:

- O teste com o primeiro equipamento digital, a câmera de segunda Axis P1357-E;
- Mudança da lente de 45° para a de 25° na câmera térmica FLIR A615;
- Por fim, as câmeras foram inclinadas agora a 45° e direcionadas para trás na mesma faixa amostral. Os voos foram conduzidos em velocidade média de 150km/h, porém em diferentes alturas (variando de 110 a 220m), analisando assim a qualidade das imagens nesse novo processo.

Tabela 1. Todos os eventos testes e as análises de diferentes parâmetros feitas ao longo deles.

Testes iniciais											
Eventos	Data	Equipamentos	Aeronave	Local	Horário	Altura	Velocidade	Posição da câmera	Imagem digital	Resolução FLIR A615	Lente
Primeiro evento	15/04/2014	Câmera térmica FLIR A615	Super Echo P 92 (dois lugares)	Centro de Conservação da fauna silvestre - ambiente fechado	10h00	100m	140km/h	90°	-	640x480	45°
Primeiro evento	16/04/2014	Câmera térmica FLIR A615	Super Echo P 92 (dois lugares)	Centro de Conservação do Cervo do Pantanal - ambiente aberto	Começo da manhã	60, 100 e 130 m	120km/h	90°	-	640x480	45°
Segundo evento	30/01/2015	Axis P1357-E + FLIR A615	Super Echo P 92 (dois lugares)	Fazenda Cisalpina - ambiente aberto	9h00 - 15h00	110-220 m	150km/h	45°	Video	640x480	25°
Terceiro evento	08/06/2015 primeiro voo	Canon EOS 5D Mark II + FLIR A615	Maule M-7 (seis lugares)	Aeroporto Presidente Venceslau - ambiente aberto	Meio e fim da tarde	120 m	140km/h	90°	Video/Fotografia	640x480	25°
Terceiro evento	09/06/2015 segundo voo	Canon EOS 5D Mark II + FLIR A615	Maule M-7 (seis lugares)	Aeroporto Presidente Venceslau - ambiente aberto	Começo da manhã	120 m	140km/h	45°	Fotografia	640x480	25°
Terceiro evento	10/06/2015 segundo voo	Canon EOS 5D Mark II + FLIR A615	Maule M-7 (seis lugares)	Centro de Conservação do Cervo do Pantanal - mais aberto	9h00 - 10h00	120 m	140km/h	45°	Fotografia	640x480	25°

Assim como no teste anterior, e após novas reuniões, optou-se por testar uma nova câmera digital (Canon EOS 5D Mark II) no último evento teste, entre os dias 08 e 10 de junho de 2015. Devido ao aumento da tripulação, com um técnico para cada uma das câmeras, além do piloto, foi necessária a mudança para uma aeronave mais robusta, o Maule M-7.

No primeiro voo, de 45 minutos, as câmeras foram posicionadas a 90° (visão lateral) com eixo longitudinal da aeronave e configuradas para ambas gerarem vídeo. Devido a problemas técnicos, as câmeras foram reconfiguradas para o segundo voo, de 25 minutos, no qual posicionadas a 45° e, mantendo-as fixas na asa um pouco mais perto da fuselagem, foram direcionadas para traz. Ainda, a câmera digital teve sua configuração modificada para tirar fotografias sequenciais ao invés de vídeo, sendo assim necessário que uma pessoa operasse o disparador da câmera Canon de dentro da aeronave. Para uma maior comodidade do operador, foi utilizado o software EOS Utility que auxiliou nos ajustes da câmera via notebook.

No dia 09, duas amostragens foram feitas (uma de 35min. e outra de 25min.) perto do aeroporto para confirmar os parâmetros adequados de velocidade e altura da aeronave. No dia 10, o último voo antes das amostragens definitivas na Fazenda Cisalpina foi conduzido o Centro dos Cervos em Promissão. Com as mesmas especificações do voo anterior, e analisando as boas imagens que a nova câmera digital proporcionava, os testes chegaram ao fim com o protocolo de amostragem definido: 120m de altura, 140km/h de velocidade, câmeras com angulação de 45° e voltadas para traz e a FLIR A615 com lente de 25° juntamente com a Canon 5D Mark II com uma distancia focal de 48mm, resultando em uma faixa amostral de 100m e 200m respectivamente.

3.2.2. Levantamento Aéreo convencional

As estimativas populacionais dos cervos do pantanal foram realizadas através de levantamentos aéreos entre os dias 01 a 05 de setembro de 2015 (estação seca) em dois períodos: de manhã (07h00min às 10h00min) e à tarde (15h00min às 18h00min), cobrindo toda a extensão da Fazenda Cisalpina. Contudo, antes da execução das amostragens, um sobrevoo foi conduzido no dia 31 de agosto com o intuito de alinhar os observadores e analisar os últimos detalhes dos voos.

Foram estabelecidos transectos lineares paralelos, distantes 500 m uns dos outros, no sentido norte-sul, compondo um conjunto de 19 linhas de sobrevoo (Figura 2). Em razão da proximidade entre eles, os transectos foram divididos em dois blocos (ímpares e pares) visando contagens independentes, e agora estabelecendo faixas de contagem separadas por 1 km, assim minimizando as chances de dupla contagem do mesmo animal. Para cada bloco, foram feitos quatro sobrevoos, dois de manhã e dois à tarde, totalizando 24h em estimativas. Ressalta-se ainda que, devido a grande porcentagem de águas profundas nos transectos 18 e 19, ambos foram descartados das amostragens.

Os levantamentos aéreos foram realizados com um avião Maule M-7 em voos de baixa altura (60 m) e velocidade aproximada de 140 km/h, com referência no suporte da asa definindo uma faixa de contagem de 200 m no nível do solo (Figura 3). Devidamente registrados no sistema de posicionamento global (GPS) para orientar o piloto da aeronave nos voos, os transectos tiveram comprimentos diferentes de forma a ajustar aos limites da área de estudo, variando de 15,6 a 24,6 km.

A técnica adotada para a realização das amostragens aéreas convencionais na Cisalpina foi a contagem dupla, variação baseada no modelo de Lincoln-Petersen de captura-recaptura, empregando dois observadores postados do mesmo lado da aeronave e realizando contagens simultâneas, mas independentes (MAGNUSSON et al. 1978). Essas contagens, responsáveis por estimar a densidade e abundância da população de cervos, eram separados por subunidades de tempo de 30 segundos, no qual cada transecto foi subdividido durante os sobrevoos. Contudo, salienta-se que devido às oscilações da aeronave quanto à velocidade, devido às mudanças do vento, tais subunidades não foram precisamente iguais.

Essa estratégia permitiu comparar os avistamentos dos observadores, estabelecendo assim uma probabilidade de detecção de cervos para ambos (BAYLISS & YEOMANS 1989), através da equação $P = B / (B + S2)$ para o observador 1, e $P = B / (B + S1)$ para o observador 2. Onde P = probabilidade de detecção; B = número de cervos vistos por ambos os observadores em cada unidade amostral; S1 = número de cervos vistos apenas pelo observador 1; S2 = número de cervos vistos apenas pelo observador 2.

O cálculo da probabilidade de detecção serviu como base para a obtenção de um fator de correção a ser aplicado às contagens do observador que obteve o maior número de visualizações nos 17 transectos, onde $F_c = 1 / P$, sendo F_c = fator de correção e P = probabilidade de detecção.

Um terceiro observador postado no lado esquerdo da aeronave, sem limitação de faixa amostral, ficou responsável por contar todos os cervos avistados durante os sobrevoos em cada transecto, de forma a estimar um índice de abundância (número de animais avistados por km de transecto). Além disso, as contagens desse terceiro observador serviram para examinar os efeitos de temperatura no número de cervos vistos entre período da manhã e da tarde, de forma a analisar se houve diferenças e então servir como informação para a criação de protocolos de amostragem em outros trabalhos de mesma natureza.

Durante a pós análise dos dados, foi utilizado o software Distance para as análises de densidade e índice de abundância. Os cálculos da densidade populacional (km^2) e da estimativa do número total de cervos foram obtidos pelas duas fórmulas a seguir, respectivamente:

$$D = \sum a / \sum y \text{ e } Y = D \cdot A$$

Em que:

y = número de cervos vistos na unidade amostral (com aplicação do fator de correção);

a = área que foi amostrada;

Y = estimativa do número total de indivíduos na região de tamanho A ;

D = estimativa da densidade média;

A = área total da região que foi estudada.

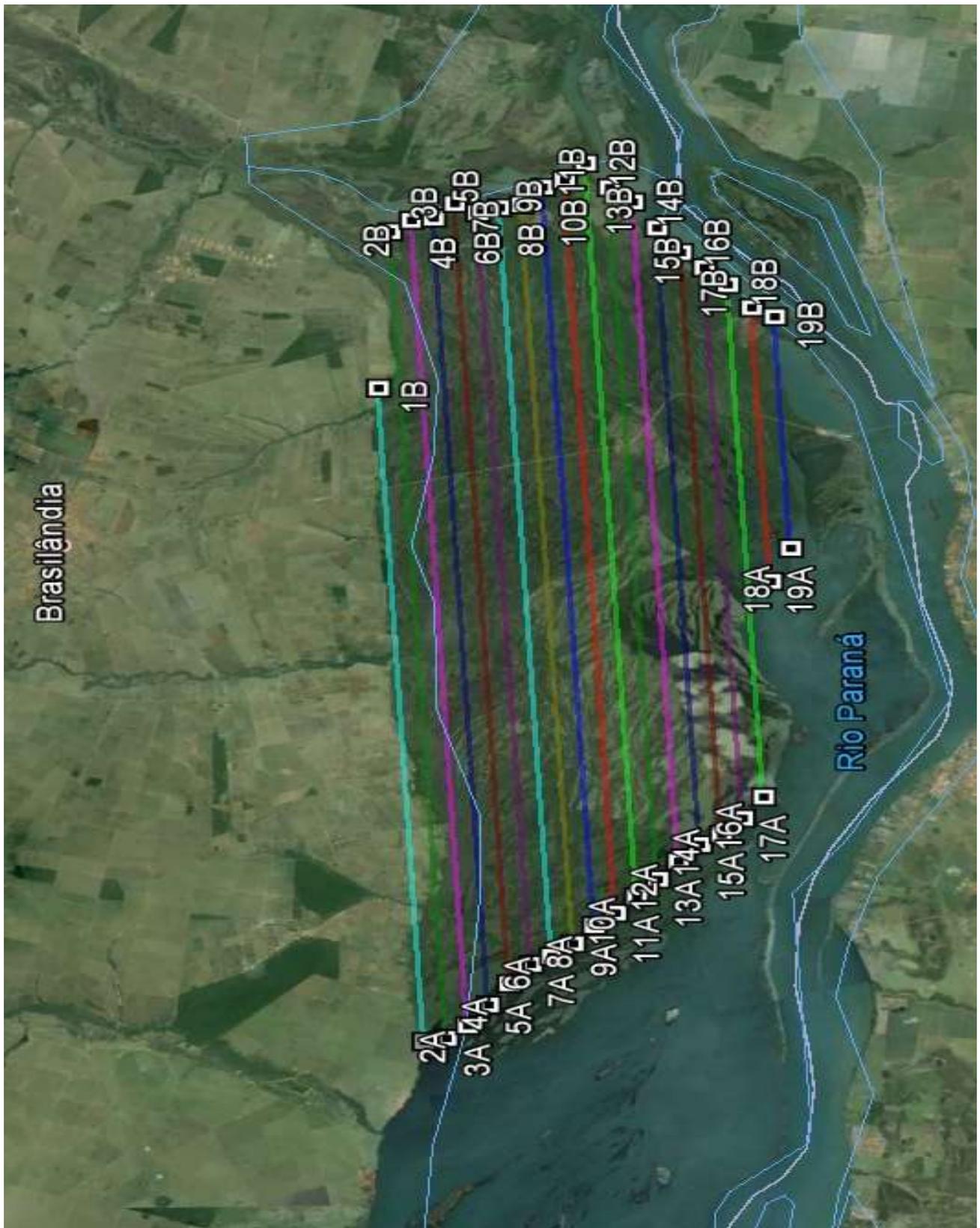


Figura 2. Disposição das 19 linhas de transectos cobrindo toda a área da Fazenda Cisalpina.

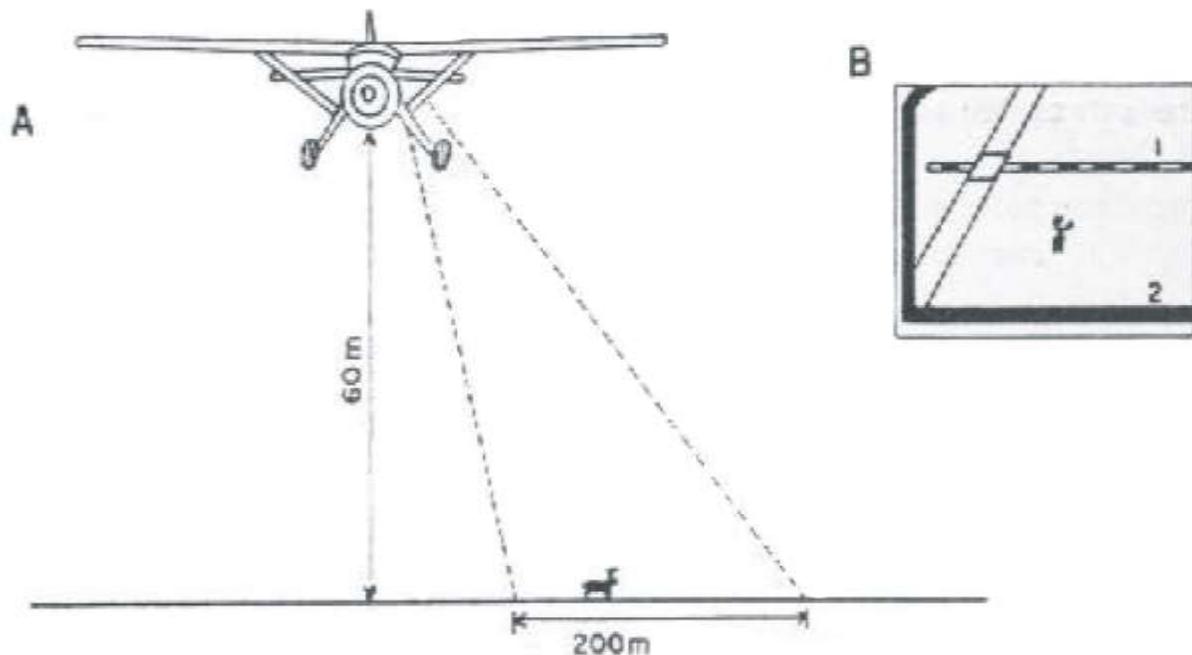


Figura 3. (A) Ilustração do método aéreo convencional, evidenciando a altura de voo e largura da faixa amostral padronizada. (B) Objeto fixado na fuselagem da aeronave (1) e a faixa de amostragem, a qual pode ser calibrada utilizando alvos de largura conhecida no solo (MOURÃO & MAGNUSSON 2004).

3.2.3. Sensoriamento térmico e digital

Para o sensoriamento com as câmeras, foi usado o mesmo avião do método anterior, além dos mesmos transectos e blocos (transectos pares e ímpares) de amostragem, excluindo-se também os transectos 18 e 19 (alta porcentagem de águas mais profundas).

As câmeras utilizadas foram a térmica FLIR A615 com uma lente de 25°, fornecendo uma faixa amostral de 100m no solo, e uma câmera digital modelo Canon EOS 5D® Mark II high-resolution RGB (5,616 x 3,744 pixels) com lente fixada a uma distância focal de 48mm, fornecendo uma faixa amostral de 200m no solo. Foram presas em uma base na haste da asa do avião com uma inclinação de 45° e direcionadas para traz, escaneando a mesma faixa amostral (Figura 4).

As amostragens foram feitas em dois eventos separados, sendo o primeiro na manhã do dia 02 de setembro de 2015, em que as câmeras estiveram setadas para filmar as faixas, e o segundo nos dias 20 e 21 de outubro, em que a câmera digital foi

programada para tirar fotos sequencias com a térmica filmando. Para o último evento, foram gastos 6h em amostragens aéreas.

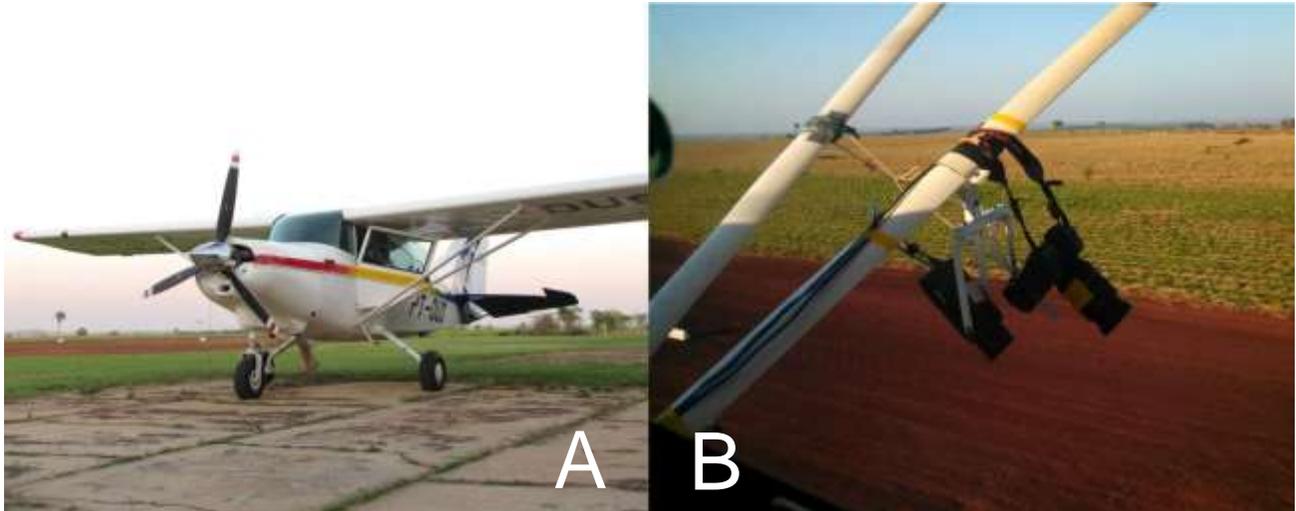


Figura 4. (A) Aeronave Maule M-7 usada nas amostragens e (B) base usada para fixar as duas câmeras (FLIR A615 e Canon EOS 5D Mark II).

Para que houvesse grandes diferenças na temperatura entre ambiente e animal, mas que não prejudicasse uma boa análise visual da câmera digital, ambos os eventos foram realizados no período da manhã (07h:00min às 10h:00min), a uma velocidade média de 140 km/h e a uma altura de 120 m. No voo do dia 21, devido a uma falha no equipamento digital, a amostragem teve que ser dividida em dois voos: um das 7h às 8h:30min e o seguinte das 9h às 10h:30min.

Durante os voos, somente a câmera térmica estava conectada a um computador, no qual as filmagens produzidas por ela eram armazenadas em tempo real no disco rígido. Como vantagem desse sistema térmico, os níveis e intervalos de temperatura podiam ser posteriormente alterados de acordo com as necessidades. Já na câmera digital, as imagens produzidas eram gravadas diretamente no cartão de memória.

Posteriormente no escritório, as imagens de ambos os eventos, setembro e outubro, foram analisadas em duas telas diferentes, uma de um notebook mostrando o filme térmico através do software da FLIR e outra provinda de um datashow acoplado a outro notebook, no qual mostravam os filmes e fotografias digitais em um telão. Dando seguimento somente com as fotografias digitais, sempre que pontos de calor chamavam a atenção dos observadores no filme térmico, elas eram usadas para

verificar e se possível identificar esses pontos. Se a identificação era incerta, a detecção não era contada. Por causa da variação de temperatura do ambiente e dos animais no tempo, o intervalo de temperaturas no software da FLIR era frequentemente mudado, permitindo assim uma maior facilidade na detecção dos objetos quentes.

A sincronização entre os dois tipos de imagem era feita anotando-se o tempo transcorrido do filme térmico e das fotografias digitais. Para evitar que as últimas não se tornassem fotografias aleatórias da paisagem de Cisalpina, cada foto tinha uma sobreposição de 3 segundos em relação a anterior e a próxima, tornando mais fácil entender a paisagem e assim identificar os pontos quentes. Ao final, todas as imagens foram guardadas para futuras reinterpretações.

Com os dados tabulados (número de indivíduos e de grupos visualizados em cada transecto de todos os voos), as análises de densidade (indivíduos e grupos) e tamanho populacional continuaram no software Distance 6.2. Para fins comparativos entre os dados obtidos por ambos os métodos, somente os quatro voos de manhã (dois pares e dois ímpares) feitos pelo convencional foram utilizados, além da exclusão do transecto amostrado por esse método, de forma a igualar o número de transectos sobrevoados.

Em outras análises, as quatro amostragens convencionais foram separadas em dois grupos (Convencional 1, contendo os voos dos dias 01 e 03/09 e Convencional 2, contendo os voos dos dias 04 e 05/09 de 2015), assim facilitando na comparação com as duas amostragens das câmeras, unidas em um grupo (Termal/Digital).

3.2.4. Análise de custos

Os custos diários dos voos feitos pela manhã das duas metodologias usadas no projeto também foram comparados, juntamente com seus resultados, de forma a analisar o custo-benefício de cada uma em amostragens aéreas. Seus custos foram calculados dividindo o custo total de voo pela área total (km²) sobrevoada.

Foram levados em consideração somente os custos da execução das amostragens aéreas (Tabela 2), não sendo contabilizadas questões referentes à logística dos integrantes, análises posteriores dos dados, nem o primeiro dia de cada evento, responsável pelos acertos de equipamento, aeronave e tripulantes. O voo com

as câmeras filmado no dia 02 de setembro não foi incluído nos custos. Ainda, tomou-se como base os R\$90,00 estipulado pelos CRBios pela hora de trabalho de um pesquisador pleno.

Tabela 2. Todos os itens incluídos nas análises de custo.

	Método	
	Convencional	Sensoriamento remoto
Itens	Pesquisadores (2)	Aluguel da câmera térmica
	Aluguel da aeronave	Aluguel do técnico FLIR
	Aluguel do piloto	Aluguel da câmera digital
		Aluguel da aeronave
		Aluguel do piloto

4. RESULTADOS

4.1. Fase de testes

Entre os dias 15 e 16 de abril, o primeiro evento teste contou com resultados importantes para o andamento do projeto. No dia 15, as altas temperaturas das 10h, aliada a grande quantidade de árvores no local, acabaram dificultando na detecção dos pontos de calor dos animais presentes no Centro em Ilha Solteira, salvando somente a detecção dos cervos, os quais estavam em um recinto aberto (Figura 5). Durante o voo, a câmera perdia o foco com facilidade, e o que se pensava ser por causa da oscilação da aeronave, na verdade foi devido ao arrasto que o avião provocava, agravado pelo posicionamento da câmera (vertical) e velocidade de passagem da aeronave.

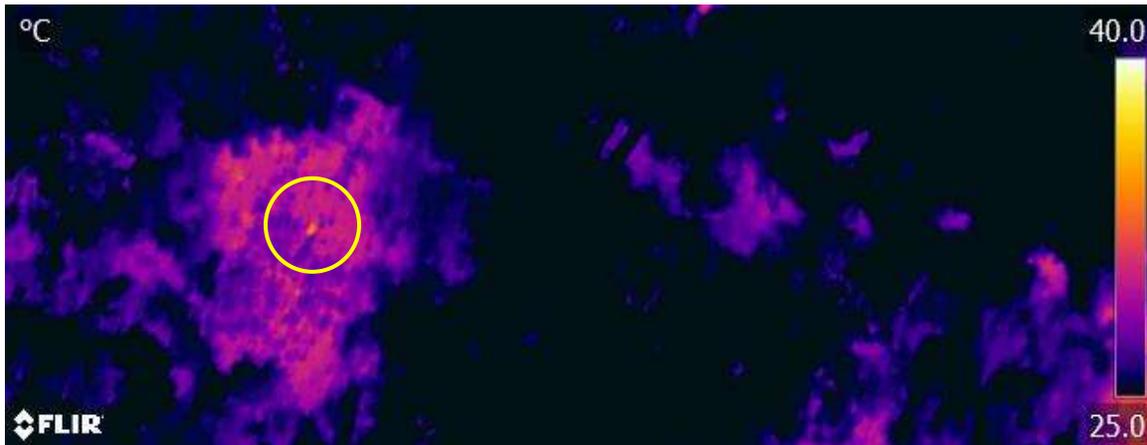


Figura 5. Imagem térmica de uma FLIR A615 com lente de 45° evidencia a grande quantidade de árvores no local, bem como um espécime de cervo dentro de seu recinto.

No dia 16, devido o ambiente ser mais aberto, facilitou na detecção de animais no solo. As diferentes alturas utilizadas nos voos resultaram em diferenças na facilidade de foco do equipamento. Por ser um equipamento de foco manual, o operador da FLIR A615 tinha mais facilidade em arrumar o foco em altura mais alta (130m) do que em alturas mais baixas (60m e 100m), reflexo da velocidade de passagem em relação ao solo. Em ambos os dias de testes, foi possível concluir mais duas coisas, além da já citada influencia da altura: (1) somente utilizando a câmera térmica para as amostragens não seria viável, já que a mesma não conseguia produzir imagens de alta resolução, dificultado na tentativa de identificação de pontos de calor registrados com

eficácia por ela; e (2) mudanças na angulação da câmera seriam essenciais na diminuição do arrasto e conseqüente perda de foco.

Em reunião, as duas conclusões foram discutidas e assim aprovadas para o novo teste que foi realizado no dia 30 de janeiro na Cisalpina. Com a tarefa de escanear a mesma faixa amostral, a adição da câmera digital Axis P1357-E acabou por falhar no transporte dos dados para o notebook, não sendo possível abrir as fotografias separadas e assim compará-las às imagens térmicas. Para as câmeras térmicas, alturas iguais ou superiores a 120m juntamente com a angulação de 45° resultaram em imagens mais satisfatórias.

Com os problemas encontrados de compatibilidade e sincronização, foi sugerido a substituição para a câmera digital Canon EOS 5D Mark II, utilizada em todos os voos restantes. A câmera térmica FLIR A615, a qual foi testada com uma lente de 45° nos primeiros voos, se saiu melhor com a de 25° no último, mesmo com um campo de visão menor que a de 45°, possui em troca uma definição e qualidade de imagem superior (Figura 6).

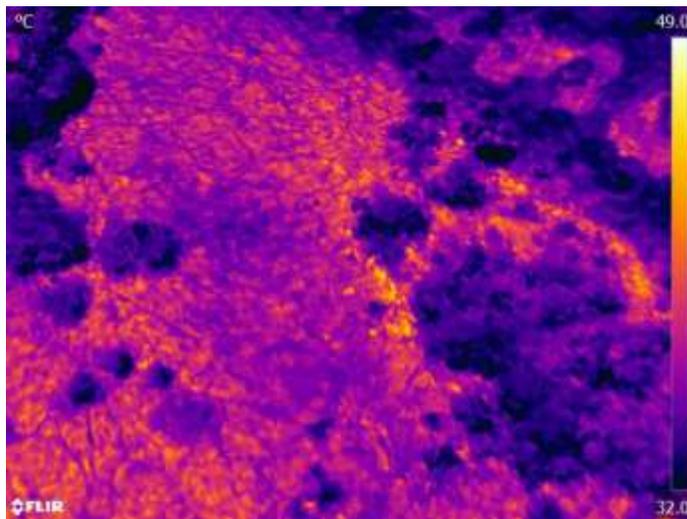


Figura 6. Imagem gerada por uma FLIR A615 com lente de 25° na Fazenda Cisalpina no dia 30 de janeiro. Apesar de mais fechada que uma 45°, a nitidez é superior.

Os últimos testes, realizados entre os dias 08 e 10 de junho, comprovaram em definitivo alguns parâmetros que seriam então usados na Fazenda Cisalpina. Os voos em junho mostraram que as câmeras direcionadas para traz na diagonal (45°) resultaram em imagens mais definidas e com pouco arrasto. Além disso, altura de

120m e velocidade da aeronave de 140km/h foram também recomendados para as amostragens na Cisalpina.

4.2. Fase final

4.2.1. Aéreo convencional

Uma estimativa baseada no conjunto dos blocos de contagens corrigidas para erros de visibilidade resultou em uma densidade de $0,41 \pm 0,042$ cervos/km², com uma população estimada em $90,4 \pm 9,2$ cervos na população. A intensidade amostral foi de 16.3% da área da fazenda, contidos dentro das faixas de contagem. A probabilidade geral de observação de cervos dentro das faixas de contagem para o contador mais experiente foi de 0,57, com um fator de correção de 1,75.

O índice de abundância foi de $4,704 \pm 0,818$ cervos avistados por quilômetro de transecto (de 0 a 25 cervos/km), estimado pela média de todos os transectos sobrevoados. A temperatura entre os períodos influenciou de forma significativa as contagens em cada bloco, bem como entre o conjunto de transectos de todos os blocos (Figura 7). Durante os voos da manhã, 53 cervos foram registrados (média de 13.25 por voo), ao contrário do período da tarde, onde 14 cervos foram vistos (média de 4.33 por voo).

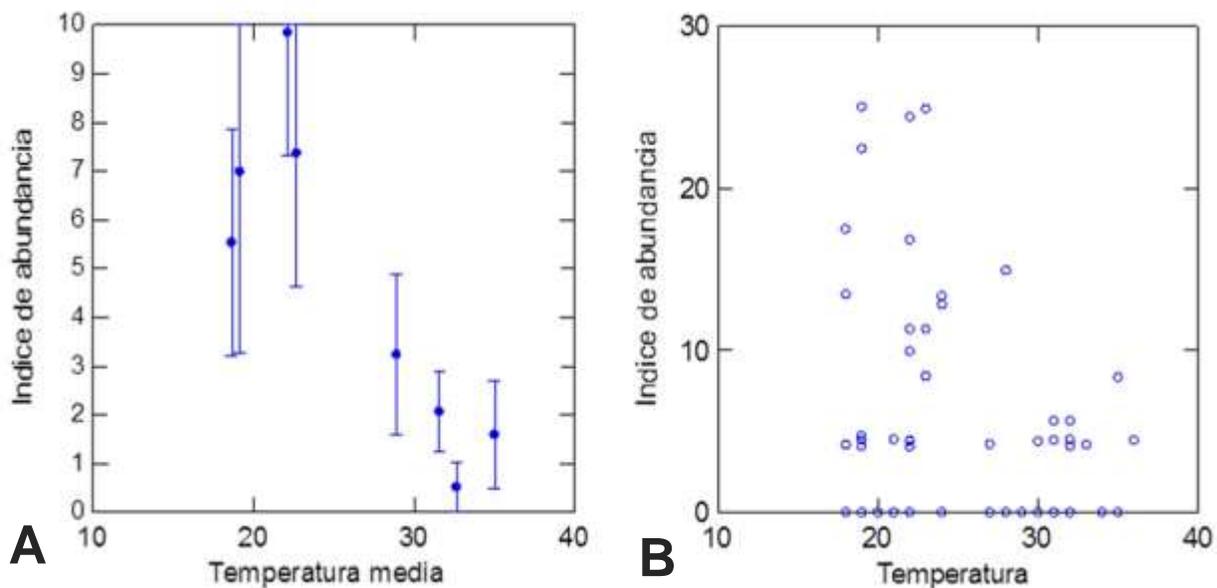


Figura 7. (A) Relação entre o número de cervos avistados por quilômetro de transecto (índice de abundância com barras de erro padrão) e a temperatura média (°C), em cada um dos 8 levantamentos aéreos conduzidos na Fazenda Cisalpina. (R2 múltiplo = 0,843; IA = 15,0958 –

0,43*Temperatura; $p= 0,009$). **(B)** Relação entre o número de cervos avistados por quilômetro de transecto e a temperatura ($^{\circ}\text{C}$), em cada um dos transectos sobrevoados na Reserva Cisalpina.

4.2.2. Sensoriamento térmico e digital

No primeiro evento, ocorrido no dia 02 de setembro, no qual ambas as câmeras estiveram configuradas para filmar, obteve-se dados suficientes mesmo em pouco tempo de amostragem. Como já visto nos testes, a câmera térmica foi eficiente na detecção dos pontos de calor, mesmo possuindo baixa resolução e imagens pouco nítidas. Contudo, a câmera digital não possuiu a mesma eficácia na identificação desses pontos. Mesmo com boa resolução, a identificação era quase impossível, sendo agravado pelo fato de não conseguirmos aproximar a imagem do objeto de interesse (Figura 8).

Outro fator, porém menos importante foi a diferença no campo de visão entre as duas câmeras. Enquanto a câmera térmica captava as imagens com ângulo mais estreito, a digital captava em ângulo mais aberto, dificultando as análises posteriores em solo. Por conta desses problemas detectados, as mudanças da câmera digital na captação de fotografias e uma melhor angulação entre ambas as câmeras foi necessário para os resultados das amostragens de outubro.





Figura 8. Imagem **A** mostra a detecção térmica de algumas cabeças de gado no transecto 1 e a **B** mostra a imagem digital da mesma área. Nota-se a diferença no campo de visão entre as duas câmeras através dos círculos vermelhos evidenciando o local em que as cabeças de gado estão.

No segundo evento, ocorrido nos dias 20 e 21 de outubro, o método com duas câmeras (fotografia digital + filmagem térmica) obteve uma estimativa baseada em duas amostragens, uma em cada bloco. A população estimada para a Cisalpina foi de 171.57 cervos (Figura 9), quase o dobro da obtida pelo método convencional (91.54 cervos). Contudo, apesar do intervalo de confiança ter sido relativamente alto (IC = 105.27 – 281.49), reflexo do pequeno número de amostragens se comparado as quatro do convencional (IC = 61.79 – 137-31), as câmeras possuíram uma detectabilidade de 54% a mais do que a olho nu (Tabela 3).

A densidade de indivíduos foi estimada em 0.75 ± 0.17 cervos/km² (CV = 23.69%), e a densidade de grupos de cervos foi de 0.61 ± 0.13 grupos/km² (CV = 22.41%) (Figura 9). Ambas as densidades estimadas foram superiores as do método convencional, corroborando também com as evidências de uma facilidade maior das câmeras em detectar os cervos no solo.

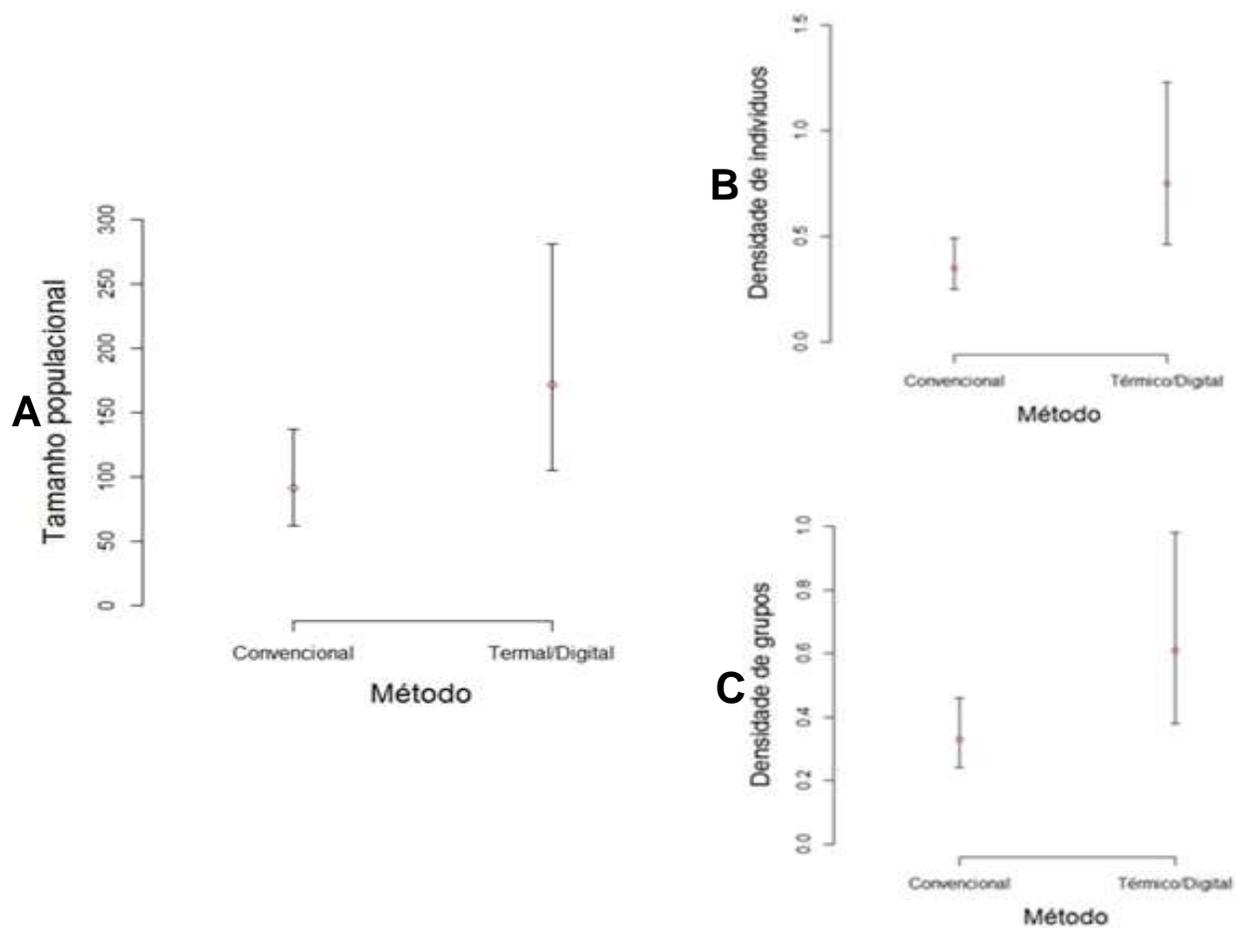


Figura 9. Os gráficos acima mostram as diferenças estimadas de tamanho populacional **(A)**, densidade de indivíduos **(B)** e grupos **(C)** para cada método, juntamente com suas réguas de intervalo de confiança (IC).

Tabela 3. Comparação dos dados estimados para a população de cervos entre os dois métodos utilizados no projeto. (n) número de indivíduos registrados; (DI) Densidade de indivíduos; (SD) Erro padrão; (CV) Coeficiente de variação; (IC) Intervalo de confiança; e (DG) Densidade de grupos.

	Método	
	Convencional	Termal/Digital
Período	01 à 05/09 2015	20 e 21/10. 2015
n	49	26
Área Amostrada (Km ²)	136.96	34.24
DI (Km ²)	0.36	0.75
SD	-	0.17
CV (%)	16.89	23.69
IC	0.25 - 0.51	0.46 - 1.23
DG (Km ²)	0.34	0.61
SD	-	0.13
CV (%)	16.53	22.41
IC	0.24 - 0.48	0.38 - 0.98
Taxa de Encontro	0.067	0.061
CV (%)	16.53	22.41
IC	0.047 - 0.095	0.038 - 0.098
População Est. (ind.)	91.54	171.57
IC	61.79 - 137.31	105.27 - 281.49

Ao verificar de forma uniforme os dados finais de ambos os métodos, em que as quatro amostragens convencionais foram divididas em dois eventos (convencional 1 e convencional 2) para comparar com o único evento térmico/digital, a densidade encontrada pelo último se mostrou novamente superior aos convencionais (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação dos dados populacionais entre os dois métodos, com o convencional dividido em dois eventos. (T/D) Térmico/Digital; e (Conv.) Convencional.

Método	Data	n	Área escaneada(km ²)	DI(km ²)	DI(km ²)		
					Média	DP	CV(%)
T/D (Impares)	20/10 2015	12	16.94	0.67	0.74	0.69	0.93
T/D (Pares)	21/10 2015	14	17.3	0.81			
Conv. 1 Impares	01/09 2015	13	33.88	0.36	0.28	0.21	0.73
Conv. 1 Pares	03/09 2015	7	34.6	0.21			
Conv. 2 Impares	04/09 2015	16	33.88	0.51	0.44	0.48	1.04
Conv. 2 Pares	05/09 2015	13	34.6	0.37			

A quantidade de transectos em que cada um dos três eventos registrou ao menos um cervo (Figura 10) foi parecida. O único transecto que não houve nenhum registro por nenhum método foi o 17. Evidenciou-se também uma leve tendência dos cervos em não ocuparem os transectos perto das bordas leste/oeste, nem em alguns no meio da reserva. Dentre os transectos que registraram as maiores densidades com as câmeras, destacam-se em ordem crescente, o 14 (1.06 cervos/km²), 3 (1.62 cervos/km²), 6 (1.75 cervos/km²) e o 12 (2.37 cervos/km²).

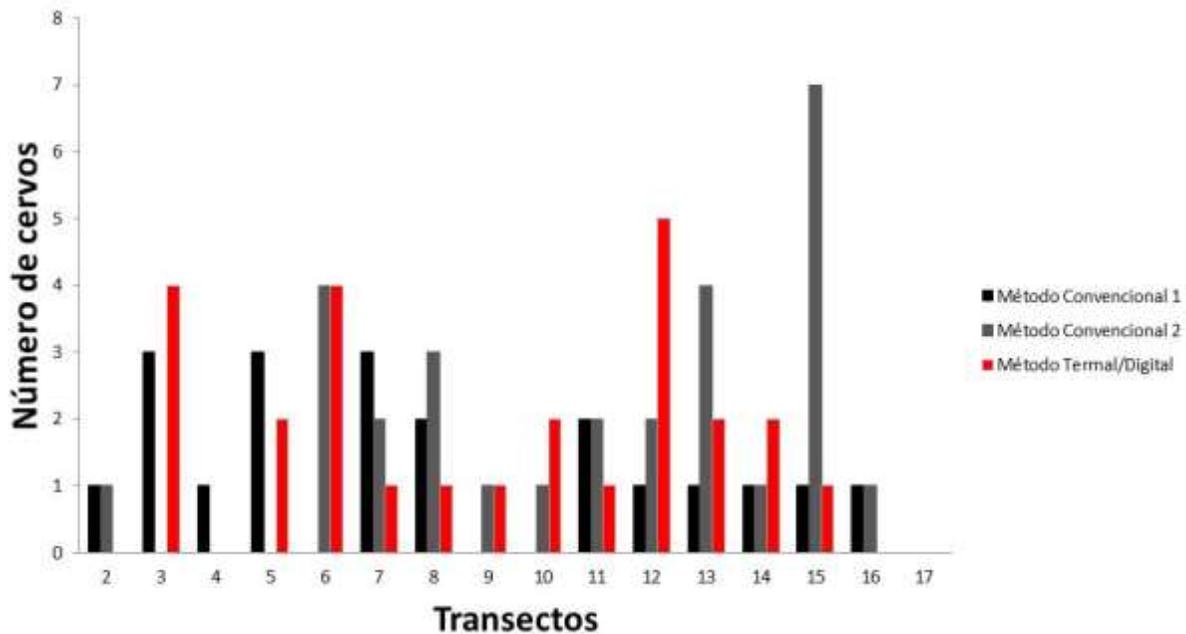


Figura 10. Registro de todas as visualizações de cervos feitas pelos três eventos, sendo dois convencionais e um termal/digital.

O exercício de analisar e comparar os dois tipos de imagem, feita por observadores em duas telas diferentes, resultou em 48 pontos de calor duvidosos para serem identificados. Desses, 26 se confirmaram como sendo cervo do pantanal, uma porcentagem de 54.2% do total (Tabela 5). Outras espécies da fauna também puderam ser identificadas além dos cervos (Figura 11), como onça parda (Figura 12), anta (Figura 13) e algumas aves (Figura 14), além de animais domésticos (Figura 15) e objetos não identificados.

Tabela 5. Essa tabela mostra o número (N) de pontos quentes identificados pela fotografia digital para cada objeto, juntamente com suas respectivas porcentagens (%).

Tipo	N	%
Cervo	26	54.2
Onça parda	1	2.1
Anta	5	10.4
Aves	2	4.2
Outros	4	8.3
Não identificados	7	14.6
Gado	3	6.2
Total	48	100



Figura 11. As imagens menores mostram a detecção do corpo quente pela câmera térmica e a mesma área pela fotografia digital. Já a imagem maior (zoom de 100%) revela a identificação de cervos do pantanal.



Figura 12. Registro de um indivíduo de onça parda cruzando uma área aberta entre duas manchas de mata.



Figura 13. Registro de dois indivíduos de anta forrageando em uma área alagada na Fazenda Cisalpina.



Figura 14. Registro de um indivíduo de tuiuiu em meio a uma área alagada na Fazenda Cisalpina.



Figura 15. Registro de algumas cabeças de gado nos arredores da Fazenda Cisalpina.

4.2.3. Custos

O método convencional, durante os quatro voos de manhã em setembro, teve um custo de R\$135,80/km² (R\$18.600,00), incluindo os custos da aeronave e do piloto, além de dois pesquisadores. O método térmico/digital, durante os dois dias em outubro, teve mais que o dobro de custos em km² que o anterior, com R\$310,43/km² (R\$10.629,16) (Tabela 6). Essa diferença se deve ao quádruplo de área sobrevoada com o convencional, principalmente relacionado à diferença de 100m de faixa amostral.

Tabela 6. Dados referentes aos gastos de cada metodologia aplicada na Fazenda Cisalpina, levando em conta somente os gastos de execução das amostragens aéreas.

Item	Custos diários (R\$) 6 horas	
	Convencional	Termal/Digital
Pesquisadores (2)	1.080,00	-
Aluguel câmera térmica + técnico	-	1.669,16
Câmera digital	-	740,00
Aluguel aeronave + piloto	8.220,00	8.220,00
Total	9.300,00	10.629,16
Total + esforço amostral	18.600,00	10.629,16
<i>R\$ por km²</i>	<i>R\$135,80</i>	<i>R\$310,43</i>

5. DISCUSSÃO

5.1. Fase de testes

Durante a fase de testes, importante etapa na padronização e aperfeiçoamento de metodologias que foram utilizadas, dificuldades surgiram assim como relatado em outros estudos. Nos voos em baixas alturas (60m e 100m) com velocidades variando de 100 a 150km/h, a filmagem das imagens térmicas era prejudicada pela alta velocidade de passagem em relação ao solo, problema encontrado também por Wiggers & Beckerman (1993) que, através de voos em três alturas diferentes a 160-200km/h, comprovaram a baixa eficiência na identificação e separação de veados e outras espécies nas alturas baixas (170-270m) do que em alturas altas (271-370m e 371-450m). Intuitivamente, esperavam que a resolução das imagens fosse melhor em baixas alturas, mas a prática mostrou a dificuldade em manter a mira e o foco do equipamento térmico nos animais. Contudo, segundo dados dos mesmos autores, alturas muito altas também podem ser problemáticas para reconhecer os indivíduos em solo.

Tão importante quanto, as câmeras térmicas também necessitam de um bom contraste entre a temperatura do ambiente e dos animais, assim evidenciando-os com mais precisão nas amostragens. De encontro a essa informação, devido a diferentes fatores como condição climática e ajustes das câmeras, alguns voos teste foram feitos a partir das 10h00 da manhã, horário em que começa a não ser adequado utilizar essa metodologia em regiões tropicais como o Brasil. Segundo Boonstra et al. (1994), em trabalho com pequenos mamíferos e seus ninhos, as câmeras térmicas possuíram melhor desempenho nas primeiras horas do dia, período que o calor do dia anterior já se dissipou e o sol ainda não aqueceu o chão e a vegetação.

Dias nublados, após chuvas ou locais onde há uma cobertura de neve no solo também podem ser condições que favorecem as amostragens com equipamentos térmicos (BOONSTRA et al. 1994), apesar de opiniões divergentes como a de Parker (1972). Segundo ele, em estudo com veados, foi identificado uma melhor diferença de temperatura entre os animais e o ambiente no verão, quando os mesmos estão radiando calor ao invés de estar conservando-o em condições frias de inverno.

Outro fator importante foi a presença da cobertura vegetal em alguns testes, evidenciando o conhecido baixo rendimento de equipamentos térmicos em áreas florestadas (BOONSTRA et al. 1994; DUNN et al. 2002). Wiggers & Beckerman (1993), estudando uma espécie de veado (*Odocoileus virginianus*) em áreas controladas e cercadas, foram incapazes de detectar todos os animais em apenas uma passagem na área cercada que possuía 73% de cobertura vegetal. Através de várias passagens em diferentes alturas e direções, conseguiram detectar 100% deles, porém essa procura intensiva seria impraticável em outras aplicações de campo. Também em estudos com ungulado quase dez anos depois de Wiggers & Beckerman, Dunn et al. (2002) tiveram as mesmas dificuldades na detecção dos animais sob a vegetação de coníferas, árvores que inclusive acabavam mascarando-os com suas próprias radiações térmicas.

5.2. Fase final

5.2.1. Aéreo convencional

As estimativas populacionais encontradas com o método aéreo convencional resultaram em uma densidade populacional parecida com a registrada em amostragens conduzidas na Fazenda Cisalpina em 2003, a qual foi de $0,485 \pm 0,256$ cervos/km² (W. M. TOMAS, *dados não publicados*). Na densidade encontrada de $0,41 \pm 0,042$ cervos/km², constatou-se uma leve diminuição referente a 2003, podendo estar relacionada a vários fatores causadores.

Dentre esses fatores causadores da diminuição, podemos citar dois igualmente importantes para áreas de várzeas como na Cisalpina: (1) drenagens clandestinas para fins da agropecuária, além de outras atividades que alteram o regime hidrológico (TOMAS et al. 1997); (2) ligado a fatores naturais, como a quantidade de água entre as estações seca e chuvosa. Tomas et al. (2001) em trabalho na região do Rio Negro, MS, apontaram que as densidades variaram por causa da distribuição espacial dos ambientes adequados ao cervo entre a estação seca e a chuvosa. Sem a detecção de cervos nas partes mais altas e em águas mais profundas na estação seca, a densidade variou de 0,53 a 1,85 cervos/km², e na estação chuvosa, a não detecção de cervos em ambientes de águas mais profundas, resultou em uma variação na densidade de 0,24 a 0,73 cervos/km².

Apesar da leve diminuição, mesmo que pouco significativa, a densidade de cervos na Fazenda Cisalpina se mostrou perto da média das densidades encontradas para cervos em alguns estudos na bacia do Rio Paraná em território brasileiro (Tabela 7), evidenciando a importância dessa população para a bacia como fonte para outros remanescentes de várzea do entorno.

Anteriormente ao enchimento pelo reservatório da UHE Porto Primavera, Mourão & Campos (1995) estimaram, a montante, a população de cervos em 650 indivíduos para uma área de 1.280km², resultando em uma densidade de 0.51 cervos/km². Já estudo de Pinder (1996), também na mesma região, estimou em 940 indivíduos para uma área de 2.500km², obtendo uma densidade de 0.37 cervos/km².

Mesmo considerando que suas populações foram seriamente afetadas após o enchimento do reservatório, um estudo recente feito por Andriolo et al. (2005), entre as barragens de Jupiá e Porto Primavera, estimaram em 896 indivíduos para uma área de 1.800km², resultando em uma densidade de 0.49 cervos/km². Ressalta-se ainda que Andriolo e equipe amostraram áreas de várzea que os dois primeiros estudos não o fizeram, como o Rio Pardo, Rio do Peixe e Rio Verde. Mais ao sul da bacia do Rio Paraná, no Parque Nacional de Ilha Grande e entorno, Tiepolo et al. (2010) estimaram em 1.079 ± 207 indivíduos em uma área de 1.081km², resultando em uma densidade de 0.998 ± 0.192 cervos/km².

Tabela 7. Dados da estimativa populacional e densidade (D) de cervos do pantanal em trabalhos realizados na bacia do Rio Paraná em território brasileiro (modificado de Tiepolo et al. 2010).

Local	Área (km ²)	População	D (cervo/km ²)	Fonte
Fazenda Cisalpina	228,86	90,4 ± 9,2	0,41 ± 0,042	Presente estudo
Rio Paraná, montante da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, entre São Paulo e Mato Grosso do Sul	1.280	650	0.51	Mourão & Campos (1995)
Rio Paraná, montante da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, entre São Paulo e Mato Grosso do Sul	2.500	940	0,37	Pinder (1996)
Rio Paraná, montante da UHE Porto Primavera	1.800	896	0,49	Andriolo et al. (2005)
Parque Nacional de Ilha Grande e entorno	1.081	1.079 ± 207	0,998 ± 0,192	Tiepolo et al. (2010)

Como suspeitado antes dos voos de setembro, a quantidade de cervos vistos pelo terceiro observador (sem nenhuma delimitação de faixa) no período da manhã foi bem maior que no período da tarde (73.6% a mais). Isso se deve aos picos de atividade dos cervos entre as primeiras horas do dia (6-8 horas) e o final da tarde (16-18h), evitando assim os horários mais quentes (TOMAS, 1986). Contudo, para Pinder (1996) não houve diferenças significativas entre o número de cervos vistos dentro dos transectos durante a manhã (273 cervos) e a tarde (230 cervos). Talvez essa diferença se deva ao constante aumento de temperatura devido ao aquecimento global, desde a década de 90 em que Pinder realizou seu estudo, até os dias de hoje. Segundo IPCC (2007), as temperaturas globais de superfície provavelmente aumentarão no intervalo entre 1,1 e 6,4°C entre 1990 e 2100.

5.2.2. Sensoriamento térmico e digital

O método, utilizando a câmera digital para fotografias sequenciais e a câmera térmica para filmagem, ambas acopladas a uma aeronave pequena (Maule M-7) provou ser eficiente em levantamentos da fauna silvestre, mesmo através de poucas amostragens. Sobrevoando a 120m de altura, notou-se no momento dos voos que os cervos e outras espécies identificadas não era influenciados pela passagem da aeronave, talvez pela altura de voo, velocidade ou também pelo nível de ruído produzido pela aeronave não ser suficiente para incomodá-los (FRANKE et al. 2012), ao contrário de helicópteros que são particularmente estressantes para espécies de ungulados (BLEICH et a. 1990).

Tendo como base os estudos da década de 90, como de Garner et al. (1995), e início dos anos 2000, como o de Haroldson et al. (2003), a busca ativa por animais foi também padrão em todos os voos realizados na Cisalpina. Esse método, bastante usado também nos levantamentos aéreos convencionais, resulta na vantagem de que grandes áreas sejam amostradas e que ocorra um provável aumento na taxa de detecção.

Haroldson et al. (2003), estudando veado de rabo branco em terras privadas no Missouri, utilizaram dois operadores em suas buscas com a tarefa de direcionar

manualmente câmeras térmicas em voo. Incluindo também uma técnica chamada *panning*, na qual o operador gira a câmera de forma a captar mais área e sobre outras perspectivas, os resultados acabaram sendo inconsistentes, pois não havia um trabalho sistemático entre ambos e o contraste térmico era variável. A partir disso, a escolha da utilização das câmeras fixas na base da haste da asa em transectos predefinidos, trouxe benefícios referentes à exclusão de vieses provindos de operadores durante as amostragens, além do armazenamento digital de todas as imagens para novas interpretações futuras.

A preferência pelas primeiras horas do dia para a captação das imagens foi em razão de minimizar os efeitos da radiação solar nas imagens térmicas e facilitar as interpretações. Ainda assim, objetos como pedras, tronco de árvores e cupinzeiros já se mostravam relativamente quentes nesses horários. Para as regiões tropicais, as altas temperaturas são uma problemática na utilização de câmeras térmicas, mas para regiões de climas mais frios, isso se torna um fator mais fácil de lidar.

Franke et al. (2012), estudando ungulados em parques da Alemanha, constatou que os resultados da câmera térmica foram melhores perto do meio dia, horário quase impossível de se trabalhar no Brasil. Ainda, as diferenças de temperatura (ΔT s) entre ambiente e animal no inverno a -13°C com cobertura de neve eram menores do que nos voos de verão onde as temperaturas chegavam a 20°C , corroborando novamente com Parker et al (1972), a respeito da tendência de ungulados em conservar mais calor ao invés de emití-lo em situações de frio extremo.

Outra questão relevante na escolha do período da manhã foi a utilização da câmera digital para identificação. Apesar de o período noturno ser o melhor horário para a câmera térmica, devido a uma diferença maior de temperatura entre animal e ambiente e interferência mínima de radiações (FRANKE et al. 2012), a digital não conseguiria trabalhar bem, resultando por consequência em imagens escuras e pouco nitidas. Além disso, as análises comparativas com os voos convencionais de manhã seriam comprometidas.

A maior detectabilidade de cervos em solo pelas câmeras em relação ao método convencional reforça um fator que está presente em todas as estimativas feitas pelo último: os erros de visibilidade do olho humano. Esses erros são resultados de perdas

de animais pelo observador ocasionado por fadiga, condições de tempo ruins ou pela própria dificuldade em visualizar o animal do avião (POLLOCK & KENDALL 1987).

Entre as câmeras, pode-se dizer que o fator de correção para o erro de visibilidade estava inserido na câmera térmica, responsável por nos dizer aonde o animal se encontrava na paisagem. Desse modo, as chances foram maiores em visualizar não somente cervos, mas também outras espécies homeotérmicas de grande porte. Mesmo com essa eficácia, também houve pontos de calor na paisagem que se mostraram ser fontes de erro nas análises posteriores, como corpos d'água (reflexo da luz) e cupinzeiros, dificultando a interpretação nas imagens térmicas. Contudo, esses mesmos pontos foram facilmente identificados nas fotografias digitais de alta resolução.

Com 54.2% dos 48 pontos de calor submetidos à prova, os cervos obtiveram uma densidade superior ao método convencional, o qual contou com o quádruplo de área amostrada. Mesmo dividindo as quatro amostragens convencionais em dois eventos separados (ambos com transectos pares e ímpares) para comparação com o único evento do método térmico/digital, suas densidades ainda ficaram abaixo dos 0.75 cervos/km², corroborando com as informações acima.

Esses três eventos citados (dois convencionais e um térmico/digital), quando analisados seus registros de cervos em todos os transectos em conjunto (Figura 10), pôde-se comprovar uma leve tendência a não ocuparem os transectos mais pertos das bordas leste e oeste. Na borda leste, limitada pelo Rio Paraná, a alta porcentagem de águas profundas na paisagem dificulta a presença de cervos, assim como a oeste onde os ambientes são mais secos e próximos de zonas rurais. Segundo Mauro et al. (1995), o cervo do pantanal é uma espécie generalista em termos de utilização de comunidades de plantas, porém é especialista com relação a profundidade da água, preferindo fortemente lugares com cerca de 70cm de profundidade.

Com resultados satisfatórios obtidos pelas câmeras, ainda há limites para que se possa usá-las com eficiência em amostragens aéreas. Espécies de mamíferos com tamanho corpóreo menor, além de hábitos discretos e florestais, correm o risco de terem suas populações subestimadas (FRANKE et al. 2012). Aliado a isso, a presença de cobertura vegetal dificulta ainda mais pela não penetração de raios infravermelhos na vegetação, escondendo possíveis pontos de calor (NAUGLE et al. 1996), ou

também camuflando-os, através do calor preso abaixo das copas, produzindo assinaturas brilhantes envolta da base das árvores e escondendo às pertencentes aos animais envolta delas (DUNN et al. 2002).

5.2.3. Custos

Apesar das dificuldades citadas anteriormente, as câmeras se mostraram um método de melhor custo-benefício do que o convencional utilizando dois observadores, com resultados superiores na detectabilidade e densidades de indivíduos e grupos, mesmo sobrevoando $\frac{1}{4}$ dos 136.96km², razão da concentração dos custos que ficaram em R\$310,43/km². Se calculássemos nos mesmos moldes amostrais do método convencional, ou seja, sobrevoando quatro vezes com uma faixa amostral de 200m, as câmeras teriam um custo de R\$146,69/km² (7.4% a mais do que o convencional – R\$135,80/km²).

Comparando qualitativamente diferentes aspectos entre os dois métodos aéreos, e também entre eles e os métodos que foram detalhados na introdução, pôde-se constatar um melhor conjunto de benefícios fornecidos pelo sensoriamento remoto com as câmeras para estudos da fauna silvestre, especialmente de médios e grandes mamíferos. Além da própria eficácia na detecção dos animais, outros aspectos foram levados em conta para a conclusão do custo-benefício (Tabela 8). Um deles são os registros fotográficos produzidos pelas câmeras, documentos que possibilitam analisar mudanças nas populações de grandes mamíferos silvestres ao longo do tempo, assim como também refinam a análise da distribuição de habitats adequados a essas espécies.

Tabela 8. Comparação qualitativa de eficiência entre métodos de levantamento de mastofauna. Legendas: LTe: levantamento terrestre; LAV: levantamento aéreo visual; SR: sensoriamento remoto (câmera térmica + câmera digital); AF: armadilha fotográfica; +: pouco eficiente; ++: eficiência moderada; +++: eficiência elevada.

	Método			
	LTe	LAV	SR	AF
Custos	+++	+++	++	+++
Segurança Operacional	++	+	++	+++
Influência da cobertura vegetal	++	++	++	++
Eficiência na localização da espécie alvo	+	++	+++	++
Mensuração de abundância	++	++	+++	+
Mensuração de riqueza de espécies	+++	+	+	+++
Registro documental das espécies alvo	+	+	+++	+++
Registro documental da paisagem	+	+	+++	+

No caso do cervo na Fazenda Cisalpina, podemos quantificar áreas de várzea (ambientes favoráveis) e áreas savânicas ou florestais (ambientes menos ou não favoráveis). Com isso, essa avaliação pode proporcionar um entendimento mais detalhado dos padrões de distribuição da espécie na paisagem. Outra vantagem dos voos com as câmeras, se comparado ao método aéreo convencional, é o ganho de segurança que se pode ter ao voar em alturas maiores dos que os 60m, protegendo vidas humanas e consequentes acervos de conhecimento.

Especificamente para os equipamentos térmicos, sua ascensão atual para estudos conservacionistas se deveu muito à portabilidade e custos reduzidos (MCCAFFERTY 2007). Contudo, apesar de opiniões diversas, na década de 90 já se tinha bons resultados da utilização de câmeras térmicas nas amostragens aéreas, fornecendo estimativas confiáveis de densidade (NAUGLE et al. 1996), além de um melhor custo benefício em relação a levantamentos aéreos tradicionais segundo Adams (1995), através de um estudo com alces.

Essa tecnologia, devido seu desenvolvimento rápido nos últimos anos, influenciou o barateamento e aperfeiçoamento de equipamentos úteis para estudos conservacionistas, em especial para a vida selvagem, assim abrindo portas para que novas análises e formas de obter resultados se desenvolvessem. Desse modo, e com perspectivas para o futuro, podemos destacar a evolução dos VANTs, os quais são aeronaves guiadas a distancia (Anexo C). Incluindo essas perspectivas para a continuidade do presente estudo, podemos ainda destacar a utilização dos VANTs juntamente com o desenvolvimento de algoritmos, facilitando a relação dos pontos quentes dos filmes térmicos com as imagens digitais.

6. CONCLUSÕES

As estimativas obtidas pelo método convencional para os cervos na Fazenda Cisalpina, revelaram uma relativa manutenção de sua população ao longo do tempo, mesmo sofrendo pressões humanas relacionadas a queimadas, drenagens clandestinas e a expansão de zonas rurais. Além disso, o maior número de cervos vistos no período da manhã, ressaltando a preferencia do animal a ambientes abertos nas primeiras horas do dia, pode servir de subsídio para que outros trabalhos de mesma natureza, com cervos, aprimorem seus estudos nesse período.

Na comparação dos resultados entre os métodos, as câmeras mostraram uma superioridade na detectabilidade dos cervos, e por consequência influenciando em suas estimativas populacionais. E, juntamente com os custos de execução de ambos, concluiu-se que as câmeras foram de melhor custo benefício para o estudo dos cervos na Fazenda Cisalpina.

A não dependência em ter que manusear as câmeras para capturar as imagens foi um fator positivo para que evitasse vieses por interferência humana. Contudo, situações adversas antes levantadas por autores utilizando equipamento térmico na década de 90 e início dos anos 2000 ainda são enfrentadas, como a presença de cobertura vegetal, impedindo os raios infravermelhos de atravessar e capturar assinaturas térmicas abaixo dela.

O sensor térmico, juntamente com uma câmera digital de alta resolução, se mostraram eficientes no estudo da vida selvagem, em especial o cervo do pantanal.

Possuindo a vantagem de estudar extensas áreas em um curto espaço de tempo, ao contrário de métodos como contagens em estradas e trilhas, a combinação desses equipamentos não deixou dúvidas referentes a seu desempenho, tornando-o confiável e transparente. A natureza não invasiva desse método para os animais contribui para o contínuo fornecimento de bases para aplicações futuras, mostrando que pode ser usado para responder muitas questões científicas, além de ser totalmente replicável.

Por fim, a flexibilidade desses equipamentos quanto a seus tamanhos relativamente pequenos para fixação ou manuseio e a possibilidade de lentes intercambiáveis, os tornam aptos a serem usados em diferentes situações de ambiente e transporte. Além disso, os registros fotográficos obtidos em todo o estudo fornecem provas documentais e permanentes não só referentes a ocorrência e abundância da(s) espécie(s) alvo(s) na ocasião do estudo, mas também proporciona questões como meios de auditoria/verificação em procedimentos de licenciamento ou judiciais, linhas de base para monitoramentos futuros, e registro/monitoramento da paisagem e de sua evolução ao longo do tempo, compondo assim uma série histórica de dados da área estudada.

Com essas informações, e em posse de resultados consistentes, entidades governamentais e não governamentais (ONGs) estarão mais confortáveis em dar um rumo mais certo aos escassos recursos para que tanto espécies quanto habitats de maior risco possam ser mais bem defendidos. Assim, torna-se mais viável a antecipação dos problemas, combatendo-os antes que se tornem críticos e economicamente difíceis de corrigir.

7. REFERÊNCIAS

- ADAMS, K. P. 1995. Evaluation of moose population monitoring techniques and harvest data in New Hampshire. Thesis, University of New Hampshire, Durham, USA.
- ADDISON, R. B. 1972. The possible use of infrared thermal imagery for wildlife census. *Proceedings of the North American Moose Conference Workshop*, 8: 301–325.
- AIYEDUN, J. O. & OLUGASA, B. O. 2012. Use of aerial photograph to enhance dog population census in Ilorin, Nigeria. *Sokoto Journal of Veterinary Sciences*, 10(1): 22-42.

- ANDRADE, F. B.; ALÉSSIO, J. D.; RODRIGUES, M. L. M.; FEITOSA, M. V.; PERETTI, C. L. & MUSTAFÁ, A. L. 2009. Plano de manejo para a Reserva Cisalpina em Brasilândia/MS: metodologia e planejamento adotado. CESP, 11 p.
- ANDRIOLO, A.; PIOVEZAN, U.; COSTA, M. J. R. P.; LAAKE, J. & DUARTE, J. M. B. 2005. Aerial line transect survey to estimate abundance of marsh deer (*Blastocerus dichotomus*) (Illiger, 1815). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(5): 807-814.
- ANDRIOLO, A.; MARTINS, C. C. A.; ENGEL, M. H.; PIZZORNO, J. L.; MÁS-ROSA, S.; FREITAS, A. C.; MORETE, M. E. & KINAS, P. G. 2006. The first aerial survey to estimate abundance of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the breeding ground off Brazil (Breeding Stock A). *J. Cetacean Res. Manage*, 8(3): 307-311.
- APOLLONIO, M.; ANDERSEN, R. & PUTMAN, R. 2010. European ungulates and their management in the 21st century. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 618p.
- BAKÓ, G.; TOLNAI, M. & TAKÁCS. 2014. Introduction and testing of a monitoring and colony-mapping method for waterbird populations that uses high-speed and ultra-detailed aerial remote sensing. *Sensors*, 14: 12828-12846.
- BALDACCI, A.; CARRON, M. & PORTUNATO, N. 2005. Infrared detection of marine mammals. Technical Report SR-443, North Atlantic Treaty Organization Undersea Research Center, La Spezia, Italy.
- BAYLISS, P. & YEOMANS, K. M. 1989. Correcting bias in aerial survey population estimates of feral livestock in Northern Australia using double count technique. *Journal of Applied Ecology*, 26: 925-933.
- BAYLISS, P.; YEOMANS, K. M. 1990. Use of aerial photography to correct bias in aerial survey estimates of magpie goose and whistling duck density in the Northern Territory. *Australian Wildlife Research*, Victoria, 17: 1-10.
- BECKER, M. & DALPONTE, J. C. 1991. Rastros de mamíferos silvestres brasileiros: um guia de campo. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 180p.
- BETKE, M.; HIRSH, D. E.; MAKRIS, N. C.; McCracken, G. F.; PROCOPIO, M.; HRISTOV, N. I.; TANG, S.; BAGCHI, A.; REICHARD, J. D.; HORN, J. W.; CRAMPTON, S.; CLEVELAND, C. J. & KUNZ, T. H. 2008. Thermal imaging reveals significantly

smaller Brazilian free-tailed bat colonies than previously estimated. *Journal of Mammalogy*, 89(1): 18-24.

BIDER, J. R. 1968. Animal activity in uncontrolled terrestrial communities as determined by sand transect technique. *Ecological Monographs*, 38(4): 269-308.

BLEICH, V. C.; BOWYER, R. T.; PAULI, A. M.; VERNOY, R.L. & ANTHES, R. W. 1990. Responses of mountain sheep to helicopter surveys. *California Fish and Game*, 76: 197-204.

BOONSTRA, R.; KREBS, C. J.; BOUTIN, S. & EADIE, J. M. 1994. Finding mammals using far-infrared thermal imaging. *Journal of Mammalogy*, 75: 1063–1068.

BUCKLAND, S. T.; ANDERSON, D. R.; BURNHAM, K. P.; LAAKE, J. L.; BORCHERS, D. L. & THOMAS, L. 2001. Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations. Oxford University Press, 432 p.

CARRETTA, J. V. & FORNEY, K. A. 1993. Report of the two aerial surveys for marine mammals in California coastal waters utilizing a NOAA DeHavilland twin otter aircraft, march 9-april 7, 1991 and February 8-april 6, 1992. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Science Center.

CARRILO, E.; WONG, G. & CUARÓN, A. D. 2000. Monitoring mammal population in Costa Rican protected áreas under diferente hunting restrictions. *Conservation Biology*, 14(6): 1580-1591.

CAUGHLEY, G. & GRIGG, G. C. 1981. Surveys of the distribution and density of kangaroos in the Pastoral Zone of South Australia, and their bearing on the feasibility of aerial survey in large and remote areas. *Aust. Wildl. Res.*, 8: 1-11.

CAUGHLEY, G.; GRICE, D. 1982. A correction factor for counting emus from the air, and its application to counts in Western Australia. *Australian Wildlife Research*, Victoria, 9: 252-259.

CULLEN, L. & RUDRAN, R. 2006. Transectos lineares na estimativa de densidade de mamíferos e aves de médio e grande porte, p. 169-179. *In*: CULLEN, L.; RUDRAN, R. & VALLADARES-PADUA, C. (Orgs.). Métodos de estudos em biologia da conservação & manejo da vida Silvestre. 2 ed. Curitiba: Ed. Universidade Federal do Paraná, 652 p.

- COOK, R. D. & JACOBSON, J. O. 1979. A design for estimating visibility bias in aerial surveys. *Biometrics*, 35(4): 735-742.
- DIRZO, R. & MIRANDA, A. 1990. Contemporary neotropical defaunation and forest structure, function, and diversity – A sequel to John Terborgh. *Conservation Biology*, 4(4): 444-447.
- DRAKE, D.; AQUILA, C. & HUNTINGTON, G. 2005. Counting a suburban deer population using Forward-Looking Infrared radar and road counts. *Wildlife Society Bulletin*, 33: 656-661.
- DUNFORD, R.; MICHEL, K.; GAGNAGE, M.; PIÉGAY, H. & TRÉMELO, M. L. 2009. Potential and constraints of unmanned aerial vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. *International Journal of Remote Sensing*, 30(19): 4915-4935.
- DUNN, W. C.; DONNELLY, J. P. & KRAUSMANN, W. S. 2002. Using thermal infrared sensing to count elk in the southwestern United States. *Wildlife Society Bulletin*, 30: 963–967.
- EPPELRY, S. P. & BRAUN, J. & CHESTER, A. J. 1995. Aerial surveys for sea turtles in North Carolina inshore waters. *Fishery Bulletin*, 93: 254-261.
- FRANKE, U.; GOLL, B.; HOHMANN, U. & HEURICH, M. 2012. Aerial ungulate surveys with a combination of infrared and high-resolution natural colour images. *Animal Biodiversity and Conservation*, 35(2): 285-293.
- FREI, M. N.; PETERSON, J. S. & HALL, J. R. 1979. Aerial census of wild horses in western Utah. *Journal of Wildlife Management*, 32: 8–11.
- GARMESTANI, A. S.; PERCIVAL, H. F. & PORTIER, K. M. 2001. Evaluation of helicopter survey as a method of assessing sea turtle nesting distribution in the Ten Thousand Islands of Florida. *Marine Turtle Newsletter*, 93:1-5.
- GARNER, D. L.; UNDERWOOD, H. B. & PORTER, W. F. 1995. Use of modern infrared thermography for wildlife population surveys. *Environmental Management*, 19(2): 233-238.
- GAUTHREAUX, S. A. & LIVINGSTON, J. W. 2006. Monitoring bird migration with a fixed-beam radar and a thermal-imaging camera. *J. Field Ornithol.*, 77(3): 319-328.

GETZIN, S.; WIEGAND, K. & SCHONING, I. 2012. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 397-404.

GILMER, D. S.; BRASS, J. A.; STRONG, L. L. & CARD, D. H. 1988. Goose counts from aerial photographs using an optical digitizer. *Wildlife Society Bulletin*, 16:204–206.

GRABER, J. 2011. Land-based infrared imagery for marine mammal detection. Dissertation (Master of Science in Mechanical Engineering), University of Washington, 95p.

GRIGG, G. C.; BEARD, L. A.; ALEXANDER, P.; POPLER, A. R. & CAIRNS, S. C. 1999. Aerial survey of kangaroos in South Australia 1978-1998: a brief report focusing on methodology. *Australian Zoologist*, 31(1): 292-300.

GRZIMEK, M. & GRZIMEK, B. 1960. Flamingoes censused in East Africa by aerial photography. *The Journal of Wildlife Management*. 24: 215–217.

GUENZEL, R. J. 1994. Adapting new techniques to population management, Wyoming's pronghorn experience. *Transactions of the North American Wildlife and Natural Resources Conference*, 59:189-200.

HAROLDSON, B. S.; WIGGERS, E. P.; BERINGER, J.; HANSEN, L. P. & McANINCH, J. B. 2003. Evaluation of aerial thermal imaging for detecting white-tailed deer in a deciduous forest environment. *Wildlife Society Bulletin*, 31(4): 1188-1197.

HAVENS, K. J. & SHARP, E. J. 1998. Using thermal imagery in the aerial survey of animals. *Wildlife Society Bulletin*, 26(1): 17-23.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 996p.

JACHMANN, H. 2001. Estimating abundance of african wildlife – an aid to adaptive management. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.

JACHMANN, H. 2002. Comparison of aerial counts with ground counts for large African herbivores. *Journal of Applied Ecology*, 39: 841-852.

- JAMESON, R. J. & JEFFRIES, S. 2010. Results of the 2010 survey of the reintroduced sea otter population in Washington State. Washington Department of Fish and Wildlife, 7p.
- JURDAK, R.; ELFES, A.; KUSY, B.; TEWS, A.; HU, W.; HERNANDEZ, E.; KOTTEGE, N. & SIKKA, P. 2015. Autonomous surveillance for biosecurity. *Trends in Biotechnology*, 33: 201-207.
- KINGSFORD, R. T. 1999. Aerial survey of waterbirds on wetlands as a measure of river and floodplain health. *Freshwater Biology*, 41: 425-438.
- KINZEL, P.; NELSON, J.; PARKER, R. & DAVIS, L. 2006. Spring census of mid-continent sandhill cranes using aerial infrared videography. *The Journal of Wildlife Management*, 70(1): 70-77.
- KOSKI, W. R.; THOMAS, T. A.; FUNK, D. W. & MACRANDER, A. M. 2013. Marine mammal sightings by analysts of digital imagery versus aerial surveyors: a preliminary comparison. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 1(1): 25-40.
- LEE, K. 2004. Development of unmanned aerial vehicle (UAV) for wildlife surveillance. Thesis (Master of Science), University of Florida, 87 p.
- MAGNUSSON, W.; CAUGHLEY, G. J. & GRIGG, G. C. 1978. A double survey estimate of population size from incomplete counts. *Journal of Wildlife Management*, 42: 174-176.
- MAURO, R. A.; MOURÃO, G. M.; SILVA, M. P.; COUTINHO, M. E.; TOMAS, W. M. & MAGNUSSON, W. W. 1995. Influência do habitat na densidade e distribuição de cervo (*Blastocerus dichotomus*) durante a estação seca, no Pantanal Matogrossense. *Revista Brasileira de Biologia*, 55(4): 745-751.
- MAURO, R. A.; MOURÃO, G. M.; COUTINHO, M. E.; SILVA, M. P. & MAGNUSSON, W. E. 1998. Abundance and distribution of marsh deer *Blastocerus dichotomus* (Artiodactyla: Cervidae) in the Pantanal, Brazil. *Rev. Ecol. Lat. Am.*, 5: 13-20.
- MCCAFFERTY, D. J. 2007. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. *Mammal Review*, 37(3): 207-223.
- MEANLEY, B. 1965. The roosting behavior of the red-winged black-bird in the southern United States. *The Wilson Bulletin*, 77(3): 217-228.

- MENESES, P. R. 2012. Princípios de sensoriamento remoto, p. 1-33. In: MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. (Orgs.). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília, 266 p.
- MOHD-AZLAN J. 2009. The use of camera traps in Malaysian rainforests. *Journal of Tropical Biology and Conservation*, 5: 81-86.
- MORGAN, J. L.; GERGEL, S. E. & COOPS, N. C. 2010. Aerial photography: a rapidly evolving tool for ecological management. *BioScience*, 60(1): 47-59.
- MOURÃO, G. M.; BAYLISS, P.; COUTINHO, M. E.; ABERCROMBIE, C. L. & ARRUDA, A. 1994. Test of an aerial survey for caiman and other wildlife in the Pantanal, Brazil. *Wildlife Society Bulletin*, 22: 50-56.
- MOURÃO, G. M. & CAMPOS, Z. 1995. Survey of broad-snouted caiman *Caiman latirostris*, marsh deer *Blastocerus dichotomus* and capybara *Hydrochaeris hydrochaeris* in the area to be inundated by Porto Primavera Dam, Brazil. *Biological Conservation*, 73: 27-31.
- MOURÃO, G. M.; COUTINHO, M.; MAURO, R.; CAMPOS, Z.; TOMAS, W. M. & MAGNUSSON, W. 2000. Aerial surveys of caiman, marsh deer and pampas deer in the Pantanal wetland of Brazil. *Biological Conservation*, 92(2): 175-183.
- MOURÃO, G. M.; COUTINHO, M. E.; MAURO, R. A.; TOMAS, W. M. & MAGNUSSON, W. 2002. Levantamentos aéreos de espécies introduzidas no Pantanal: porcos ferais (porco monteiro), gado bovino e búfalos. Corumbá: Embrapa Pantanal, 22 p.
- MOURÃO, G. M. & MAGNUSSON, W. E. 2004. Uso de levantamentos aéreos para o manejo de populações silvestres. Corumbá: Embrapa Pantanal, 20 p.
- NAUGLE, D. E.; JENKS, J. A. & KERNOHAN, B. J. 1996. Use of thermal infrared sensing to estimate density of white-tailed deer. *Wildlife Society Bulletin*, 24: 37-43.
- NEGRÃO, M. F. F. & VALLADARES-PADUA, C. 2006. Registros de mamíferos de maior porte na Reserva Florestal do Morro Grande, São Paulo. *Biota Neotropica*, 6(2): 1-13.
- NOVAK, M. & GARDNER, J. 1975. Accuracy of moose aerial surveys. *Transactions of the North American Moose Conference*, 11:154-179.
- OLSON, D. P. 1964. The use of aerial photographs in studies of marsh vegetation. Bulletin 13, Technical Series, *Maine Agricultural Experiment Station*, 62 p.

- OWENS, E. H. & REIMER, P. D. 1991. Aerial videotape shoreline surveys for oil spill reconnaissance, documentation, and mapping. *International Oil Spill Conference. American Petroleum Institute, Washington, DC.*, 601-605.
- PARDINI, R.; DITT, E. H.; CULLEN, L.; BASSI, C. & RUDRAN, R. 2006. Levantamento rápido de mamíferos de médio e grande porte, p. 181-201. *In: CULLEN, L.; RUDRAN, R. & VALLADARES-PADUA, C. (Orgs.). Métodos de estudos em biologia da conservação & manejo da vida Silvestre. 2 ed. Curitiba: Ed. Universidade Federal do Paraná, 652 p.*
- PARKER, H. D. 1972. Airborne infrared detection of deer. Thesis (Phd in Agriculture, forestry and wildlife), Colorado State University, Fort Collins, 186 p.
- PAŠAGIĆ, V.; MUŽEVIĆ, M. & KELENC, D. 2008. Infrared thermography in marine applications. *Brodogradnja*, 59(2): 123-130.
- PIANCA, C. C. 2004. A caça e seus efeitos sobre a ocorrência de mamíferos de médio e grande porte em áreas preservadas de Mata Atlântica na Serra de Paranapiacaba (SP). Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 74p.
- PIENAAR, U. V.; VAN WYK, P. & FAIRALL, N. 1966. An aerial census of elephant and buffalo in the Kruger National Park, and the implications thereof on intended management schemes. *Koedoe*, 9: 40–107.
- PINDER, L. 1996. Marsh deer *Blastocerus dichotomus* population estimate in the Parana River, Brazil. *Biological Conservation*, 75: 87-91.
- POLLOCK, K. H. & KENDALL, W. L. 1987. Visibility in aerial surveys: A review of estimation procedures. *Journal of Wildlife Management*, 51:502–510.
- REIS, N. R.; JULIO, C. E. A.; PERACCHI, A. L.; ROSSANEIS, B. K. & FREGONEZI, M. N. 2010a. Introdução às técnicas de estudo dos mamíferos silvestres brasileiros, p. 17-20. *In: REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; ROSSANEIS, B. K. & FREGONEZI, M. N. (Orgs.). Técnicas de estudo aplicadas aos mamíferos silvestres brasileiros. 1 ed. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 275 p.*
- REIS, N. R.; GALLO, P. H.; ANDRADE, F. R. & PERACCHI, A. L. 2010b. Técnicas de estudo de mamíferos de médio porte, de grande porte e não voadores de pequeno porte, p. 212-224. *In: REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; ROSSANEIS, B. K. &*

- FREGONEZI, M. N. (Orgs.). Técnicas de estudo aplicadas aos mamíferos silvestres brasileiros. 1 ed. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 275 p.
- REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A. & LIMA, I. P. 2011. Mamíferos do Brasil. Nélío R. dos Reis, Londrina, 2 ed, 439p.
- RING, E. F. J. & AMMER, K. 2000. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermology International* 10(1): 7-14.
- SABOL, B. M. & HUDSON, M. K. 1995. Technique using thermal infrared-imaging for estimating populations of gray bats. *Journal of mammalogy*, 76(4): 1242-1248.
- SANDERSON, J. G. & TROLLE, M. 2005. Monitoring elusive mammals – unattended cameras reveal secrets of some of the world’s wildest places. *American Scientist*, 93: 148-155.
- SANTOS-FILHO, M. & SILVA, M. N. F. 2002. Uso de habitats por mamíferos em área de Cerrado do Brasil Central: um estudo com armadilhas fotográficas. *Rev. Bras. Zootecias*, 4(1): 57-73.
- SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J. & MARGULES, C. R. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 5(1): 18-32.
- SILVEIRA, L.; JÁCOMO, A. T. A. & DINIZ-FILHO, J. A. 2003. Camera trap, line transect census and track surveys: a comparative evaluation. *Biological Conservation*, 114: 351-355.
- SLIDE, J. G. & ZIEWITZ, J. W. 1990. Use of aerial videography in wildlife habitat studies. *Wildlife Society Bulletin*, 18: 56-62.
- SWENSON, J. E.; KNAPP, S. J.; MARTIN, P. R. & HINZ, T. C. 1983. Reliability of aerial cache surveys to monitor beaver population trends on prairie rivers in Montana. *Journal of Wildlife Management*, 47(3): 697-703.
- THOMAS, L.; BUCKLAND, S. T.; BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; LAAKE, J. L.; BORCHERS, D. L. & STRINDBERG, S. 2002. Distance Sampling. In El-Shaarawi AH, Piegorisch WW (eds) *Encyclopedia of Environmetrics*. John Wiley & Sons, Chinchester, 1: 544-552.
- TIEPOLO, L. M. 2002. Levantamento populacional e conservação do cervo-do-pantanal *Blastocerus dichotomus* (Illiger, 1815) (Mammalia, Cervidae) no Parque Nacional de

Ilha Grande (PR/MS). Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 79 p.

TIEPOLO, L. M.; TOMAS, W. M. & LIMA-BORGES, P. A. 2010. Levantamento populacional do cervo do pantanal *Blastocerus dichotomus* (Mammalia, Cervidae) no Parque Nacional de Ilha Grande e entorno: implicações para a conservação. *Iheringia, Sér. Zool.*, 100(2): 111-115.

TOMAS, W. M. 1986. Observações preliminares sobre a biologia do cervo do pantanal (*Blastocerus dichotomus*) (Illiger 1881) (Mammalia Cervidae) no Pantanal de Poconé, MT. Monografia (Especialização em Biologia de Ambientes Inundáveis). Universidade Federal do Mato Grosso, 55 p.

TOMAS, W. M.; BECCACECI, M. D. & PINDER, L. 1997. Cervo do pantanal *Blastocerus dichotomus* p.24-40. In: DUARTE, J. M. B. (Orgs.). Biologia e conservação de cervídeos sul-americanos: *Blastocerus*, *Ozotoceros* e *Mazama*. Jaboticabal, FUNEP, 238 p.

TOMAS, W. M.; SALIS, S. M.; SILVA, M. P. & MOURÃO, G. M. 2001. Distribution of Marsh deer (*Blastocerus dichotomus*) as a function of the floods in the Pantanal wetland, Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 36(1):9-13.

TOMAS, W. M. & MIRANDA, G. H. B. 2006. Uso de armadilhas fotográficas em levantamentos populacionais, p. 243-284. In: CULLEN, L.; RUDRAN, R. & VALLADARES-PADUA, C. (Orgs.). Métodos de estudos em biologia da conservação & manejo da vida Silvestre. 2 ed. Curitiba: Ed. Universidade Federal do Paraná, 652 p.

VOSS, R. S. & EMMONS, L. H. 1996. Mammalian diversity in Neotropical lowland rainforests: a preliminary assessment. *American Museum of Natural History*, 115 p.

WALTER, M. J. & HONE, J. 2003. A comparison of 3 aerial survey techniques to estimate wild horse abundance in the Australian Alps. *Wildlife Society Bulletin*, 31(4): 1138-1149.

WIGGERS, E. P. & BECKERMAN, S. F. 1993. Use of thermal infrared sensing to survey white-tailed deer populations. *Wildlife Society Bulletin*, 21: 263-268.

WILD, W. 2007. Application of infrared thermography in civil engineering. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, 13(4): 436-444.

WULDER, M. 1998. Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters. *Progress in Physical Geography*, 22(4): 449-476.

ZIELINSKI, W. J. & KUCERA, T. E. 1995. American Marten, Fisher, Lynx, and Wolverine: Survey methods for their detection. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-157. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 163 p.

ANEXO A

HISTÓRICO DO PROJETO

Através do anseio de se entender mais sobre a dinâmica populacional de diferentes espécies da fauna silvestre, aliado a grande pressão que os ambientes naturais vêm sofrendo devido a diferentes ações antrópicas, a Divisão de Gerenciamento Ambiental de Ecossistemas (GAE), vinculada à Companhia Energética de São Paulo (CESP), propôs o projeto “Aplicação e Sensoriamento Remoto no Levantamento de Grandes Mamíferos Silvestres”, submetido e posteriormente aprovado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no âmbito do Programa Anual de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico, de acordo com as Leis nº 9.991 de 24 de julho de 2000 e nº 10.848 de 15 de março de 2004. Iniciado no dia 27 de fevereiro de 2014 e com previsão de término previsto para fevereiro de 2016, o projeto conta com a participação da CESP, responsável pelo fornecimento dos recursos financeiros, e do Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ), responsável pela execução, de acordo com o Convênio de Cooperação Técnico-Científico estabelecido por ambos no dia 28 de dezembro de 2013. Para a realização do projeto, a Fazenda Cisalpina, pertencente a CESP, foi escolhida por possuir as características ideais para a utilização de um método com base em sensoriamento remoto.

A Fazenda Cisalpina, situada no estado do Mato Grosso do Sul às margens do rio Paraná, possui um sistema hidrológico bastante complexo e uma estrutura vegetacional que se assemelha ao Pantanal Matogrossense, chamado de várzea. De habitats relativamente abertos, relevo plano e abrigo de muitas espécies importantes para o projeto, como a onça-pintada (*Panthera onca*), onça-parda (*Puma concolor*), cervo-do-pantanal (*Blastocerus dichotomus*) e anta (*Tapirus terrestris*), a Fazenda Cisalpina foi escolhida para ser palco de uma iniciativa importante na conservação da fauna silvestre, através da utilização de um método não convencional chamado termografia.

Acoplado a uma aeronave, dispositivos de termografia teriam as tarefas de mapear um dado limite de espaço e detectar termicamente nele populações

homeotérmicas de espécies silvestres, como já foi feito nos anos 90 (BOONSTRA et al. 1994; NAUGLE et al. 1996) e início dos anos 2000 (DUNN et al. 2002; DRAKE et al. 2005) na América do Norte. Para que a ideia fosse possível, a integração das empresas Algar (responsável pelo fornecimento dos dispositivos térmicos FLIR) e da Agape Imagem (responsável pelas aeronaves) foi importante não só pelo fornecimento dos equipamentos, mas também pela inclusão de novos pontos de vista a respeito da utilização da termografia. Paralelamente a todo esse processo, uma equipe da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), liderada por Bruno Bradoli, foi solicitada para desenvolver algoritmos de reconhecimento para algumas espécies da fauna silvestre, os quais posteriormente seriam importantes na detecção e identificação de espécies escaneadas pelo sensor térmico.

Com todos os atores cientes de suas responsabilidades, foram marcados nos dias 15 e 16 de abril de 2014 dois testes para analisar a eficiência dos dispositivos térmicos FLIR cedidos pela Algar, sendo um acoplado a aeronave (FLIR A615) e outro utilizado manualmente no solo (FLIR E60). No dia 15, o teste foi realizado no Centro de Conservação da Fauna Silvestre administrada pela CESP em Ilha Solteira/São Paulo.

A equipe aérea realizou oito passagens por um transecto pré-estabelecido acima dos recintos, posicionando a aeronave em uma altura de 100m acima do solo a uma velocidade de 130 a 150 km/h, com a câmera térmica atuando a 50 fps (*frames per second*/quadros por segundo) e com lente de 45°. A equipe de solo percorreu a pé os recintos dos médios e grandes mamíferos, registrando os *body shapes* de diferentes espécies para o desenvolvimento de algoritmos para cada uma. Espécies como a onça-pintada (*Panthera onca*), onça-parda (*Puma concolor*), cervo do pantanal (*Blastocerus dichotomus*), queixada (*Tayassu pecari*), anta (*Tapir terrestris*) e lobo guará (*Chrysocyon brachyurus*) foram mapeadas nesse processo. Após o senso, as imagens foram analisadas pelas equipes através do software da FLIR.

Devido às condições climáticas nesse dia, o transecto foi percorrido por volta das 10h da manhã, horário não indicado devido às altas temperaturas (Boonstra et al., 1994), mesmo com o céu relativamente nublado no momento do teste. Ainda, outros problemas também foram diagnosticados na obtenção das imagens, como a perda de foco da FLIR A615 em alguns momentos dos sobrevoos devido à oscilação da

aeronave, a baixa resolução da FLIR E60 (320 x 240 pixels) em solo e a cobertura vegetal do centro de conservação, a qual era bastante densa para o registro aéreo, dificultando a obtenção dos dados das espécies.

Por isso, no dia 16/04/2014, foram feitos sobrevoos no Centro de Conservação do Cervo do Pantanal em Promissão/SP, local administrado pela CESP e que conta com ambientes mais abertos, o que possibilitou o registro de imagens com mais eficácia. Diferentes alturas foram utilizadas nos sobrevoos (60m, 100m e 130m), objetivando analisar os prós e contras de cada uma, e uma velocidade de voo de 100 a 130km/h com a câmera térmica atuando a 50 fps e lente de 45°. Segundo o Eng. Cássio da empresa Algar, em baixa altura o equipamento perdia o foco com maior facilidade devido à oscilação da aeronave e velocidade da passagem, dificultando refazer a focagem em tempo. Em alturas superiores o equipamento também perdia o foco devido à oscilação, porém era possível corrigir em razão da menor velocidade de passagem em relação ao solo. Com todos esses dados coletados durante os dois dias de teste, foi possível ter uma noção das dificuldades que iríamos enfrentar e, a partir disso foi proposto uma nova reunião para que fossem definidos com melhor exatidão quais seriam os próximos passos do projeto.

Então, no dia 04 de junho de 2014 às 11h da manhã, iniciou-se a reunião na sede da CESP em Três Lagoas. Com representantes de todas as partes envolvidas, a reunião teve como principal foco as dificuldades enfrentadas nos testes de abril (altura e velocidade da aeronave, resolução das imagens térmicas tanto para identificação de espécies em voo quanto para os algoritmos a serem desenvolvidos, outras possibilidades de equipamentos termográficos e fatores climáticos que influenciam a captação das imagens térmicas). Através de apresentações de slides e discussões entre as partes, pôde-se chegar a algumas conclusões importantes como:

(1) as desfocagens que antes se pensava ocorrer devido à oscilação da aeronave, segundo David, o que estava realmente causando a desfocagem do aparelho de termografia era um fenômeno chamado arrasto, ocasionado pela velocidade da aeronave e o ângulo de visão da câmera térmica (vertical), prejudicando assim a qualidade da imagem;

(2) devido ao orçamento fixado pelo projeto, o qual não é grande e por isso tende a fazer os pesquisadores escolherem os melhores equipamentos custo/benefício, as câmeras térmicas disponíveis não conseguem entregar resultados bons, principalmente por causa de suas resoluções baixas, ao passo que as câmeras com características mais sofisticadas, com resoluções maiores, são muito mais caras e difíceis para aquisição devido à burocracia, inviabilizando assim a compra delas;

(3) pelo fato das câmeras térmicas não produzirem os resultados esperados, foi proposto pelo representante da empresa Agape Imagem, David, a utilização de câmeras com imagens digitais de alta resolução. Apesar de ótimos resultados, como mostrado por David, essas câmeras não possuem uma eficácia na detectabilidade de animais silvestres em ambiente natural igual a uma térmica, pois além de não detectar calor, o fator “camuflagem” do animal pode dificultar na utilização delas sozinhas. Por isso, a conclusão de se utilizar as duas metodologias juntas (digital e térmica) foi satisfatório para todas as partes. Assim, as duas câmeras seriam acopladas na aeronave e direcionadas para a mesma faixa visual.

Assim sendo, três métodos de amostragem foram propostos para a coleta dos dados, que são: Método 1. Levantamento aéreo convencional; Método 2. Levantamento aéreo convencional, onde simultaneamente teríamos gravações e frames fotográficos digitais em alta resolução e, preferencialmente, cobrindo uma faixa de 100m laterais a linha de voo; Método 3. Levantamento aéreo convencional, onde simultaneamente teríamos aplicado o Método 2 e, adicionalmente a termografia, cobrindo a mesma faixa de 100 m laterais a linha de voo. Todos os métodos seriam realizados por biólogos experientes tendo como referencial teórico as metodologias aplicadas por Pinder (1996), Tiepolo (2002) e Mourão & Magnusson (2004). No método 3, os objetos detectados e reconhecidos pela termografia e não pelos métodos 1 e 2 seriam considerados para o cálculo do fator de correção (F_c), baseados nas diferenças de contagem entre as metodologias, adicionando mais acurácia às amostragens. Ou seja, aproximaríamos de uma contagem total assumindo que todos os indivíduos dentro da faixa de 100m foram detectados.

Após a reunião e com tarefas distribuídas para todos do projeto, uma nova reunião foi marcada para o dia 07 de agosto de 2014, novamente da sede da CESP em

Três Lagoas, com três objetivos principais: esclarecer sobre quais equipamentos térmicos estão realmente disponíveis e acessíveis no mercado, definir qual equipamento trará melhores resultados para as amostragens e criação dos algoritmos, e marcar um novo teste para analisar as novas ideias.

Na manhã do dia 07 de agosto, na sede da CESP em Três Lagoas, a reunião teve início com um bate papo e uma palestra de Fabio Poggi, representante da Algar juntamente com Leandro Papa. A palestra de Fabio objetivou mostrar e analisar as diferentes opções de câmeras acessíveis e disponibilizadas pela FLIR. Apesar de resultados pouco expressivos no primeiro teste, a câmera térmica modelo A615 da FLIR foi novamente discutida e aprovada por todos para novos testes, visto que serão utilizadas para alertar sobre fontes de calor encontradas, para que aí sim a câmera digital de alta resolução possa trabalhar na identificação dessas fontes. A alternativa de câmera digital mostrada por Fabio, a DNB14TL2 de 2.1MP, foi refutada pelo fato de não possuir uma resolução apropriada, devendo ela ser maior que 10MP, e também pela baixa taxa de frames por segundo (30 fps), podendo ser prejudicada pelas condições de velocidade da aeronave. Ideias como a utilização de câmeras de marcas como Canon e Nikon, as quais são líderes no mercado fotográfico, e câmeras GoPro, pequenas, versáteis e com boa qualidade de imagem, foram postas a mesa para discussão. Além delas, a utilização de VANT's (Veículos Aéreos Não Tripulados) também foi discutido, porém, devido as características e objetivos do projeto, foi descartado nesse momento.

Logo após, Bruno Brandoli e Mauro dos Santos, ambos da equipe UFMS, solicitaram a palavra e fizeram também uma palestra referente à criação dos algoritmos e quais seriam as melhores condições para desenvolvê-los. Devido à baixa qualidade das imagens térmicas, foi proposto que voltassem seus trabalhos para o desenvolvimento de algoritmos para as imagens digitais de alta resolução, com mais chances de sucesso. Ao final de reunião, foi solicitado a equipe da Algar que enviasse por e-mail outras opções de câmeras digitais, até então sem escolha, para os próximos testes em conjunto com a câmera térmica.

Sem avisos prévios, devido à urgência na escolha e utilização das câmeras térmica e digital, foi realizado no dia 30 de janeiro de 2015 um voo teste na Reserva

Cisalpina por membros da CESP e Algar, o qual acabou sendo posteriormente discutido em uma reunião marcada para o dia 25 de fevereiro de 2015.

Com todos os presentes, a reunião do dia 25 teve início tratando sobre os testes realizados no dia 30.01.2015 na Reserva Cisalpina, utilizando uma câmera térmica (A615) e outra digital (Axis P1357-E), ambas acopladas na asa da aeronave SUPER ECHO P 92 (TECNAN) e direcionadas e inclinadas (45°) para a mesma faixa amostral. O teste contou com David e Cássio sobrevoando a reserva várias vezes em alturas que variaram de 114 a 216m e com velocidade média de 150 km/h. A câmera térmica, antes utilizando uma lente de 45°, a partir desse voo começou a trabalhar com uma lente de 35°. Apesar de mais fechada, as imagens eram produzidas com mais nitidez e proximidade.

Devido a alguns contratemplos, alguns membros do projeto não obtiveram as imagens anteriormente a reunião, visualizando-as somente no dia. Por conta disso, no caso do Mauro e equipe UFMS, as imagens serão mais bem avaliadas para que os mesmos, com base nas qualidades das imagens térmicas para o trabalho com os algoritmos, possam sugerir com mais certeza qual a melhor altura para voar no teste seguinte, o qual será no Centro de Conservação do Cervo do Pantanal em Promissão.

Durante a análise das imagens, observamos que apesar das imagens térmicas terem ficado boas e de acordo com o previsto, não obtivemos sucesso ao verificar as imagens digitais (em vídeo), pois os arquivos não abriam, mesmo com posterior ajuda do Cássio nos softwares. Por conta disso, não pudemos fazer uma comparação dos dois tipos de imagens, estando a térmica encarregada de achar o animal e a digital de identificar o animal. Outra questão foi o número de gravações de cada câmera (24 gravações da térmica e seis da digital) que, segundo Cássio, durante os voos a câmera digital estava gravando sem pausas, ao passo que a térmica era pausada algumas vezes, assim influenciando no número de arquivos finais.

Após verificarmos novamente as imagens térmicas, foi observado pela Cristina diferenças na taxa de frames por segundo da câmera no primeiro teste em abril de 2014 (50 fps ou 100 Hz) e no teste de janeiro de 2015 (25 fps ou 50 Hz), ambos os casos utilizando a resolução de 640 x 240). As imagens a 25 fps pareceram ter ficado ligeiramente melhores em termos de qualidade em comparação com as capturadas a

50 fps, o que foi surpresa, visto que quanto maior o fps mais suave o movimento aparece.

Com relação a qual câmera digital utilizar, foi proposta novamente a utilização do equipamento do David, o qual pode entregar um produto de maior qualidade, inclusive em alta resolução, quesito importante para identificar as espécies. Ao final da reunião, foi sugerido a Mauro e assim a equipe UFMS que conferissem melhor as imagens térmicas para que a altura adequada fosse escolhida nos testes seguintes, os quais acabariam por ser definidos na reunião do dia 28 de maio de 2015, provavelmente a última antes dos últimos testes e assim das amostragens definitivas na Reserva Cisalpina.

Com todos os presentes, Guilherme (IPÊ), João e Cristina (CESP), Cassio (Algar), David (Agape), Bruno (UFMS) e Walfrido (Embrapa Pantanal), sendo os dois últimos através de Skype, a reunião do dia 28 teve início discutindo sobre os problemas de sincronização das imagens da câmera térmica e digital dos últimos testes, e, segundo Cassio, isso pode estar relacionado a diferença de protocolos de comunicação das duas câmeras com o software, no qual há uma diferença de inicialização de gravação da câmera digital em relação a câmera térmica. Por conta também desse problema, ficou decidido a troca da câmera digital, aceito por todos já em reuniões anteriores. A troca seria para uma câmera fotográfica digital (marca Canon), a qual possui recursos e qualidade de imagem melhor. Contudo, as imagens dessa nova câmera serão analisadas pelo grupo da UFMS, assim dando um parecer favorável ou não a sua utilização.

Ainda assim, foram marcados os próximos testes, que serão realizados nos dias 24, 25 e 26 de junho, nos quais a câmera térmica FLIR A615, com a lente de 25°acoplada, trabalhará em conjunto com uma câmera digital Canon, assim como a aeronave estará a uma velocidade entorno de 140km/h, velocidade máxima para não haver tanto arrasto nas imagens térmicas, e a uma altura entre 120 e 130m, necessária para que as câmeras e principalmente os observadores consigam amostrar com qualidade. Segundo Walfrido, anteriormente aos testes acima, sobrevoos terão que ser feitos no aeroporto de Presidente Venceslau para regular alguns parâmetros necessários aos testes, como a regulação da faixa amostral das câmeras e dos

observadores, angulação das câmeras e verificar a distorção das imagens nas bordas para poder corrigi-las. Esses sobrevoos no aeroporto, provavelmente no início do mês de junho, serão de suma importância para a qualidade das amostragens teste no final desse mês.

Devido a alguns contratempos de agenda, os voos previstos para o final de junho (24, 25 e 26) acabaram não ocorrendo, mas os voos no início de junho (8, 9 e 10) para testar com mais eficácia o trabalho conjunto entre a câmera digital Canon (modelo Canon SLR EOS 5D MARK II) e a térmica FLIR (modelo A615). Nos presentes dias, David, Cristiana e Cassio estavam envolvidos nos preparos dos testes, além de outro integrante da empresa de David (Agape) como assistente. No dia 8, anteriormente aos voos que ocorreram no período da tarde após as 14h, ajustes do campo de visão das câmeras e adaptações dos suportes das mesmas na fuselagem do avião foram então preparadas. No primeiro voo (duração de 45min), as câmeras foram posicionadas 90° em relação ao solo (visão lateral) e disparadas ainda em solo, sem necessidade de um operador no avião. Contudo, sem saberem o motivo, os vídeos em RAW (formato de arquivo digital) da câmera digital apresentaram alguns problemas, sendo necessária a mudança para fotografias em JPEG. No segundo voo (duração de 25min), a visão das câmeras continuou lateral, mas direcionadas para trás e mais perto da fuselagem para que o cabo disparador da câmera digital chegasse até o operador (assistente da Agape). Por conta do horário avançado e da não possibilidade de redução da velocidade do obturador, as imagens digitais ficaram um pouco escuras. Para que ficasse mais cômodo e com melhores condições e qualidade no monitoramento, foi pesquisado um software (EOS Utility) para que o manuseio da câmera digital pudesse ser feito via computador.

Já no dia 9, em posse do software para manuseio da câmera, foram feitos mais dois voos pela manhã (35min e 25min). Com a Canon tirando fotos e a térmica FLIR filmando, concluiu-se nesse teste que já poderia ser feito um voo em Promissão, a fim de analisar as imagens sobrevoando o local do Centro de Conservação do Cervo do Pantanal, uma das espécies alvo do projeto. No dia 10, após todas as informações coletadas nos dois dias de testes anteriores, foi feito o voo em Promissão pela manhã a uma altura de 120m e com velocidade média de 140km/h. Uma reunião, marcada para

o dia 9 de julho em Três Lagoas, terá como pauta a discussão dos resultados chegados nesses testes e quais parâmetros ainda faltam para ser discutidos e assim começar as amostragens na Fazenda Cisalpina.

Devido à mudança de planos, a reunião do dia 09 de julho acabou não ocorrendo. Porém, um teste foi realizado no dia 16 de julho visando analisar o desempenho de uma GoPro em amostragens nos mesmos moldes das câmeras térmica e digital. Com a presença de Cristina, Laury e David, os resultados evidenciaram limitações da GoPro, sendo logo descartada para o restante do projeto.

Após esse evento, as discussões por e-mail aumentaram, e o principal tema foi a escolha das datas para as amostragens definitivas na Fazenda Cisalpina. Com as recentes ajudas de Walfrido, o qual possui longa experiência com amostragens de fauna via aeronaves, as datas foram discutidas com base na disponibilidade de Walfrido, para que o mesmo pudesse contribuir e estar nas amostragens aéreas.

ANEXO B

INFORMAÇÕES DOS TRANSECTOS NA FAZENDA CISALPINA

Transectos	Latitude	Longitude	Comprimento (km)
1	1A	21°24'23.33"S	19,9
	1B	21°13'50.56"S	
2	2A	21°24'24.52"S	24,6
	2B	21°11'23.13"S	
3	3A	21°24'16.61"S	24,6
	3B	21°11'16.46"S	
4	4A	21°24'0.82"S	24
	4B	21°11'18.75"S	
5	5A	21°23'44.67"S	23,8
	5B	21°11'9.01"S	
6	6A	21°23'30.31"S	22,9
	6B	21°11'22.42"S	
7	7A	21°23'26.70"S	22,8
	7B	21°11'21.74"S	
8	8A	21°23'18.82"S	22,5
	8B	21°11'23.33"S	
9	9A	21°23'5.56"S	22,5
	9B	21°11'10.65"S	
10	10A	21°22'57.73"S	22,3
	10B	21°11'8.19"S	
11	11A	21°22'46.43"S	22,3
	11B	21°10'56.26"S	
12	12A	21°22'33.74"S	21,1
	12B	21°11'24.22"S	
13	13A	21°22'20.59"S	20,1
	13B	21°11'42.58"S	
14	14A	21°22'8.72"S	18,8
	14B	21°12'12.11"S	
15	15A	21°22'3.42"S	17,7
	15B	21°12'40.24"S	
16	16A	21°21'52.01"S	16,8
	16B	21°12'59.15"S	
17	17A	21°21'35.64"S	15,6
	17B	21°13'20.08"S	
18	18A	21°18'11.52"S	12,6
	18B	21°13'46.71"S	
19	19A	21°17'43.81"S	12,9
	19B	21°13'59.88"S	

ANEXO C

VANT

Os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), comumente conhecidos também como *drones*, são veículos que não necessitam de um piloto a bordo para serem guiados, sendo eletronicamente controlados à distância (EISENBEISS 2004). Devido a grande quantidade de modelos variando em tamanho, peso, formato (avião, helicóptero, multi-rotores, dirigíveis ou de asas móveis) (GEMERT et al. 2014) e preços, os VANTs podem ser categorizados em quatro grupos diferentes: micro, pequeno, médio e grande (Figura 16) (LEE 2004). Há também uma ampla diversidade tecnológica envolvendo esses equipamentos, e certos sistemas acabam levando vantagem sobre outros para aplicações específicas. Apesar dessa diversidade, destacam-se dois desses atributos: o imageamento em alta definição (<25cm) , o qual pode ser feito pelos VANTs, e a não necessidade de um especialista na tecnologia de sensores (DUNFORD et al. 2009).

Além de diferentes modelos e diversidade tecnológica, existem inúmeros outros termos usados para se chamar esses veículos, tais como Veículo Remotamente Pilotado (VRP), Aeronave Remotamente Operada (ARO), Sistemas de Veículo Não Tripulado (SVNT), dentre outros. Apesar de só recentemente serem bem conhecidos pela sociedade civil, esses veículos estão conosco há muito tempo (EISENBEISS 2004).

Há quase 95 anos, durante a primeira guerra mundial, sistemas aéreos não tripulados começaram a ser desenvolvidos, como torpedos e bombas aéreas, a fim de criar vantagens no campo de batalha, usando-os primeiramente contra bases submarinas e para quebrar o impasse causado por quatro anos de guerras de trincheiras (KEANE & CARR 2013). Assim, deu-se início ao constante desenvolvimento e aprimoramento de VANTs para serviços militares, através de missões, sensores e munições, na tentativa de fornecer serviços de reconhecimento e ataque para os comandantes nos campos de batalha (KEANE & CARR 2013). Apesar de terem sido criados e ainda serem fortemente impulsionados por serviços militares (BENTO 2008),

os VANTs se tornaram mais acessíveis para a sociedade civil, com aplicações abrangendo desde monitoramento de desastres até trabalhos com fauna.

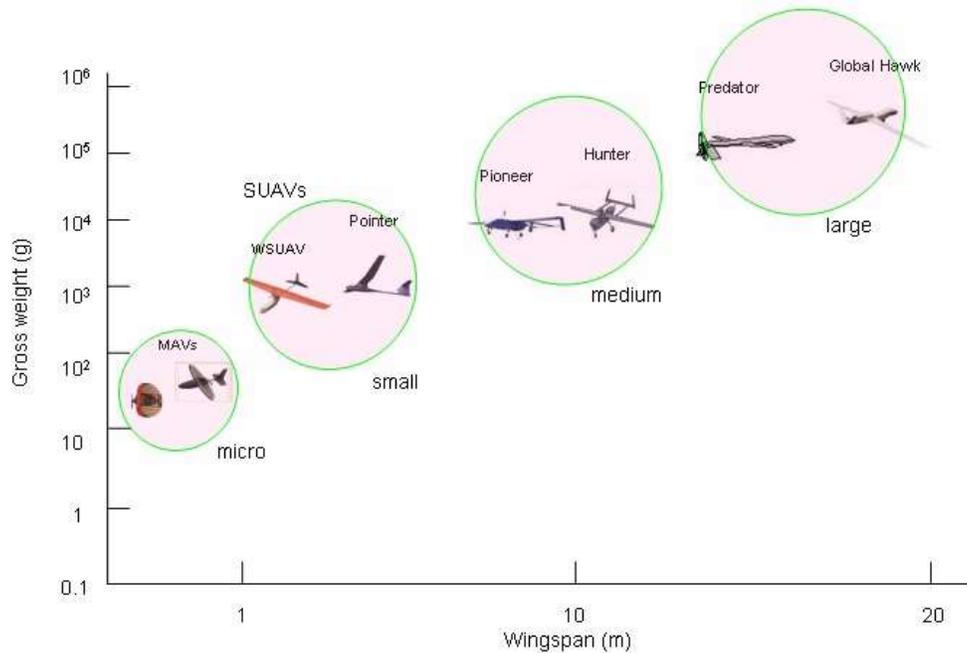


Figura 16. Imagem evidenciando os VANTs divididos em quatro grupos de acordo com seus tamanhos e pesos (LEE 2004).

Segundo Cox et al. (2004), as aplicações civis dos VANTs abrangem quatro categorias: segurança do território, uso comercial, gestão do uso da terra e estudos científicos. A segurança do território engloba questões como patrulhamento de fronteiras (BLAZAKIS 2004) e operações de emergência, como busca e salvamento (CHAVES 2013). Para usos comerciais, os VANTs são destinados a trabalhos de transporte de cargas (MAZA et al. 2010) por exemplo. Já na gestão do uso da terra, os VANT's são utilizados no combate a queimadas (OLLERO et al. 2006), no setor de agronegócio (PRIMICERIO et al. 2012), em monitoramentos, como de erosões no solo (D'OLEIRE-OLTMANNNS et al. 2012), etc. Em estudos científicos, destaca-se os trabalhos de sensoriamento remoto referentes a impactos ambientais (LONGHITANO 2010), sobre estudos climáticos (ROLDÁN et al. 2015) e na biologia da conservação (LEE 2004; KOH & WICH 2012).

No campo da biologia da conservação, os VANTs tem desempenhado importante papel em diferentes frentes, e um dos primeiros registros do uso desses

equipamentos se deu em 1986, quando pesquisadores os utilizaram no monitoramento de queimadas florestais no estado de Montana, devido ao grande e remoto território do estado (NEWCOME 2004). A partir disso, e com os avanços da tecnologia e difusão pela mídia, cientistas começaram a testar os VANTs em suas pesquisas, as quais têm evoluído para dois contextos diferenciados pelo orçamento.

O primeiro contexto refere-se a projetos de larga escala, normalmente conduzidos pela NASA ou NOAA usando médios e grandes VANTs de alto alcance (>25 km) e grande autonomia (>4 horas), com capacidade para carregar sensores avançados. As pesquisas desenvolvidas nesse nível estão relacionadas a mudanças climáticas, estrutura da vegetação, mapeamento topográfico, dinâmica de geleiras, dentre outros (NOAA 2015).

O segundo contexto refere-se a projetos de escala local, geralmente conduzidos por universidades ou centros de pesquisa, utilizando pequenos VANTs de alcance operacional pequeno (<25 km) e baixa autonomia (<4 horas), com capacidade para carregar câmeras de foto ou vídeo RGB, sensores térmicos, sensores meteorológicos, dentre outros. As pesquisas desenvolvidas nesse nível envolvem caracterização de habitat (caracterização de vegetação e paisagem), estudos metodológicos (avanços na tecnologia) e amostragens da vida selvagem (avaliação dos sistemas para detectar diferentes espécies) (ANDERSON & GASTON 2013). Inserido no último contexto, a utilização de VANTs em trabalhos com fauna silvestre vem ganhando bastante terreno, devido à importância de fatores como agilidade e discrição na observação de certos grupos de animais e também devido aos custos financeiros.

Pesquisadores ao redor do mundo, através de VANTs pequenos, baratos e fáceis de montar (Figura 17), ideais para pesquisas em países em desenvolvimento que não possuem grandes investimentos na área da conservação (GEMERT et al. 2014), estão realizando inúmeros estudos em campo com objetivos variados, dentre eles a busca de dados sobre abundância de espécies e atividades que ameaçam suas sobrevivências (KOH & WICH 2012). Há também estudos mais abrangentes englobando várias espécies de uma comunidade, como o trabalho de Getzin et al. (2012), demonstrando de forma efetiva como imagens de alta resolução em VANTs

podem ser usados para avaliar a biodiversidade de sub-bosques em florestas manejadas da Alemanha.

Vermeulen et al. (2013), através de estudo com elefantes na África, comprovaram com bons resultados a utilização de VANTs nas amostragens. Isso demonstra que monitoramentos da fauna por meio de amostragens frequentes podem ser viabilizados, importantes na observação de tendências populacionais (PÁZMÁNY 2015). Fatores como tamanho corpóreo do animal e habitat propício (terreno plano e baixa porcentagem de vegetação) para levantamentos aéreos são importantes para uma boa amostragem (MOURÃO & MAGNUSSON 2004), porém, estudos com esses equipamentos já foram realizados em diferentes ambientes e com espécies de tamanhos variados.

A versatilidade dos VANTs é refletida na diversidade de espécies que o mesmo pode ser aproveitado para amostrar, englobando desde grandes mamíferos como elefantes (VERMEULEN et al. 2013) e rinocerontes (DEWAR 2013) na África, orangotangos (GEMERT et al. 2014) na Indonésia e corças na Alemanha (ISRAEL 2014), grandes espécies aquáticas como baleias (PYPER 2008), dugongos (HODGSON et al. 2013), peixes-boi e aligatores (JONES 2003), até variadas espécies de aves, como garças (FARRELL 2013), gaivotas (SARDÀ-PALOMERA et al. 2012) e outras aves aquáticas (JONES 2003). Igualmente importante, a amostragem de potenciais fatores que podem ameaçar a sobrevivência das espécies é também um ponto necessário na busca pelo sucesso da conservação das espécies (GEMERT et al. 2014).

A caça ilegal, uma das principais ameaças de extinção da fauna mundial, vem sendo registrada por VANTs no intuito de rastrear grandes áreas com baixos custos e assim evitar danos maiores. Em países como a África do Sul, detentora de espécies que sofrem há muito tempo com essa ameaça, como duas espécies de rinocerontes, o branco (*Ceratotherium simum*) e o negro (*Diceros bicornis*), a utilização desses equipamentos pode ser uma ótima alternativa nas amostragens de campo (PÁZMÁNY 2015), vindo a substituir métodos mais tradicionais como amostragens a partir do solo ou em aeronaves tripuladas (LISEIN et al. 2013). Contudo, apesar de ótimos resultados

em estudos conservacionistas, os VANTs mais utilizados acabam sofrendo com algumas limitações de alcance e autonomia.

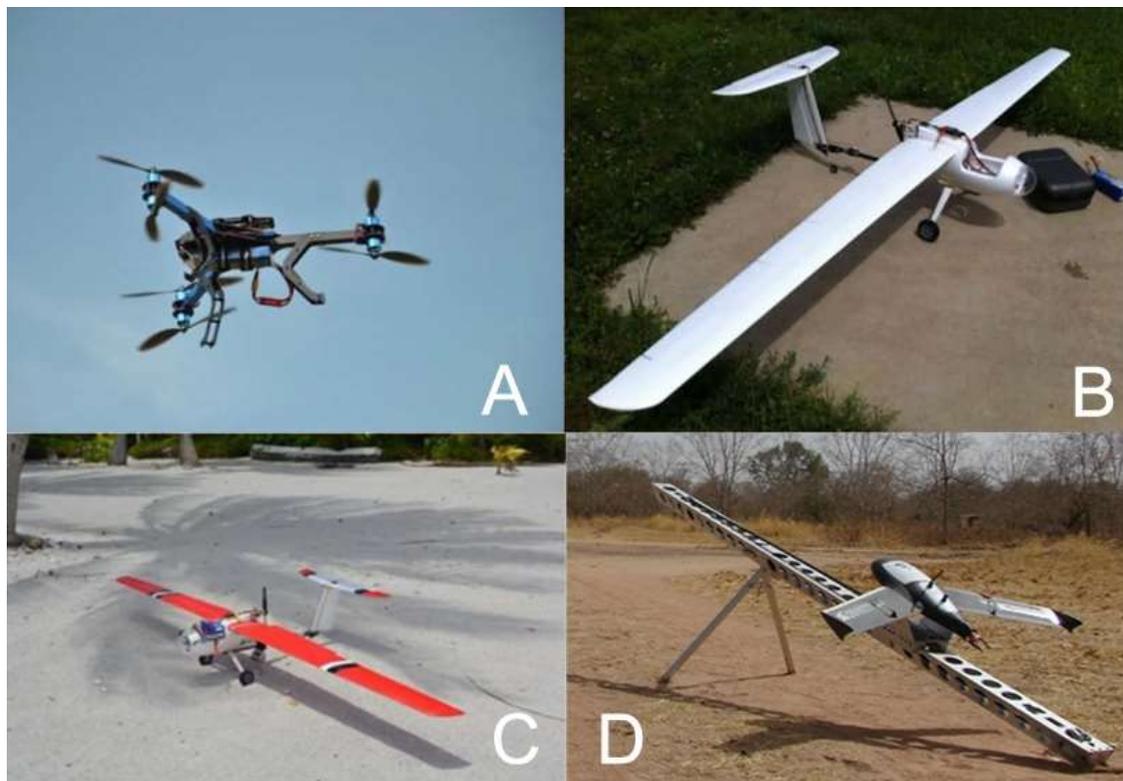


Figura 17. Exemplos de Vants pequenos utilizados pela *ConservationDrone* (Disponível em: <http://conservationdrones.org/>) (**A, B e C**); Vant utilizado por Vermeulen et al. (2013) em amostragens com elefantes da África (**D**).

Um acesso fácil à VANTs mais robustos em termos de tamanho, alcance e autonomia, hoje limitado a poucas agência internacionais, permitiria que pesquisadores destinassem recursos na conservação de nível global, abrangendo não somente caça ilegal em alguns países, mas também outros fatores que causam perda da biodiversidade, como desmatamento, mudanças climáticas e fragmentação de habitats (PÁZMÁNY 2015), além do monitoramento de espécies invasoras, pestes, ervas daninhas e doenças (JURDAK et al. 2015).

Mais do que nunca, a necessidade de utilização de novas metodologias que possam ser mais eficientes, baratas e de fácil acesso na proteção da natureza e no combate às atividades danosas a ela está se tornando cada vez mais providencial, e os

VANTs, se comparado a metodologias mais consolidadas como amostragens por solo e por avião tripulado, possuem algumas vantagens.

Amostragens por solo podem ser demoradas, com custos altos e ainda ser impraticável em áreas remotas, assim não sendo conduzidas em frequências adequadas para análises estatísticas corretas (GEMERT et al. 2014). Apesar de superar algumas dessas dificuldades, as amostragens aéreas convencionais ainda possuem suas limitações, como custos de aluguel da aeronave e da tripulação, necessidade de aeroportos para decolagem e pouso e também os próprios riscos inerentes aos voos de baixa altura em paisagens naturais, como em florestas (GEMERT et al. 2014). Já os VANTs, por possuírem algumas características já citadas, como custos relativamente baixos e boa acessibilidade (GEMERT et al. 2014), podem ser implantados a curto prazo nos locais de interesse, realizar várias amostragens em um curto espaço de tempo, podendo ser mais de um VANT, e ainda voar em condições meteorológicas que seriam perigosas em voos tripulados (JONES 2003).